



EJEMPLAR DE GUACAMAYA VERDE (*Ara militaris*): PROGRAMA DE RESGUARDO, PROTECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE ESPECIES ENDÉMICAS EN LA UMA DE PSITÁCIDOS.

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: Jesús Ramírez.



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

DIRECTORIO

L.D. Guillermo Narváez Osorio
Rector

Dra. Dora María Frías Márquez
Secretaria de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Mtro. Jorge Membreño Juárez
Secretario de Servicios Administrativos

Mtro. Miguel Armando Vélez Téllez
Secretario de Finanzas

Dr. Arturo Garrido Mora
Director de la División Académica de Ciencias Biológicas

Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna
Coordinadora de Investigación y Posgrado, DACBioI-UJAT

M. en A. Arturo Enrique Sánchez Maglioni
Coordinador Administrativo, DACBioI-UJAT

M.I.P.A. Araceli Guadalupe Pérez Gómez
Coordinador de Docencia, DACBioI-UJAT

M.C.A. Yessenia Sánchez Alcudia
Coordinadora de Difusión Cultural y Extensión, DACBioI-UJAT

COMITÉ EDITORIAL DE KUXULKAB'

Dr. Andrés Reséndez Medina †
Editor fundador

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo
Editor ejecutivo y encargado

Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa
Dr. Jesús García Grajales

Dra. Carolina Zequeira Larios
Dr. Rodrigo García Morales

Dra. María Elena Macías Valadez-Treviño
Ocean. Rafael García de Quevedo Machain

M.C.A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña
Dr. Nicolás Álvarez Pliego

Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez
Dr. Marco Antonio Altamirano González Ortega

Dra. Rocío Guerrero Zárate
Dr. Eduardo Salvador López Hernández

Dra. Nadia Florencia Ojeda Robertos
Dr. Maximiano Antonio Estrada Botello

Dra. Melina del Carmen Uribe López
Dr. José Guadalupe Chan Quijano

Dra. Martha Alicia Perera García
Editores asociados

Dra. Ramona Elizabeth Sanlúcar Estrada
M.C.A. Alma Deysi Anacleto Rosas

Dra. Ena Edith Mata Zayas
M. en Pub. Magally Guadalupe Sánchez Domínguez
Correctores de estilo

M.C.A. María del Rosario Barragán Vázquez
M. en C. Leonardo Noriel López Jiménez

Dra. Violeta Ruiz Carrera
Correctores de pruebas

M.Arq. Marcela Zurita Macías-Valadez
M. en C. Sulma Guadalupe Gómez Jiménez
Traductoras

L.I.A. Ervey Baltazar Esponda
Soporte técnico institucional

Srta. Ydania del Carmen Rosado López
Téc. Juan Pablo Quiñonez Rodríguez †

Biól. José Francisco Juárez López
Est. Biól. Gloria Cecilia Arecha Soler

Est. G.A. Diana Cecilia Velázquez Leyva
Est. I.A. José Manuel Ramírez Cruz

Apoyo técnico

CONSEJO EDITORIAL (EXTERNO)

Dra. Lilia María Gama Campillo
División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT - México

Dr. Roberto Carlos González Fócil
Jefe del Departamento de Revistas Científicas, UJAT - México

Dra. Juliana Álvarez Rodríguez
División Académica de Ciencias Económico Administrativas, UJAT - México

Dr. Jesús María San Martín Toro
Universidad de Valladolid (UVA) - España

ISSN 2448-508X

KUXULKAB'

La revista KUXULKAB' (vocablo chontal que significa «tierra viva» o «naturaleza») es una publicación cuatrimestral de divulgación científica la cual forma parte de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; aquí se exhiben tópicos sobre la situación de nuestros recursos naturales, además de avances o resultados de las líneas de investigación dentro de las ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales principalmente.

El objetivo fundamental de la revista es transmitir conocimientos con la aspiración de lograr su más amplia presencia dentro de la propia comunidad universitaria y fuera de ella, pretendiendo igualmente, una vinculación con la sociedad. Se publican trabajos de autores nacionales o extranjeros en español, con un breve resumen en inglés, así como también imágenes caricaturescas.

KUXULKAB' se encuentra disponible electrónicamente y en acceso abierto:



Revistas Universitarias (<https://revistas.ujat.mx/>)

Portal electrónico de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).



Repositorio Institucional (<http://ri.ujat.mx/>)

Plataforma digital desarrollado con el aval del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), se cuenta con un acervo académico, científico, tecnológico y de innovación de la UJAT.



Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (www.latindex.ppl.unam.mx)

Red de instituciones que reúnen y diseminan información sobre las publicaciones científicas seriadas producidas en Iberoamérica.



PERIÓDICA (<http://periodica.unam.mx>)

Base de datos bibliográfica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con registros bibliográficos publicados América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



Nuestra portada:

La investigación *in vitro*, el análisis de temas y la planta del mes.

Diseño de:

Fernando Rodríguez Quevedo; División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

Fotografías de:

Imágenes obtenidas de textos aquí publicados, así como, expuestos en diversos medios (internet por ejemplo).

KUXULKAB', año 27, No. 59, septiembre-diciembre 2021; es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI). Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura; Col. Magisterial; Villahermosa, Centro, Tabasco, México; C.P. 86040; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; <https://revistas.ujat.mx>; kuxulkab@ujat.mx. Editor responsable: Fernando Rodríguez Quevedo. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-090610320400-203; ISSN: 2448-508X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Editor ejecutivo, Fernando Rodríguez Quevedo; Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5; entronque a Bosques de Saloya; CP. 86039; Villahermosa, Centro, Tabasco; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; Fecha de la última modificación: 06 de septiembre de 2021.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la revista, ni de la DACBioI y mucho menos de la UJAT. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



Editorial

Estimados lectores:

Esperando se encuentren bien, en esta ocasión nos dirigimos para presentar el tercer número de **Kuxulkab'** para este año; dando muestra de que seguimos trabajando para recuperarnos y seguir reforzando esfuerzos para mantener nuestra presencia. Este número, en esta ocasión, cuenta con cuatro aportaciones donde, conoceremos la importancia de la investigación tanto experimental como de gabinete. Es importante recalcar, la presencia de una aportación de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa; así como otra proveniente de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), campus universitario de nuestra UJAT; a quienes le brindamos una fraterna bienvenida.

En constancia a nuestra forma de trabajo, proporcionamos una breve sinopsis de las aportaciones que conforman esta publicación:

«**¿Es importante monitorear la presenencia de metales pesados en lagunas de Sinaloa utilizando moluscos bivaldos?**»; escrito donde se proporcionan datos relacionados al uso de bivaldos como bio-monitores para determinar la presencia y concentraciones de metales en lagunas costeras impactadas principalmente por descargas agrícolas.

«**Efectos del pH y temperatura en lagunas de estabilización de un campus universitario**», aportación donde se expone el resultado del monitoreo y evaluación de las lagunas de estabilización utilizadas en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL) de la UJAT.

«**El análisis de datos de COVID-19: un incentivo para el desarrollo de herramientas con 'R'**»; participación donde los autores, muestran el apoyo que el programa 'R' brinda en el manejo de información, particularmente, lo relacionado a la actual pandemia; todo con la finalidad de motivar el uso de este software.

«**Red universitaria en pro de la educación para la construcción sustentable: un compromiso socio-profesional**»; texto donde se hace la comprensión y discusión respecto a la sustentabilidad así como de la educación ambiental; dando parte a la propuesta de conformar una red con compromiso académico dirigido a la arquitectura sustentable en Tabasco.

Por otro lado, continuamos con nuestra sección «**Apuntes de la flora de Tabasco**», donde se expone información taxonómica, etimología, descripción morfológica, nombres comunes y datos generales sobre especies presentes en el estado de Tabasco. Este esfuerzo, forma parte del apoyo de nuestros colaboradores en la generación de conocimiento científico para la sociedad.

Como siempre, la consolidación de este número es un esfuerzo en conjunto con autores, evaluadores, editores asociados y demás miembros del comité editorial de esta revista. Agradecemos, a cada uno de ellos, su apoyo y entusiasmo de colaborar en la divulgación de la ciencia con estándares de calidad emanados por esta casa de estudios. Esperamos vernos pronto.

Arturo Garrido Mora
DIRECTOR DE LA DACBIOL-UJAT

Fernando Rodríguez Queredo
EDITOR EJECUTIVO DE KUXULKAB'

Contenido

¿ES IMPORTANTE MONITOREAR LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN LAGUNAS DE SINALOA UTILIZANDO MOLUSCOS BIVALVOS? 05-18

IS IT IMPORTANT TO MONITOR THE PRESENCE OF HEAVY METALS IN SINALOA LAGOONS USING BIVALVE MOLLUSKS?

Carlos Humberto Sepúlveda, María Isabel Sotelo Gonzalez, Manuel García Ulloa, Andrés Martín Góngora Gómez, Martín Gabriel Frías Espericueta, Rebeca Sánchez Cárdenas & Carmen Cristina Osuna Martínez

EFFECTOS DEL pH Y TEMPERATURA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO 19-29

THE pH AND TEMPERATURE EFFECTS IN STABILIZATION PONDS AT A UNIVERSITY CAMPUS

Jennifer Guzmán Pérez, Citlali Vianey Cruz Hernández, Pamela Torres Castro, Verónica Isidra Domínguez Rodríguez, Randy Howard Adams Schroeder, Eduardo Baltierra Trejo & Rodolfo Gómez Cruz

EL ANÁLISIS DE DATOS DE COVID-19: UN INCENTIVO PARA EL DESARROLLO DE HERRAMIENTAS CON R 31-44

COVID-19 DATA ANALYSIS: AN INCENTIVE FOR TOOL DEVELOPMENT WITH R

Sergio Ramos Herrera & Jesús Manuel Carrera Velueta

RED UNIVERSITARIA EN PRO DE LA EDUCACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE: UN COMPROMISO SOCIO-PROFESIONAL 45-62

UNIVERSITY NETWORK IN FAVOR OF EDUCATION FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION: A SOCIO-PROFESSIONAL COMMITMENT

Marcela Zurita Macías Valadez

Apuntes de la flora de Tabasco:

'*Hymenocallis littoralis*' (Jacq.) Salisb.; LA PUREZA DEL PANTANO 63-65

'*Hymenocallis littoralis*' (Jacq.) Salisb.; THE PURITY OF THE SWAMP

Ricardo Cobos Hernández, Nelly del Carmen Jiménez Pérez, María de los Ángeles Guadarrama Olivera, Mariana Ortiz Guadarrama & Mauricio Labastida Astudillo

'*Indigofera suffruticosa*'; EL AZUL DE MÉXICO 67-69

'*Indigofera suffruticosa*'; THE BLUE OF MEXICO

Nelly del Carmen Jiménez Pérez, Eduardo Javier Moguel Ordóñez, María de los Ángeles Guadarrama Olivera, Mariana Ortiz Guadarrama & Mauricio Labastida Astudillo



¿ES IMPORTANTE MONITOREAR LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN LAGUNAS DE SINALOA UTILIZANDO MOLUSCOS BIVALVOS?

IS IT IMPORTANT TO MONITOR THE PRESENCE OF HEAVY METALS IN SINALOA LAGOONS USING BIVALVE MOLLUSKS?

Carlos Humberto Sepúlveda^{1✉}, María Isabel Sotelo Gonzalez², Manuel García Ulloa³, Andrés Martín Góngora Gómez⁴, Martín Gabriel Frías Espericueta⁵, Rebeca Sánchez Cárdenas⁶ & Carmen Cristina Osuna Martínez⁷

¹Biólogo por la Universidad de Occidente (UdeO); Maestro en Recursos Naturales y Medio Ambiente (RNMA) por el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR); estudiante del Doctorado en Ciencias en Recursos Acuáticos de la Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR), Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). ²Bióloga por la UdeO; Maestra en RNMA-CIIDIR; estudiante del Doctorado en Ciencias (FACIMAR-UAS). ³Biólogo por la Universidad Autónoma de Guadalajara; Maestro en Ciencias (acuacultura) por la Universidad de Gante, Bélgica; Doctor en Ciencias Pecuarías por la Universidad de Colima. ⁴Biólogo por la Universidad Autónoma de Yucatán; Maestro en Ingeniería Bioquímica por el Instituto Tecnológico de Mérida; Doctor en Biotecnología Acuícola por la UAS. ⁵Ingeniero Pesquero por la Universidad Autónoma de Nayarit; Maestro y Doctor en Ciencias (biología marina) por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). ⁶Bióloga pesquera por la FACIMAR; Maestra en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos y Doctora en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). ⁷Bióloga acuicultor por la FACIMAR; Maestra y Doctora en Ciencias (biología marina) por la UNAM.

Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR); Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS); Av. de los Deportes S/N, Ciudad Universitaria; C.P. 82017. Mazatlán, Sinaloa; México.

✉ carloshumberto_facimar@uas.edu.mx

¹ 0000-0003-4400-4559 ² 0000-0003-3159-8255 ³ 0000-0001-5357-8891
⁴ 0000-0001-8613-5480 ⁵ 0000-0002-3729-1986 ⁶ 0000-0001-9568-8775
⁷ 0000-0003-4934-5790

Como referenciar:

Sepúlveda, C.H.; Sotelo Gonzalez, M.I.; García Ulloa, M.; Góngora Gómez, A.M.; Frías Espericueta, M.G.; Sánchez Cárdenas, R. & Osuna Martínez, C.C. (2021). ¿Es importante monitorear la presencia de metales pesados en lagunas de Sinaloa utilizando moluscos bivalvos?. *Kuxulkab'*, 27(59): 05-18, septiembre-diciembre. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.3877>

Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx>
<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.3877>

Resumen

Los bivalvos se identifican como los mejores bio-monitores del medio acuático. En Sinaloa, son utilizados para evaluar el impacto de las actividades humanas sobre las lagunas costeras, donde se han reportado altas concentraciones de metales pesados (MP), atribuidos en su mayoría a los agroquímicos utilizados por la intensa agricultura tecnificada. Cuando los niveles de MP en el tejido de los organismos son altos, pueden causar efectos negativos en su metabolismo, fisiología y bioquímica, pero, además, constituyen un riesgo para la salud pública al ser destinados para consumo humano. Por lo anterior, es importante la implementación de un programa continuo de bio-monitoreo ambiental en el estado, que incluya la determinación de MP en el agua costera-marina, los sedimentos y en los organismos que conforman los diferentes niveles tróficos. La información obtenida de dicho programa se utilizaría para generar planes de prevención y mitigación de la contaminación en las costas sinaloenses.

Palabras clave: Moluscos; Actividad agrícola; Bio-acumulación; Agroquímicos; Riesgo a la salud humana.

Abstract

Bivalves are identified as the best bio-monitors in the aquatic environment. In Sinaloa, they are used to evaluate the impact of human activities on coastal lagoons, where high concentrations of heavy metals (HM) have been reported, mostly attributed to the agrochemicals used by intense technical agriculture. When the levels of MP in the tissue of organisms are high, they can cause negative effects on their metabolism, physiology and biochemistry, but, in addition, they constitute a risk to public health as they are destined for human consumption. Therefore, it is important to implement a continuous environmental bio-monitoring program in the state, which includes the determination of HM in coastal-marine water, sediments and in the organisms that make up the different trophic levels. The information obtained with this program would be used to generate pollution prevention and mitigation plans on the coasts of Sinaloa.

Keywords: Mollusks; Agricultural activity; Bio-accumulation; Agrochemicals; Risk to human health.

En las últimas décadas, la agricultura altamente tecnificada se ha posicionado entre las actividades más productivas e importantes de México, especialmente en estados del noroeste, como Sinaloa; dicha actividad aporta insumos esenciales al sector alimenticio y es fundamental para la economía de la región y del país (Martínez, Romano, Cuadras & Ortega, 2019). Sin embargo, lo anterior tiene repercusiones ecológicas por la gran cantidad de agroquímicos que deben ser utilizados para mantener los constantes y altos volúmenes de cosecha. Los agroquímicos formulados con metales pesados (MP, elementos potencialmente tóxicos) son aplicados tanto en invernaderos como en parcelas a cielo abierto, pero invariablemente, una gran cantidad de ellos terminan siendo transportados hasta los cuerpos de agua localizados en las zonas costeras por deposición directa, escorrentías y lluvias (Soto-Jiménez, Páez-Osuna & Ruiz-Fernández, 2003). Cuando los MP rebasan niveles aceptables en el ambiente y los organismos, se convierten en fuente de contaminación.

Lo anterior está bien documentado en lagunas costeras de Sinaloa (zonas de crianza y alimentación para especies biológicas de interés comercial), donde, debido al uso de agroquímicos en una amplia variedad de cultivos (Carvalho, Fowler, Gonzalez-Farias, Mee & Readman, 1996; Ortíz, Avila-Chávez & Torres, 2013), se han acumulado MP en los sedimentos, el agua y los organismos. Entre estos últimos, los bivalvos (invertebrados cuyo cuerpo blando está contenido entre dos valvas) adquieren relevante importancia como bio-monitores del estado general de ecosistemas costeros, al ser uno de los mejores bio-acumuladores de MP.

No obstante, la tendencia en el uso de agroquímicos indica que seguirán siendo utilizados, e incluso, aumentarán sus dosis de aplicación para mejorar la fertilidad de los suelos y combatir la resistencia de los patógenos (García-Gutiérrez & Rodríguez-Meza, 2012). El panorama a corto y mediano plazo vislumbra a nuestros ecosistemas soportando fuertes cargas de agroquímicos a medida que la población se incrementa y la demanda de alimentos excede la capacidad de producción de las tierras agrícolas (Stewart, Dibb, Johnston & Smyth, 2005).

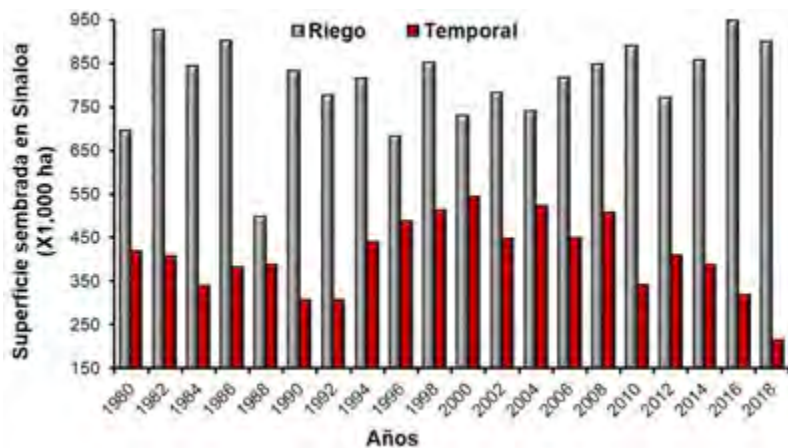
Por lo tanto, el objetivo del presente escrito es proporcionar información científica relacionada al uso de bivalvos como bio-monitores para determinar las concentraciones de metales pesados (MP) presentes en las lagunas costeras de Sinaloa, impactadas mayormente por las descargas agrícolas.

El cultivo en el Estado

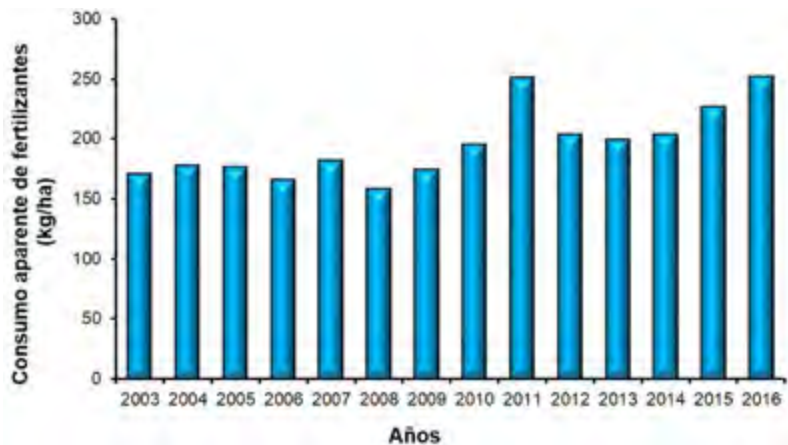
De acuerdo con el último ciclo agrícola (2018-2019) reportado por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Sinaloa se ubicó en el tercer lugar de producción de alimentos, después de Jalisco y Veracruz. En dicho ciclo productivo, Sinaloa cultivó 1,117,703 hectáreas (ha) que, en su mayoría, fueron irrigadas (83 %); mientras que el resto dependió de las lluvias (gráfica 1). Derivado de lo anterior, se obtuvo una producción de 12,157,641 toneladas (t) de alimentos con un valor de 54,765 millones de pesos (1.53 % más que en el ciclo 2017-2018). Los principales cultivos fueron el maíz, tomate, frijol, chile, pepino, trigo, garbanzo, papa, calabaza, mango, melón y sandía (SIAP, 2019).

«El bio-monitoreo se define como una técnica científica que evalúa los impactos ambientales, incluyendo la exposición humana a sustancias químicas naturales y sintéticas, con base en el muestreo y análisis de un grupo de individuos»

Zhou, Zhang, Fu, Shi & Jiag (2008)



Gráfica 1. Superficie agrícola (X1,000 ha) sembrada con base en el aporte de agua en Sinaloa. Datos del SIAP (2019).



Gráfica 2. Consumo aparente de fertilizantes en México (kg/ha). Datos del SIAP (2018).

Los municipios agrícolas más importantes del estado de Sinaloa son Culiacán, Ahome, Guasave, Sinaloa de Leyva y Navolato; ya que aportan el 75 % del total de la producción del Estado (SIAP, 2019). No obstante, durante las últimas dos décadas, los cultivos han presentado una serie de problemas, entre los que destacan, las condiciones climáticas (Flores, Arzola-González, Ramírez-Soto & Osorio-Pérez, 2012), la disminución del recurso hídrico (Peinado, Peinado, Campista, Delgado, 2015) y las plagas (Félix-Gastélum, Lizárraga-Sánchez, Maldonado-Mendoza, Leyva-Madrigal, Herrera-Rodríguez & Espinoza-Matías, 2018; Melgoza, León, López, Hernández, Velarde & Garzón, 2018).

Con la finalidad de aumentar la productividad de los cultivos y contrarrestar los patógenos, se aplican altas cantidades de agroquímicos a los cultivos, de los cuales, algunos son formulados con metales pesados 'MP' (metales esenciales, metales no esenciales y metaloides o semimetales) (Ortíz et al., 2013; Rodríguez, Alcalá, Hernández, Rodríguez, Ruiz, García & Díaz, 2014; Defarge, Spiroux de Vendômois & Séralini, 2018).

Fertilizantes orgánicos e inorgánicos

Estos son componentes elementales en la producción mundial de alimentos, ya que el rendimiento de los cultivos por hectárea puede, a menudo, duplicarse o triplicarse cuando estos compuestos son aplicados. Existen diferentes tipos de fertilizantes, pero destacan principalmente los nitrogenados, fosfatados y potásicos (García-Salazar, Borja-Bravo & Rodríguez-Licea, 2018). Se aplican de tres formas (Parra, Ramírez, Lobo, Subero & Sequera, 2011):

- 1) incorporación al suelo o radicular (directamente a la base de la planta);
- 2) foliar (en forma similar a la lluvia y son absorbidos por las hojas); y
- 3) fertirrigación (disolución del fertilizante en el agua de riego).

En 2016, se aplicaron en México 5,535,813 t para fertilizar una superficie de 21,938,184 ha, con una dosis promedio (cociente del consumo aparente de fertilizantes, sobre la superficie nacional que los utiliza) de 252 kg/ha (gráfica 2). Sin embargo, en los campos agrícolas de Sinaloa se reportaron dosis excesivas (367 kg/ha) en los cultivos de maíz blanco (Ibarra & Miranda, 2012), es decir, 46.8 % más de lo recomendado (INIFAP, 2010).

Los fertilizantes y abonos orgánicos son formulados con metales esenciales (metales requeridos en el ciclo de vida de los organismos, su ausencia produce síntomas de deficiencia que solo se alivian con ese metal, como es el caso del hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B) y molibdeno (Mo) que ayudan en la nutrición de las plantas. Sin embargo, también contienen metales no esenciales como

Tabla 1. Ejemplos de agroquímicos con metales pesados.

| Agroquímicos | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Hg | Cd | Pb | Se | As |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Sulfato ferroso | X | X | X | X | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Sulfato de cobre | NE | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Nitrato de zinc | X | X | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Sulfato de zinc | X | X | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Sulfato de manganeso | X | X | NE | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Bórax | X | X | X | X | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Molibdato de sodio | X | X | X | X | NE | X | NE | NE | NE | NE | NE |
| Bayfolan | X | X | X | X | X | X | NE | NE | NE | NE | NE |
| Selenito | NE | X | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE | X | NE |
| Selenato | NE | X | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE | X | NE |
| Lombricomposta | X | X | NE | X | NE | NE | NE | X | X | NE | X |
| Composta | X | X | X | X | NE | NE | NE | X | X | NE | X |
| Nitrato chileno | NE | X | X | NE | NE | NE | NE | NE | X | NE | X |
| Roca fosfórica | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE | X | X | NE | X |
| Urea | X | X | X | X | X | X | NE | NE | X | NE | NE |
| Nitrato de calcio | X | X | X | X | X | X | NE | NE | X | NE | NE |
| Fosfato di-amónico | NE | X | NE | NE | NE | NE | NE | X | X | NE | X |
| Superfosfato triple | NE | X | NE | NE | NE | NE | X | X | X | NE | X |
| Mancozeb | NE | NE | X | X | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |

Clave: NE= No Especificado.

el mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) y metaloides tal como el selenio (Se) y arsénico (As) que, en ciertas dosis, pueden afectar el crecimiento de las plantas (tabla 1) (Raven & Loeppert, 1997; Otero, Vitòria, Soler & Canals, 2005; Sabiha-Javied, Mehmood, Chaudhry, Tufail & Irfan, 2009; Rodríguez *et al.*, 2014; Luo, Yao, Tan, Li, Qing & Yang, 2020). Algunos de estos metales no esenciales y metaloides son considerados por la Organización Mundial de la Salud como los más tóxicos y perjudiciales para la salud pública (WHO, 2010).

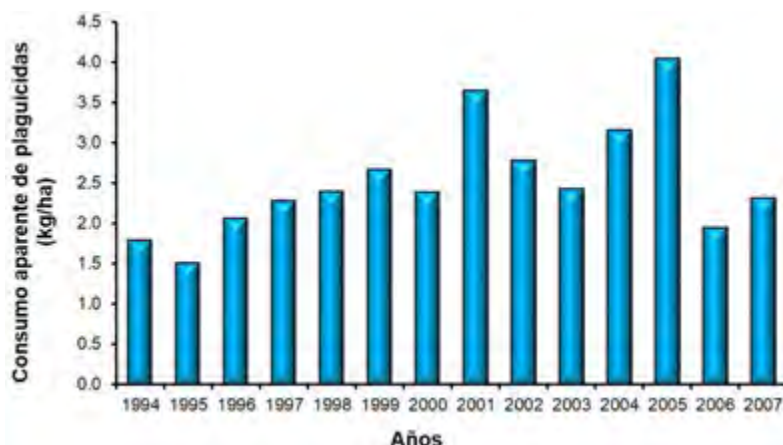
Plaguicidas

Los plaguicidas son los productos industriales de mayor demanda en la agricultura; se aplican de manera intensiva para matar o controlar las plagas que afectan la producción de los cultivos (Martínez, *et al.*, 2019). En Sinaloa, los fungicidas, herbicidas e insecticidas son utilizados en dosis altas para cultivar tomate, chile, pepino y maíz (Leyva, García, Bastidas, Astorga, Bejarano, Cruz, Martínez & Betancourt, 2014).

Los plaguicidas se clasifican en organoclorados (más tóxicos y persistentes), organofosforados, carbamatos y piretroides (Martínez-Valenzuela & Gómez-Arroyo, 2007). Se aplican por aspersión (con equipos y maquinaria agrícola) en la pre-siembra o como estrategia de post-emergencia, cuando se presentan plagas (García-de la Parra, Cervantes-Mojica, González-Valdivia, Martínez-Cordero, Aguilar-Zárate, Bastidas-Bastidas & Betancourt-Lozano, 2012).

El consumo aparente de plaguicidas en México para 2007 fue de 50,270 t, y se aplicó en una superficie de 21,733,230 ha, con una dosis promedio de 2.31 kg/ha (gráfica 3). Aunque se menciona que, en los últimos años, el uso de los plaguicidas se ha incrementado (Garza-González & Cervantes-Hernández, 2015), los datos de las importaciones y exportaciones de dichos productos no se encuentran documentados o no se encuentran disponibles al público desde 2008 (SEMARNAT, 2016), por lo que el consumo aparente de plaguicidas actual no puede ser adecuadamente calculado.

Específicamente en Culiacán (una de las regiones agrícolas más tecnificadas de Sinaloa), la aplicación de plaguicidas durante el ciclo agrícola 1997-1998, alcanzó hasta los 54.5 kg/ha (Karam, 2002).



Gráfica 3. Consumo aparente de plaguicidas en México (kg/ha). Datos del SEMARNAT (2016).

Es importante recordar que, en México, se utilizan 111 plaguicidas prohibidos en otros países (Gómez-Arroyo, Martínez-Valenzuela, Calvo-González, Villalobos-Pietrini, Waliszewski, Calderón-Segura, Martínez-Arroyo, Félix-Gastélum & Lagarda-Escarrega, 2013; Castillo, 2019). Además, existe el problema de la recolección, tratamiento y disposición final (fotografía 1) de más de 250 t anuales de envases vacíos de plaguicidas, que se está tratando de solucionar a través del programa <Campo Limpio> del estado de Sinaloa. En dicho programa operan cinco centros de acopio: El Carrizo, Valle del Evora, Culiacán, La Cruz y Piaxtla (AARC, 2012).



Fotografía 1. Envases de agroquímicos en un campo agrícola y canal de riego en Guasave, Sinaloa.

Los plaguicidas están compuestos por ingredientes activos y, en la mayoría de sus formulaciones, existe la presencia de elementos tóxicos, en particular, el As, Cu, Hg y Pb, que, históricamente, se han utilizado como plaguicidas para el tratamiento de las semillas y para inhibir el desarrollo de patógenos (Li, Ye, Wang, Wang, Yang, Zheng, Sun & Gao, 2016; Defarge *et al.*, 2018).

Los MP que no son absorbidos por las plantas ni incorporados en los suelos agrícolas, se liberan al ambiente y uno de los destinos finales son las lagunas costeras (cuerpos receptores), a donde pueden llegar por medio del transporte atmosférico, los sistemas de riego y las escorrentías superficiales (Pandey, Shubhashish & Pandey, 2009; García-Gutiérrez & Rodríguez-Meza). Estos contaminantes tóxicos se caracterizan por su persistencia, bio-acumulación y bio-magnificación a través de la trama trófica, hasta los humanos (Burioli, Squadrone, Stella, Fogliani, Abete & Prearo, 2017).

Bio-monitores

El bio-monitoreo costero surgió en los años setenta (siglo XX) con el programa "Mussel Watch", en los Estados Unidos de Norteamérica. El bio-monitoreo se define como una técnica científica que evalúa los impactos ambientales, incluyendo la exposición humana a sustancias químicas naturales y sintéticas, con base en el muestreo y análisis de un grupo de individuos (Zhou, Zhang, Fu, Shi & Jiang, 2008).

Aunque se han utilizado diferentes grupos de organismos acuáticos (fitoplancton, macroalgas, pastos marinos, poliquetos, moluscos, crustáceos, peces, reptiles, aves y mamíferos marinos) para bio-monitorear la contaminación de metales pesados (MP) en las lagunas costeras mexicanas (Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna, 2004; Ley-Quiñónez, Zavala-Norzagaray, Espinosa-Carreón, Peckham, Marquez-Herrera, Campos-Villegas & Aguirre, 2011; Páez-Osuna & Osuna-Martínez, 2011), los bivalvos (clase taxonómica de los moluscos) se identifican como uno de los mejores bio-monitores, ya que pueden bio-acumular los MP en sus tejidos, provenientes de su alimento, del agua y de los sedimentos, a concentraciones que exceden las de su entorno (Jonathan, Muñoz-Sevilla, Góngora-Gómez, Luna, Sujitha, Escobedo-Urías, Rodríguez-Espinosa & Campos, 2017).

Los bio-monitores también pueden usarse para producir una medida relativa de la cantidad total de contaminantes en el medio ambiente integrados durante un período

de tiempo (Hatje, 2016). Lo anterior sucede porque estos invertebrados presentan características ideales, como es la alimentación por filtración, distribución cosmopolita, vida sésil/sedentaria, abundancia, longevidad, disponibilidad durante todo el año, facilidad de muestreo e identificación (Zhou *et al.*, 2008). La tabla 2 muestra algunos estudios que confirman la presencia de MP en costas de Sinaloa y el uso de diferentes especies de bivalvos como bio-monitores (ostiones, mejillones, almejas) y una especie de callo de hacha con características potenciales para utilizarse como bio-monitor.

Con el paso del tiempo, puede observarse que la concentración de algunos MP bio-acumulados por bivalvos (principalmente en ostiones) en diferentes localidades costeras de Sinaloa, se ha incrementado. Por ejemplo, en el año 1987, en la laguna de Urías, Mazatlán, el ostión de placer '*Crassostrea corteziensis*' presentó concentraciones promedio de Cu, Zn, Pb y Cd de 53.8, 1068, 1.8 y 0.4 mg/kg, respectivamente (Páez-Osuna, Izaguirre-Fierro, Godoy-Meza, González-Farías & Osuna-López, 1988), mismas que respectivamente, aumentaron a 76.4, 1884, 11.5 y 2.6 mg/kg, en 2004 para la misma especie (Frías-Espericueta, Osuna-López, Flores-Reyes, López-López & Izaguirre-Fierro, 2005). De forma notable, el Cu en el tejido de esta especie registró 84 mg/kg en 2009 (Páez-Osuna & Osuna-Martínez, 2015). En el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, el ostión de placer presentó en 1991, concentraciones promedio de 727 y 3.9 mg/kg para el Zn y Cd, respectivamente (Páez-Osuna, Osuna-López, Izaguirre-Fierro & Zazueta-Padilla, 1993), mientras que nueve años después, los niveles de estos metales detectados en '*C. corteziensis*' fueron de 1420 y 7.2 mg/kg, respectivamente, en las mismas lagunas (Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna, 2008). Más al norte, en la laguna Macapule, Guasave, la concentración promedio de Cu en el ostión de cultivo, '*Crassostrea gigas*', en la última década, ha sido: 51.4 mg/kg en 2011 (Góngora-Gómez, García-Ulloa, Muñoz-Sevilla, Domínguez-Orozco, Villanueva-Fonseca, Hernández-Sepúlveda & Ortega, 2017), 63.3 mg/kg en 2012 (Jonathan *et al.*, 2017) y 100.5 mg/kg en 2014 (Muñoz, Villanueva-Fonseca, Góngora-Gómez, García-Ulloa, Domínguez-Orozco, Ortega-Izaguirre & Campos, 2017). Estos casos sugieren un aumento en el aporte de MP al hábitat de estos moluscos, con relación al tiempo.

Los MP pueden causar efectos metabólicos, fisiológicos y bioquímicos en los organismos acuáticos, por el aumento de sus niveles en sus tejidos (Singh, Gautam, Mishra & Gupta, 2011; Hossen, Hamdan & Rahman, 2015), lo cual, es *per se*, un tema de estudio que trastoca la salud ambiental.

Tabla 2. Niveles de concentración de algunos metales pesados (en mg/kg de peso seco del tejido blando) en bivalvos de importancia comercial de diversas zonas costeras de Sinaloa.

| Bivalvos | Zona | Cu | Zn | Mn | Fe | Hg | Pb | Cd | Cr | As |
|--|--------------------------------------|--------|-----------|------|-----|----------|---------|----------|-----|-----|
| Ostión: '<i>Saccostrea palmula</i>' (= '<i>Crassostrea palmula</i>') y '<i>Striostrea prismatica</i>' (= '<i>Crassostrea iridescens</i>') | | | | | | | | | | |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | Laguna de Urías, Mazatlán (a) | 53.8 | 1,068 | 12.3 | 202 | NA | 1.8 | 0.4 | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | Bahía de Mazatlán (b) | 55 | 1,328 | 16.5 | 181 | NA | NA | 1.1 | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | Laguna Navachiste, Guasave (c) | 67 | 509 | 7.2 | 232 | NA | NA | 10.3 | NA | NA |
| ' <i>S. palmula</i> ' | Laguna Navachiste, Guasave (c) | 104 | 1,190 | 4.8 | 161 | NA | NA | 10.3 | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | Altata-Ensenada del Pabellón (d) | 147 | 727 | 13.6 | 139 | NA | NA | 3.9 | NA | NA |
| ' <i>S. palmula</i> ' | Altata-Ensenada del Pabellón (d) | 150 | 943 | 12.9 | 150 | NA | NA | 8.2 | NA | NA |
| ' <i>S. prismatica</i> ' | Bahía de Mazatlán (e) | 65.2 | 711 | 14.5 | 164 | NA | NA | 2.9 | 2.1 | NA |
| ' <i>S. prismatica</i> ' | Bahía de Mazatlán (f) | 86.9 | 1,116 | 18.8 | NA | NA | 2.3 | 2.3 | 0.9 | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | 7 lagunas costeras de Sinaloa (g) | 15–216 | 442–1,595 | NA | NA | NA | 3.6–7.6 | NA | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | Laguna de Urías, Mazatlán (h) | 76.4 | 1,884 | NA | NA | NA | 11.5 | 2.6 | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | Laguna Altata, Navolato (i) | 71.4 | 928.8 | NA | NA | NA | 8.3 | 6.4 | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | Altata-Ensenada del Pabellón (j) | NA | 1,420 | NA | NA | NA | 3.4 | 7.2 | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | 7 lagunas costeras de Sinaloa (k) | 17–166 | 245–2,304 | NA | NA | NA | 4.1–9.4 | 1.5–7.4 | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | 4 lagunas costeras de Sinaloa (l, m) | 5.5–18 | 114–126 | NA | NA | 0.1–0.5 | 0.2–0.7 | 4.2–5.5 | NA | NA |
| ' <i>C. gigas</i> ' | 4 lagunas costeras de Sinaloa (l, m) | 9.1–58 | NA | NA | NA | 0.06–0.9 | 0.5–2.1 | 4.9–13.9 | NA | NA |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | 7 lagunas costeras de Sinaloa (n) | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 8.5 |
| ' <i>C. corteziensis</i> ' | 7 lagunas costeras de Sinaloa (o) | 23–112 | 226–1,745 | NA | NA | 0.1–0.5 | 0.3–2.1 | 1–9 | NA | NA |

Tabla 2 (continuación). Niveles de concentración de algunos metales pesados (en mg/kg de peso seco del tejido blando) en bivalvos de importancia comercial de diversas zonas costeras de Sinaloa.

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|------|-------|----|-----|------|----------|----------|------|-----|
| ' <i>C. gigas</i> ' | Laguna Macapule, Guasave (p) | 51.4 | 267.4 | NA | NA | 0.02 | 2.1 | 13.8 | 24.9 | 0.3 |
| ' <i>C. gigas</i> ' | Laguna Macapule, Guasave (q) | 63.3 | 278.9 | NA | NA | 0.04 | 2.2 | 14.5 | 22.2 | 0.5 |
| ' <i>C. gigas</i> ' | Laguna Macapule, Guasave (r) | 38.9 | 172 | NA | NA | 0.12 | 1.9 | 4.7 | NA | NA |
| ' <i>S. palmula</i> ' | Laguna de Urías, Mazatlán (s) | NA | NA | NA | NA | NA | 1.8 | 0.03 | 1 | NA |
| Mejillón: '<i>Mytella charruana</i>' (= '<i>Mytella strigata</i>') | | | | | | | | | | |
| ' <i>M. charruana</i> ' | Laguna de Urías, Mazatlán (a) | 12.1 | 26 | 31 | 498 | NA | 11.7 | 0.2 | NA | NA |
| ' <i>M. charruana</i> ' | Laguna Altata, Navolato (i) | 24.8 | 67 | NA | NA | NA | 5.2 | 6.3 | NA | NA |
| ' <i>M. charruana</i> ' | 7 lagunas costeras de Sinaloa (t) | NA | NA | NA | NA | NA | 8.3–17.1 | 0.7–1.9 | NA | NA |
| ' <i>M. charruana</i> ' | 3 lagunas costeras de Sinaloa (u) | NA | NA | NA | NA | NA | 0.2–0.4 | 0.06–0.2 | NA | NA |
| ' <i>M. charruana</i> ' | Laguna de Urías, Mazatlán (s) | NA | NA | NA | NA | NA | 0.1 | 0.02 | 1.6 | NA |
| Almeja chocolata del género <i>Megapitaria</i> | | | | | | | | | | |
| ' <i>M. squalida</i> ' | Laguna Altata, Navolato (i) | 9.2 | 92.7 | NA | NA | NA | 7.7 | 3.2 | NA | NA |
| ' <i>M. squalida</i> ' | Laguna Navachiste, Guasave (v) | 7.8 | 55.2 | NA | NA | 0.7 | NA | 3.7 | NA | NA |
| ' <i>M. squalida</i> ' | 2 lagunas costeras de Sinaloa (w) | 5.8 | 49.1 | NA | NA | 0.3 | 5.6 | 2.4 | 0.1 | 4.4 |
| Callo de hacha del género <i>Atrina</i> | | | | | | | | | | |
| ' <i>A. maura</i> ' | Laguna Macapule, Guasave (x) | 11.9 | 485.6 | NA | NA | 0.06 | 3.3 | 26.3 | 1.2 | 2.6 |

Claves: (a) Páez-Osuna et al., 1988; (b) Páez-Osuna & Marmolejo-Rivas, 1990; (c) Páez-Osuna, Zazueta-Padilla & Izaguirre-Fierro, 1991; (d) Páez-Osuna et al., 1993; (e) Frías-Espéricueta, Ortiz-Arellano, Osuna-López & Ronson-Paulin, 1999; (f) Soto-Jiménez et al., 2001; (g) Páez-Osuna, Ruiz-Fernández, Botello, Ponce-Vélez, Osuna-López, Frías-Espéricueta, López-López & Zazueta-Padilla, 2002; (h) Frías-Espéricueta et al., 2005; (i) Frías-Espéricueta, Osuna-López, Voltolina, López-López, Izaguirre-Fierro & Muy-Rangel, 2008; (j) Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna, 2008; (k) Frías-Espéricueta et al., 2009; (l) Osuna-Martínez, Páez-Osuna & Alonso-Rodríguez, 2010; (m) Osuna-Martínez, Páez-Osuna & Alonso-Rodríguez, 2011; (n) Bergés-Tiznado, Páez-Osuna, Notti & Regoli, 2013; (o) Páez-Osuna & Osuna-Martínez, 2015; (p) Góngora-Gómez et al., 2017; (q) Jonathan et al., 2017; (r) Muñoz-Sevilla et al., 2017; (s) Ruiz-Fernández et al., 2018; (t) Osuna-López, Frías-Espéricueta, López-López, Zazueta-Padilla, Izaguirre-Fierro, Páez-Osuna, Ruiz-Fernández & Voltolina, 2009; (u) Astorga-Rodríguez et al., 2018; (v) Delgado-Álvarez et al., 2019; (w) Sepúlveda, Góngora-Gómez, Álvarez-Pérez, Rodríguez-González, Muñoz-Sevilla, Villanueva-Fonseca, Hernández-Sepúlveda & García-Ulloa, 2020; (x) Góngora-Gómez, Domínguez-Orozco, Villanueva-Fonseca, Muñoz-Sevilla & García-Ulloa, 2018; NA, No analizado.

Pero dicha preocupación aumenta cuando los organismos son destinados para consumo humano, constituyendo eventualmente un riesgo para la salud pública (Frías-Espéricueta, Osuna-López, Izaguirre-Fierro, Aguilar-Juárez & Voltolina, 2010). Por costumbre histórica, los bivalvos son consumidos crudos en todo el mundo, principalmente, por las comunidades que habitan en las costas, como sucede en Sinaloa (Morán-Angulo & Flores-Campaña, 2015; Sotelo, Sánchez, García, Góngora, Salcido, Arzola & Sepúlveda, 2019). Aunque el consumo *per cápita* de ostiones en México es bajo, 0.19 kg/persona/año = 0.52 g/persona/día (CONAPESCA, 2017), en las comunidades costeras existen consumidores habituales de ostión; considerados como los más propensos a un posible riesgo en la salud (Frías-Espéricueta, Osuna-López, Bañuelos-Vargas, López-López, Muy-Rangel, Izaguirre-Fierro, Rubio-Carrasco, Meza-Guerrero & Voltolina, 2009).

Además, en la mayoría de las lagunas costeras de Sinaloa, las concentraciones de algunos MP (como el Cd y Pb) en bivalvos, son más altas que los valores de los límites máximos permisibles propuesto por la Norma Oficial Mexicana 'NOM-242-SSA1' (Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, 2009), lo cual, se convierte en una prioridad en salud pública, por los posibles efectos en la fisiología humana, incluyendo, la aparición de cánceres de diversos tipos (Shih, Hu, Weisskopf & Schwartz, 2007; Pérez & Azcona, 2012).

Esta perspectiva de preocupación general que afecta a las comunidades costeras de Sinaloa, puede ser equiparable para muchas otras asentadas a lo largo de las costas mexicanas en las que, por ejemplo, industrias de producción alimentaria (o de otro tipo que genere desechos en los que se encuentren MP, como la minería), colindan y ejercen influencia sobre los cuerpos de agua estuarinos, que son sustentos esenciales y primarios en la procuración de alimentos para los pescadores ribereños.

Conclusiones

Como se ha señalado, existen estudios que indican altos niveles de metales pesados (MP) en las lagunas costeras de Sinaloa y en sus componentes biológicos, como los moluscos bivalvos, los cuales, son valiosos testimonios científicos que proporcionan referencias para futuros estudios. Sin embargo, aún existen localidades costeras y estuarinas en las que son inexistentes este tipo de estudios. Por lo tanto, de manera inmediata, son necesarias estrategias que permitan vigilar, difundir y aplicar herramientas de sanidad y prevención integralmente, considerando todos los actores involucrados.

Lo anterior, para proponer una guía de producción, explotación, consumo y salubridad sustentable para el ambiente, el desarrollo industrial y para asegurar la salud humana. Un excelente inicio sería la implementación de un programa continuo de bio-monitoreo ambiental, que incluya la determinación de MP en el agua costera-marina, los sedimentos (incluir análisis granulométricos) y en los organismos que conforman los diferentes niveles tróficos. La información obtenida de este programa se puede utilizar para generar planes de prevención y mitigación de la contaminación por MP en las costas sinaloenses.

Al mismo tiempo, y para prevenir un problema de salud, sería necesario realizar entrevistas para estimar el consumo real de bivalvos en la región costera de Sinaloa -que representen datos adicionales al consumo *per cápita* de bivalvos en México- y utilizarlos en cálculos que evalúan el riesgo humano por consumir bivalvos contaminados con MP, como el coeficiente de peligrosidad (HQ, "Hazard Quotient") y el índice de riesgo (HI, "Hazard Index"). Los resultados de dichos factores servirían para regular las dosis de consumo por edad, género y peso corporal (Astorga-Rodríguez, Martínez-Rodríguez, García-de la Parra, Betancourt-Lozano, Vanegas-Pérez, Ponce de León-Hill & Ruelas-Inzunza, 2018; Frías-Espéricueta, Vargas-Jiménez, Ruelas-Inzunza, Osuna-López, Aguilar-Juárez, Bautista-Covarrubias & Voltolina, 2018; Ruiz-Fernández, Wu, Lau, Pérez-Bernal, Sánchez-Cabeza & Chiu, 2018; Delgado-Alvarez, Ruelas-Inzunza, Escobar-Sánchez, Covantes-Rosales, Pineda-Pérez, Osuna-Martínez, Aguilar-Juárez, Osuna-López, Voltolina & Frías-Espéricueta, 2019).

Otras soluciones serían: identificar las lagunas costeras más impactadas y el efecto que la temporada de lluvia ejerce en el aumento significativo de algunos de estos elementos en los tejidos de los bivalvos (silvestres o de cultivo), para regular su consumo en la (s) época (s) del año más apropiada (s). Aunque su aporte es limitado, la depuración de los bivalvos sería una práctica obligatoria antes de ofrecerse al consumidor.

También, es importante realizar exámenes médicos a las poblaciones costeras para determinar si existe presencia de MP en su cuerpo y tomar las medidas pertinentes para mantener una buena salud. Aunque los efectos tóxicos de los MP en humanos no se detectan fácilmente a corto plazo, si puede haber una incidencia muy importante a mediano y largo plazo.

Por su parte, las prácticas agrícolas deberían reducir tanto el uso como las dosis de agroquímicos (principalmente, aquellos prohibidos en México) y procurar, junto con el rubro científico, la creación de fertilizantes orgánicos (Oliva-Ortiz, Velázquez-Alcaraz, Sosa-Pérez, Partida-Ruvalcaba, Díaz-Valdés, Arciniega-Ramos & López-Orona, 2017) y eficientes controladores biológicos de plagas (Alarcón, 2020). También, es necesario estimar los factores de emisión de MP provenientes de la agricultura de Sinaloa (1,117,703 ha), como lo realizaron Jara-Marini, Molina-García, Martínez-Durazo & Páez-Osuna (2020) para el Valle del Yaqui, Sonora (230,000 ha), el cual, emite de 2,277 a 6,164 kg de Zn y 10,465 kg de Cu anualmente.

Lo anterior, en concordancia con programas de gobierno para apoyar dichas investigaciones y prácticas que dirijan sus esfuerzos al cuidado, mejoramiento y conservación de las actividades productivas, al igual que el medio ambiente y salud pública de las comunidades que habitan las zonas costeras del Estado.

Referencias

- AARC (Asociación de Agricultores del Río Culicán).** (2012). *Por un campo limpio*. Autor: Fundación PRODUCE Sinaloa A.C. Consultado el 18 de junio del 2020 en «<http://esh30.esoft.com.mx/Sistema/include/Archivos/58/69/Adjuntos/A1P586920121163347171.pdf>»
- Alarcón, I.S.** (2020). Evaluación del control biológico, etológico y químico de '*Neoleucinodes elegantalis*' en tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Revista Ambientellania*, 3(1): 31-40. Recuperado de «<http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ambientellania/article/view/888>»
- Astorga-Rodríguez, J.E.; Martínez-Rodríguez, I.E.; García-de la Parra, L.M.; Betancourt-Lozano, M.; Vanegas-Pérez, R.C.; Ponce de León-Hill, C.A. & Ruelas-Inzunza, J.** (2018). Lead and cadmium levels in mussels and fishes from three coastal ecosystems of NW Mexico and its potential risk due to fish and seafood consumption. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 10(3): 203-211. DOI «<https://doi.org/10.1007/s13530-018-0365-1>»
- Bergés-Tiznado, M.E.; Páez-Osuna, F.; Notti, A. & Regoli, F.** (2013). Biomonitoring of arsenic through mangrove oyster (*Crassostrea corteziensis* Hertlein, 1951) from coastal lagoons (SE Gulf of California): occurrence of arsenobetaine and other arseno-compounds. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(9): 7459-7468. DOI «<https://doi.org/10.1007/s10661-013-3112-8>»
- Burioli, E.A.V.; Squadrone, S.; Stella, C.; Fogliani, C.; Abete, M.C. & Prearo, M.** (2017). Trace element occurrence in the Pacific oyster '*Crassostrea gigas*' from coastal marine ecosystems in Italy. *Chemosphere*, 187: 248-260. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.102>»
- Carvalho, F.P.; Fowler, S.W.; Gonzalez-Farias, F.; Mee, L.D. & Readman, J.W.** (1996). Agrochemical residues in the Altata-Ensenada del Pabellon coastal lagoon (Sinaloa, Mexico): a need for integrated coastal zone management. *International Journal of Environmental Health Research*, 6(3): 209-220. DOI «<https://doi.org/10.1080/09603129609356892>»
- Castillo, K.** (2019, marzo 21). México usa 111 plaguicidas que en otros países ya están prohibidos para cultivar papa, maíz, limón... *sinembargo.mx* [Website]. Consultado el 11 de junio del 2020 en «<https://www.sinembargo.mx/21-03-2019/3553456>»
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca).** (2017). Estadísticas de Producción Pesquera. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola - CONAPESCA* [Website]. Consultado el 25 de abril del 2020 en «https://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/estadisticas_de_produccion_pesquera»
- Defarge, N.; Spiroux de Vendômois, J. & Séralini, G.E.** (2018). Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, 5: 156-163. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.12.025>»
- Delgado-Alvarez, C.; Ruelas-Inzunza, J.; Escobar-Sánchez, O.; Covantes-Rosales, R.; Pineda-Pérez, I.B.; Osuna-Martínez, C.C.; Aguilar-Juárez, M.; Osuna-López, J.I.; Voltolina, D. & Frías-Espicueta, M.G.** (2019). Metal concentrations in age-groups of the clam, '*Megapitaria squalida*', from a coastal lagoon in Mexico: a human health risk assessment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 103(6): 822-827. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00128-019-02723-w>»
- Félix-Gastélum, R.; Lizárraga-Sánchez, G.J.; Maldonado-Mendoza, I.E.; Leyva-Madrigal, K.Y.; Herrera-Rodríguez, G. & Espinoza-Matías, S.** (2018). Confirmation of the identity of '*Exserohilum turcicum*', causal agent of maize leaf blight in Sinaloa. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(3): 468-478. DOI «<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1803-1>»
- Flores Campaña, L.M.; Arzola-González, J.F.; Ramírez-Soto, M. & Osorio-Pérez, A.** (2012). Repercusiones del cambio climático global en el estado de Sinaloa, México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 21(1): 115-129. DOI «<https://doi.org/10.15446/rcdg.v21n1.25562>»

- Frías-Espéricueta, M.G.; Ortiz-Arellano, M.A.; Osuna-López, J.I. & Ronson-Paulin, J.A.** (1999). Heavy metals in the rock oyster '*Crassostrea iridescens*' (Filibranchia: Ostreidae) from Mazatlan, Sinaloa, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 47(4): 843-849. Consultado in «https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77441999000400021&script=sci_abstract»
- Frías-Espéricueta, M.G.; Osuna-López, I.; Bañuelos-Vargas, I.; López-López, G.; Muy-Rangel, M.D.; Izaguirre-Fierro, G.; Rubio-Carrasco, W.; Meza-Guerrero, P.C. & Voltolina, D.** (2009). Cadmium, copper, lead and zinc contents of the mangrove oyster, '*Crassostrea corteziensis*', of seven coastal lagoons of NW Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(4): 595-599. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00128-009-9828-z>»
- Frías-Espéricueta, M.G.; Osuna-López, J.I.; Flores-Reyes, S.; López-López, G. & Izaguirre-Fierro, G.** (2005). Heavy metals in the oyster '*Crassostrea corteziensis*' from Urias Lagoon, Mazatlán, Mexico, associated with different anthropogenic discharges. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(5): 996-1002. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00128-005-0678-z>»
- Frías-Espéricueta, M.G.; Osuna-López, J.I.; Izaguirre-Fierro, G.; Aguilar-Juárez, M. & Voltolina, D.** (2010). Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios. *CICIMAR Océánides*, 25(2): 121-134. Recuperado de «<https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/795/1/Frias-M.pdf>»
- Frías-Espéricueta, M.G.; Osuna-López, J.I.; Voltolina, D.; López-López, G.; Izaguirre-Fierro, G. & Muy-Rangel, M.D.** (2008). The metal content of bivalve molluscs of a coastal lagoon of NW Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(1): 90-92. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00128-007-9322-4>»
- Frías-Espéricueta, M.G.; Vargas-Jiménez, A.; Ruelas-Inzunza, J.; Osuna-López, I.; Aguilar-Juárez, M.; Bautista-Covarrubias, J.C. & Voltolina, D.** (2018). Total mercury in the mangrove oyster '*Crassostrea corteziensis*' of the subtropical Urias Lagoon (NW Mexico). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18: 853-858. DOI «https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_7_03»
- García-de la Parra, L. M.; Cervantes-Mojica, L.J.; González-Valdivia, C.; Martínez-Cordero, F.J.; Aguilar-Zárata, G.; Bastidas-Bastidas, P. & Betancourt-Lozano, M.** (2012). Distribution of pesticides and PCBs in sediments of agricultural drains in the Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 63(3): 323-336. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00244-012-9780-5>»
- García-Gutiérrez, C. & Rodríguez-Meza, G.D.** (2012). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8(3): 1-10. Recuperado de «<https://www.redalyc.org/pdf/461/46125177005.pdf>»
- García-Salazar, J.A.; Borja-Bravo, M. & Rodríguez-Licea, G.** (2018). Consumo de fertilizantes en el sector agrícola de México: un estudio sobre los factores que afectan la tasa de adopción. *Interciencia*, 43(7): 505-510. Recuperado de «https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/07/505-GARCIA-SALAZAR-43_07.pdf»
- Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.** (2009). *Norma Oficial Mexicana 'NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba'*. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Gobernación (SEGOB); Secretaría de Salud (SSA). México. Consultado en «<https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4295/salud2a/salud2a.htm>»
- Gómez-Arroyo, S.; Martínez-Valenzuela, C.; Calvo-González, S.; Villalobos-Pietrini, R.; Waliszewski, S.M.; Calderón-Segura, M.E.; Martínez-Arroyo, A.; Félix-Gastélum, R. & Lagarda-Escarrega, A.** (2013). Assessing the genotoxic risk for Mexican children who are in residential proximity to agricultural areas with intense aerial pesticide applications. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3): 217-225. Recovered from «<https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n3/v29n3a8.pdf>»
- Góngora-Gómez, A.M.; Domínguez-Orozco, A.L.; Villanueva-Fonseca, B.P.; Muñoz-Sevilla, N.P. & García-Ulloa, M.** (2018). Seasonal levels of heavy metals in soft tissue and muscle of the pen shell '*Atrina maura*' (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Pinnidae) from a farm in the southeastern coast of the Gulf of California, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1): 57-68. DOI «<http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.05>»
- Góngora-Gómez, A.M.; García-Ulloa, M.; Muñoz-Sevilla, N.P.; Domínguez-Orozco, A.L.; Villanueva-Fonseca, B.P.; Hernández-Sepúlveda, J.A. & Ortega Izaguirre, R.** (2017). Heavy-metal contents in oysters ('*Crassostrea gigas*') cultivated on the southeastern coast of the Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica*, 27(2): 219-227. DOI «<https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcb/s/hidro/2017v27n2/Garcia>»
- Hatje, V.** (2016). Biomonitoring. In: Kennish, M.J. (eds); *Encyclopedia of Estuaries* (Encyclopedia of Earth Sciences Series). Dordrecht: Springer. DOI «https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_140»
- Hossen, M.F.; Hamdan, S. & Rahman, M.R.** (2015). Review on the risk assessment of heavy metals in Malaysian clams. *The Scientific World Journal*, 2015: 905497. DOI «<https://doi.org/10.1155/2015/905497>»
- Ibarra Ceceña, M.G. & Miranda Bojórquez, E.** (2012). Contaminación por agroquímicos del agua superficial del Valle del Carrizo, Sinaloa, a través de drenaje agrícola con descargas al Golfo de California. En: Martínez Ruiz, R.; Ramírez Valverde, B. & Rojo Martínez, G.E. (Coord.); *Recursos Naturales y Contaminación Ambiental* (pp. 281-296). Ciudad de México: Universidad Autónoma Indígena de México. Recuperado de «<https://acortar.link/kSI3uH>»

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2010). *Guía técnica para los cultivos del área de influencia del campo experimental Valle del Yaqui*. Consultado el 25 de febrero de 2020, «<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3246/TecnologiasExitosasINIFAPNoroeste.pdf?sequence=1>»

Jara-Marini, M.E.; Molina-García, A., Martínez-Durazo, Á. & Páez-Osuna, F. (2020). Trace metal trophic transference and biomagnification in a semiarid coastal lagoon impacted by agriculture and shrimp aquaculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5): 5323-5336. DOI «<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06788-2>»

Jonathan, M.P.; Muñoz-Sevilla, N.P.; Góngora-Gómez, A.M.; Luna Varela, R.G.; Sujitha, S.B.; Escobedo-Urías, D.C.; Rodríguez-Espinosa, P.F. & Campos Villegas, L.E. (2017). Bioaccumulation of trace metals in farmed pacific oysters '*Crassostrea gigas*' from SW Gulf of California coast, Mexico. *Chemosphere*, 187: 311-319. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.098>»

Karam Quiñones, C. (2002). *Los agroquímicos: una perspectiva jurídica-ambiental; análisis del caso Sinaloa* (p. 404). Culiacán, Sinaloa; México: Universidad Autónoma de Sinaloa; El Colegio de Sinaloa.

Ley-Quiñónez, C.; Zavala-Norzagaray, A.A.; Espinosa-Carreón, T.L.; Peckham, H.; Marquez-Herrera, C.; Campos-Villegas, L. & Aguirre, A.A. (2011). Baseline heavy metals and metalloids values in blood of loggerhead turtles ('*Caretta caretta*') from Baja California Sur, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 62(9): 1979-1983. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.022>»

Leyva Morales, J.B.; García de la Parra, L.M.; Bastidas Bastidas, P.J.; Astorga Rodríguez, J.E.; Bejarano Trujillo, J.; Cruz Hernández, A.; Martínez Rodríguez, I.E. & Betancourt Lozano, M. (2014). Uso de plaguicidas en un valle agrícola tecnificado en el noroeste de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3): 247-261. Recuperado de «<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37031522002>»

Li, Y.; Ye, F.; Wang, A.; Wang, D.; Yang, B.; Zheng, Q.; Sun, G. & Gao, X. (2016). Chronic arsenic poisoning probably caused by arsenic-based pesticides: findings from an investigation study of a household. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(1): 133. DOI «<https://doi.org/10.3390/ijerph13010133>»

Luo, Y.; Yao, A.; Tan, M.; Li, Z.; Qing, L. & Yang, S. (2020). Effects of manganese and zinc on the growth process of '*Phytophthora nicotianae*' and the possible inhibitory mechanisms. *PeerJ*, 8: e8613. DOI «<https://doi.org/10.7717/peerj.8613>»

Martínez Valenzuela, C.; Romano Casas, G.; Cuadras Berrelleza, A.A. & Ortega Martínez, L.D. (2019). Plaguicidas, impacto en salud y medio ambiente en Sinaloa (México): implicaciones y retos en gobernanza ambiental. *Trayectorias Humanas Transcontinentales*, (4):103-122. DOI «<http://dx.doi.org/10.25965/trahs.1615>»

Martínez-Valenzuela, C. & Gómez-Arroyo, S. (2007). Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(4): 185-200. Recuperado de «<https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n4/v23n4a4.pdf>»

Melgoza Villagómez, C.M.; León Sicairos, C.R.; López Valenzuela, J.A.; Hernández Espinal, L.A.; Velarde Félix, S. & Garzón Tiznado, J.A. (2018). Presencia de '*Candidatus liberibacter solanacearum*' en '*Bactericera cockerelli*' Sulc asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3): 499-509. DOI «<https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.267>»

Morán-Angulo, R.E. & Flores-Campaña, L.M. (2015). La pesca en Sinaloa: breve historia y búsqueda del episteme. *Ra Ximhai*, 11(3): 57-72. Recuperado de: «<https://www.redalyc.org/pdf/461/46135409005.pdf>»

Muñoz Sevilla, N.P.; Villanueva-Fonseca, B.P.; Góngora-Gómez, A.M.; García-Ulloa, M.; Domínguez-Orozco, A.L.; Ortega-Izaguirre, R. & Campos Villegas, L.E. (2017). Heavy metal concentrations in diploid and triploid oysters ('*Crassostrea gigas*') from three farms on the north-central coast of Sinaloa, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189: 536. DOI «<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6223-9>»

Oliva-Ortiz, L.C.; Velázquez-Alcaraz, T.J.; Sosa-Pérez, R.; Partida-Ruvalcaba, L.; Díaz-Valdés, T.; Arciniega-Ramos, J. & López-Orona, C.A. (2017). Control de la fusariosis vascular del garbanzo ('*Cicer arietinum*' L.) por microorganismos nativos de Sinaloa, México. *Agrociencia*, 51(6): 683-695. Recuperado de «<https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n6/1405-3195-agro-51-06-00683.pdf>»

Ortíz, I.; Avila-Chávez, M.A. & Torres, L.G. (2013). Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 4(1): 26-46. DOI: «<https://doi.org/10.7603/s40682-013-0003-1>»

Osuna-López, J.I.; Frías-Espéricueta, M.G.; López-López, G.; Zazueta-Padilla, H.M.; Izaguirre-Fierro, G.; Páez-Osuna, F.; Ruiz-Fernández, A.C. & Voltolina, D. (2009). Cd, Pb and organochlorine pesticides of '*Mytella strigata*' (Pelecypoda: Mytilidae) of six coastal lagoons of NW Mexico. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 38(2): 233-239. Recovered from «<https://onx.la/faed6>»

Osuna-Martínez, C.C.; Páez-Osuna, F. & Alonso-Rodríguez, R. (2010). Mercury in cultured oysters ('*Crassostrea gigas*' Thunberg, 1793 and '*C. corteziensis*' Hertlein, 1951) from four coastal lagoons of the SE Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85(3): 339-343. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00128-010-0071-4>»

Osuna-Martínez, C.C.; Páez-Osuna, F. & Alonso-Rodríguez, R. (2011). Cadmium, copper, lead and zinc in cultured oysters under two contrasting climatic conditions in coastal lagoons from SE Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87(3): 272-275. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00128-011-0355-3>»

- Otero, N.; Vitòria, L.; Soler, A. & Canals, A.** (2005). Fertiliser characterisation: major, trace and rare earth elements. *Applied Geochemistry*, 20(8): 1473-1488. DOI «<https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2005.04.002>»
- Páez-Osuna, F. & Marmolejo-Rivas, C.** (1990). Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves, '*Crassostrea corteziensis*'. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 45: 538-544. DOI «<https://doi.org/10.1007/BF01700626>»
- Páez-Osuna, F. & Osuna-Martínez, C.** (2011). Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: una revisión sobre los organismos utilizados. *Hidrobiológica*, 21(3): 229-238. Recuperado de «<https://www.redalyc.org/pdf/578/57821483002.pdf>»
- Páez-Osuna, F. & Osuna-Martínez, C.C.** (2015). Bioavailability of cadmium, copper, mercury, lead, and zinc in subtropical coastal lagoons from the southeast Gulf of California using mangrove oysters ('*Crassostrea corteziensis*' and '*Crassostrea palmula*'). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 68(2): 305-316. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00244-014-0118-3>»
- Páez-Osuna, F.; Izaguirre-Fierro, G.; Godoy-Meza, R.I.; González-Farías, F. & Osuna-López, J.I.** (1988). Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: técnicas de extracción y niveles de concentración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 4(1):33-41. Recuperado de «<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/20660>»
- Páez-Osuna, F.; Osuna-López, J.I.; Izaguirre-Fierro, G. & Zazueta-Padilla, H.M.** (1993). Heavy metals in oysters from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 50(5): 696-702. DOI «<https://doi.org/10.1007/BF00194664>»
- Páez-Osuna, F.; Ruiz-Fernández, A.C.; Botello, A.V.; Ponce-Vélez, G.; Osuna-López, J.I.; Frías-Espéricueta, M.G.; López-López, G. & Zazueta-Padilla, H.M.** (2002). Concentrations of selected trace metals (Cu, Pb, Zn), organochlorines (PCBs, HCB) and total PAHs in mangrove oysters from the Pacific Coast of Mexico: an overview. *Marine Pollution Bulletin*, 44(11): 1303-1308. DOI «[https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(02\)00172-8](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(02)00172-8)»
- Páez-Osuna, F.; Zazueta-Padilla, H.M. & Izaguirre-Fierro, G.** (1991). Trace metals in bivalves from Navachiste lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 22(6): 305-307. DOI «[https://doi.org/10.1016/0025-326X\(91\)90809-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(91)90809-7)»
- Pandey, J.; Shubhashish, K. & Pandey, R.** (2009). Metal contamination of Ganga River (India) as influenced by atmospheric deposition. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(2): 204-209. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00128-009-9744-2>»
- Peinado Guevara, V.M.; Peinado Guevara, H.J.; Campista León, S. & Delgado Rodríguez, O.** (2015). Análisis de la producción agrícola y gestión del agua en módulos de riego del distrito 063 de Sinaloa, México. *Estudios Sociales*, 23(46): 114-136. Recuperado de «<https://www.scielo.org.mx/pdf/estsoc/v23n46/v23n46a5.pdf>»
- Pérez García, P.E. & Azcona Cruz, M.I.** (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3): 199-205. Recuperado de «<https://www.redalyc.org/pdf/473/47324564010.pdf>»
- Raven, K.P. & Loeppert, R.H.** (1997). Trace element composition of fertilizers and soil amendments. *Journal of Environmental Quality*, 26(2): 551-557. DOI «<https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600020028x>»
- Rodríguez Ortiz, J.C.; Alcalá Jáuregui, J.A.; Hernández Montoya, A.; Rodríguez Fuentes, H.; Ruiz Espinoza, F.H.; García Hernández, J.L. & Díaz Flores, P.E.** (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4): 695-701. Recuperado de «<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263130476013>»
- Ruelas-Inzunza, J. & Páez-Osuna, F.** (2004). Distribution and concentration of trace metals in tissues of three penaeid shrimp species from Altata-Ensenada del Pabellón Lagoon (S.E. Gulf of California). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 72(3): 452-459. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00128-004-0267-6>»
- Ruelas-Inzunza, J. & Páez-Osuna, F.** (2008). Trophic distribution of Cd, Pb, and Zn in a food web from Altata-Ensenada del Pabellón Subtropical Lagoon, SE Gulf of California. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54: 584-596. DOI «<https://doi.org/10.1007/s00244-007-9075-4>»
- Ruiz-Fernández, A.C.; Wu, R.S.S.; Lau, T.C.; Pérez-Bernal, L.H.; Sánchez-Cabeza, J.A. & Chiu, J.M.Y.** (2018). A comparative study on metal contamination in Estero de Urias lagoon, Gulf of California, using oysters, mussels and artificial mussels: implications on pollution monitoring and public health risk. *Environmental Pollution*, 243(A): 197-205. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.047>»
- Sabiha-Javied, T.; Mehmood, M.M.; Chaudhry, M; Tufail, M. & Irfan, N.** (2009). Heavy metal pollution from phosphate rock used for the production of fertilizer in Pakistan. *Microchemical Journal*, 91(1): 94-99. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.08.009>»
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).** (2016). Agua: consume aparente de plaguicidas. *SEMARNAT – Gobierno de México* [Website]. Consultado el 20 de abril del 2020 de «https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores16/conjuntob/indicador/02_agua/2_2_5.html»

Sepúlveda, C.H.; Góngora-Gómez, A.M.; Álvarez-Pérez, S.; Rodríguez-González, H.; Muñoz-Sevilla, N.P.; Villanueva-Fonseca, B.P.; Hernández-Sepúlveda, J.A. & García-Ulloa Gómez, M. (2020). Trace metals in two wild populations of the squalid callista clam (*Megapitaria squalida*) in the southeastern Gulf of California, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3): 667-676. DOI «<http://dx.doi.org/10.20937/RICA.53565>»

Shih, R.A.; Hu, H.; Weisskopf, M.G. & Schwartz, B.S. (2007). Cumulative lead dose and cognitive function in adults: a review of studies that measured both blood lead and bone lead. *Environmental Health Perspectives*, 115(3): 483-492. DOI «<https://doi.org/10.1289/ehp.9786>»

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. *Cierre de la producción agrícola - Gobierno de México* [Website]. Consultado el 18 de abril del 2020 en «<https://nube.siap.gob.mx/cierreaagricola/>»

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019). *Expectativas agroalimentarias: diciembre 2019* (p. 20). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado el 19 de marzo del 2020 de «https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/533995/EXPECTATIVAS_DICIEMBRE_19.pdf»

Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., & Gupta, R. (2011). Heavy metals and living systems: an overview. *Indian Journal of Pharmacology*, 43(3): 246-253. DOI «<https://doi.org/10.4103/0253-7613.81505>»

Sotelo González, M.I.; Sánchez Cárdenas, R.; García Ulloa, M.; Góngora Gómez, A.M.; Salcido Guevara, L.A.; Arzola González, J.F. & Sepúlveda, C.H. (2019). Las almejas pata de mula (Arcidae) de Sinaloa, México. *Ciencia y Mar*, 23(69): 45-50. Recuperado de «<https://docplayer.es/191776875-Divulgacion-las-almejas-pata-de-mula-arcidae-de-sinaloa-mexico.html>»

Soto-Jiménez, M.; Páez-Osuna, F. & Ruiz-Fernández, A.C. (2003). Geochemical evidences of the anthropogenic alteration of trace metal composition of the sediments of Chiricahueto marsh (SE Gulf of California). *Environmental pollution*, 125(3): 423-432. DOI «[https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(03\)00083-6](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(03)00083-6)»

Stewart, W.M.; Dibb, D.W.; Johnston, A.E. & Smyth, J.T. (2005). The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal*, 97(1): 1-6. DOI «<https://doi.org/10.2134/agronj2005.0001>»

WHO (World Health Organization). (2010, June 01). 10 chemicals of public health concern. *Newsroom – World Health Organization* [Website]. Consulted on 28-Feb-2020 in «<https://www.who.int/news-room/photo-story/photo-story-detail/10-chemicals-of-public-health-concern>»

Zhou, Q.; Zhang, J.; Fu, J.; Shi, J. & Jiang, G. (2008). Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta*, 606(2): 135-150. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.11.018>»



EFECTOS DEL pH Y TEMPERATURA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO

THE pH AND TEMPERATURE EFFECTS IN STABILIZATION PONDS AT A UNIVERSITY CAMPUS

Jennifer Guzmán Pérez¹, Citlali Vianey Cruz Hernández¹, Pamela Torres Castro¹, Verónica Isidra Domínguez Rodríguez², Randy Howard Adams Schroeder³, Eduardo Baltierra Trejo⁴ & Rodolfo Gómez Cruz⁵✉

¹Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). ²Doctora en Ciencias; profesora-investigadora y colaboradora en el Cuerpo Académico de Ciencias Ambientales (CACIAM), en la DACBiología-UJAT. Sus áreas de especialidad son: contaminación ambiental, remediación de suelos, aplicación de biocamas para tratamiento de plaguicidas. ³Doctor en Ciencias; profesor-investigador y colaborador en el CACIAM, en la DACBiología-UJAT. Especialista en: contaminación ambiental, caracterización de sitios contaminados, evaluación de riesgo y remediación de sitios contaminados. ⁴Colaborador en el CACIAM en la DACBiología-UJAT. ⁵Doctor en Biotecnología Ambiental, profesor-investigador y colaborador en el CACIAM de la DACBiología-UJAT.

Centro de Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Tropicales (CICART), División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT): Carretera Federal #180 (Villahermosa-Cárdenas) km 0.5 S/N; entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco; México.

✉ rodolfo.gomez@ujat.mx

0000-0002-9071-4626 0000-0001-9325-0049
 0000-0002-4471-3745

Como referenciar:

Guzmán Pérez, J.; Cruz Hernández, C.V.; Torres Castro, P.; Domínguez Rodríguez, V.I.; Adams Schroeder, R.H.; Baltierra Trejo, E. & Gómez Cruz, R. (2021). Efectos del pH y temperatura en lagunas de estabilización de un campus universitario. *Kuxulkab'*, 27(59): 19-29, septiembre-diciembre. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.4038>

Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx>
<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.4038>

Resumen

Las lagunas de estabilización son reactores bioquímicos complejos y representan una de las alternativas más viables para el tratamiento de aguas residuales en los campus universitarios, ya que requieren bajo costo de operación, poco mantenimiento y pueden usarse como biomaterial didáctico. Se monitoreó *in situ* la calidad del tratamiento de 106,020 m³/día de aguas residuales, por medio de la temperatura y el pH, a tres horas y profundidades diferentes, en el sistema de estabilización del campus de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología), de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), durante 30 días, en los meses de octubre y noviembre del 2019. Dadas las temperaturas máximas registradas de 28 °C y 26 °C en el afluente y efluente, respectivamente, y el pH máximo de 7.4 obtenido, en la laguna anaerobia-facultativa, tendiendo a ser ligeramente ácido por la mañana, este sistema de estabilización requiere mantenimiento para mejorar su eficacia.

Palabras clave: Aguas residuales; Monitoreo; *in situ*; Afluente; Efluente.

Abstract

Stabilization ponds are complex biochemical reactors and represent one of the most viable alternatives for wastewater treatment in university campuses, as they require low cost of operation, low maintenance, and can be used as educational biomaterial. The treatment quality of 106,020 m³/day of wastewater was monitored *in situ* by means of temperature and pH, at three hours and different depths, in the campus stabilization system of the División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología), from the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), for 30 days, in the months of October and November 2019. Due to the maximum temperatures recorded of 28 °C and 26 °C in the affluent and effluent, respectively, and the maximum pH of 7.4 obtained in the anaerobic-facultative lagoon, tending to be slightly acidic in the morning, this stabilization system requires maintenance to improve its effectiveness.

Keywords: Sewage water; Monitoring; *in situ*; Affluent; Effluent.

El agua es un recurso esencial para la vida y la buena salud. Sin embargo, casi todas las actividades del hombre dan como resultado la generación de desechos. Esto es más evidente en el caso del uso del agua, ya que aproximadamente el 80 % del agua termina como aguas residuales (ARs) (Omole, Alade, Emenike, Tenebe, Ogbiye & Ngene, 2017).

En un sentido amplio, las ARs se pueden clasificar en aguas residuales domésticas (también llamadas ARs), ARs industriales y ARs municipales, que es una mezcla de las dos (Emenike, Tenebe, Omole, Ndambuki, Ogbiye & Sojobi, 2015). Las ARs se consideran uno de los principales contaminantes del agua, por lo que cada metro cúbico (m³) de ARs sin tratar puede contaminar seriamente entre 40 y 60 m³ de agua dulce (Alder, Golet, Ibric & Giger, 2000).

Las aguas residuales domésticas son una mezcla compleja de materiales orgánicos e inorgánicos (Emenike, Tenebe, Omole, Ndambuki, Ogbiye & Sojobi, 2015). Las ARs son líquidos cuyas propiedades físicas, químicas o biológicas se modifican ante la presencia de determinados solutos, como resultado de las actividades humanas, y representan un peligro al hombre y al ambiente por su alta concentración de microorganismos patógenos y compuestos tóxicos (Liao, Bai, Huo, Jian, Hu, Zhao & Qu, 2018). Es por eso que su tratamiento es un proceso necesario para eliminar los contaminantes biológicos, químicos y físicos que estén presentes. El objetivo de estos procesos es convertir las ARs en un desecho líquido y sólido (lodo) respetuoso con el medio ambiente que se pueda verter de forma segura en tierra y mar (Galeano & Rojas, 2016).

El término aguas residuales domésticas (ARs) podría significar cualquier agua que nunca más se necesite, ya que supuestamente no se pueden obtener más ventajas de ella. Pero, la reutilización de ARs es una práctica que ha evolucionado y avanzado a lo largo de la historia de la humanidad. Como resultado de la rápida urbanización, existe una mayor demanda y atención a la recuperación y reutilización de ARs (Angelakis & Snyder, 2015).

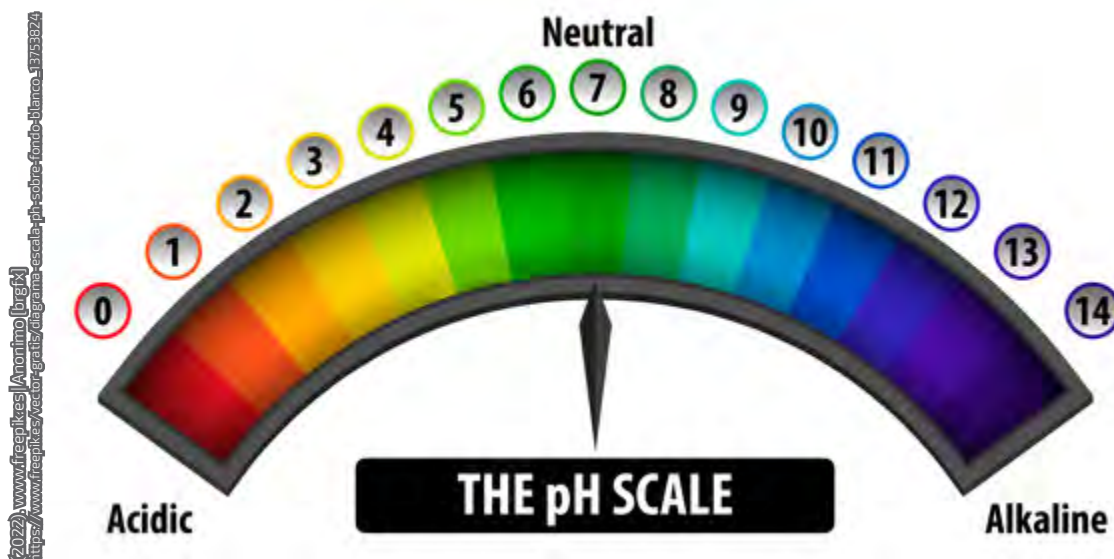
Residuos generados de laboratorios

La Administración de Capacitación en Salud y Seguridad Ocupacional ("Occupational Safety & Health Training, OSHAcademy") curso 757, define un laboratorio como: *un lugar de trabajo en el que se emplean cantidades relativamente pequeñas de productos químicos, cuya base no es la producción*. Abarca instalaciones para enseñanza, ensayos químicos, pruebas clínicas, control de calidad, así como desarrollo de áreas médicas y de ingeniería (OSHAcademy, 2022).

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, 2022) y la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos del Estado de Tabasco (Gobierno del Estado de Tabasco, 2019) establecen que los residuos peligrosos *<son aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contienen agentes infecciosos que le confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio y por tanto, representan un peligro al equilibrio ecológico o el ambiente>* y *<son aquellos que poseen alguna*

«Residuos peligrosos: aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contienen agentes infecciosos que le confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio y por tanto, representan un peligro al equilibrio ecológico o el ambiente»

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos (2022)



de las características Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-infeccioso (CRETIB) que les confieren peligrosidad, así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados con ellos», respectivamente.

Las actividades de laboratorio, originan residuos que provienen de los desechos de procesos de rutina y de los reactivos químicos descartados, los cuales integran hasta un 50 % del total, y demandan, además del costo de adquisición, una inversión para su tratamiento. Estos se desechan porque caducaron, no cumplen especificaciones, se contaminaron durante su manejo, son muestras inservibles, sobrantes de soluciones preparadas, excedentes existentes por la compra excesiva, o se adquirieron para proyectos cancelados e investigadores que ya no trabajan en el laboratorio (Freeman, 1998; OSHAcademy). El daño que estas sustancias pueden causar a la salud humana depende, en primera instancia, de su grado de toxicidad, de los volúmenes generados y de su capacidad de persistencia para alcanzar concentraciones suficientes que causen efectos nocivos, y respecto al impacto ambiental, puede ejercer un efecto contaminante en el suelo, agua superficial y agua subterránea, que conduce a los fenómenos de salinización, lluvia ácida, eutrofización, cambios en el clima, el paisaje y los ecosistemas (Bedient, Rifai & Newell, 1994).

Las instituciones de enseñanza e investigación representan un porcentaje significativo, pero aún no cuantificado en cifras oficiales, del número total de generadores de cantidades pequeñas. Aunque no es posible comparar los residuos peligrosos generados durante las prácticas académicas con los de otros generadores, es innegable que durante el proceso de enseñanza e investigación se producen cientos de diferentes residuos peligrosos por año (Elizondo, 1999).

La División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), cuenta con laboratorios y plantas pilotos de docencia para el pregrado y apoyo al posgrado, donde se realizan prácticas de bioquímica, fisicoquímica, análisis químico, microbiología, entre otras asignaturas. En los laboratorios de investigación científica se desarrollan las líneas de generación y aplicación del conocimiento (LGAC) de los grupos de investigación y cuerpos académicos (CA), y también se apoya al posgrado. Asimismo, están los laboratorios de la Unidad de Vinculación de Productos y Servicios (UVPyS), antes COVINSE (Coordinación de Vinculación y Servicios), (Moguel, Pacheco, Valdez, Gama, Jiménez & Padrón, 2014).

En todos estos sitios se generan residuos y varios de tipo peligroso, dentro de las características <Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-infeccioso (CRETIB)>.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la DACBioI

La División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI-UJAT) desde su creación en 1979, a través del Instituto de Biología, y en 1982 como Escuela de Biología con 80 estudiantes; ha propiciado aguas residuales domésticas (ARs) que se generan a partir de actividades humanas, como consecuencia de los residuos producidos en los sanitarios, cafetería y laboratorios de docencia e investigación científica.

Estás ARs consisten principalmente en heces, orina y sólidos, siendo aproximadamente 99 % de agua (H₂O) y 1 % de sólidos (WWAP, 2017). Estos sólidos orgánicos e inorgánicos, son aproximadamente 70 % (principalmente proteínas, carbohidratos y ácidos grasos) y aproximadamente 30 % (entre arenas, sales y metales) (Arthur, 1986), y pueden abarcar 1x10⁸ a 1x10⁹ microorganismos/L (DNR, 2010), conteniendo concentraciones altas de patógenos (bacterias coliformes) y, además, la presencia de compuestos químicos obtenidos por el hombre y difíciles de biodegradar (Cd²⁺, Cu²⁺, Cr³⁺, Ni²⁺, ³⁺, Pb²⁺ y CN⁻), y contaminantes básicos (pH, T, DBO, entre otros) (Reyes, Laines & Diaz, 2011).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada en la DACBioI, como sistema doméstico para el tratamiento de ARs, con capacidad de 40 m³/día, inició sus operaciones en el año 2005, fue desfasada (300 %) y en desuso por su capacidad de diseño, ya que en 2013 se estaban generando 120 m³/día (Canto & López, 2013).

Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización (LE) o sistemas lagunares, se han usado ampliamente para tratar aguas residuales desde hace 3,000 años (CNA, 2007a; Ochoa, Estrada & Hoch, 2016) y son reactores bioquímicos complejos, donde se toman en cuenta las condiciones ambientales para determinar su forma de operación, más que el tipo de modelo matemático que se emplea para su diseño (Arceivala, Mortens & Siddlandep, 1970); asimismo, es una opción viable para el tratamiento de ARs en países en desarrollo, particularmente las regiones con climas tropicales proporcionan condiciones ambientales que

favorecen la eficiencia en la remoción de contaminantes. Algunas ventajas importantes son: operación sencilla, construcción económica y poco personal (Cortés-Martínez, Treviño-Cansino, Alcorta-García, Sáenz-López & González-Barrios, 2015; Treviño & Cortés, 2016; Cortés, Treviño & Tomasini, 2017).

También, las LE son estanques excavados con el objeto de almacenar agua residual con largos periodos de retención. En estas se realiza un tratamiento por medio de la actividad bacteriana con relaciones simbióticas de algas y otros organismos (Rolim & Rojas, 2000; CNA, 2007b, 2007c). Las LE tienen tres objetivos básicos: a) remoción de la materia orgánica de las ARs; b) remoción de nutrientes: N y P; y c) eliminación de microorganismos patógenos. Según Shelef & Kanarek (1995); Rolim & Rojas (2000); CNA (2007a) y Cortés-Martínez *et al.* (2017), las LE presentan ventajas y desventajas, y el tipo de comunidad biológica que se desarrolla para la eficiencia del tratamiento depende de unos 15 factores, entre ellos la temperatura y el pH.

Las LE se clasifican en cuatro tipos: anaerobias, facultativas, de maduración o pulimento y aerobias de alta tasa; también se clasifican de acuerdo con la función del lugar que ocupan, el propósito del tratamiento y la secuencia de unidades del proceso; el arreglo de lagunas más completo es de tres: anaerobia, facultativa y de maduración (Rolim & Rojas). Las algas junto con las bacterias conforman los dos componentes biológicos principales de las lagunas facultativas (CNA, 2007a).

La mayor parte de la estabilización de las ARs se logra mediante la actividad microbiana, principalmente. Las bacterias anaerobias-facultativas tienen capacidades metabólicas en ausencia y presencia de oxígeno, libres o combinadas para utilizar el nitrato (NO₃⁻) como aceptor final de electrones, por lo tanto, se pueden distribuir en las áreas o zonas donde tengan mayor ventaja competitiva sobre las demás. También, en la maduración o pulimento, se generan altos niveles de pH y oxígeno disuelto debido a la actividad fotosintética de las algas, eliminando patógenos excretados a reducciones de 4-6 unidades logarítmicas de coliformes fecales, 2-4 unidades logarítmicas para virus fecales y 100 % de eliminación de parásitos (Mara, Mills, Pearson & Alabaster, 1992).

Los procesos biológicos más importantes que tienen lugar en las lagunas de maduración o pulimento son: a) oxidación de la materia orgánica por la respiración de las bacterias aerobias, y b) producción fotosintética algal de oxígeno a partir de CO₂.



Fotografía 1. Localización de las lagunas de estabilización en la División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

La población biológica comprende bacterias y algas principalmente, así como protozoarios y rotíferos, en menor medida. Las bacterias que realizan la degradación de la materia orgánica en esta laguna en presencia de oxígeno pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Las algas constituyen la mejor fuente de oxígeno, para mantener las condiciones aerobias, mientras que los protozoarios y rotíferos ayudan a mejorar la calidad del efluente al alimentarse de las bacterias (CNA, 2007a).

Desde el año 2013 se justificaron las LE anaerobia-facultativa y maduración en la DACBiol-UJAT, como una alternativa viable de solución para la eficiencia de depuración y así cubrir el tratamiento de 114 m³/día de aguas residuales en una población de 2,400 alumnos (0.06 m³/estudiante/día) (Canto & López). Las poblaciones estudiantiles de pregrado y posgrado disminuyeron a 1,767 (26.4 %), en el año 2019 y, por lo tanto, la necesidad de tratamiento de aguas residuales también se redujo a 106,020 m³/día. En cuanto al pH, cualquier pequeño cambio en el agua residual significa un gran cambio en este parámetro. Por ejemplo, en

pH 7 hay 10 veces más acidez que pH 8, y en pH 7 hay 100 veces más acidez que en pH 9; por lo tanto, se recomienda ajustar el pH con alta precisión. De acuerdo a las Normas Mexicanas NMX-AA-007- SCFI-2013 y NMX-AA-008-SCFI-2016 (Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, 2014; 2016), los valores de temperatura y pH son un criterio de calidad del agua muy importante, tanto para la protección de la vida acuática, como para las fuentes de abastecimiento de agua potable.

Así, el análisis fisicoquímico de un agua residual es de vital importancia para conocer la magnitud de las cargas que llegan a un cuerpo receptor, permitiendo determinar el tratamiento que se deba efectuar para disminuir la contaminación y evaluar la eficiencia de cualquier planta de tratamiento (Giraldo, 1995).

Supuesto y propósito del estudio

El valor de pH en las lagunas de estabilización (LE) viene determinado, fundamentalmente, por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por bacterias.

| Fecha Año: 2019 día/mes | Hora (h) | N° de muestra | Afluyente (LE anaerobia-facultativa) | | | Efluente (LE de maduración o pulimento) | | |
|-------------------------------|-------------|------------------|---|----|------------|--|----|------------|
| | | | Profundidad (cm) | pH | T (° C) | Profundidad (cm) | pH | T (° C) |
| 08:00 | | 1 | 10 | | | 15 | | |
| | | 2 | 20 | | | 30 | | |
| | | 3 | 30 | | | 45 | | |
| 12:00 | | 1 | 10 | | | 15 | | |
| | | 2 | 20 | | | 30 | | |
| | | 3 | 30 | | | 45 | | |
| 16:00 | | 1 | 10 | | | 15 | | |
| | | 2 | 20 | | | 30 | | |
| | | 3 | 30 | | | 45 | | |

Figura 1. Valores de pH y temperaturas obtenidos en el muestreo de las lagunas de estabilización.

Cuando las lagunas facultativas están operando correctamente, el pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden de 7.5 - 8.5; asimismo, la fotosíntesis depende de la radiación solar. Entonces, el pH de las lagunas facultativas deberá presentar variaciones durante el día y el año, obteniéndose valores de pH más altos a mayor intensidad luminosa.

El objetivo fue monitorear y evaluar el comportamiento de la dinámica de temperatura y pH del sistema de lagunas de estabilización utilizadas en tiempo real para el tratamiento de aguas residuales de la División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT, de acuerdo a las Normas Mexicanas NMX-AA-007-SCFI-2013 y NMX-AA-008-SCFI-2016, durante 30 días, en tres horarios y profundidades diferentes.

Realización del estudio

Tal trabajo se efectuó en las lagunas de estabilización (LE) ubicadas en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), y la cual está localizadas en la Carretera Federal #180 (Villahermosa-Cárdenas) km 0.5 S/N, entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86150 Villahermosa, Tabasco, México (fotografía 1).

Los materiales y equipos que se utilizaron durante las mediciones en el campo fueron los siguientes: tablas de campo, formatos, libreta de anotaciones, lapicero, marcador permanente, cinta adhesiva, jeringa desechable de 10 mL (sin aguja), vaso de precipitado de 100 mL,

guantes desechables, palo de madera de 60 cm de largo, cinta métrica e hilo. Asimismo, un potenciómetro de campo, marca HANNA, modelo HI98128; soluciones Buffers pH 4, 7 y 10, y una piseta con agua destilada.

Procedimiento en el campo. Se prepararon los materiales, equipo e insumos necesarios para la recolección de datos con tomas de muestras (físicoquímico *in situ*) y mediciones de las aguas del afluyente y efluente (a tres profundidades) tres veces al día (08:00, 12:00 y 16:00 horas) y por triplicado (figura 1), del 21 de octubre al 22 de noviembre del 2019; esto para determinar la eficiencia del tratamiento de las ARs que descargan en las LE anaerobias-facultativas y de maduración o pulimento.

Muestreo. Se generó y adaptó el material de muestreo, en un palo de madera y utilizando una cinta métrica, se hicieron marcas en rangos de altura de 10 a 45 cm, con intervalos de 5 cm.

A continuación, se colocó la cinta adhesiva en cada marca y se etiquetó, tomando en cuenta la altura. Posteriormente, se instaló una jeringa desechable de tal forma que el pivote quedara a la altura de 10 cm. Finalmente, se acondicionó un hilo de 60 cm de largo con el soporte del émbolo de la jeringa.

Técnica. Se muestreó el afluyente y el efluente de las lagunas de estabilización (LE) anaerobia-facultativa y maduración en la DACBiol-UJAT, a tres profundidades diferentes (tomando en cuenta el caudal diario).

Se aseguró que el pistón del hule de la jeringa tocará el pivote de la misma. Acto seguido, se introdujo el palo de madera en el afluente de las LE anaerobia-facultativa y maduración a 10 cm y se jaló el hilo para poder obtener la muestra, la cual se transfirió inmediatamente a un vaso de precipitado de 100 mL y se midió el pH con un potenciómetro previamente calibrado. Se repitió la misma operación para las dos profundidades siguientes, tanto del afluente como del efluente de las LE. Los datos obtenidos diariamente y por triplicado, se sumaron y se generaron las medias con la ayuda de una hoja de cálculo electrónica.

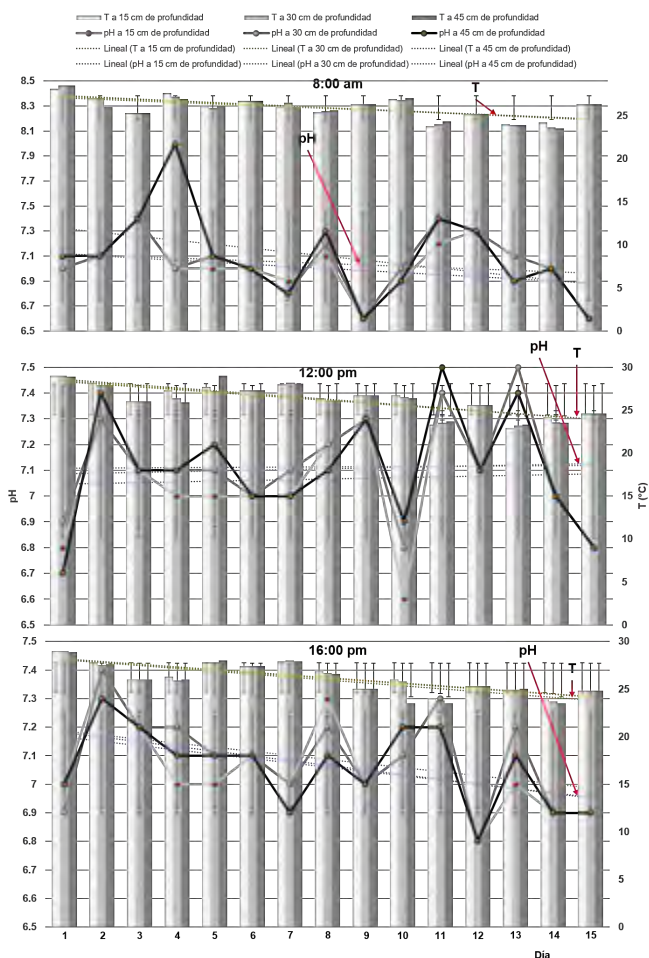
Resultados

Afluente. Los datos obtenidos de 30 días de muestreo durante octubre a noviembre del 2019, por triplicado, a tres horarios y profundidades diferentes, en la laguna de estabilización de tipo anaerobia-facultativa (gráfica 1), generalmente denotan que el pH es directamente proporcional a la temperatura (T). Los valores menores de pH, 7.4 y 7.2 se obtuvieron en los muestreos realizados a las 12:00 y 16:00 horas, respectivamente, donde se registraron habitualmente las menores temperaturas (24 °C).

Por otra parte, se observa que las líneas de tendencias de temperaturas disminuyen en los muestreos realizados durante las 08:00 y 16:00 horas a ritmo constante, contrario a la de temperaturas en los muestreos realizados durante las 12:00 horas (gráfica 1). Asimismo, se observa una fluctuación contraria de la relación de los valores obtenidos de pH y T entre las 08:00 y 16:00 horas, donde la temperatura influye muy poco y sensiblemente en la variación del pH, respectivamente (gráfica 1).

Las muestras del día 11 se detectaron las menores T y los valores de pH tuvieron menores variaciones en los horarios de 12:00 y 16:00 horas, contrario a los obtenidos en el horario de las 08:00 horas (gráfica 1). En las horas diurnas, en este tipo de sistemas se observaron de una manera general diferencias importantes de temperatura y pH con respecto a la profundidad, en donde hubo una disminución promedio hasta de 3.5 °C en 15 días de muestreo (gráfica 1). Sin embargo, el pH tiende a ser un ambiente ácido en las horas de la mañana.

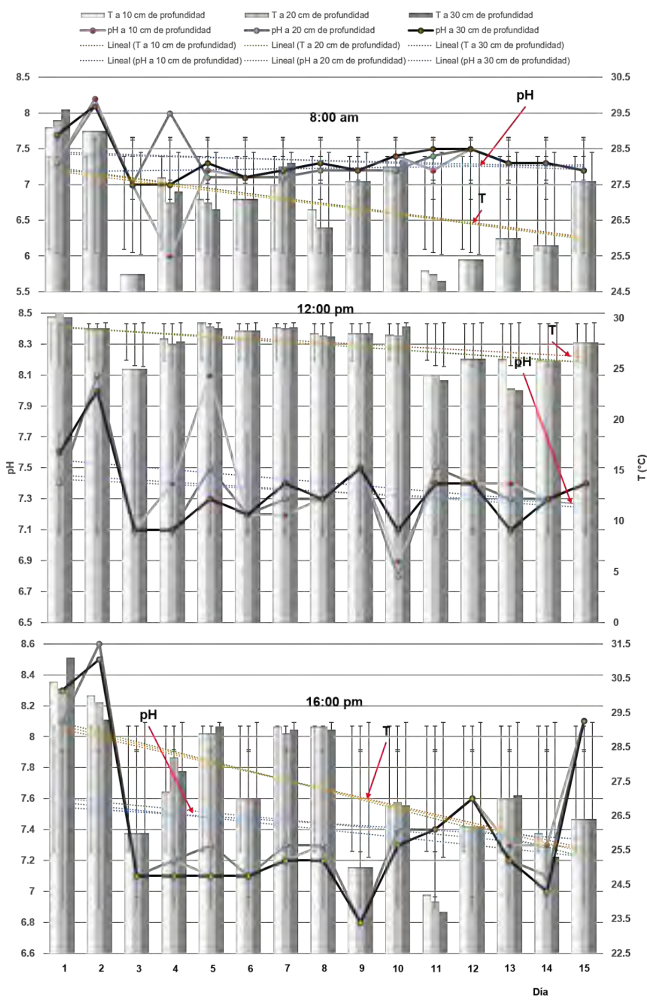
Efluente. De acuerdo con la gráfica 2 se puede observar que la relación pH con la temperatura (T) fueron directamente proporcionales a las 08:00 y 16:00 horas en la laguna de maduración, a excepción de las 12:00 horas, donde la T descendió y el pH aumentó. Sin embargo, las menores temperaturas se registraron en el muestreo de las 16:00



Gráfica 1. Afluente: relación del pH y la temperatura en función de la hora, día y profundidad.

horas, con valores de pH iguales o cercanos a 7, a excepción en el muestreo de las 08:00 horas, donde los valores de pH fueron menores a 7. A mediodía se puede observar también que hubo mucha variación de los valores de pH, a pesar que la T se mantuvo constante.

Finalmente, al comparar los parámetros fisicoquímicos (T y pH) entre el afluente y el efluente (gráfica 3) para el tratamiento de aguas residuales de la DACBiol-UJAT, en función de la hora, día y profundidad, se obtuvieron temperaturas y valores de pH ligeramente mayores en el afluente (7.3-7.4), en comparación con el efluente (7.0). Aunque en el efluente se observaron menores temperaturas y valores de pH (26 °C, 7.0) con respecto al afluente (27-28 °C, 7.3-7.4), pero no se obtuvo mucha variación de temperatura y pH con relación a la



Gráfica 2. Efluente: relación del pH y la temperatura en función de la hora, día y profundidad.

profundidad de donde fueron colectadas las muestras. En el efluente no se observó variación de temperatura y pH en función de las profundidades seleccionadas para la toma de muestras (gráfica 3).

Discusión

Se obtuvieron temperaturas máximas 28 °C en el afluente y 26 °C en el efluente (gráfica 3). Ahsan, Rahman, Kaneco, Katsumata, Suzuki & Ohta (2005) descubrieron que las temperaturas relativamente altas, a más de 40 °C, eran efectivas para la eliminación de sólidos en suspensión (SS) y demanda química de oxígeno (DQO).

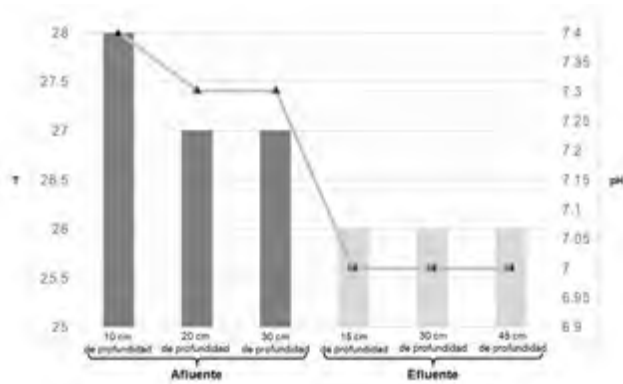
La Norma Mexicana NMX-AA-007- SCFI-2013 (publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de enero del 2014), establece el método de prueba para el cálculo de la temperatura en el intervalo comprendido entre los 10 y 45 °C, cuando se usan instrumentos de medición directa o instrumentos que indican expansiones o fuerzas proporcionales en los cambios de temperatura, en aguas naturales crudas no salinas (epicontinentales, subterráneas y pluviales), en aguas salinas (marinas, costeras, de estuarios, esteros, marismas y subterráneas), aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales.

Las temperaturas elevadas en el agua pueden ser indicadores de actividad biológica, química y física, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes. Sin embargo, el tratamiento anaeróbico es capaz de lograr una alta capacidad de remoción a baja temperatura en el efluente de aguas residuales domésticas. Las lagunas de estabilización (LE) anaerobia-facultativa o afluente y maduración o efluente de la DACBiol-UJAT requieren una mejora en su capacidad para eliminar DQO y SS.

El pH en la laguna anaerobia-facultativa se presentó en un intervalo promedio de 7.3 a 7.4, tendiendo a ser un ambiente ligeramente ácido por la mañana (gráfica 1), este valor de pH podría ser indicador de alteración en el proceso anaeróbico en ciertos instantes. En este sentido, es recomendable mantener un pH en la laguna anaerobia entre 7.3 y 7.6 en las 24 horas del día, para poder minimizar la producción de ácido sulfhídrico (H₂S), dado que la estabilidad de las variables fisicoquímicas que son el producto de la existencia de mayores índices de mezcla en la columna de agua, en las horas nocturnas, pueden generar alta emisión del H₂S a la atmósfera (Correa, Cuervo, Mejía & Aguirre, 2012). El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico.

En la laguna de maduración (efluente), los valores de pH fueron neutros, a diferentes profundidades del muestreo *in situ*. En estas condiciones del tratamiento son totalmente aerobias y el propósito es reducir los coliformes fecales hasta cumplir con la norma de descarga del agua residual tratada a los cuerpos receptores.

Una mayor exposición a la luz solar y el incremento en la concentración de algas implica un aumento en la tasa de remoción de las bacterias fecales y de patógenos (CNA, 2007a). Para descarga de efluentes de tratamiento



Gráfica 3. Comparación de temperatura (barras) y pH (líneas) en las lagunas-facultativas y maduración respectivamente.

secundario, generalmente se estipula el rango de pH 0-9 (Quezadas & Rodríguez, 2009). Un valor de pH 9.2 durante 24 horas puede eliminar el 100 % de '*Escherichia coli*' y gran cantidad de bacterias patógenas (CNA, 2007a).

Podemos decir que el pH promedio obtenido en nuestro trabajo, para condiciones anóxicas, como es el caso de la laguna anaerobia-facultativa, minimiza la producción de H_2S y es casi óptimo para procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación. No obstante, en la laguna de maduración, aunque se alcanzan valores neutros de pH, no se alcanzan valores altos de pH, como lo que recomienda la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2007a) y Cortés *et al.* En consecuencia, no se asegura una eliminación completa de bacterias patógenas.

Conclusión

El tratamiento de aguas residuales en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), por medio del sistema de las lagunas anaerobia-facultativa y de maduración, actualmente requiere una mejora para eliminar sólidos en suspensión (SS) y la demanda química de oxígeno (DQO).

El pH promedio obtenido en nuestro trabajo, para condiciones anóxicas, como es el caso de la laguna anaerobia-facultativa, minimiza la producción de ácido sulfhídrico (H_2S) y es casi óptimo para procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación. El valor de pH ácido podría ser indicador de alteración en el proceso anaerobio en el transcurso de la mañana en la laguna anaerobia-facultativa o afluyente.

No obstante, en la laguna de maduración o pulimento, aunque se alcanzan valores neutros de pH, no se alcanzan valores altos (pH 9.2). En consecuencia, no se asegura una eliminación completa de bacterias patógenas.

Se recomienda establecer un plan de monitoreo *in situ* anual en las lagunas de estabilización (LE), debido a que estos resultados obtenidos se generaron solamente en tiempo de lluvia, y pueden variar en función de la temporada.

Agradecimientos

Al doctor Gaspar López Ocaña, profesor-investigador y responsable del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la DACBiol-UJAT, por las facilidades brindadas en la realización de este trabajo y para tener acceso a las lagunas de estabilización. A todos los estudiantes del grupo FO1 de la asignatura <Análisis Químico Ambiental II>, Licenciatura de Ingeniería Ambiental del ciclo agosto 2019-enero 2020.

Referencias

- Ahsan, S.; Rahman, M.A.; Kaneco, S.; Katsumata, H.; Suzuki, T. & Ohta, K.** (2005). Effect of temperature on wastewater treatment with natural and waste materials. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 7: 198-202. DOI «<https://doi.org/10.1007/s10098-005-0271-5>»
- Alder, A.C., Golet, E.; Ibric, S. & Giger, W.** (2000). Fate of fluoroquinolone antibiotics during municipal wastewater treatment. In: Keith, L.H.; Needham, L.L.; Jones-Lepp, T.L. (Org.); *Issues in the analysis of environmental endocrine disruptors* (Abstracts of Papers of the American Chemical Society, 219th; pp. 103-104). Div. Environ. Chem. Preprint Ext. Abstr.
- Angelakis, A.N. & Snyder, S.A.** (2015). Wastewater treatment and reuse: past, present, and future. *Water*, 7(9): 4887-4895. DOI «<https://doi.org/10.3390/w7094887>»
- Arceivala, S.J.; Mortens, D. & Siddlandep, H.P.** (1970). *Waste stabilization ponds: design, construction & operation in India* (p. 312). Nagpur, India: Central Public Health Engineering Research Institute.

Arthur, J.P. (1986). *Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates of developing countries* (World Bank Technical Paper Numbro 7; p. 106). Washington, D.C.; U.S.A.: The International Bank for Reconstruction and Development - The World Bank. ISBN 0-8213-0137-3. Recovered from «<https://documents1.worldbank.org/curated/en/941141468764431814/pdf/multi0page.pdf>»

Bedient, P.B.; Rifai, H.S. & Newell, C.J. (1994). *Ground water contamination: transport and remediation* (p. 541). U.S.A.: Prentice-Hall International, Inc. ISBN 9780133625929.

Canto Rivera, S. & López Ocaña, G. (2013). Tratamiento de las aguas residuales de la DACBioI-UJAT mediante lagunas de estabilización. *Kuxulkab'*, 19(36): 19-26. DOI «<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n36.333>»

CNA (Comisión Nacional del Agua). (2007a). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales 'lagunas de estabilización'* (p. 172). México: Comisión Nacional del Agua (CNA); Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Consultado de «<https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro27.pdf>»

CNA (Comisión Nacional del Agua). (2007b). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño de lagunas de estabilización* (p. 244). México: Comisión Nacional del Agua (CNA); Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). ISBN 978-968-817-880-5. Consultado de «<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>»

CNA (Comisión Nacional del Agua). (2007c). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: paquetes tecnológicos para el tratamiento de excretas y aguas residuales en comunidades rurales* (p. 188). México: Comisión Nacional del Agua (CNA); Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). ISBN 978-968-817-880-5. Consultado de «<http://www.cecodes.net/manuales/PAQUETES%20TECNOL%C3%93GICOS%20PARA%20EL%20TRATAMIENTO%20DE%20EXCRETAS%20Y%20AGUAS%20RESIDUALES%20EN%20COMUNIDADES%20RURALES.pdf>»

Correa Restrepo, G.; Cuervo Fuentes, H.; Mejía Ruíz, R. & Aguirre, N. (2012). Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia. *Producción + Limpia*, 7(2): 36-51. Recuperado de «<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4333960>»

Cortés Martínez, F.; Treviño Cansino, A. & Tomasini Ortiz, A.C. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización* (p. 128). Jiutepec, Morelos; México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. ISBN 978-607-9368-57-9. Recuperado de «https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf»

Cortés-Martínez, F.; Treviño-Cansino, A.; Alcorta-García, M.A.; Sáenz-López, A. & González-Barrios, J.L. (2015). Optimización en el diseño de lagunas de estabilización con programación no lineal. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(2): 85-100. Recuperado de «<https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n2/v6n2a6.pdf>»

DNR (The Michigan Department of Natural Resources). (2010). *Wastewater Stabilization Lagoons*. Training Manual for Operators.

Elizondo Callejas, L.E. (1999). *Manejo, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos generados en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas de la U.A.N.L.* (Tesis de Maestría en Ciencias con especialidad en ingeniería ambiental). San Nicolás de los Garza, Nuevo León; México: Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de «<https://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/2001>»

Emenike, P.; Tenebe, I.; Omole, D.; Ndambuki, J.; Ogiye, A. & Sojobi, A. (2015). *Application of water recovery option for agricultural use in developing countries: case study of a Nigerian community* (Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development; Humboldt-Universität zu Berlin and the Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF). Recovered from «<https://www.tropentag.de/2015/abstracts/full/490.pdf>»

Freeman, H.M. (1998). *Manual de prevención de la contaminación industrial* (Carreiras M., M. trad.; p. 943). México: McGraw-Hill. ISBN 970-10-1889-3.

Galeano Nieto, L.J. & Rojas Ibarra, V.D. (2016). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez-Santander* (Tesis de Licenciatura en ingeniería civil). Bogota D.C.; Colombia: Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia. Recuperado de «<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13930/4/PROPUESTA%20DE%20DISEÑO%20DE%20UNA%20PTAR%20PARA%20EL%20MUNICIPIO%20DE%20VELEZ%20-SANTANDER..pdf>»

Giraldo Gómez, G.I. (1995). *Manual de análisis de agua* (Trabajo como requisito parcial para optar a la categoría de profesor asistente). Colombia: Facultad de Ciencias y Administración, Departamento de Ciencias; Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de «<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55218>»

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. (2014). *Norma Mexicana 'NMX-AA-007-SCF-2013, Análisis de agua-medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba (cancela la NMX-AA-007-SCFI-2000)'*. Secretaría de Economía. México. Consultado en «http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa007-2014_01.pdf»

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. (2016). *Norma Mexicana 'NMX-AA-008-SCFI-2016, Análisis de agua-medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a la NMX-AA-008SCFI-2011)'*. Secretaría de Economía. México. Consultado en «http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa008-2016_09.pdf»

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. (2022). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (reforma publicada 11-04-2022). Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Gobernación (SEGOB); Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México. Consultado en «<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>»

Gobierno del Estado de Tabasco. (2019). *Reglamento de la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos del Estado de Tabasco* (1ª reforma publicada en el Sup. 'H' al P.O. 8057 de 23 de noviembre de 2019). Villahermosa, Tabasco; México. Recuperado de «<https://tabasco.gob.mx/leyes/descargar/1/1010>»

Liao, K.; Bai, Y.; Huo, Y.; Jian, Z.; Hu, W.; Zhao, C.; Qu, J. (2018). Integrating microbial biomass, composition and function to discern the level of anthropogenic activity in a river ecosystem. *Environment International*, 116: 147-155. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.003>»

Mara, D.D.; Mills, S.W.; Pearson, H.W. & Alabaster, G.P. (1992). Waste stabilization ponds: a viable alternative for small community treatment systems. *Water and Environment Journal*, 6(1): 72-78. DOI «<https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1992.tb00740.x>»

Moguel Ordoñez, E.J.; Pacheco Figueroa, C.J.; Valdez Leal, J.D.; Gama Campillo, L.M.; Jiménez Pérez, N.C. & Padrón López, R.M. (2014). La COVINSE: una propuesta universitaria de modelo organizativo para la aplicación de la investigación. *Kuxulkab'*, 20(38): 29-34, enero-junio. Recuperado de «<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/1061>»

Ochoa, M.P.; Estrada, V. & Hoch, P.M. (2016) Wastewater stabilization pond system: parametric and dynamic global sensitivity analysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(44): 11403-11416. DOI «<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b02841>»

Omole, D.O.; Alade, O.O., Emenike, P.C.; Tenebe, I.T.; Ogbiye, A.S. & Ngene, B.U. (2017). Quality assessment of a university campus wastewater resource. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 216: 193-201. DOI «<https://www.doi.org/10.2495/WS170181>»

OSHAcademy (Occupational Safety & Health Training). (2022). *OSHAcademy Course 757 Study Guide: Laboratory Safety* (p. 85). Beaverton, Oregon; U.S.A.: Geigle Safety Group, Inc. Recovered from «<https://www.oshatrain.org/courses/studyguides/757studyguide.pdf>»

Quezadas Barahona, M. & Rodríguez Rodríguez, E. (2009). Evaluación tecnológica de lagunas de estabilización de Cárdenas, Tabasco. *Kuxulkab'*, 16(29): 47-55, julio-diciembre. DOI «<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a16n29.428>»

Reyes Osorio, J.; Laines Canepa, J.R. & Diaz Paz, R.C. (2011). Caracterización y propuesta de tratamiento de las aguas residuales generadas en la División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT. *Kuxulkab'*, 17(32): 61-70, enero-junio. DOI «<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a17n32.377>»

Rolim Mendonça, S. & Rojas Orozco, G. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego* (p. 370). Santafé de Bogotá; Colombia: McGraw-Hill. ISBN 978-607-9368-57-9.

Shelef, G. & Kanarek, A. (1995). Stabilization ponds with recirculation. *Water Science & Technology*, 31(12): 389-397. DOI «<https://doi.org/10.2166/wst.1995.0507>»

Treviño Cansino, A. & Cortés Martínez, F. (2016). Método de diseño reducido para lagunas de estabilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4): 729-742. Recuperado de «http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000400729&lng=es&tlng=es»

WWAP (World Water Assessment Programme). (2017). *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las Naciones Unidas 2017 'Las aguas residuales: el recurso desaprovechado'* (resumen ejecutivo; p. 12). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO); Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) de las Naciones Unidas. Recuperado de «https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa»



EL ANÁLISIS DE DATOS DE COVID-19: UN INCENTIVO PARA EL DESARROLLO DE HERRAMIENTAS CON R

COVID-19 DATA ANALYSIS: AN INCENTIVE FOR TOOL DEVELOPMENT WITH R

Sergio Ramos Herrera^{1✉} & Jesús Manuel Carrera Velueta²

¹Licenciado en física y Maestro en Ingeniería y Protección Ambiental por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Profesor de la licenciatura en Ingeniería Ambiental y la Maestría en Ingeniería, Tecnología y Gestión Ambiental. Ha impartido cursos de *RStudio* a estudiantes y profesores en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio) de la UJAT. ²Licenciado en Computación por la UJAT y Maestro en Inteligencia Artificial por la Universidad Veracruzana (UV). Profesor de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental y la Maestría en Ingeniería, Tecnología y Gestión Ambiental en la DACBio-UJAT.

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT): Carretera Federal #180 (Villahermosa-Cárdenas) km 0.5 S/N; entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco; México.

✉ sergiorhe@hotmail.com

¹ 0000-0001-6618-0452 ² 0000-0001-6707-183X

Como referenciar:

Ramos Herrera, S. & Carrera Velueta, J.M. (2021). El análisis de datos de COVID-19: un incentivo para el desarrollo de herramientas con R. *Kuxulkab'*, 27(59): 31-44, septiembre-diciembre. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.4046>

Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx>
<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.4046>

Resumen

La pandemia de COVID-19 ha generado mucha información que se ha abierto al público en general y para analizar su evolución espacial y temporal se han desarrollado herramientas emergentes. Este trabajo trata de herramientas como los paquetes 'covid19.analytics' y 'COVID19' desarrollados con el software estadístico 'R' y de aplicaciones web basadas en 'R' como 'COVIDiario', 'COVID-19 tracker', entre otras. Estas herramientas visualizan los datos en regiones de interés, facilitando la consulta y seguimiento a investigadores y autoridades de salud. También muestra visualizaciones de los datos en México y Tabasco con la meta de motivar el uso del software 'R'.

Palabras clave: covid19.analytics; Shiny; COVID19 Tracker; Modelo SIR.

Abstract

The COVID-19 pandemic has generated a lot of information that has been opened to the general public and to analyze its spatial and temporal evolution, emerging tools have been developed. This work deals with tools such as the 'covid19.analytics' and 'COVID19' packages developed with 'R' statistical software and R-based web applications such as 'COVIDiario', 'COVID-19 tracker', among others. These tools visualize the data in regions of interest, facilitating consultation and monitoring by researchers and health authorities. It also shows visualizations of the data in Mexico and Tabasco with the goal of motivating the use of the 'R' software.

Keywords: covid19.analytics; Shiny; COVID19 Tracker; SIR Model.

Cuando surgen eventos extraordinarios —como la pandemia de COVID-19, que también pueden ser el caso de contingencias ambientales— que son de interés nacional o internacional, se genera mucha información que gradualmente se pone a disposición del público bajo la bandera de datos abiertos. El objetivo de compartir la información, además de darle transparencia a los eventos, es que los grupos interesados tengan datos confiables para su análisis y si es factible contribuyan al entendimiento del comportamiento espacial y temporal de estos sucesos.

Esto es lo que ha sucedido con la pandemia de COVID-19, se ha generado una gran cantidad de datos. Quizás los más conocidos por la población son la cantidad diaria de casos confirmados, defunciones, recuperados y activos de COVID-19. Esta proliferación de datos ha incentivado el desarrollo de herramientas con diferentes objetivos: almacenar la información en un formato adecuado para su análisis, mantener informada con regularidad a la población sobre la evolución de la pandemia, proporcionar orientación en tiempo real a los tomadores de decisiones y para los modeladores que ayudan a comprender el comportamiento de los datos, etcétera (Heymann, 2020).

Este artículo se derivó de la experiencia ganada en un proyecto desarrollado en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), cuyo objetivo fue la recopilación de datos ambientales y el desarrollo de aplicaciones web dinámicas con el software estadístico <R>. Por tal motivo se centrará en analizar aquellas herramientas que se desarrollaron con este software y el paquete <Shiny> para analizar la evolución de la pandemia de COVID-19. Tres de las razones son: porque estas herramientas son de acceso libre, pueden usarse con fines didácticos o de investigación y se puede acceder a su código fuente y reutilizarse. También se visualizarán los datos correspondientes a México y en particular los de Tabasco con las funciones básicas de <R>. Cada visualización se explica de manera sencilla y se indica el código <R> utilizado para obtenerla.

El objetivo es incentivar a la comunidad estudiantil a incursionar en este tipo de herramientas que en la DACBiol-UJAT es bien conocida por los estudiantes y personal docente.

Porque usar «R»

Una opción para el análisis estadístico de datos en general es el software de estadística <R> (www.r-project.org). Este es un software gratuito y de acceso libre, pero no funciona con una interfaz gráfica de usuario amigable, sino que interactúa con el usuario a través de líneas de comando, es decir, instrucciones que le dicen a <R> que hacer y que se ejecutan una a la vez (figura 1). Esta, tal vez es la razón, por la que muchos asocian el uso de <R> con la programación de rutinas o algoritmos. Aunque tiene un lenguaje propio de programación, su uso no implica tener conocimientos de programación necesariamente.

El programa tiene integrado un conjunto de paquetes básicos (R base) que se cargan de manera automática cuando se instala <R> por primera vez en la computadora. Aquí, un paquete se refiere a una colección de funciones, datos y códigos compilados en lenguaje <R> con relación a un tópico específico.

«Pandemia: epidemia que afecta a gran cantidad de personas y se extiende en gran parte del mundo¹. En 1918, una pandemia de gripe tuvo una mortandad mayor a los 20 millones de personas en el mundo; se ha determinado que fue causada por el virus de 'influenza A' (H1N1) que pudo haber mutado y recientemente emergido; la cepa de H1N1 que fue identificada en 2009 estuvo relacionada con el patógeno de 1918²»

¹Lawrence (2003, p. 457; 2014, p. 419). ²Solomon *et al.* (2013, p. 1)



Pantalla del sitio electrónico de "The R Project for Statistical Computing".

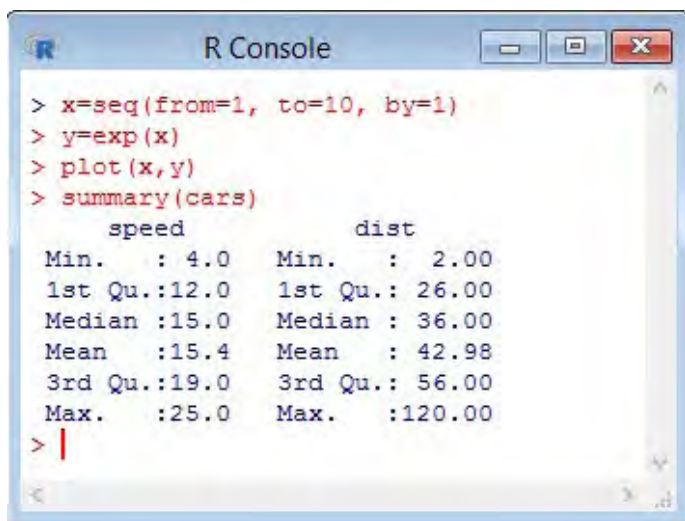


Figura 1. La consola de «R» admite líneas de comando para obtener una gráfica con la función `plot()` y un resumen de datos precalculados con `summary()`.

Por ejemplo, si un usuario quiere un resumen descriptivo de sus datos basta que use la función `summary()` (figura 1). Así que, en realidad, el usuario solo tiene que conocer estas funciones y saber usarlas. Pero si un usuario requiere de un análisis estadístico más complejo, y no solo gráficas o resúmenes estadísticos, entonces puede importar paquetes con funciones estadísticas que han sido desarrollados por la comunidad de usuarios del programa. Muchos han desarrollado paquetes en diversas áreas de la ciencia y están disponibles a través de un repositorio o "Comprehensive R Archive Network 'CRAN'" (sitio de internet para el lenguaje de este software) para nuestro uso. En este contexto se han creado paquetes para el análisis de los datos de COVID-19.

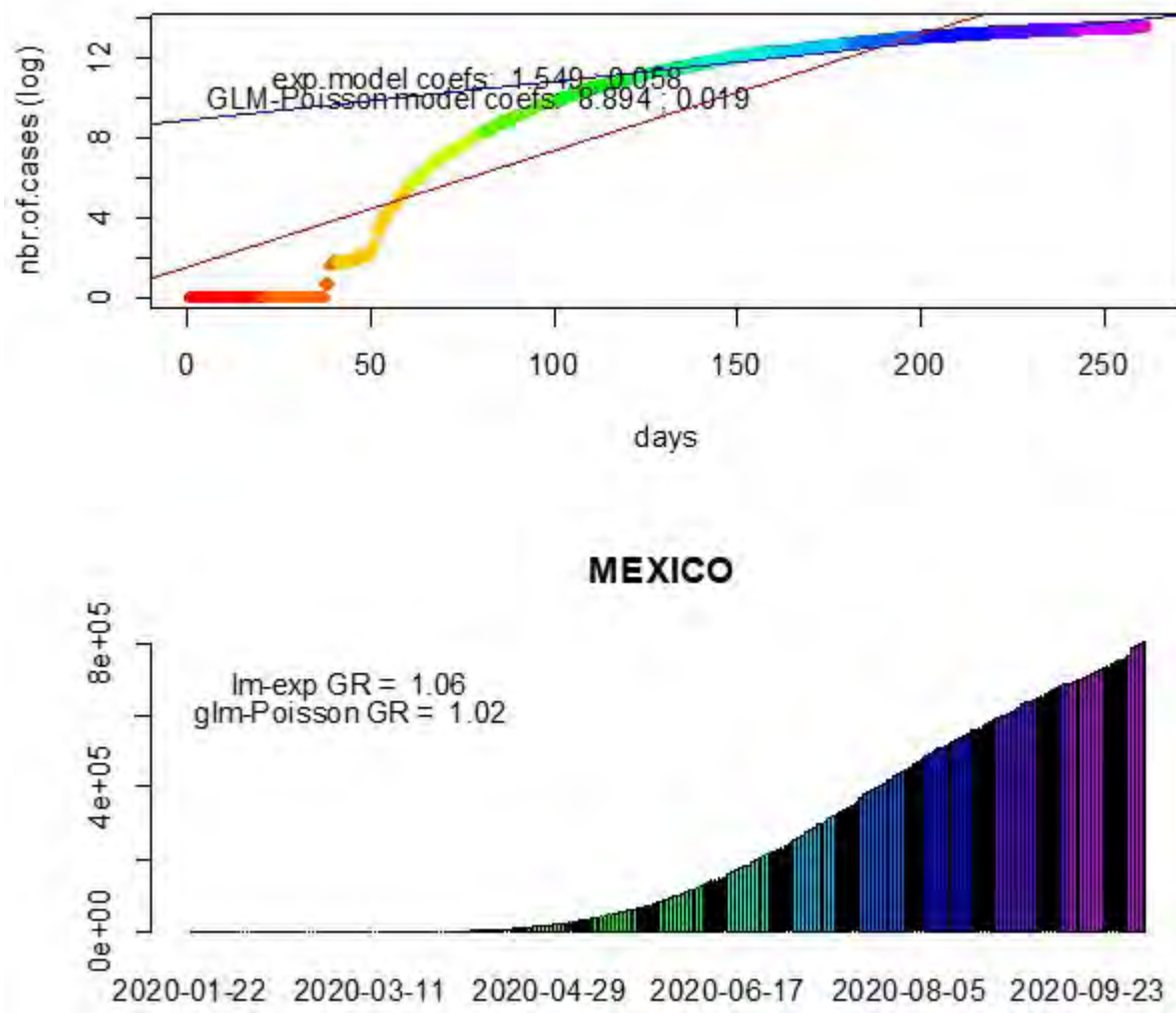
El paquete *covid19.analytics*

El paquete *covid19.analytics* es un paquete de <R> que surgió como una iniciativa para brindar acceso a los datos mundiales más recientes sobre COVID-19 y realizar análisis estadísticos y visualizaciones actualizadas (Ponce & Sandhel, 2020). Este paquete se conecta con el repositorio del Centro de Ciencias e Ingeniería de Sistemas de la Universidad John Hopkins (JHU CSSE, por sus siglas en inglés) (<https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>) que almacena en un formato adecuado para su análisis, los datos recopilados de la pandemia en diversos países incluido México.

Cualquier investigador que use lenguaje <R> puede usar este paquete para analizar datos regionales de COVID-19 si les da el formato o estructura que tienen los datos mundiales importados por *covid19.analytics* . Veamos algunas funciones de este paquete y sus resultados en los siguientes párrafos.

Una de las funcionalidades del paquete es la de obtener resúmenes de los acumulados de los casos (confirmado, recuperado, defunción y activo) a nivel de país. La tabla 1 muestra solo el resumen de los acumulados de casos confirmados de COVID-19 para las 32 entidades federativas de la República Mexicana al 13 de octubre del 2020. Este resumen se obtuvo ejecutando la función `report.summary()` con las siguientes opciones: `report.summary(Nentries=32, geo.loc='Mexico', saveReport=TRUE)`. La ejecución de esta línea no solo produjo el resumen de la tabla, sino también el resumen de los otros casos.

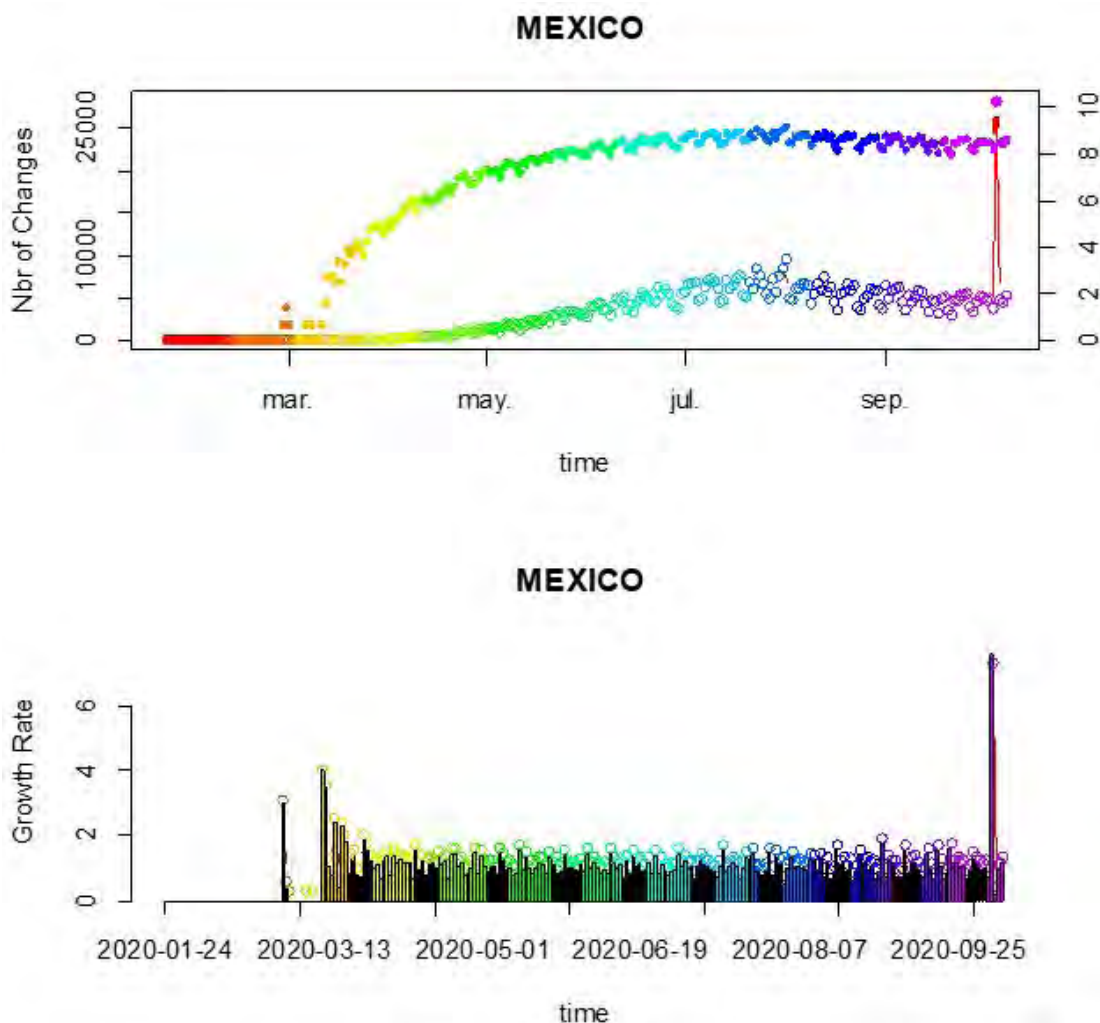
Para cualquier otro análisis, se requieren explícitamente llamar a los datos con la función `covid19.data()`.



Gráfica 1. Totales de acumulados diarios en México de casos confirmados de COVID-19.

Esta función sin argumentos, accede a los datos mundiales de los acumulados de casos confirmados, recuperados, defunciones y activos disgregados por país o región que están almacenados en esta dirección: https://raw.githubusercontent.com/CSSEGISandData/COVID-19/master/csse_covid_19_data/csse_covid_19_daily_reports/09-16-2020.csv. Las series de tiempo de los casos respectivos se obtienen escribiendo `covid19.data("ts-confirmed")` o en su lugar `"ts-deaths"`, `"ts-recovered"` o `"ts-All"`. Una vez que los datos están asegurados la función `tots.per.location()` genera gráficas de los casos diarios y acumulados de casos diarios.

La gráfica 1 (superior) muestra el número de casos diarios confirmados en México en escala logarítmica. Los días fueron contabilizados desde el 22 de enero al 12 de octubre del 2020. La gráfica 1 (inferior) muestra, con gráfico de barras, el mismo comportamiento, pero del acumulado de casos confirmados. En cualquiera de los casos se muestran los parámetros de dos modelos ajustados al comportamiento de los datos: un modelo exponencial y uno de Poisson. Las gráficas de la gráfica 1 se obtuvieron con las siguientes instrucciones: `datos=covid19.data(case='ts-confirmed');` `tots.per.location(datos, geo.loc='Mexico')`.



Gráfica 2. Tasa de cambio y crecimiento para México obtenidos con el paquete *covid19.analytics*.

La gráfica 2 (superior) muestra en escala lineal y logarítmica, los cambios diarios en los casos confirmados para México al 12 de octubre del 2020. Es evidente que estos cambios van aumentando y se mantienen estables a partir de julio del 2020. La gráfica 2 (inferior) muestra una gráfica de barras de la tasa de crecimiento respectiva. Estas gráficas se obtuvieron con la función *growth.rate()* aplicada a la serie de tiempo de casos confirmados para México: *datos=covid19.data('ts-confirmed');* *growth.rate(datos, geo.loc='Mexico')*.

La gráfica 3 muestra el comportamiento del acumulado de casos confirmados, casos recuperados, defunciones y casos activos para México del 22 de enero al 13 de octubre del 2020. Las gráficas de series de tiempo de casos confirmados, recuperados, defunciones y casos activos se obtuvieron con la función *totals.plt()* y la siguiente secuencia de instrucciones: *datosMex=covid19.data('ts-ALL');* *totals.plt(datosMex, 'Mexico', with.totals=FALSE, one.plt.per.page=FALSE)*. Esta función generó dos tipos de gráficas: una estática y otra interactiva (gráfica 3). De esta última se extrajo la siguiente información básica: en México, al 8 de octubre del 2020, hay 804,488 casos confirmados de COVID-19, se han recuperado 682,604 personas, han fallecido 83,096 personas y están activos 38,788 casos. La gráfica se aprecia mejor cuando se genera directamente desde <R>.

Otra funcionalidad del paquete *covid19.analytics* es que genera el modelo SIR ("Susceptible, Infected and Recovered"). El modelo SIR, es un patrón epidemiológico que calcula el número teórico de personas infectadas con una enfermedad contagiosa en una población de tamaño constante (N). En el modelo se clasifica para los individuos de la población como perteneciente a tres compartimentos (Susceptible, Infectado y Recuperados). Estos compartimentos representan su estado de salud.

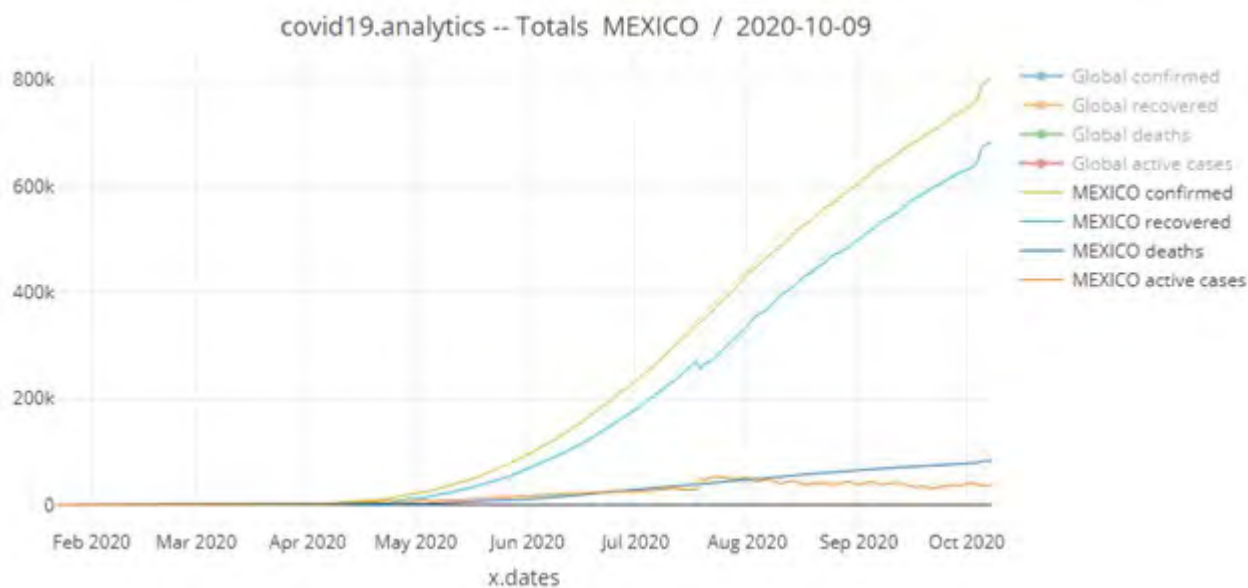
El modelo matemático consta de tres ecuaciones diferenciales de las tasas de cambio de S, I e R cuyos parámetros básicos son: β la tasa de contagio —cuyo valor se puede reducir con las medidas de distanciamiento social— y γ la tasa de recuperación. Otro parámetro importante es el número básico de reproducción R_0 que corresponde a la cantidad de personas que contagia un infectado mientras es contagioso. Este parámetro se calcula cómo $R_0 = \beta N / \gamma$, donde N es el tamaño de la población si esta es totalmente susceptible (Luque, Ballesteros & Miramontes, 2020).

La gráfica 4 muestra el modelo SIR para México. Este modelo se obtuvo con la función *generate*.

SIR.model() aplicada a la serie de tiempo de casos confirmados y una población de 126.2 millones de habitantes para México con la siguiente secuencia de código: `datosMex=covid19.data(case='ts-confirmed');` `generate.SIR.model(datosMex, 'Mexico', tot.population=126200000)`. Las dos gráficas de la parte superior muestran la precisión del modelo para los casos infectados.

Las dos figuras de la parte inferior muestran cómo la población comienza completamente susceptible con una pequeña cantidad de individuos infectados. A medida que la infección se propaga, el número de personas infectadas se acelera antes de alcanzar un pico y luego comienza a disminuir a medida que hay cada vez menos personas para infectar. La función también imprime información en la consola de `<R>` de la que se puede extraer que: `beta=0.6098`, `gamma=0.3901` y `R0=1.5631`. Esta funcionalidad del paquete es una excelente oportunidad para mostrar la solución de este tipo de ecuaciones diferenciales en el aula de clases.

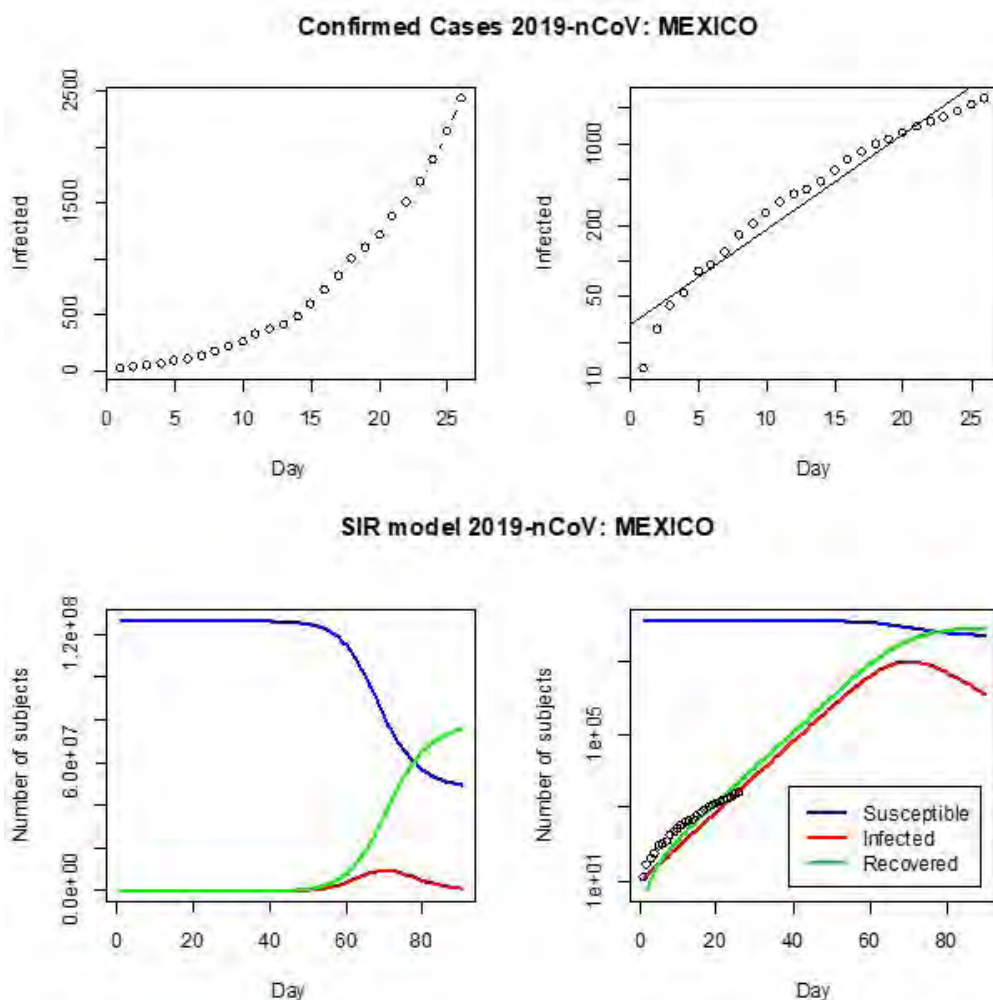
Hasta ahora se han mostrado gráficas especializadas usando las funcionalidades del paquete *covid19.analytics*.



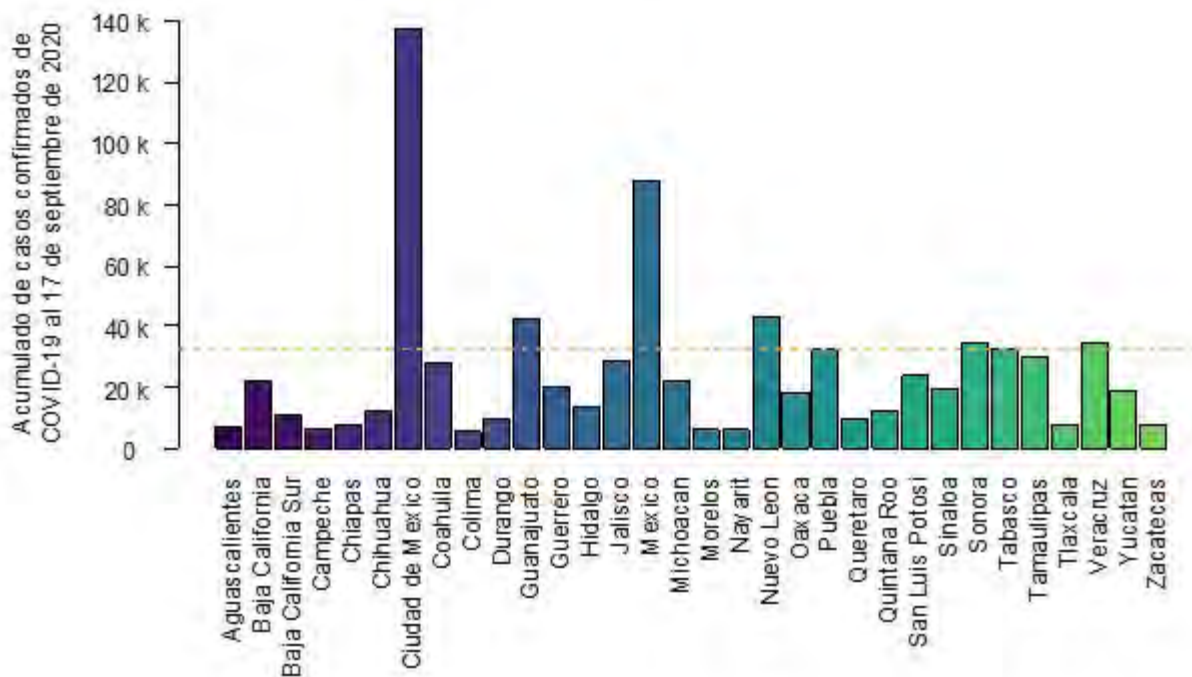
Gráfica 3. Series de tiempo de casos acumulados confirmados, recuperados, defunciones y activos al 8 de octubre del 2020.

Puesto que el paquete se conecta automáticamente a los datos de COVID-19 del repositorio "JHU CSSE", una vez cargados se pueden visualizar con las funciones de *R base*. La gráfica 5 muestra el comportamiento de los datos acumulados de casos confirmados para México al 13 de octubre del 2020. Los datos se graficaron con la función *barplot()* de *R* siguiendo la secuencia de instrucciones: `datosMundiales=covid19.data(); datosMex=subset(datosMundiales, Country_Region == 'Mexico');` `barplot(datosMex$Confirmed, names.arg=datosMex$Province_State)`. La gráfica muestra que la Ciudad de México tiene el mayor valor de acumulados de casos confirmados (140,525), le sigue Toluca (89,065) y después Nuevo León (45,059). También se indica una línea de referencia con base en Tabasco que tiene 33,082 acumulados de casos confirmados. Esta gráfica también se puede hacer para las otras variables.

Este último ejemplo muestra que después de conectarse a los datos mundiales es posible visualizar solo los datos de interés regional usando las funcionalidades del paquete *covid19.analytics* y las funciones de *R base*. Esto mejora el aspecto de las visualizaciones para hacerlas más amigables al público en general o particularizar cálculos de interés regional para los tomadores de decisiones.



Gráfica 4. Modelo SIR para México obtenido con la función *generate.SIR.model()* con una población de 126.2 millones. De acuerdo con los resultados del modelo el $R_0=1.56$, $\beta=0.6098$ y $\gamma= 0.3901$.



Gráfica 5. Casos confirmados de COVID-19 para México por Estado. Los datos se obtuvieron con el paquete *covid19.analytics* y luego se graficaron con la función *básica barplot()*.

Aplicaciones web con *Shiny* para el análisis de datos de COVID-19

El desarrollo de aplicaciones basadas en la web puede ser parte de la estrategia de seguimiento de la evolución de la pandemia a partir de las fuentes de datos nacionales y también para informar con regularidad a la población de una manera comprensible el comportamiento de la pandemia.

Estas aplicaciones se han desarrollado en `<RStudio>` con el paquete *Shiny*. Este contiene funciones predefinidas para desarrollar aplicaciones web dinámicas o interactivas que pueden compartirse a un público más amplio. Este es el caso de la aplicación *COVIDiario* —desarrollada con *Shiny*— para darle seguimiento a la evolución de la pandemia y hacer comprensible la información al público en general en España y Andalucía (<https://www.easp.edu/es/data-apps/covid19/>) o la aplicación web `<COVID19-Tracker>` (<https://ubidi.shinyapps.io/covid19/>) que también produce visualizaciones de los datos de COVID-19 en España.

Esta última es más compleja, ya que incluye modelos para analizar la tendencia y obtener proyecciones de casos diagnosticados de COVID-19 y de mortalidad (figura 2). Los datos que usa *COVID19-Tracker* los obtiene de forma automática del repositorio de "Datadista" en *GitHub* y son recopilaciones de los datos publicados por el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, que se mantienen actualizados y en un formato adecuado para su análisis (Valls, Tobías, Satorra & Tebé, 2021).

La figura 3 muestra la ventana principal de la aplicación `<COVID-19 Application>` (<https://behroozh.shinyapps.io/COVID19/>). Según sus autores, esta aplicación, proporciona una variedad de análisis y visualizaciones que le permiten a un usuario rastrear la propagación del virus en las regiones de su interés y tener una idea de los patrones de comportamiento entre regiones. Los datos que usa esta aplicación vienen de diferentes fuentes, entre las que se encuentran la Universidad Johns Hopkins, el Banco Mundial y la Universidad de Oxford. La aplicación fue desarrollada con `<Shiny>`.



Figura 2. Imagen de la aplicación web *COVID-19 Tracker* desarrollada con *Shiny*. Se diseñó para la visualización de la evolución temporal de los datos de COVID-19 en España (fuente: <https://ubidi.shinyapps.io/covid19/>).



Figura 3. Imagen de la aplicación web *COVID-19 Application* desarrollada con *Shiny*. Fue diseñada para la visualización de la propagación del virus en todo el mundo (fuente: <https://behroozh.shinyapps.io/COVID19/>).



Figura 4. Imagen de la aplicación web *COVID-19 tracker* desarrollada con *Shiny*. Diseñada para el mapeo de los datos de COVID-19 en el mundo (fuente: https://vac-lshtm.shinyapps.io/ncov_tracker/).

Entre sus funcionalidades, destaca la presentación de un modelo básico para predecir el número de casos nuevos cada día en comparación con el número total de casos del día anterior y la comparación visual de la tasa de crecimiento de los casos notificados, de muerte o de recuperación entre países. Una característica de esta aplicación es que comparte el código fuente en el proyecto *GitHub* (https://github.com/yvtsong/COVID_19) dando la posibilidad de reutilizar la plantilla y adaptarla a las necesidades de la región.

La figura 4 muestra la ventana de inicio de la aplicación web *COVID-19 tracker* (https://vac-lshtm.shinyapps.io/ncov_tracker/) desarrollada por el doctor Edward Parker del Centro de Vacunas, de la Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres. Una de sus características atractivas es la visualización geográfica de los datos de COVID-19.

En la figura se observan los datos acumulados de los casos confirmados de México al 13 de octubre del 2020. Este sitio utiliza los datos actualizados del "JHC SSE". A diferencia de las otras aplicaciones, en esta se compara la epidemia de COVID-19 con epidemias anteriores (Ébola, H1N1, SARS- en su menú SARS mapper). También tiene la particularidad de que comparte su código fuente (https://github.com/eparker12/nCoV_tracker) lo que permite reutilizar esta plantilla (Parker, 2020).

Finalmente, la figura 5 muestra la curva de acumulado de casos confirmados con COVID-19 en Bolivia, El Salvador, Guatemala y México que se obtuvo con una aplicación web simple (<https://guidotti.shinyapps.io/h83h5/>). Según la aplicación, para México hasta el nueve de octubre del 2020 hay 804,488 acumulado de casos confirmados con COVID-19. ¿Cómo funciona la aplicación? mediante el paquete *COVID19* de <R> la aplicación accede a los datos de diversas fuentes que son recopilados y almacenados en un repositorio en *GitHub*.

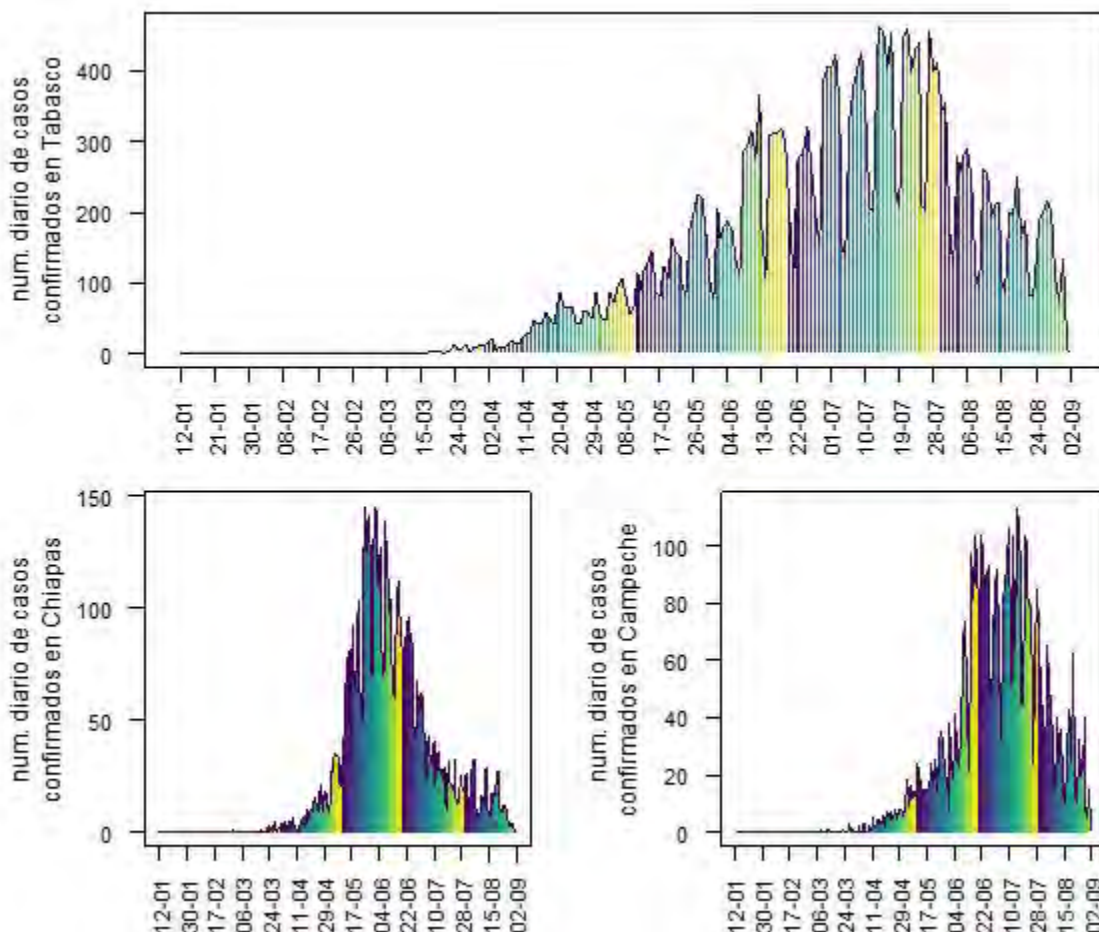
Ahora, para que la información tenga un formato adecuado, otro paquete de R, *COVID-19 Data Hub*, procesa los datos cada hora, los pone en formato de *valores separados por comas*

o conocido comúnmente como 'CSV' ("Comma Separated Values") y los almacena en la nube para hacerlos fácilmente disponibles (Guidotti & Ardia, 2020). Aunque la aplicación web con *Shiny* no es muy sofisticada, lo interesante es que su autor, en su block (Guidotti, 2020), pone a disposición el código fuente con la idea de que sea una base para construir aplicaciones web basadas en datos de COVID-19 más complejas.

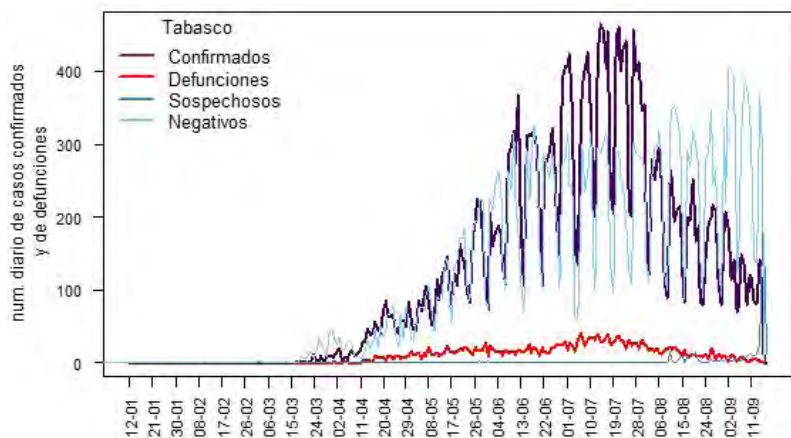
¿Qué se puede hacer con estas aplicaciones a nivel local?, se podría adecuar el código fuente para mejorar la visualización de datos, crear un repositorio de datos adecuados para su análisis con información municipal y si es posible a nivel de comunidades. Esto es un trabajo multidisciplinario, sobre todo si se implementan modelos epidemiológicos con datos locales.



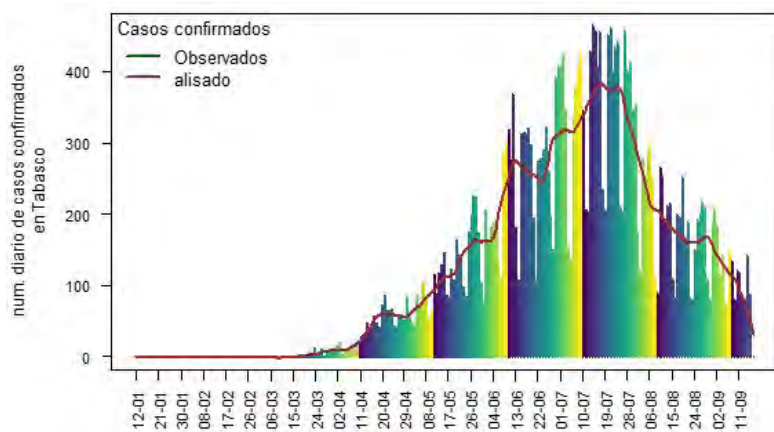
Figura 5. Imagen de la aplicación web desarrollada con *Shiny* por Guidotti (2020). Las curvas indican el comportamiento de la serie de tiempo de los acumulados de casos confirmados para Bolivia, El Salvador, Guatemala y México (fuente: <https://guidotti.shinyapps.io/h83h5/>).



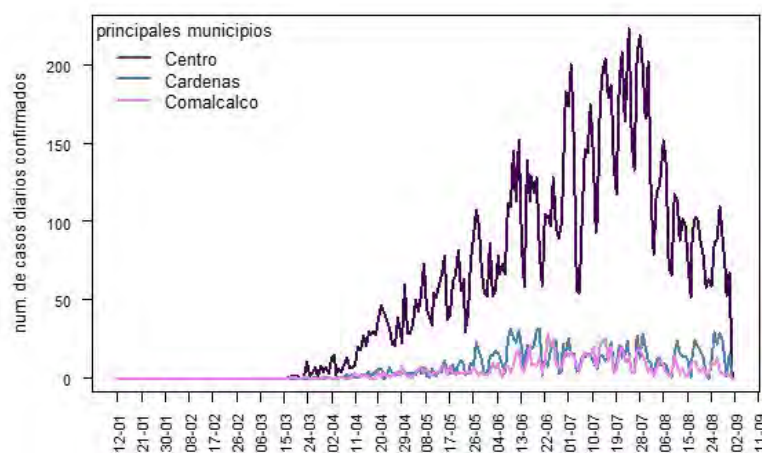
Gráfica 6. Visualización de los datos de número diarios de casos confirmados para los estados de Tabasco, Chiapas y Campeche con los datos recopilados del tablero general del CONACYT el 7 de septiembre del 2020.



Gráfica 7. Comportamiento del número diario de casos confirmados y de defunciones en Tabasco del 12 de enero al 2 de septiembre del 2020 con los datos recopilados del tablero general del CONACYT el 7 de septiembre del 2020.



Gráfica 8. Comportamiento temporal de los casos diarios confirmados en Tabasco y curva suavizada para observar la tendencia con $span=0.10$ con los datos recopilados del tablero general del CONACYT el 7 de septiembre del 2020.



Gráfica 9. Comportamiento del número de casos diarios confirmados en tres municipios de Tabasco (Centro, Cárdenas y Comalcalco) con los datos recopilados del tablero general del CONACYT el 7 de septiembre del 2020.

Datos nacionales de COVID-19

En México, la información cuantitativa acerca de la pandemia puede obtenerse del tablero general del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (<https://coronavirus.gob.mx/datos/>). Este tablero presenta información de los casos diarios confirmados por género, rango de edad, sexo y acumulados a nivel nacional, estatal y por municipalidades, además permite la descarga de los datos de casos diarios por Estado o municipio, de confirmados, sospechosos, negativos y defunciones en formato CSV. Claro, la estructura de los datos debe adecuarse, ya sea que se utilicen los paquetes de $\langle R \rangle$ descritos anteriormente o se usen funciones de R base.

Las aplicaciones antes descritas no visualizan los datos para los municipios de cada Estado, por lo que es fundamental que los recursos académicos llenen este vacío proporcionando al público actualizaciones en tiempo real de los brotes en su área. A continuación, se presentan algunas visualizaciones que se obtuvieron con los datos del tablero general de CONACYT y las funciones de R base; es decir, sin paquetes especializados.

La gráfica 6 muestra el comportamiento del número diario de casos confirmados en los estados de Tabasco, Chiapas y Campeche del 12 de enero al 17 de septiembre del 2020 (fecha en que se descargaron los datos). En Tabasco y Chiapas a partir del 17 de marzo se empezaron a dar los primeros casos confirmados de COVID-19, y en Campeche a partir del ocho de marzo.

La gráfica 7 compara la evolución temporal de los casos diarios de confirmados, defunciones, sospechosos y negativos solo en el estado de Tabasco. De estos datos es posible estimar la tasa de defunciones diaria o semanal.

La gráfica 8 muestra el comportamiento de los casos diarios confirmados y una curva de alisamiento para indicar la tendencia en el tiempo. Esta curva muestra que entre el 10 y el 19 de septiembre el número de casos diarios confirmados alcanzó su máximo en Tabasco.

Tabla 1. Reporte de casos confirmados, defunciones, recuperados y activos al 13 de octubre del 2020 en las 32 entidades federativas de México.

| Localidad | Confirmados | Porcentaje confirmados | Muertes | Porcentaje muertes | Recuperados | Porcentaje recuperados | Activos | Porcentaje activos |
|---------------------------|-------------|------------------------|---------|--------------------|-------------|------------------------|---------|--------------------|
| 1. Ciudad de México | 140,525 | 0.38 | 14,026 | 9.98 | 119,217 | 84.84 | 7,282 | 5.18 |
| 2. México | 89,065 | 0.24 | 10,072 | 11.31 | 76,511 | 85.9 | 2,482 | 2.79 |
| 3. Nuevo León | 45,059 | 0.12 | 3,351 | 7.44 | 38,139 | 84.64 | 3,569 | 7.92 |
| 4. Guanajuato | 43,660 | 0.12 | 3,127 | 7.16 | 38,822 | 88.92 | 1,711 | 3.92 |
| 5. Sonora | 35,593 | 0.1 | 3,017 | 8.48 | 31,837 | 89.45 | 739 | 2.08 |
| 6. Veracruz | 35,089 | 0.09 | 4,506 | 12.84 | 29,636 | 84.46 | 947 | 2.7 |
| 7. Puebla | 33,227 | 0.09 | 4,454 | 13.4 | 27,964 | 84.16 | 809 | 2.43 |
| 8. Tabasco | 33,082 | 0.09 | 2,965 | 8.96 | 29,509 | 89.2 | 608 | 1.84 |
| 9. Tamaulipas | 30,225 | 0.08 | 2,441 | 8.08 | 27,024 | 89.41 | 760 | 2.51 |
| 10. Jalisco | 29,800 | 0.08 | 3,565 | 11.96 | 24,317 | 81.6 | 1,918 | 6.44 |
| 11. Coahuila | 28,873 | 0.08 | 2,027 | 7.02 | 24,933 | 86.35 | 1,913 | 6.63 |
| 12. San Luis Potosí | 24,815 | 0.07 | 1,796 | 7.24 | 22,043 | 88.83 | 976 | 3.93 |
| 13. Baja California Norte | 22,341 | 0.06 | 3,646 | 16.32 | 17,914 | 80.18 | 781 | 3.5 |
| 14. Michoacán | 22,249 | 0.06 | 1,760 | 7.91 | 19,637 | 88.26 | 852 | 3.83 |
| 15. Guerrero | 20,617 | 0.06 | 2,001 | 9.71 | 17,728 | 85.99 | 888 | 4.31 |
| 16. Sinaloa | 20,108 | 0.05 | 3,403 | 16.92 | 16,103 | 80.08 | 602 | 2.99 |
| 17. Yucatán | 19,610 | 0.05 | 1,666 | 8.5 | 17,101 | 87.21 | 843 | 4.3 |
| 18. Oaxaca | 18,931 | 0.05 | 1,519 | 8.02 | 16,504 | 87.18 | 908 | 4.8 |
| 19. Hidalgo | 14,019 | 0.04 | 2,092 | 14.92 | 11,364 | 81.06 | 563 | 4.02 |
| 20. Chihuahua | 13,019 | 0.04 | 1,483 | 11.39 | 10,204 | 78.38 | 1,332 | 10.23 |
| 21. Quintana Roo | 12,761 | 0.03 | 1,738 | 13.62 | 10,633 | 83.32 | 390 | 3.06 |
| 22. Baja California Sur | 11,164 | 0.03 | 551 | 4.94 | 9,934 | 88.98 | 679 | 6.08 |
| 23. Querétaro | 10,441 | 0.03 | 1,067 | 10.22 | 8,400 | 80.45 | 974 | 9.33 |
| 24. Durango | 10,178 | 0.03 | 686 | 6.74 | 8,554 | 84.04 | 938 | 9.22 |
| 25. Zacatecas | 8,498 | 0.02 | 780 | 9.18 | 6,904 | 81.24 | 814 | 9.58 |

Parker, E. (2020, February 11). Coronavirus outbreak: a new mapping tool that lets you scroll through timeline. *The conversation-Academic rigour, journalistic flair* [Web]. Consulted on September 19, 2020 from «<https://theconversation.com/coronavirus-outbreak-a-new-mapping-tool-that-lets-you-scroll-through-timeline-131422>»

Ponce, M. & Sandhei, A. (2020). *covid19.analytics: An R Package to obtain, analyze and visualize data from the Coronavirus Disease Pandemic* (Preprint submitted to Elsevier p. 57). Arxiv.org. Recovered from «<https://arxiv.org/pdf/2009.01091.pdf>»

Solomon, E.P.; Berg, L.R. & Martin, D.W. (2013). *Biología* (9^{na} ed.; Biology; Ninth Edition; García Hernández, A.E.; Villagómez Velázquez, H.; Romo Muñoz, J.H. & Campos Olguín, V., Trad.; p. 1263+56 apéndices). México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. ISBN: 978-607-481-934-2

Valls, J.; Tobías, A.; Satorra, P. & Tebé, C. (2021). COVID19-Tracker: una aplicación Shiny para analizar datos de la epidemia de SARS-CoV-2 en España. *Gaceta sanitaria*, 35(1): 99-101. DOI «<https://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.04.002>»



RED UNIVERSITARIA EN PRO DE LA EDUCACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE: UN COMPROMISO SOCIO-PROFESIONAL

UNIVERSITY NETWORK IN FAVOR OF EDUCATION FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION: A SOCIO-PROFESSIONAL COMMITMENT

Marcela Zurita Macías Valadez

Licenciada en arquitectura por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Maestrías en Arquitectura por la Dalhousie University (Canadá), y en Administración de la Construcción con especialidad en construcción sustentable y eficiencia energética por el Instituto Tecnológico de la Construcción (ITC) campus Tabasco; Doctorante en Educación por el Centro Internacional de Posgrado (CIPAC). Profesora-investigadora de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA), de la UJAT.

División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Carretera Cunduacán-Jalpa km 1; Col. La Esmeralda; C.P. 86690. Cunduacán, Tabasco, México.

✉ marcelazmv@yahoo.com

📄 0000-0001-7424-0099

Como referenciar:

Zurita Macías Valadez, M. (2021). Red universitaria en pro de la educación para la construcción sustentable: un compromiso socio-profesional. *Kuxulkab'*, 27(59): 45-62, septiembre-diciembre. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.4201>

Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx>
<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.4201>

Resumen

Se presenta un panorama de la condición de la Tierra, y su impacto en la industria de la construcción, causados por la demanda de recursos por los estilos de vida actuales de la población urbana. Se muestra el planteamiento de la educación para la sustentabilidad de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) o simplemente las Naciones Unidas (NN. UU.), y su pertinencia en la labor universitaria, con la finalidad de fortalecer un trabajo extracurricular responsable, desde lo personal hasta lo profesional, que resulte en la toma más adecuada de decisiones cotidianas. El estudio fundamenta la propuesta de una Red Universitaria de participación voluntaria de estudiantes y docentes universitarios, en pro de la educación para la construcción sustentable como compromiso socio-profesional crítico y ético.

Palabras clave: Sustentabilidad; Estilo de vida; Arquitectura.

Abstract

An overview of the condition of the Earth and its impact on the construction industry caused by the demand for resources due to the current lifestyles of the urban population is presented. The approach of education for sustainability of the United Nations Organization (UNO) or just United Nations (UN) and its relevance in university work to strengthen a responsible extracurricular work from the personal to the professional facet that results in the most adequate making of daily decisions is presented. The study supports the proposal of a University Network of voluntary participation of university students and teachers in favor of education for sustainable construction as a critical and ethical socio-professional commitment.

Keywords: Sustainability; Lifestyle; Architecture.

En las últimas décadas, el uso de energía, la explotación de los recursos del planeta y la contaminación de los diversos ecosistemas se ha acentuado a nivel mundial para satisfacer las actividades socioeconómicas de una población en crecimiento y concentrada en las urbes (fotografía 1). La sociedad global trabaja en sofisticados edificios o en otros ineficientes. Las personas permanecen en espacios interiores largo tiempo, un promedio de 90 % de las horas día (US Green Building Council, 2020) realizando actividades laborales o personales, mientras consumen desmedidas cantidades de energía y recursos naturales, que satisfacen un estilo de vida de confort y estatus, acorde a la mercadotecnia. La población también demanda gran cantidad de recursos para el mantenimiento de sus edificios y construcción de nuevos (fotografía 2).

Para dimensionar la magnitud del uso de recursos, la comunidad científica evalúa y registra los consumos humanos. Al respecto, la Comisión Económica para América latina y el Caribe 'CEPAL' (CEPAL, 2007) afirma que, en los últimos 50 años, los seres humanos han cambiado los ecosistemas naturales más rápida y extensivamente que en cualquier otro período comparable en la historia humana para lograr aumentos sustanciales en su bienestar y desarrollo económico (fotografía 3), pero no de manera sustentable porque en el día a día utilizamos más recursos naturales de lo que nos corresponden.

A principios de la década de los setenta Meadows, Meadows, Randers & Behrens III (1972) encabezaron el estudio <Límites del Crecimiento>. Este abordó la problemática del desarrollo permanente que incluye: población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamiento de los recursos. La imposibilidad de mantener estas condiciones en un planeta limitado de recursos naturales no renovables, además la tierra cultivable es finita y los ecosistemas no tienen capacidad para absorber toda la contaminación, producto del quehacer humano. Es decir, las dinámicas actuales de crecimiento exponencial de población global y producto per cápita no están siendo sustentables (Zito, 2014).

En 2009, la teoría de los límites planetarios (figura 1), señaló a este periodo como el fin de la era del Holoceno y el principio del Antropoceno (Steffen, Richardson, Rockström, Cornell, Fetzer, Bennett, Biggs, Carpenter, de Vries, de Wit, Folke, Gerten, Heinke, Mace, Persson, Ramanathan, Reyers & Sörlin, 2015), una nueva era geológica caracterizada por el incremento potente y lesivo del accionar de la especie humana sobre el planeta (Chaparro & Meneses, 2015; Plitt, 2016). El desarrollo de las grandes ciudades ha generado una preocupante cadena de transformaciones entre las que se encuentran el cambio en el uso de suelo, la pérdida de la biodiversidad, la crisis energética y el cambio climático (figura 2).

Estos cambios ambientales son producto de una relación conflictiva entre la actividad económica del hombre y su medio ambiente por la veloz capacidad del hombre de transformar su entorno que no permite a la naturaleza recuperarse y establecer su equilibrio (homeprojectES, 2009). En suma, la manera en que se prestan los servicios en la industria de la construcción para atender la creciente demanda de edificaciones y desarrollos urbanos contribuye en gran medida a la afectación del entorno.

«Estamos entrando a una nueva época de la historia de la Tierra, el Antropoceno. Una época en la que los seres humanos, más que las fuerzas naturales, son la causa principal del cambio planetario. Pero nosotros también podemos redefinir nuestra relación con el planeta, pasar de una relación derrochadora, insostenible y depredadora a una en que las personas y la naturaleza puedan coexistir en armonía»

Marco Labertini, Director General de WWF Internacional (WWF, 2020)



Fotografía 1. Vistas de la ciudad de Los Ángeles, California (U.S.A.).



Fotografía 2. Transformación de predio para construcción de un edificio nuevo en la ciudad de Villahermosa Tabasco (México).



Fotografía 3. Construcción de grandes viviendas en cañadas de la ciudad de Los Ángeles, California (U.S.A.).

El impacto ambiental que se causa obliga a los profesionistas a encontrar un punto medio entre las necesidades de la población y el cuidado del medio con tendencia hacia la práctica de la construcción sustentable.

El método

El estudio se basó en el método analítico-sintético para atender tres variables: 1) la condición del planeta, 2) la educación para la sustentabilidad y 3) el compromiso socio-profesional en la construcción. Revisar la condición del planeta resultado de las acciones de la sociedad es el punto de partida del estudio que nos lleva a la necesidad de educar para la sustentabilidad como motor de cambio, y así lograr nuevas actitudes de docentes y estudiantes universitarios permitiendo cumplir con su compromiso socio-profesional influyendo así, en el entorno al adoptar un estilo de vida sustentable.

Se revisaron estudios análogos que abordan el panorama de la Tierra contemplando los impactos que ejercen en ella, tanto la industria de la construcción como el consumo de la población global. Otros documentos consultados detallan la necesidad de divulgación y acción para lograr una formación responsable, no solo en el ámbito personal sino profesional que resulte en la toma adecuada de decisiones cotidianas para atender la exigencia de cambio de los hábitos de la sociedad. Asimismo, se analizó la pertinencia de estrategias como la participación voluntaria, extracurricular e interdisciplinar, facilitando a través del pensamiento crítico una aproximación voluntaria a la construcción sustentable y así pase de ser una moda a una norma de conducta (figura 3).

El objetivo es presentar un análisis sobre la condición en que se encuentra el planeta por el impacto de la industria de la construcción y del actual estilo de vida consumista de la población urbana, que junto a la revisión del planteamiento de la educación para la sustentabilidad y del compromiso socio-profesional del universitario dan fundamento a la propuesta de una red de participación voluntaria de estudiantes y docentes universitarios en pro de la educación para la construcción sustentable.

Panorama de la condición del planeta

La explotación actual de los recursos de la naturaleza a causa de las actividades cotidianas de la población está deteriorando el planeta más allá de su capacidad de regeneración.

Para advertir a la sociedad de la situación de la tierra, instituciones y científicos han desarrollado diversos indicadores que miden las consecuencias de las acciones humanas en el planeta afirmó la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2013) como el estudio de los límites planetarios, la huella ecológica y la huella del carbono de los ciudadanos.

El estudio de los límites planetarios (Steffen *et al.*, 2015) ilustra los riesgos de la interferencia del hombre en el sistema de la tierra. El estudio incluye nueve límites y establece que hoy en día, el humano ha superado ya cuatro de estos, advirtiendo cambios en el planeta los cuales provocaran transformaciones inadmisibles e irreversibles en los recursos naturales de los que depende la humanidad (WWF, 2016).

La huella ecológica mide la superficie necesaria para producir los recursos consumidos por un ciudadano y absorber los residuos que él mismo genera. De acuerdo con el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) (WWF, 2016), en el 2012 el ser humano necesitó 1.6 planetas Tierra (figura 4) para generar los recursos que consumió y para absorber los residuos que ese año generó. La huella del carbono cuantifica la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que son liberadas a la atmósfera como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad (Turismo de Andalucía, 2019).

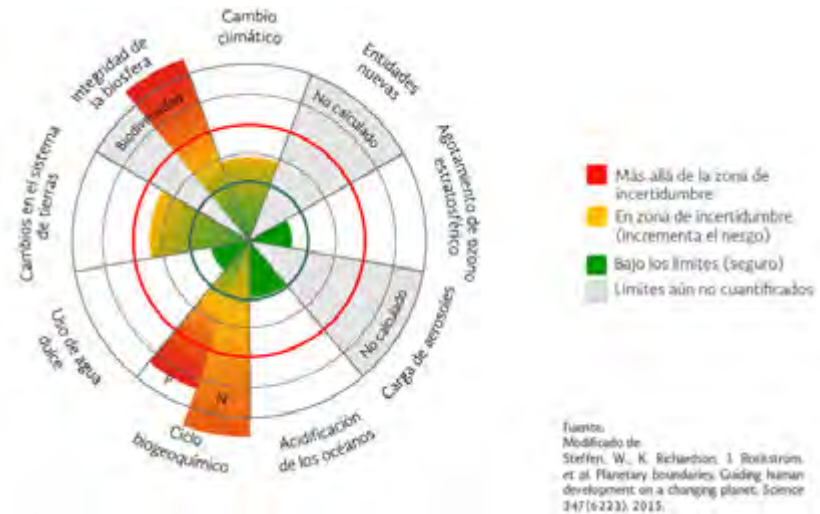


Figura 1. Los límites planetarios, su estado actual y límites de incertidumbre (SEMARNAT, s.f.).



Figura 2. Factores causales, causas indirectas y presiones directas sobre la biodiversidad y los ecosistemas (WWF, 2012).



Figura 3. Elementos para impulsar un estilo de vida sustentable en los estudiantes y docentes universitarios.



Figura 4. Planetas para generar los recursos consumidos por persona y para absorber los residuos generados.

De los gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO_2) es el más importante, porque es el que más se asocia a las actividades humanas y el principal responsable de este efecto que contribuye al calentamiento global del planeta (Fundación Aquae, 2020). El 20 % de la población mundial vive en los países industrializados y emite un 75 % de los Gases de Efecto Invernadero totales a la atmósfera (Amigos de la Tierra, 2020). El informe Brundtland (UN, 1987) menciona que las emisiones de CO_2 son el principal motor del cambio climático y junto con otros causantes ponen en peligro los sistemas naturales que permiten la vida en la Tierra.

Consumismo y globalización. Después de la segunda guerra mundial se han dado una variedad de cambios económicos, culturales, sociales y políticos que han dado forma al mundo y que se le conoce como globalización. El fenómeno ha traído una creciente pérdida de identidad u homogeneización de los gustos de los consumidores, la consolidación y expansión del poder corporativo y un fuerte aumento de la riqueza y de la pobreza (Guttal, 2007).

Hoy en día la globalización está en todas partes con influencia en las principales facetas de la vida y en cualquier organización social con aspectos tanto positivos como negativos (Council of Europe, 2020). Un aspecto negativo, es que induce al consumo excesivo por satisfacer los deseos del ser humano (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2020) (figura 5). Otro, es que permea entre todas las clases sociales y con mucha facilidad, la falsa idea de que a mayor consumo, mejor calidad de vida (SEMARNAT, 2013). Por ejemplo, se da un mayor consumo al tener que reemplazar productos de baja calidad al poco tiempo de ser

adquiridos o al comprar productos o servicios de moda por considerarse indispensables, pero que en realidad no se usan.

El planeta sano es crucial para obtener agua, aire, alimento y materiales que se disfrutan a diario en cada lugar del mundo; por ello se afirma que la naturaleza sostiene a la economía (Arenas, 2016). En la actualidad, la forma de consumir de la sociedad es insostenible porque está afectando de manera irreversible los recursos del planeta.

De acuerdo con las Naciones Unidas (NU, 2020a), las ciudades del mundo ocupan solo el 3 % de la tierra, pero consumen entre el 60 y el 80 % de la energía y generan el 75 % de las emisiones de carbono. Con base a lo mencionado por la WWF (2016) a cada habitante del planeta, le corresponden 1.8 hectáreas (ha) un equivalente a 2 canchas y media del estadio Azteca en la ciudad de México (CDMX) para satisfacer su consumo y absorber sus desechos. Sin embargo, en 2012, el ser humano requirió de 2.7 ha (3.6 canchas). Es decir, la huella ecológica rebasó la capacidad del planeta para reemplazar lo que se consume y se desecha, entrando en un déficit ecológico (SEMARNAT, 2013).

Gro Brundtland (Council of Europe, 2020) aclara que este déficit no es generado de manera equitativa en el mundo, ya que hay poblaciones que consumen los recursos de la Tierra a un ritmo tal, que dejarán muy poco para las generaciones futuras, mientras que un número mucho mayor de comunidades, fundamentalmente en los países en desarrollo, consumen muy poco, y viven con perspectiva de hambre, miseria, enfermedad y muerte prematura.



Figura 5. Consumo y Globalización (elaboración propia basado en el documento «Estilos de vida sustentable»). (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2020).

Este problema de consumo refleja una circunstancia que atañe a la responsabilidad social.

Impacto de las edificaciones en la actualidad. El impacto del mundo de la construcción se puede observar en la tala de árboles, en la fragmentación de los cursos de agua y en la extracción de agua del subsuelo y recursos minerales. Todo esto a favor de la construcción de vías de transporte, de desarrollos urbanos y suburbanos e instalaciones para producción de energía. A consecuencia se da la contaminación y el cambio climático, que son dos amenazas que afectan a la biodiversidad (Arenas, 2016; WWF, 2016).

Al respecto, Shen y colaboradores (citado por Enshassi, Kochendoerfer & Rizq, 2014) sostienen que la construcción es la principal fuente de contaminación de las industrias. Además el capital medioambiental mundial invertido en los edificios es enorme. Edwards & Hyett (2004) afirman que el 50 % de los recursos naturales se reservan como materiales para la construcción pero de la madera se destina el 70 % (ONU México, 2020). EROSKI Consumer (2005) estima que los edificios consumen entre el 20 y el 50 % de los recursos físicos de su entorno. Por ejemplo, se destina el 40 % del agua para abastecer las instalaciones sanitarias y otros usos en los edificios (ONU México, 2020). En particular, se estima que las viviendas consumen un 29 % de la energía mundial y contribuyen al 21 % de las emisiones de CO₂ resultantes (NU, 2020b).

Origen del cambio hacia la sustentabilidad. Los antecedentes de la construcción sustentable se observan desde principios del siglo XX, cuando se retoma el concepto de la bioconstrucción (fotografía 4) de la antigüedad (Oseguera, 2011). Para 1962, el libro *«La primavera silenciosa»* despertó la consciencia sobre el tema ambiental y este evento vino seguido de una serie de accidentes al medio natural de gran magnitud en distintas partes del mundo. Estos dos episodios provocaron una época de cambio de valores en las sociedades de países desarrollados que, a su vez, trajeron consigo la aparición de las primeras instituciones gubernamentales estadounidenses y alemanas en 1970 y de agrupaciones de la sociedad civil como *«Greenpeace»* en Canadá en 1971 (Dane, 2013).

En ese tiempo se observaron dos escenarios en el mundo, además de los accidentes ambientales: una explosión poblacional concentrada en las grandes urbes y un aumento del poder de compra de los consumidores, que al darse en paralelo, traen como consecuencia un incremento



Fotografía 4. Ejemplos de bioconstrucción en Tapijulapa, Tacotalpa, Tabasco (México).

en la explotación de los recursos naturales y la generación de residuos sólidos urbanos (Dane, 2013).

Años más tarde, a partir del surgimiento del concepto de *«desarrollo sostenible»* en 1987, se acuñó el nombre de *«arquitectura sustentable»* haciendo hincapié en el cuidado de la naturaleza y sus recursos. Más aún, esta denominación generó un sinfín de posturas o variantes en el mundo que se han ido forjando a lo largo de los siguientes 30 años.

Controversia en los enfoques de arquitectura sustentable o ecológica. El arquitecto Yeang en una entrevista (Matheus, 2013) afirmó que el diseño sustentable aún resulta incomprendido. Para él, muestra de ello es que hay quien piensa que un edificio es sustentable por el hecho de usar energía solar o energía eólica y aclara que el tema es mucho más profundo. La dificultad del tema se aprecia en el debate entre las distintas variantes de la arquitectura ecológica al cuestionar las fuentes de energía empleadas para construir, abastecer los edificios y en la fabricación de los materiales. Otro aspecto que implica la complejidad del tópico estudiado, es la cantidad de consumo que se muestra en los hábitos de derroche en el uso de energía y otros recursos involucrados en esta industria.

La controversia ha llevado a algunos expertos a afirmar que la arquitectura y la construcción sustentable han sido manipuladas como negocio y no como acto responsable de diseño y construcción en aras de un mundo mejor. El sitio web llamado *«Certificadosenergeticos.com»* (Serrano, 2017) ha cuestionado la evolución del diseño, la construcción y el funcionamiento de los inmuebles que consumen energía contaminante (figura 6).



Figura 6. Masa térmica y eficiencia energética: ¿qué tanto es demasiado? (Serrano, 2017).

Para enfrentar la problemática de la industria de la edificación se requiere de una transformación tecnológica hacia la eficiencia energética, de la mano del consumo inteligente y de la responsabilidad social empresarial (Zito, 2014).

Se precisa una evolución en los criterios del individuo, la industria, las instituciones y el gobierno. Sin embargo, en este análisis no se discute qué posturas de la arquitectura sean realmente ecológicas, sino el énfasis de la necesidad de remarcar el compromiso socio-profesional hacia la sustentabilidad que tiene el ramo de la arquitectura y la construcción, debido a sus prácticas, así como la importancia de que estudiantes y docentes trabajando en grupo se involucren en el mundo de la sustentabilidad, a partir de la experiencia de los especialistas de las diferentes variantes logrando así, que estudiantes y docentes decidan el camino a explorar para aplicar los aprendizajes en la toma de decisiones en su vida personal y profesional.

La experiencia internacional por parte de WWF (2020) aclara que se puede redefinir la relación con el planeta, pasar de un estilo derrochador, insostenible y depredador a uno en que las personas y la naturaleza puedan coexistir en armonía. Para cambiar el destino como depredadores del planeta y sus recursos, se requiere combatir la falta de educación, de información y compromiso socio-profesional en términos de sustentabilidad para que a través de soluciones sistémicas —como permutaciones de comportamiento individual en las prácticas y normas sociales— se permita llegar a cambios profundos, rápidos y duraderos hacia formas de vida sustentables (Beacon, 2020) (fotografía 5).



Fotografía 5. Espacios públicos de calidad en México, Canadá y Estados Unidos.

Educación para la sustentabilidad

En la actualidad, hay amplia información y expertos en el tema de la sustentabilidad, pero una cosa es saber del tema y otra, practicarlo en la vida privada y profesional. La sustentabilidad conlleva un estilo de vida responsable y saludable que es inminente impulsar en todos los niveles sociales.

Las instancias internacionales marcan la pauta de manera global, sin embargo, a los gobiernos nacionales y locales les compete la responsabilidad de cuidar a sus ciudadanos; a las instituciones educativas, el compromiso de forjar profesionistas y a los padres de familia, la educación de las nuevas generaciones.

Agenda 2030: Objetivos del Desarrollo Sostenible. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) propuso, en septiembre del 2015, el documento <Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible> compuesto de diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los ODS (figura 7) forman parte de un plan maestro para lograr un mundo más feliz y saludable. La propuesta fue adoptada por los 193 Estados miembros incluido México que tuvo participación con la colaboración de especialistas y de la sociedad civil (ONU México, 2020).



Figura 7. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.



Fotografía 6. Exceso de personas en espacios de recreación en Tabasco que perturban la naturaleza del lugar.



Fotografía 7. Cambio de vialidades vehiculares por peatonales, arte urbano e infraestructura.

Para lograr el cumplimiento de la Agenda, los ODS se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que los ciudadanos se enfrentan día a día afirma el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 'PNUMA' ("United Nations Environment Programme 'UNEP'") (UNEP, 2020a). Los profesionistas de la construcción por su parte, tienen un compromiso socio-profesional y la responsabilidad directa para avanzar hacia ciudades y comunidades sostenibles (objetivo 11) apoyando la salud y el bienestar de las poblaciones (objetivo 3), utilizando energía asequible y no contaminante (objetivo 7), protegiendo la vida de los ecosistemas terrestres (objetivo 15) siguiendo estilos de vida y consumo responsables (objetivo 12) con educación de calidad (objetivo 4) (ONU México, 2020).

En este sentido, para cumplir los ODS, la Agenda 2030 está compuesta por iniciativas como <Haz posible el cambio>, <Actúa ahora>, <Programa de educación y estilos de vida sostenibles de One Planet Network> y <Greening the blue>. La iniciativa <Haz posible el cambio>, a través de educación e información, guía y alienta a la población en general a transformar los patrones de consumo en aras de establecer un compromiso con un modo de vida sustentable en sus distintas facetas de la vida para cumplir la premisa de las Naciones Unidas (NU, 2020c) de *predicar con el ejemplo*.

Consecuentemente, estudiantes y docentes pueden incorporar el trabajo desde un enfoque sustentable y responsable en el día a día de las disciplinas que abordan, por ejemplo, en arquitectura, ingeniería, educación, leyes, ciencias ambientales, economía, comunicación y sociología.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 'PNUMA' ("UNEP" en inglés), es la principal autoridad ambiental mundial que establece la agenda ambiental mundial (UNEP, 2020b) y advierte que se tiene poco más de diez años para acelerar el ritmo de trabajo, transformar las sociedades y sus economías con alternativas de solución para atender problemáticas relacionadas a la contaminación, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, tres fenómenos ambientales en los que la industria de la construcción tiene gran injerencia (UNEP, 2020c) (fotografía 6).

El ramo de la construcción, a nivel mundial, requiere contribuir al cumplimiento de los ODS con el análisis del ciclo de vida de los edificios. Si bien es sabido que los edificios consumen grandes cantidades de recursos naturales durante su construcción y funcionamiento, asociaciones a nivel mundial como el "US Green Building Council" (US Green Building Council, 2020) afirman que se puede dar soluciones



Fotografía 8. Campus de la Universidad de Dalhousie (Halifax, Nueva Escocia, Canadá).

sustentables para construir edificios y espacios públicos que contribuyan a mejorar la calidad vida y a cuidar el ambiente (fotografía 7).

Educación y estilos de vida para la sustentabilidad. A partir de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo del 2002, se determinó que los sistemas formativos de los países deben vincularse al medio ambiente, la sociedad y la economía, ya que la educación es el factor clave para lograr tan obligado desarrollo (Gaona, Chan & Corona, 2010). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), en primera instancia, se dirige a la población en general por la importancia de que los ciudadanos practiquen los principios de sustentabilidad en su día a día (UNESCO, 2017). Sin embargo, también se exhorta a las instituciones de orden superior a que incluyan estrategias dentro y fuera del aula, relativas al desarrollo sustentable en todos los programas (Gaona *et al.*, 2010).

Con base en el compromiso de la cumbre a nivel mundial, los países están comprometidos a una formación para la sustentabilidad y a establecer las leyes necesarias. Países como Canadá, Reino Unido, Alemania, España y México están intercambiando conocimientos, experiencias, programas educativos y legislaciones, para que cada día, el mundo de la construcción sea responsable de los recursos que consume y de los impactos que genera.

Yeang (citado por Matheus, 2013) explica que las primeras generaciones de arquitectos para la sustentabilidad

aprendieron sobre la marcha, en cambio, los actuales estudiantes de arquitectura lo están aprendiendo en las aulas. Esta evolución logrará que en diez años haya una mayor conciencia sobre edificios ecológicos, pero mientras este aprendizaje se arraiga, la sociedad globalizada sigue generando basura que diariamente contamina la tierra, el aire y el agua.

Respecto a incorporar a la sustentabilidad en el ámbito universitario, la Universidad de Dalhousie de la mano del arquitecto Steve Mannell creó la <Facultad para la Sustentabilidad> (fotografía 8). Esta institución plantea que los problemas globales ambientales, sociales y económicos son complejos y afectan prácticamente a todas las personas, a todas las profesiones, en todas partes del mundo. Para dar solución a estas dificultades se requiere de pasión, compromiso y conocimiento real de la mano de un nuevo pensamiento que trascienda las disciplinas y los enfoques tradicionales de la educación y la investigación (Dalhousie University, 2020).

La educación para la sustentabilidad según "One Planet Network" (2020a) evoluciona según el contexto y los desafíos locales. A medida que la información se comparte dentro y fuera del aula, el conocimiento sobre sustentabilidad se desarrolla contribuyendo a un aprendizaje permanente, ya que la necesidad de recursos de la sociedad también es permanente. Hay mucho camino andado y a nivel global, cada año surgen diversas organizaciones, corrientes, metodologías y propuestas que aportan al mundo de la construcción ecológica o sustentable.

Por lo tanto, es fundamental evolucionar planteando propuestas académicas en pro de la sustentabilidad que, a través de actividades voluntarias, complementen el conocimiento adquirido en el aula, donde los universitarios exploren, reflexionen y decidan actuar, dando por ende testimonio de su compromiso socio-profesional con su entorno para un mundo mejor.

Un nuevo estilo de vida para estudiantes y docentes.

Durante varias décadas, los países desarrollados han ejercido influencia en todo el mundo en cuanto a sus estilos de vida —ideas, valores y creencias— que determinan los comportamientos de los individuos producto de dimensiones personales, ambientales y sociales (Jiménez-Martínez, Álvarez-Gasca & Jiménez-Martínez, 2011). Para estas sociedades de primer mundo, el nivel de comodidad está íntimamente relacionado con el grado de consumo energético (Lazzarini & Cendra, 2015) dejando de lado el costo social y ambiental que esta concepción lleva implícita (Ramírez, González & Pensado, 2017).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 'PNUMA' (UNEP, 2020c) explica que las personas actúan para satisfacer sus necesidades y aspiraciones, y toman decisiones basadas en precio, disponibilidad, efectividad y criterios adicionales como bienestar y tendencias. Aun así, individuos que buscan vivir de manera más sustentable, carecen de información suficiente o no tienen acceso a los productos y servicios adecuados. Ramírez *et al.* (2017) sostiene que el consumo es uno de los comportamientos individuales que requiere de la adopción de una conducta sustentable. Es decir, de un conjunto de acciones efectivas, deliberadas y anticipadas (Corral-Verdugo & de Queiroz, 2004) que puedan ser parte de iniciativas y normas que, al seguirlas, ayuden a propiciar cambios en hábitos, comportamientos y actitudes que incidan en mitigar los problemas ambientales.

Para lograr este cambio hacia una conducta responsable, la Agenda 2030 estableció el término «educación para estilos de vida sostenible», que busca un aprendizaje transformador que empodere a las personas para que se conviertan en agentes o recursos humanos de cambio para todos vivir mejor. El cambio inicia cuando el individuo puede reflexionar sobre las propias acciones y reconocer los impactos que estas acciones pueden tener en la sociedad en general (One Planet Network, 2020a).

El tema de estilos de vida sostenibles aparece por primera vez en los ODS Educación (objetivo 4) y Consumo responsable (objetivo 12) (UNEP, 2020a).

De la mano del PNUMA, la agrupación «One Planet Network» (One Planet Network, 2020b) maneja el «Programa de educación y estilos de vida sostenible» que fomenta la adopción de estos modos como norma común (la Nueva Norma) para las personas en todas partes. Para esto, plantea que la educación se genera al empoderar, organizar y capacitar a distintos niveles de la sociedad, lo que incluye individuos, asociaciones, gobiernos, sector privado, instituciones educativas, grupos de expertos, instituciones de investigación, organizaciones no gubernamentales, influencias culturales y medios de comunicación (UNEP, 2020c).

Hesselink, Goldstein, van Kempen, Garnett & Dela (2007) mencionan que el PNUMA está basado en los principios de la teoría crítica donde implementar el «pensamiento crítico» para motivar a la reflexión y a contribuir en la toma de decisiones informadas y en la creación de alternativas. Más aún, lleva a una comprensión de las necesidades de las comunidades, del papel de los medios de comunicación y de la publicidad en la cotidianidad.

Ética y pensamiento crítico para la sustentabilidad.

Las instituciones educativas de carácter formal e informal, contribuyen a crear conciencia ética y pensamiento crítico para conectar cómo las decisiones de la vida diaria afectan al mundo y a las personas que nos rodean (UNESCO, 2017). Es por esto, que los universitarios están obligados a educarse en el pensamiento ético y crítico para la toma de decisiones en aras de la sustentabilidad que atañe a lo individual y al entorno.

Las normas éticas y el compromiso social impulsan el proceso de transformación de las acciones individuales y colectivas. Sin embargo, en la práctica Zito (2014) afirma que los preceptos de sustentabilidad no se han traducido en normas de conducta que reorienten los procesos económicos y políticos hacia una racionalidad social y a formas responsables de producción y de vida. El mismo autor continúa diciendo que los individuos, a pesar de tener conocimiento de los errores socioambientales del pasado, no son capaces de sobreponerse a las prácticas consumistas que dominan la sociedad. Aún los entendidos del tema siguen actuando de manera poco sustentable, al estar preocupados por obtener mayores ingresos, comodidades y un mejor estándar de vida, manteniendo así, una postura que no afecte a los intereses particulares.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) confirma que las personas no cambian su comportamiento en función de lo que deberían hacer, no responden a datos ni

a estadísticas, ni a escenarios futuros negativos (UNEP, 2020c), por lo que los enfoques centrados en los cambios de comportamiento individuales no funcionan, se requiere capacitar a la población para implementar cambios sistémicos (Hesselink *et al.*, 2007) a través de educación se moldean actitudes para la sustentabilidad, la ética, y la responsabilidad social, además de proveer información actualizada y acompañamiento que permita a la población ir tomando mejores decisiones y hacer conciencia.

La ética de la sustentabilidad demanda adoptar comportamientos, actitudes y hábitos compatibles con el entorno que permitan aprovechar de manera prudente y razonable los recursos que ofrece el medio natural (Galano, Curi, Motomura, Porto, Silva, Ángel, Ángel, Borrero, Carrizosa, Cortés, Flórez, Lozano, Llano, Mariño, Mayr, Schütze, Valenzuela, Mora, Clark, Elizalde, Larraín, Espinosa, Haji, Franco, Guerra, Paredes, Quadri, Castro, Tréllez, Ramírez, San Román, Vilela, Calderón, Sánchez & Leff, 2002).

Esta educación se encamina a una racionalidad ambiental fundamentada en la ética para la construcción de un futuro equitativo, justo y diverso, donde la participación, la autodeterminación y la transformación permitan recuperar el valor de lo sencillo en la complejidad, de lo local ante lo global, de lo diverso ante lo único, de lo singular ante lo universal (Galano *et al.*, 2002). Existe la oportunidad de alejarse de una cultura materialista, un enfoque en las <cosas>, hacia lo que realmente importa: confianza, pertenencia, propósito, salud, comunidad y significado (Beacon, 2020).

El pensador crítico, según Edbaissi (2016), encarna el principio socrático que la vida debe cuestionarse, examinarse si no para que vivirla. Es por ello, que persigue un razonamiento reflexivo y argumentativo, utilizando la crítica como estrategia de evaluación a fin de dar respuestas justas y concienzudas. El pensador crítico cambia el aprendizaje memorístico por el analítico buscando así construir su propio conocimiento.

Paul & Elder (2003) afirman que todo el mundo piensa; pero, mucho del pensar, es desinformado o prejuiciado. De hecho, la calidad de vida y de lo que se produce, se hace o se construye depende de la calidad del pensamiento. La excelencia en el pensamiento debe ejercitarse de forma sistemática. Es por esto que no puede haber un estilo de vida sustentable sin pensamiento crítico, sin razonamiento de calidad.

La educación para la sustentabilidad va más allá del campo de una profesión. Requiere de pensamiento ético y crítico,

pues abarca las diversas actividades de la sociedad y los distintos ámbitos del conocimiento a nivel global. Por ello es imperativo que los universitarios se preparen más allá de las actividades cotidianas dentro del aula para confrontar situaciones de su contexto que les requieran de pensamiento crítico y ético. Un pensamiento que guíe la toma de decisiones fortalecidas por iniciativas, programas y normas en materia de educación para la sustentabilidad. Este trabajo fuera de las aulas impacta en los estilos de vida gracias a las elecciones acertadas de formas de conducta que permitan el cuidado del agua, la reducción en el consumo de productos no sustentables, el reúso de materiales, el manejo de los desechos, entre otras.

Compromiso socio-profesional del universitario

Hoy en día, existe la necesidad de coherencia de vivir la sustentabilidad, como profesionista, docente o estudiante, donde estos principios ya no se consideren una moda, sino una necesidad cumplida en la práctica (Hernández, 2008). Por ejemplo, el arquitecto no puede convencer a un cliente de que construya de manera sustentable si no ha adoptado este estilo de vida.

En las universidades hay expertos que practican lo que predicán y sirven de guía a los estudiantes. Steve Mannell es un arquitecto dedicado a la vida urbana y líder en sustentabilidad. Vive cerca de su trabajo y camina en vez de conducir, su jardín es un hábitat de aves y polinizadores y la comida que consume es mayormente de procedencia local.

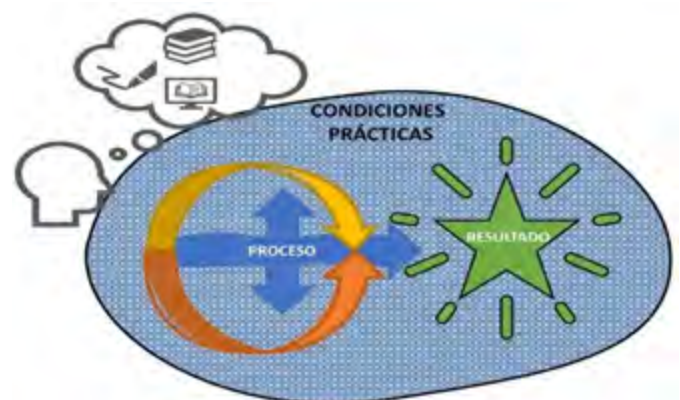


Figura 8. El aprendizaje (fuente: elaboración propia con información de Bruning *et al.* (2012).

Él explica que un estilo de vida sustentable es factible en un entorno urbano y cree que la ciudad es el futuro de la sustentabilidad (College of Sustainability-Dalhousie University, 2020).

Con base en las ideas de Zito (2014), la ONU (NU, 2020c) y Mannell (College of Sustainability-Dalhousie University, 2020), es ineludible reforzar la educación para la sustentabilidad para ejercer la profesión y vivir con conductas perdurables y no solamente con acciones que simulen cambios que no reflejan un compromiso. En consecuencia, las normas de conducta de la sustentabilidad se deben seguir en lo personal y lo profesional. El profesionista de la construcción toma decisiones de impacto ambiental, económico y social en su día a día que requieren de soluciones técnicas que garanticen el cumplimiento de los principios de la sustentabilidad.

Estrategias para la educación en la construcción sustentable. La educación es un sistema complejo que facilita el aprendizaje para la obtención de conocimientos, habilidades, valores y hábitos. Bruning, Schraw & Norby (2012) afirman que el aprendizaje perfecciona las formas de percibir el mundo lo que permite argumentar la toma de decisiones y propone tres elementos que lo componen: los resultados (lo aprendido), el proceso (cómo se aprende) y las condiciones prácticas (el contexto donde se aprende) (figura 8).

El aprendizaje involucra aspectos afectivos y requiere un ambiente adecuado, con métodos de enseñanza participativos y relaciones interpersonales basadas en el respeto, la tolerancia y la confianza (Luna, 2020). Bruning *et al.* (2007) propone enfocar las tareas en situaciones auténticas y relevantes partiendo de la realidad del grupo y de su conocimiento previo.

Mannell (College of Sustainability-Dalhousie University, 2020) incluye en los programas educativos los principios de sustentabilidad. Propone una enseñanza guiada por la curiosidad y conectando a los estudiantes con propuestas para la comunidad que sean un desafío para los participantes; trabaja en empoderar a los estudiantes con información y normas de conducta para contribuir a dar forma al programa con sugerencias a través del diálogo dentro y fuera de la comunidad universitaria. Afirma que el trabajo en las universidades es trascendente por los conocimientos, habilidades y valores que los estudiantes seguirán utilizando a lo largo de sus vidas. Andersen, directora ejecutiva del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 'PNUMA' (UNEP, 2020d) refiere



Fotografía 9. Espacio de enseñanza tradicional versus espacios creados por alumnos de la licenciatura en Arquitectura de la DAIA.

que inculcar hábitos y valores sustentables es una parte clave de esta educación para evolucionar a comunidades sustentables. Delors, Al, Amagi, Carneiro, Chung, Geremek, Gorham, Kornhauser, Manley, Padrón, Savané, Singh, Stavenhagen, Won & Nanzhao (1996) proponen, en el informe a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura 'UNESCO', cuatro pilares de la educación: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir con los demás y a aprender a ser.

Dos décadas después, Martínez (2018) estructura el proceso de aprendizaje y propone cinco pilares: aprender a aprender, aprender a hacer, aprender a ser, aprender a colaborar y aprender a reflexionar y lo ilustra con la conocida frase de Benjamín Franklin <Dime, y yo lo olvido; muéstrame, y yo lo recuerdo; involúcrame, y yo lo entiendo> (Palomo, 2013) (fotografía 9).

Congruente con el planteamiento de sustentabilidad, los proyectos de edificación se arraigan en la comunidad como suyo para usarlo y mantenerlo, cuando la comunidad lo siente fundamentado en sus necesidades y peticiones. Por eso, se plantea que la educación para la sustentabilidad vea al docente como guía de sus estudiantes para planificar y dirigir su propio aprendizaje como participantes activos; además el maestro supervisa la selección de materiales, la elección y desarrollo de actividades y la propuesta de proyectos temáticos interdisciplinarios logrando un andamiaje instruccional (Bruning *et al.*).

El estudiante adquiere el conocimiento (información, conductas, actitudes o habilidades) que integra a sí mismo y lo ubica en su memoria de manera permanente, evitando temas que considere ajenos o sin importancia (Luna, 2020). Es así como el profesor propicia el encuentro entre los problemas y preguntas significativas para los estudiantes y los contenidos, favoreciendo que el alumno aprenda a interrogar e interrogarse.

Paul & Elder (2003) sugieren al profesor formular preguntas provocando en los estudiantes el tomar responsabilidad de la calidad de su pensamiento. Al formular con regularidad estas preguntas en las actividades, se vuelvan parte de los cuestionamientos que los involucrados se necesiten formular y se logra así un pensamiento crítico, donde las preguntas se fusionan en el proceso de pensar hasta convertirse en una voz interior que guía a un proceso de razonamiento cada vez mejor y como resultado se refleje en sus conductas diarias como estudiantes y docentes.

Propuesta: Red universitaria en pro de la educación para la construcción sustentable

Se ha discutido el dominio del mercado global sobre el comportamiento social de consumo de productos y servicios y la falta de reflexión por parte de la sociedad sobre el costo social y ambiental que estos actos conllevan. Los individuos toman en el día a día decisiones de consumo basadas en

precio y disponibilidad, principalmente, para satisfacer sus necesidades básicas y de recreación. El desafío que las diversas profesiones de la industria de la construcción, requiere atender para cumplir las exigencias a nivel mundial en pro de la sustentabilidad está en la voluntad de actuar a favor de alternativas de cambio para un medio ambiente sano.

Congruente a esta problemática se plantea la propuesta de crear una «Red universitaria en pro de la educación para la construcción sustentable» basada en las iniciativas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) de la educación para la sustentabilidad que guíe y aliente a los universitarios a trabajar hacia un compromiso de vida sustentable.

La red trabajará a favor de un ambiente propicio de aprendizaje que apoye el desarrollo del conocimiento, que estimule la autoconciencia y la autodirección de los participantes de la red para reflexionar y trabajar en los ODS de la Agenda 2030, y en particular en seis de ellos: el 3, referente a la salud y el bienestar; el 4, relacionado a la educación de calidad; el 7 en pro de la energía asequible y no contaminante; el 11 en busca de ciudades y comunidades sostenibles; el 12 para estilos de vida y consumo responsable; y como último el 15, para la protección a los ecosistemas.

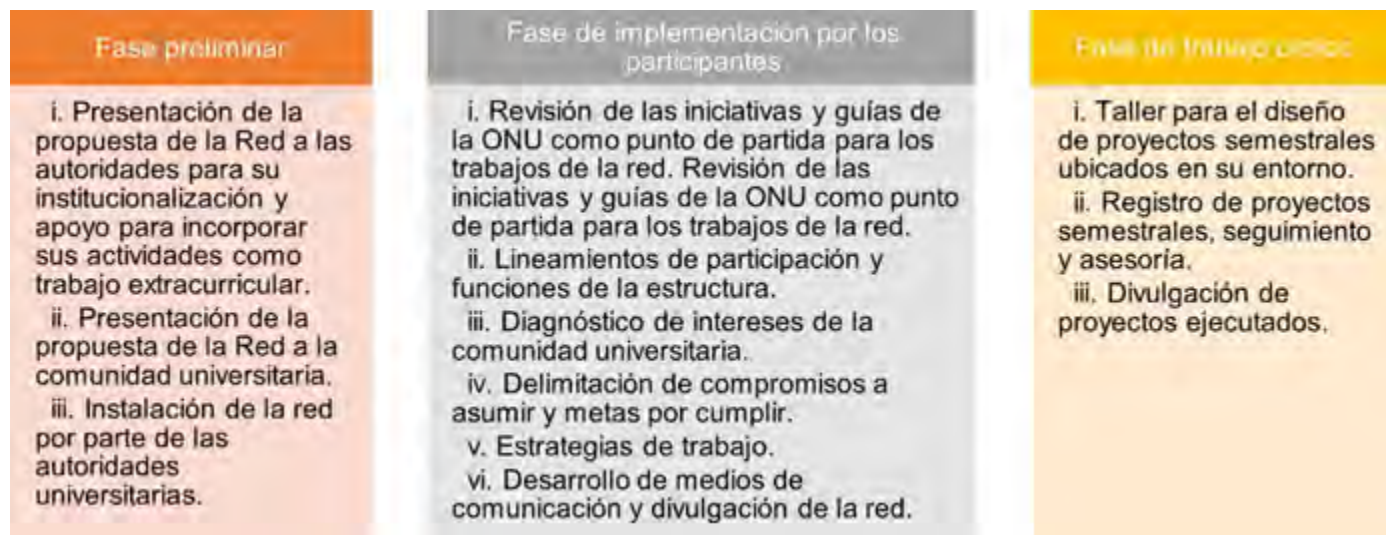


Figura 9. Metodología de trabajo de la «Red universitaria en pro de la educación para la construcción sustentable».

El objetivo de la red universitaria es que estudiantes y docentes de diversas disciplinas involucradas con la construcción diseñen, establezcan y sigan un programa de trabajo extracurricular y voluntario que contribuya al cumplimiento de los ODS siguiendo la pauta de las Naciones Unidas (NU, 2020c) de <predicar con el ejemplo> de la mano de un nuevo pensamiento que trascienda los enfoques tradicionales de la educación y la investigación para atender un compromiso socio-profesional con la sociedad.

Método de trabajo. La propuesta del programa de la <Red Universitaria en pro de la educación para la construcción sustentable> plantea una metodología basada en el trabajo participativo y voluntario propuesto por las iniciativas de educación para la sustentabilidad de la ONU. La metodología muestra la organización lógica de los pasos en los cuales se ejecutará la propuesta. La propuesta está compuesta de tres fases (figura 9). La fase preliminar es de institucionalización de la red, la segunda es de su implementación y una tercera es del trabajo cíclico de cada semestre.

Fase preliminar

i. De la propuesta de la Red a las autoridades para su institucionalización y apoyo para incorporar sus actividades como trabajo extracurricular:

- ✓ Misión, visión y valores.
- ✓ Objetivos.
- ✓ Organigrama y funciones.
- ✓ Lineamientos de participación.

ii. Presentación de la propuesta de la Red a la comunidad universitaria:

- ✓ Fundamentos de la red: misión, visión, valores, objetivos.
- ✓ Convocatoria y registro de participación en proyectos semestrales.

iii. Instalación de la red por parte de las autoridades universitarias.

La primera fase es determinante para el buen funcionamiento de la red, ya que implica el convencimiento del valor de la misma ante las autoridades universitarias para su aval. También incluye la definición de su estructura y funcionamiento que debe contar con el consenso de los involucrados.

Fase de implementación por los participantes

i. Revisión de las iniciativas y guías de la ONU como punto de partida para los trabajos de la red.

ii. Lineamientos de participación y funciones de la estructura.

iii. Diagnóstico de intereses de la comunidad universitaria.

iv. Delimitación de compromisos a asumir y metas por cumplir.

v. Estrategias de trabajo.

vi. Desarrollo de medios de comunicación y divulgación de la red.

La segunda fase es de trabajo específico por parte de los docentes y estudiantes involucrados. El número de participantes no es definitivo, lo que sí es determinante es el convencimiento del impacto formativo y ambiental de los proyectos que presenten para que sean los propios integrantes de la red quienes definan las metas semestrales con la que están dispuestos a colaborar.

Fase de trabajo cíclico semestral: evaluación e inicio de nuevos proyectos

i. Taller para el diseño de proyectos semestrales ubicados en su entorno:

- ✓ Identificar un problema que afecte a su comunidad.
- ✓ Diseñar propuestas para dar solución al problema.

ii. Registro de proyectos semestrales, seguimiento y asesoría:

- ✓ Implementar su plan de trabajo: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y cierre.
- ✓ Tipos de proyecto:
 - a. Estudio de una problemática particular de su entorno.
 - b. Intervención en una comunidad.
- ✓ Debate de las ideas propuestas.

iii. Divulgación de proyectos ejecutados:

- ✓ Logros y resultados en:
 - a. Medios digitales (redes sociales, página oficial de la red).
 - b. En foros (simposios, congresos).
 - c. Publicación (artículo, tesis).

La tercera fase es cíclica, su objetivo es la evaluación del trabajo realizado con los resultados concretos obtenidos durante el semestre. Se presentan en un evento de divulgación, en un foro, por ejemplo. La discusión académica permite la reflexión sobre logros y necesidades, que lleven a delimitar la continuidad de los proyectos con objetivos específicos para el nuevo periodo, así como la definición de nuevos proyectos a desarrollar en el siguiente taller para el diseño de proyectos semestrales ubicados en su entorno.

Conclusiones

La condición del planeta se ha visto impactada severamente por las actividades y conductas humanas poco sustentables para satisfacer un estándar de vida de confort en su día a día. La población urbana en general pasa largas horas, ya sea por actividades laborales o personales en el interior de los edificios. Por ello, existe una gran demanda para la construcción de edificios y un gran consumo de recursos en la operación y mantenimiento de las edificaciones de las crecientes ciudades. Es decir, hay un aumento diario de la disposición de recursos naturales que va más allá de la capacidad de regeneración que tiene el planeta para satisfacer esta población. Por lo tanto, examinar el escenario de la vida en las urbes que demanda recursos diariamente a un planeta finito, es primordial.

Con base en lo anterior, resulta preponderante destacar necesario que en todos los niveles de la sociedad y en las industrias, particularmente en la construcción, se trabaje en pro de la educación para consumo, producción y estilos de vida responsables. Para abrir los ojos ante los problemas ambientales mayores que se avecinan si no se actúa de manera significativa por un cambio en el estilo de vida consumista de las personas en las urbes.

Este documento ofrece una reflexión crítica y ética sobre el estilo de vida consumista global que atañe a los profesionistas y a los universitarios de la construcción, aludiendo al compromiso crítico-socio-profesional de su contexto. La vida personal y la vida profesional van de la mano; en ambas facetas los profesionistas y universitarios requieren, sin duda alguna, practicar la sustentabilidad, en un actuar responsable y saludable, en un compromiso socio-profesional con el planeta y la sociedad.

Los universitarios están obligados a profundizar en las causas y consecuencias de los impactos en el entorno por ejercer en el ámbito de la construcción, para lo que requieren salir de las aulas y ser partícipes de las problemáticas de la vida real. Se necesita promover la participación voluntaria extracurricular de los estudiantes, ya que para lograr el cambio hacia la sustentabilidad se necesita voluntad de acción y así aceptar una responsabilidad social y profesional.

Existen iniciativas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que han sido exitosas y que comparten su experiencia para servir de guía a los distintos escenarios urbanos del mundo. Cada país, cada sociedad enfrenta su propia realidad es, por ello, que los expertos advierten se debe actuar local para impactar de manera global.

El estudio fundamenta una iniciativa universitaria viable con trabajo extracurricular voluntario de estudiantes y profesores comprometidos con la sociedad y el ambiente. Es primordial no ser ajenos a la condición del planeta y contribuir al cambio para un mundo mejor. Los expertos afirman que el cambio puede venir de cualquier acción pequeña que muestre maneras responsables de vivir, y así contagiar a otros, a empezar su propio camino hacia una mejor calidad de vida. Este es el primer paso para generar el cambio.

Si los universitarios de diferentes disciplinas trabajan en su entorno, en actividades extracurriculares y ponen en práctica estrategias sustentables, se demostrarán a sí mismo que pueden impactar de manera positiva en su comunidad, de su propio actuar en las distintas facetas de su vida para que su ejemplo dé testimonio que es posible modificar su entorno responsablemente, y además, contribuir al cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

Esta iniciativa toma en consideración las experiencias exitosas de la ONU en la universidad, pero adaptadas a las necesidades propias de la institución, promoviendo la participación voluntaria de profesores y estudiantes de diferentes disciplinas para un trabajo en equipo que involucre el manejo de información científica responsable, y así fortalecer la formación del universitario al impactar en su estilo de vida, y en consecuencia volverse motor de cambio en su entorno.

Es inminente influir en aras de una conducta responsable de los universitarios, propiciando la reflexión sobre las propias acciones y el impacto que tienen en el entorno como lo demandan los protocolos internacionales para trabajar de manera sistemática con pasión, compromiso, pensamiento crítico y ético en construcción de un conocimiento integral. Pero la iniciativa de la red necesita el apoyo institucional para que se arraigue en la universidad y habrá que evaluar su impacto a corto plazo (un año) y a mediano plazo (cinco años), ya que no solo con buenas intenciones se lograrán resultados.

Los universitarios pueden participar en la elaboración de la legislación y normatividad, el desarrollo de materiales y procesos constructivos, en la optimización de mecanismos para la operatividad de los edificios durante su ciclo de vida, en la reducción y manejo de residuos, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la población actual y de las futuras generaciones. No hay tiempo que esperar, hay que actuar.

Referencias

Amigos de la Tierra. (2020, octubre 2). Justicia climática: situación actual. *Amigos de la Tierra: movilizar, resistir, transformar* [Web]. Consultado en «<https://www.tierra.org/situacion-actual-2/>»

Arenas Camps, M. (2016, noviembre 19). Esta es la situación actual del planeta: informe Planeta Vivo 2016 (WWF). *All you need is Biology (castellano)* [Web]. Consultado en «<https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/11/19/informe-planeta-vivo-2016-wwf/>»

Beacon. (2020, octubre 1). Beacon for Sustainable Living. *Beacon* [Web]. Consulted in «<https://beacon4sl.com/>»

Bruning, R.H.; Schraw, G.J. & Norby, M.M. (2012). *Psicología cognitiva y de la instrucción* (5ª ed.; Martín Cordero, J.I.; Luzón Encabo, J.M. & Martín Bleuca, E. trad.; p. 472). Madrid, España: Pearson Educación S.A. ISBN 978-84-8322-875-3. Consultado en «https://issuu.com/luisorbegoso/docs/psicologia_cognitiva_y_de_la_instru»

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2007). Daño y pérdida de biodiversidad. *CEPAL - Naciones Unidas* [Web]. Consultado en «<https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>»

Chaparro Mendivelso, J. & Meneses Arias, I. (2015). El Antropoceno: aportes para la comprensión del cambio global. *Ar@cne Revista electrónica de recursos en internet sobre geografía y ciencias sociales*, (203): 1-20. Recuperado de «<https://www.ub.edu/geocrit/aracne/aracne-203.pdf>»

College of Sustainability-Dalhousie University. (2020, October 1). College of Sustainability: Steve Mannell. *College of Sustainability at Dalhousie University* [web]. Consulted in «<https://www.dal.ca/faculty/sustainability/about/faculty-and-staff/steve-mannell.html>»

Corral-Verdugo, V. & de Queiroz Pinheiro, J. (2004). Aproximaciones al estudio de la conducta sustentable. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, 5(1-2):1-26. Recuperado de «<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1332322>»

Council of Europe. (2020, octubre 1). La globalización. *Manual de educación en los derechos humanos con jóvenes-Council of Europe* [Web]. Consultado en «<https://www.coe.int/es/web/compass/globalisation>»

Dalhousie University. (2020, October 1). College of Sustainability. *College of Sustainability at Dalhousie University* [web]. Consulted in «<https://www.dal.ca/faculty/sustainability/about.html>»

Dane, F. (Ed.). (2013). *El desafío del desarrollo sustentable en América Latina* (p. 311). Rio de Janeiro; Brasil: Fundação Konrad Adenauer-Stiftung; SOPLA-Programa Regional sobre Políticas Sociales. ISBN 978-85-7504-180-2. Recuperado de «https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=302fab42-4aec-6654-871c-bce1579b44fe&groupId=252038»

Delors, J.; Al Mufti, I.; Amagi, I.; Carneiro, R.; Chung, F.; Geremek, B.; Gorham, W.; Kornhauser, A.; Manley, M.; Padrón Quero, M.; Savané, M.; Singh, K.; Stavenhagen, R.; Won Suhr, M. & Nanzhao, Z. (1996). Los cuatro pilares de la educación. En: Autor; *La educación encierra un tesoro - Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la Educación para el Siglo XXI* (compendio). (pp. 91-103). París; Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Recuperado de «https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000109590_spa»

Edbaissi, A. (2016). Pensamiento crítico para un desarrollo sustentable: una visión emergente desde una perspectiva reflexiva. *Novum Scientiarum*, (2): 38-45. Recuperado de «<https://core.ac.uk/download/pdf/277658361.pdf>»

Edwards, B. & Hyett, P. (2004). *Guía básica de la sostenibilidad* (Rough Guide to Sustainability; Sanmiguel Sousa, S. Trad.; p. 121). Barcelona; España: Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN 84-252-1951-5. Consultado en «https://www.academia.edu/40262971/Gu%C3%ADa_B%C3%A1sica_de_la_Sostenibilidad»

Enshassi, A.; Kochendoerfer, B. & Rizq, E. (2014). An evaluation of environmental impacts of construction projects. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29(3): 234-254. DOI «<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>»

EROSKI Consumer. (2005, octubre 20). Impacto ambiental de los edificios: los edificios son uno de los causantes de los principales problemas medioambientales. *EROSKI Consumer* [Web]. Consultado de «<https://www.consumer.es/medio-ambiente/impacto-ambiental-de-los-edificios.html>»

Fundación Aquae. (2020, noviembre 11). Los gases de efecto invernadero, muy peligrosos para nuestro planeta. *Cuáles son los gases de efecto invernadero - Fundación Aquae* [Web]. Consultado en «<https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-gases-de-efecto-invernadero/>»

Galano, C.; Curi, M.; Motomura, O.; Porto Gonçalves, C.W.; Silva, M.; Ángel, A.; Ángel, F.; Borrero, J.M.; Carrizosa, J.; Cortés, H.; Flórez, M.; Lozano, A.; Llano, A.; Mariño, J.; Mayr, J.; Schütze, K.; Valenzuela, L.C.; Mora, E.; Clark, I.; Elizalde, A.; Larraín, S.; Espinosa, M.F.; Haji Manchineri, S.; Franco, L.A.; Guerra, L.M.; Paredes, B.; Quadri, G.; Castro, G.; Tréllez, E.; Ramírez, J.C.; San Román, L.; Vilela, M.; Calderón, F.; Sánchez, R. & Leff, E. (2002). Manifiesto por la vida: por una ética para la sustentabilidad. *Ambiente & Sociedade*, 5(10-1): 1-14. Recuperado de «<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2002000100012>»

Gaona, T.; Chan, D.; Corona, E.A. (2010). *La sustentabilidad en el proceso de enseñanza aprendizaje del diseño integral: una perspectiva del caso de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali B.C.* (6º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali 5-7 de octubre). Universidad Autónoma de Baja California. DOI «<http://dx.doi.org/10.5821/ctv.7683>»

Guttal, S. (2007). Globalisation. *Development in Practice*, 17(4/5): 523-531. Recovered from «<http://www.jstor.org/stable/25548249>»

Hernández Moreno, S. (2008). La sustentabilidad en la enseñanza de la arquitectura en México. *La Colmena*, (59): 107-113. Recuperado de «<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=446344569021>»

Hesselink, F.; Goldstein, W.; van Kempen, P.P.; Garnett, T. & Dela, J. (2007). *La comunicación, educación, y conciencia pública (CEPA): una caja de herramientas para personas que coordinan las estrategias y planes de acción nacionales sobre diversidad biológica* (Puyol, A.; Calvo, S. & Andelman, M. trad.; p. 309). Montreal, Canadá: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN); Universidad Autónoma de Madrid; Ministerio del Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino de España. ISBN 92-9225-070-1. Consultado el 01 de octubre del 2020 en «<https://www.cbd.int/cepa-toolkit/cepa-toolkit-sp.pdf>»

homeprojectES. [@homeprojectES]. (2009, mayo 199). *Home (español)* [Archivo de video]. Youtube. Consultado el 30 de junio del 2020 en «<https://www.youtube.com/watch?v=SWRHxh6XepM>»

Jiménez-Martínez, C.A.; Álvarez-Gasca, M.A. & Jiménez-Martínez, M.S. (2012). Experiencias preliminares a partir de la aplicación de un programa sobre estilos de vida saludables desde la 'Investigación - acción'. *Journal of Behavior, Health & Social Issues*, 3(2): 101-111. DOI «<https://doi.org/10.22201/fesi.20070780.2011.3.2.30227>»

Lazzarini, B. & Cendra, J. (2015, julio 9). *Innovación tecnológica y cultura del consumo: la necesidad de una aproximación sistémica* (II Congrés UPC Sostenible 2015; p. 8). Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de «https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/8155/47_lazzarini.pdf?sequence=1&isAllowed=y»

Luna Argudín, M. (2020, octubre 1). La educación universitaria hoy: habilidades docentes - enfoques educativos. *La educación universitaria hoy* [Web]. Consultado en «<http://hadoc.azc.uam.mx/enfoques/menu.htm>»

Martínez Zárate, R. (2018, septiembre 5). El aprendizaje significativo y el pensamiento creativo en la enseñanza de la arquitectura. *Dr Rafael Martínez Zárate* [Web]. Consultado en «<https://drrafazarate.com/2018/09/05/el-aprendizaje-significativo-y-el-pensamiento-creativo-en-la-ensenanza-de-la-arquitectura/>»

Matheus, Y. (2013, junio 12). Ken Yeand: «debemos repensar nuestras ciudades». *Ecosiglos* [Web]. Consultado en «<https://ecosiglos.com/ken-yeang-debemos-repensar-nuestras-ciudades/>»

Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J. & Behrens III, W.W. (1972). *The limits to growth: a report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind* (Fifth printing; p. 205). New York; United States of America: Universe Books. ISBN 0-87663-165-0. Recovered from «<http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>»

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2020, octubre 1). *Estilos de vida sustentable*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación: Argentina. Recuperado de «<http://redplycs.ambiente.gov.ar/archivos/web/RedPLyCS/file/Estilos%20de%20vida%20sustentables%20completo.pdf>»

NU (Naciones Unidas). (2020a, octubre 1). Objetivos de Desarrollo Sostenible - Objetivo 11: lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. *United Nations (UN)* [Web]. Consultado en «<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>»

NU (Naciones Unidas). (2020b, octubre 1). 12 Producción y consumo responsables: por qué son importantes. *United Nations (UN)* [Web]. Consultado en «https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/12_Spanish_Why_it_Matters.pdf»

NU (Naciones Unidas). (2020c, octubre 1). Objetivos de Desarrollo Sostenible - haz posible el cambio. *United Nations (UN)* [Web]. Consultado en «<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/be-the-change/>»

One Planet Network. (2020a, October 1). Sustainable lifestyles & education programme: basics. *One Planet Network* [Web]. Consulted in «<https://www.oneplanetnetwork.org/programmes/sustainable-lifestyles-education/about/basics>»

One Planet Network. (2020b, October 1). Sustainable lifestyles & education programme. *One Planet Network* [Web]. Consulted in «<https://www.oneplanetnetwork.org/programmes/sustainable-lifestyles-education>»

ONU México (Organización de las Naciones Unidas). (2020, octubre 1). Objetivos del Desarrollo Sostenible. *Naciones Unidas: México* [Web]. Consultado en «<https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>»

Oseguera Figueroa, L. (Coord.). (2011). *Manual de construcción (bio-construcción) a base de costales de tierra y pacas de paja* (p. 43). Gobierno del Estado de Michoacán; Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro. Recuperado de «[https://www.activatie.org/publicacion?721-Manual-de-construcci%C3%B3n-\(Bio-Construcci%C3%B3n\)-a-base-de-costales-de-tierra-y-pacas-de-paja](https://www.activatie.org/publicacion?721-Manual-de-construcci%C3%B3n-(Bio-Construcci%C3%B3n)-a-base-de-costales-de-tierra-y-pacas-de-paja)»

Palomo Triguero, E. (2013). *Cita-logía: citas y frases célebres de personajes ilustres de la historia* (p. 302). Editorial Puntos Rojos Libros. ISBN-10: 8416068100, ISBN-13: 978-8416068104.

Paul, R. & Elder, L. (2003). *La mini-guía para el pensamiento crítico: conceptos y herramientas* (p. 26). Fundación para el pensamiento crítico. Recuperado de «<https://www.criticalthinking.org/resources/PDF/SP-ConceptsandTools.pdf>»

Plitt, L. (2016, agosto 30). ¿Qué es el Antropoceno, la 'Edad de los humanos' que expertos aseguran hemos entrado?. *BBC News Mundo* [Web]. Consultado en «<https://www.bbc.com/mundo/noticias-37220892>»

Ramírez Vázquez, Y.; González Muñoz, O. & Pensado Fernández, M.E. (2017). *La sustentabilidad en una época consumista: aproximación a las preferencias de consumo sustentable de estudiantes de posgrado* (XIV Congreso Nacional de Investigación Educativa 'COMIE'; p. 12). San Luis Potosí; México. Recuperado de «<https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v14/doc/2179.pdf>»

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). *Huella ecológica, datos y rostros* (1ª Reimp., Cuadernos de divulgación ambiental; p. 22). Toluca, Estado de México; México: SEMARNAT; Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU). ISBN 978-607-8246-18-2. Recuperado de «<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001598.pdf>»

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (s.f.). Recuadro - Los límites planetarios. *SEMARNAT* [Web]. Consultado de «https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro1_2.html»

Serrano Yuste, P. (2017, febrero 21). Los edificios de consumo casi nulo de energía no son los edificios del futuro. *Certificados energético.com* [Web]. Consultado en «<https://www.certificadosenergeticos.com/edificios-consumo-casi-nulo-energia-edificios-futuro>»

Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S.E.; Fetzer, I.; Bennett, E.M.; Biggs, R.; Carpenter, S.R.; de Vries, W.; de Wit, C.A.; Folke, C.; Gerten, D.; Heinke, J.; Mace, G.M.; Persson, L.M.; Ramanathan, V.; Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223): 1259855. DOI «<https://doi.org/10.1126/science.1259855>»

Turismo de Andalucía. (2019). Huella de carbono y huella ecológica. *Turismo de Andalucía - Junta de Andalucía & Unión Europea* [Web]. Consultado en «<https://www.andalucia.org/es/turismo-sostenible/la-huella-ecologica>»

UN (United Nations). (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: our common future* (p. 300). Recovered from «<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>»

UNEP (United Nations Environment Programme). (2020a, October 1). Sustainable lifestyles. *UN Environmental Programme* [Web]. Consulted in «<https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/sustainable-lifestyles>»

UNEP (United Nations Environment Programme). (2020b, October 1). About UN Environment Programme. *UN Environmental Programme* [Web]. Consulted in «<https://www.unep.org/about-un-environment>»

UNEP (United Nations Environment Programme). (2020c, November 1). Why Sustainable lifestyles matter. *UN Environmental Programme* [Web]. Consulted in «<https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/sustainable-lifestyles/why-sustainable-lifestyles>»

UNEP (United Nations Environment Programme). (2020d, November 1). UNEP launches 'Green Nudges' programme for universities. *UN Environmental Programme* [Web]. Consulted in «<https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/unep-launches-green-nudges-programme-universities>»

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje* (Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives, UNESCO trad.; p. 62). París; Francia. ISBN 978-92-3-300070-4. Recuperado de «<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>»

US Green Building Council. (2020, September 1). LEED rating System: the most widely used green building rating system. *US Green Building Council* [Web]. Consulted in «<https://www.usgbc.org/leed>»

WWF (World Wildlife Fund). (2012). *Informe Planeta vivo 2012: biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro* (Rego, M. & Valladares, M.A., trad.; p. 160). Gland; Suiza: WWF Internacional; Sociedad Zoológica de Londres; Red de la Huella Global; Agencia Espacial Europea; Índice Planeta Vivo. ISBN 978-2-940443-55-0. Recuperado de «https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/informe_planeta_vivo_2012_5.pdf»

WWF (World Wildlife Fund). (2016). *Informe Planeta vivo 2016: riesgo y resiliencia en el Antropoceno* (Fernández Benítez, C.A., trad.; p. 144). Gland; Suiza: WWF Internacional; Institute of Zoology; Stockholm Resilience Centre; Global Footprint Network; Stockholm Environment Institute; Metabolic. ISBN 978-2-940529-48-3. Recuperado de «https://awsassets.panda.org/downloads/informe_planeta_vivo_2016.pdf»

WWF (World Wildlife Fund). (2020, octubre 1). WWF en el mundo: ¿quiénes somos?. *World Wildlife Fund* [Web]. Consultado en «https://www.wwf.org.mx/quienes_somos/wwf_en_el_mundo/»

Zito, M. (2014). La ética del diseño sustentable. *Cuaderno, del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 48: 95-105. DOI «<https://doi.org/10.18682/cdc.vi48.1380>»



APUNTES DE LA FLORA DE TABASCO: *Hymenocallis littoralis* (Jacq.) Salisb.; LA PUREZA DEL PANTANO

NOTES ON THE FLORA OF TABASCO: *Hymenocallis littoralis* (Jacq.) Salisb.; THE PURITY OF THE SWAMP

Ricardo Cobos Hernández¹, Nelly del Carmen Jiménez Pérez^{2✉},
María de los Ángeles Guadarrama Olivera³, Mariana Ortiz
Guadarrama⁴ & Mauricio Labastida Astudillo⁵

¹Bióloga por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Doctora en Ciencias (sistemática) por el Instituto de Ecología (INECOL A.C.). Estudiosa de la flora regional y curadora de la colección de plantas vasculares del Herbario UJAT; responsable de la sección colaborativa «Apuntes de la flora de Tabasco» en Kuxulkab'. ²Bióloga y Maestra en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); encargada del Herbario UJAT (1985-2005) y especialista en botánica y flora de Tabasco; participante del programa «La planta del mes». ³Diseñadora y Comunicadora Visual (DCV) por la UNAM, especialista en soportes tridimensionales; colaboradora del Herbario UJAT. ⁴DCV por la UNAM, diseñador editorial e ilustrador, especialista en difusión y divulgación científica; colaborador del Herbario UJAT, IBUNAM y el Jardín Botánico de la UNAM.

Herbario UJAT, División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Carretera Federal #180 (Villahermosa-Cárdenas) km 0.5 S/N; entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco; México.

✉ nelly.jimenez@ujat.mx

¹ 0000-0000-0000-0000 ² 0000-0002-6500-100X

³ 0000-0001-7676-5155 ⁴ 0000-0003-3398-2402

⁵ 0000-0002-5683-7470

Como referenciar:

Cobos Hernández, R.; Jiménez Pérez, N.C.; Guadarrama Olivera, M.Á.; Ortiz Guadarrama, M. & Labastida Astudillo, M. (2021). Apuntes de la flora de Tabasco: '*Hymenocallis littoralis*' (Jacq.) Salisb.; la pureza del pantano. *Kuxulkab'*, 27(59): 63-65, septiembre-diciembre. DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.5534>

Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx>

<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.5534>

Resumen

Se presenta información taxonómica de la azucena '*Hymenocallis littoralis*' (Jacq.) Salisb., así como la etimología, descripción morfológica sintética, nombres comunes, datos sobre su distribución con especial referencia a su presencia en el estado de Tabasco, hábitat, usos e ilustraciones originales de las partes de la planta.

Palabras clave: Flora de Tabasco; Amaryllidaceae; *Hymenocallis*; Divulgación científica.

Abstract

Is presented taxonomic information of the lily '*Hymenocallis littoralis*' (Jacq.) Salisb., as well as the etymology, synthetic morphological description, common names, data on its distribution with special reference to its presence in the state of Tabasco, habitat, uses and original illustrations of the parts of the plant.

Keywords: Flora of Tabasco; Amaryllidaceae; *Hymenocallis*; Scientific dissemination.

Fuente: Herbario UJAT, 2021, División Académica de Ciencias Biológicas

Herbario UJAT - Colección Plantas Vasculares

UJATplantasvasculares

herbario@ujat.mx



APUNTES DE LA FLORA DE TABASCO

Hymenocallis littoralis La pureza del pantano

La azucena, *Hymenocallis littoralis* (Jacq.) Salisb., perteneciente a la familia Amaryllidaceae, es una de las 32 especies del género *Hymenocallis* que se distribuyen en México⁴. Este género fue propuesto por el inglés Richard Anthony Salisbury (o Markham) en 1812, agrupando varias especies previamente ubicadas dentro del género *Pancreatium*, eligiendo a *H. littoralis* precisamente como tipo nomenclatural del género. **Este nombre se deriva de las palabras griegas ὑμήν (himen), "membrana", y κάλός (kalos), "hermoso", aludiendo a la corona estaminal que caracteriza al grupo y el epíteto *littoralis*, por el hábitat característico de la especie, del litoral, cerca de la costa¹.** En su área de distribución se le conoce por varios nombres que hacen referencia a la forma de la flor o de la corona que une los filamentos, como: lágrimas (Veracruz), azucena, lirio o lirio mariposa (Campeche y Tabasco), lirio del río o lirio blanco (Oaxaca) y nic-thé-tzon (Campeche)³.



- a Estambres
- b. Anteras
- c. Filamento
- d. Estigma

- e. Estilo
- f. Corona estaminal
- g. Frutos

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La azucena es una planta herbácea subacuática que puede llegar a crecer unos 70 cm de alto, con bulbos ovoides, de 4.5-7 cm de diámetro y raíces carnosas. **Sus hojas son simples, lineares**, de 50 a 70 cm de largo y 2 a 5 cm de ancho, **con el ápice agudo**. La inflorescencia contiene de 8-15 flores, sobre un largo escapo de alrededor de entre 50 y 70 cm y brácteas de hasta 5 cm de largo. **Flores blancas, sésiles; lóbulos del perianto subiguales, agudos**, de 2 cm de largo, el tubo

de 15-17 (20) cm de largo, verde, la corona estaminal de entre 2 y 3 cm de largo, los lóbulos de la corona estaminal triangulares, la porción libre de los filamentos de alrededor de 5 cm de largo, blanca sólo en la base, verde en la parte apical, las anteras lineares, de unos 2 cm de largo; ovario trilobado, de 1.5 cm de largo, el estilo linear, blanco-verdoso, de 24 cm de largo. Fruto de 1.8-2.3 cm de largo, 1-1.5 cm de diámetro¹.

DISTRIBUCIÓN, HÁBITAT Y FENOLOGÍA

Es una especie nativa y común de las costas del sur de México y Centroamérica, aunque su distribución se extiende hasta las costas de Florida y de Sudamérica. En México se tiene registro de su presencia en los estados de Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán³.

En Tabasco se asocia con la vegetación de dunas costeras, manglares, selva mediana,

vegetación riparia y pastizales inundables en los municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Centro, Centla, Teapa y Tenosique⁵.

Florece y fructifica entre los meses de febrero a noviembre^{2,3,5}.

USOS

Es una especie ampliamente cultivada en el trópico con interés ornamental y naturalizada en algunos países³.

- h. Bulbo y raíces
- i. Hoja
- j. Vista de la planta

Créditos:

Ricardo Cobos Hernández,
Nelly del Carmen Jiménez Pérez,
María de los Ángeles Guadarrama Olvera

Diseño: Mariana Ortiz Guadarrama

Ilustración: Mauricio Labastida Astudillo  maq_pentagram

BIBLIOGRAFÍA

1. **González, J.** (2009). *Explicación Etimológica de las Plantas de la Selva*. (p. 135). Flora Digital de la Selva. Organización para Estudios Tropicales OET
2. **López Ferrari, A.R. & Espejo Serna, A.** (2002). Amarillydaceae. Flora de Veracruz, Fascículo 128, (P. 32). Veracruz, México: Instituto de Ecología A.C. <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumeness/FLOWER/128-Lopez.pdf>.
3. **Lot, A.; Medina Lemos, R.; Chiang, F. (Eds.) & E. Esparza (Ilustraciones).** (2013). *Plantas acuáticas mexicanas: una contribución a la Flora de México. Monocotiledóneas*. (P. 398). D. F. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
4. **Villaseñor, J.L.** (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 559-902, <https://dx.doi.org/10.1617/rmb.2016.08.017>
5. **Especímenes:** Guadarrama 6703, Novelo 1525, 2050, 2098, 2165, 2364, 4149, 4201, Ramos 3138 (UJAT); Gilly 254, Moreno 425 (MEXU)





APUNTES DE LA FLORA DE TABASCO: *Indigofera suffruticosa*; EL AZUL DE MÉXICO

NOTES ON THE FLORA OF TABASCO: *Indigofera suffruticosa*; THE BLUE OF MEXICO

Resumen

Nelly del Carmen Jiménez Pérez^{1✉}, Eduardo Javier Moguel Ordóñez², María de los Ángeles Guadarrama Olivera³, Mariana Ortiz Guadarrama⁴ & Mauricio Labastida Astudillo⁵

Se presenta información taxonómica de la azucena '*Indigofera suffruticosa*'; así como la etimología, descripción morfológica sintética, nombres comunes, datos sobre su distribución con especial referencia a su presencia en el estado de Tabasco, hábitat, usos e ilustraciones originales de las partes de la planta.

Palabras clave: Flora de Tabasco; *Indigofera*; Divulgación científica.

¹Bióloga por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Doctora en Ciencias (sistemática) por el Instituto de Ecología (INECOL A.C.). Estudiosa de la flora regional y curadora de la colección de plantas vasculares del Herbario UJAT; responsable de la sección colaborativa «Apuntes de la flora de Tabasco» en Kuxulkab'. ²Agrónomo especialista en parasitología agrícola por el Colegio Superior de Agricultura Tropical; Maestro en Ciencias en Agrometeorología por el Colegio de Postgraduados (COLPOS). Colaborador del cuerpo académico «Conservación y gestión ambiental» en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología) en la UJAT. ³Bióloga y Maestra en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); encargada del Herbario UJAT (1985-2005) y especialista en botánica y flora de Tabasco; participante del programa «La planta del mes». ⁴Diseñadora y Comunicadora Visual (DCV) por la UNAM, especialista en soportes tridimensionales; colaboradora del Herbario UJAT. ⁵DCV por la UNAM, diseñador editorial e ilustrador, especialista en difusión y divulgación científica; colaborador del Herbario UJAT, IBUNAM y el Jardín Botánico de la UNAM.

Herbario UJAT, División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT): Carretera Federal #180 (Villahermosa-Cárdenas) km 0.5 S/N; entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco; México.

✉ nelly.jimenez@ujat.mx

¹ 0000-0002-6500-100X ² 0000-0002-1641-6794
 ³ 0000-0001-7676-5155 ⁴ 0000-0003-3398-2402
 ⁵ 0000-0002-5683-7470

Como referenciar:

Jiménez Pérez, N.C.; Moguel Ordóñez, E.J.; Guadarrama Olivera, M.Á.; Ortiz Guadarrama, M. & Labastida Astudillo, M. (2021). Apuntes de la flora de Tabasco: '*Indigofera suffruticosa*'; El azul de México. *Kuxulkab'*, 27(59): 67-69, septiembre-diciembre. DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.5535>

Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx>
<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a27n59.5535>

Abstract

Is presented taxonomic information of the lily '*Indigofera suffruticosa*'; as well as the etymology, synthetic morphological description, common names, data on its distribution with special reference to its presence in the state of Tabasco, habitat, uses and original illustrations of the parts of the plant.

Keywords: Flora of Tabasco; *Indigofera* Scientific dissemination.

Fuente: Herbario UJAT, 2021, División Académica de Ciencias Biológicas

Herbario UJAT - Colección Plantas Vasculares

UJATplantasvasculares

herbario@ujat.mx



APUNTES DE LA FLORA DE TABASCO

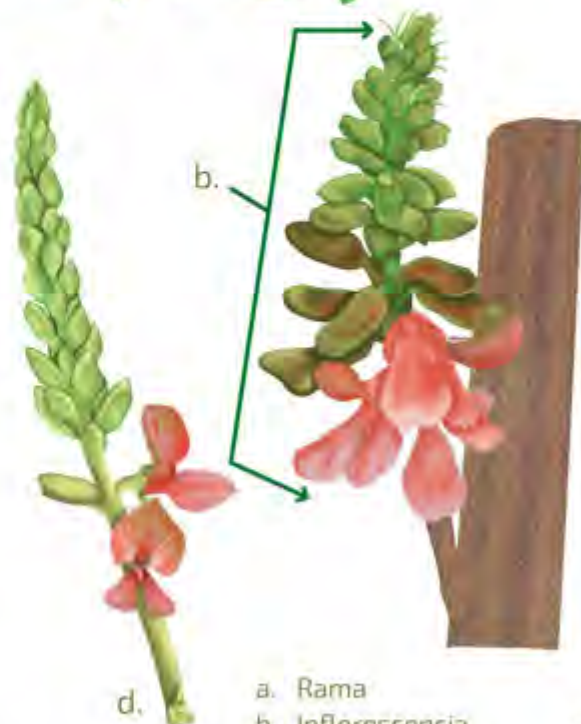
Indigofera suffruticosa El azul de México

"Hay una yerba en las tierras calientes que se llama *xiuhquilitl*, majan esta hierba y esprímenla el zumo, y echánlo en unos vasos: allí se seca o se cuaja, con ese color se tiñe lo azul oscuro y resplandeciente, es color preciado²", expresó Fray Bernardino de Sahagún, refiriéndose a la planta que posteriormente describió Miller en 1768 como *Indigofera suffruticosa*. Fue Linneo quien propuso el nombre del género, en alusión a que el colorante llamado índigo, del latín *indicus*, es decir, de la India, era extraído de algunas especies asiáticas de este grupo. El epíteto específico, se refiere a que esta especie presenta el tallo principal leñoso solo en su parte basal lo que le da una apariencia ambigua entre arbusto y hierba.

En México se conoce como añil o jiquilite y ha sido usado como fuente de un colorante, que mezclado con ciertas arcillas, produjo el llamado azul maya, nombrado así por Gettens y Stout en 1942, porque hasta el momento solo se había encontrado en templos pertenecientes a esa cultura aunque, años más tarde, se detectó en otros sitios arqueológicos mexicanos³.

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Arbusto perenne, erecto, de 3 m de altura, muy ramificado, con tallos estriados y pubescencia grisácea. Hojas alternas, imparipinadas, de (9) 11 - 13 (17) foliolos opuestos, con el envés más pálido, base atenuada y ápice agudo. Estípulas setáceas a subuladas, estípelas presentes pero inconspicuas. Inflorescencias axilares, densas. Flores de hasta 5 mm de largo, con pétalos desiguales, color rojo a salmón, 10 estambres con 9 filamentos unidos y 1 libre. Frutos legumbres



- a. Rama
- b. Inflorescencia
- c. Tallos estriados
- d. Detalle de la inflorescencia y flores

rollizas, oblongas, curvadas, de hasta 2 cm de largo, con una pequeña punta, pubescente, que contienen de 3 a 7 semillas³.

DISTRIBUCIÓN, HÁBITAT Y FENOLOGÍA

El añil es considerado una especie nativa del Nuevo Mundo que se ha dispersado a las regiones tropicales de todo el mundo, debido principalmente a su uso histórico como planta tintórea. En América se extiende desde el sureste de los Estados Unidos hasta Argentina y las Antillas².

En Tabasco medra en la vegetación de selva, sabana, zonas costeras y muy especialmente en las cercanías de vegetación hidrófita como tulares, popales y maglares. También es común encontrarla en vegetación perturbada y como ruderal. Se ha registrado en los municipios de Cárdenas, Centla, Centro, Comalcalco, Huimaguillo, Macuspana, Nacajuca, Paraíso y Teapa. Florece y fructifica durante todo el año⁵.

Créditos:
Nelly del Carmen Jiménez Pérez,
Eduardo Javier Moguel Ordóñez
María de los Ángeles Guadarrama Olivera

Diseño: Mariana Ortiz Guadarrama

Ilustración: Mauricio Labastida Astudillo  mao_pentagram

BIBLIOGRAFÍA

1. Da Silva, I.B.; Lima, I.R.; Santana, M.A.N.; Leite, R.M.P. y Leite, S.P. (2014). *Indigofera suffruticosa* Mill (Fabaceae): hepatic responses in mice bearing sarcoma 180. *Int. J. Morphol.*, 32(4):1228-1233.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000400017>.
2. Lievens, A.W. (1992). Taxonomic Treatment of *Indigofera* L. (Fabaceae: Faboideae) in the New World. (Tesis de Doctor en Filosofía No publicada). Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge.
https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_disstheses/5395/
3. Peltier, N. (2003). Synthèse et caractérisation d'un complexe organo-argileux: le pigment "Bleu Maya" Grenoble: European Synchrotron Radiation Facility. <http://www.esrf.fr/computing/scientific/people/sno/publications/NicolasPeltier.pdf>
4. Sahagún, B. (1829). *Historia general de las cosas de Nueva España*. C.M. Bustamante (Ed.), 3 vols. México, Alejandro Valdés. http://cdigital.dgb.uanl.mx/ha/1080012524_C/1080012525_T3/1080012525_MA.PDF.
5. Especímenes de referencia en Herbario UJAT: Cabrera 13037; Calónico 21370, Castillo 632, Cowan 1964; Hanan 979; Jiménez 01/2021, Magaña 44, 658, 1250, 1277, 1532, 1943; Ricardez 307; Sinaca 2011; Sousa 11749, Ventura 20860, 21008; Zamudio 532.

USOS

Indigofera suffruticosa ha sido usado por comunidades brasileñas para el tratamiento de infecciones y procesos inflamatorios. Estudios farmacológicos de los extractos acuosos han mostrado además actividad citotóxica y antitumoral, así como efectos hepatoprotectores¹. Sin embargo, indiscutiblemente el uso principal del añil ha sido como fuente del tinte índigo, muy importante comercialmente hasta que fue reemplazado por tintes sintéticos a fines del siglo XIX.

En México, la memoria histórica de este tinte pervive en algunas regiones de Michoacán y Oaxaca, con la esperanza de que con el auge de los productos orgánicos, el cultivo del añil florezca de nuevo y con ello el azul que México dio al mundo.





EJEMPLAR DE LORO CABEZA AMARILLA ('*Amazona oratrix*'): PROGRAMA DE RESGUARDO, PROTECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE ESPECIES ENDÉMICAS EN LA UMA DE PSITÁCIDOS.

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: Jesús Ramírez.

«La disciplina es no perder de vista lo que se desea alcanzar»

DACBIOL



EJEMPLAR HERBORIZADO DE *Ruellia* sp. (Acanthaceae) DE LA COLECCIÓN DE PLANTAS VASCULARES DEL «HERBARIO UJAT»

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: José Francisco Juárez López



KUXULKAB'

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

+52 (993) 358 1500, 354 4308 ext. 6415

kuxulkab@ujat.mx • kuxulkab@outlook.com

www.revistas.ujat.mx

Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya, C.P. 86039.
Villahermosa, Tabasco. México.

