



ESPACIO I+D, INNOVACIÓN
MÁS DESARROLLO



ESPACIO I+D, INNOVACIÓN MÁS DESARROLLO

Febrero 2025, Vol. XIV, N.º 39.

Registrada en **Latindex**, **BIBLAT**, **CLASE**, **Actualidad Iberoamericana**, **Sistema de Información Cultural de la Secretaría de Cultura**, **REDIB**, **DOAJ**, **MIAR**, **Biblioteca COLMEX** y **SCILIT**.

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

Reserva: 04-2022-070614023200-102

ISSN: 2007-6703

Directora General-Mónica Guillén Sánchez

Editora Responsable-Silvia E. Álvarez Arana

Editora Ejecutiva-Jenny Ivette Gómez Hernández

Diseño Web y Editorial-Joshep Fabián Coronel Gómez

Traducción General-Celina López González

Desarrollador Web y Soporte Técnico Editorial-Héctor Daniel Niño Nieto

Boulevard Belisario Domínguez, Km. 1081, sin número, Terán,
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 29050.

www.espacioimasd.unach.mx

Contacto: espacioimasd@unach.mx

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.



Comité Editorial

Alexandra Mulino • Universidad Central de Venezuela
Alfredo Briones Aranda • Universidad Autónoma de Chiapas
Ana Alejandra Robles Ruiz • CESMECA- Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Ana Almansa • Universidad de Málaga España
Carlos Alberto Noriega Guzmán • Universidad Autónoma de Baja California
Christian Maythe Santiago Bartolomé • Instituto de Elecciones y Participación Ciudadana/UNACH
Diana Leslie Mendoza Robles • Universidad Autónoma de Chiapas
Dorian Francisco Gómez Hernández • Universidad Autónoma de Chiapas
Eduardo Torres Alonso • Universidad Nacional Autónoma de México
Emilio Rodríguez Macayo • Universidad Autónoma de Chile. Sede Talca
Flora Eugenia Salas Madriz • Universidad de Costa Rica
Gabriel Castañeda Nolasco • Universidad Autónoma de Chiapas
Gerardo Núñez Medina • Colegio de la Frontera Norte
José Bastiani Gómez • Universidad Intercultural de Chiapas
José Martínez Torres • Universidad Autónoma de Chiapas
Karen Caballero Mora • Universidad Autónoma de Chiapas
Lorenzo Franco Escamiroso Montalvo • Universidad Autónoma de Chiapas
Lucía Tello Peón • Universidad Autónoma de Yucatán
María Eugenia Aguilar Álvarez • Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar (DGETAyCM)
Mayra Isabel de la Rosa Velázquez • Universidad Autónoma de Sinaloa
Miguel Abud Archila • Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. México
Natacha Coca Bernal • Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba
Sandra Aurora González Sánchez • Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Sarely Martínez Mendoza • Universidad Autónoma de Chiapas
Sandra Isabel Ramírez González • Universidad Autónoma de Chiapas
Segundo Jordán Orantes Albores • Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Ottmar Raúl Reyes López • Academia de Química y Biología en la UPIITA del IPN
Víctor Darío Cuervo Pinto • Instituto Politécnico Nacional-UPIITA

Asesor:

Orlando López Báez • Universidad Autónoma de Chiapas

Coordinación y gestión operativa

Silvia E. Álvarez Arana • silvia.alvarez@unach.mx

Jenny Ivette Gómez Hernández • jenny.gomez@unach.mx

Instructivo de publicación:

<https://www.espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/Instrucciones>

ÍNDICE

Editorial	6
-----------	---

Artículos

Estudio de Generación de Residuos Sólidos Urbanos en la Cabecera Municipal de Chiapilla, Chiapas, y Estrategias de Mejoramiento de Manejo de Residuos	9
Aplicación de un proceso electroquímico para tratar residuos líquidos de pruebas de tinción de GRAM	30
El destino de la basura: una mirada a sus impactos	49
Caracterización espectral y análisis del color verdadero de diferentes colorantes	64
Panorama ambiental del Caribe mexicano como sector hotelero en crecimiento y generador de aguas residuales; retos y alternativas	77
Peligro sísmico en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: dos casos de estudio	104
Organizarse por el agua en contexto rural e indígena: el caso de la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitalá (APAMS)	128

Documento Académico

Programa educativo de Ingeniería Ambiental de la
Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de
Chiapas. 20 aniversario

146

EDITORIAL

Con entusiasmo les damos la bienvenida al más reciente número de la Revista Digital de la Universidad Autónoma de Chiapas, *Revista Espacio i+D Innovación más Desarrollo*, con el que inauguramos el Volumen XIV, Número 39. En estos 12 años estamos agradecidos porque hemos sido testigos del crecimiento de nuestra publicación y de la consolidación de nuestra misión: divulgar la ciencia y el conocimiento de nuestra máxima casa de estudios. Por lo que celebramos el inicio de un fructífero 2025, deseando que nuestra comunidad universitaria, lectora y colaboradores tengan plenitud en todos los aspectos de su vida personal, académica y profesional. Este año marca un acontecimiento significativo en nuestra historia universitaria, al igual que en nuestro estado y en México, ya que iniciamos una nueva gestión rectoral que traerá renovadas perspectivas acompañadas del mismo compromiso con la calidad que caracteriza a nuestra institución.

Este nuevo número, también es una celebración interinstitucional pues nos ofrece artículos que abordan temas interdisciplinarios en el marco del Vigésimo aniversario del programa de Ingeniería Ambiental de nuestra institución hermana, la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), entre ellos se encuentran: “Estudio de generación de residuos sólidos urbanos en la cabecera municipal de Chiapilla, Chiapas, y planteamiento de estrategias de mejoramiento de manejo de residuos; “Aplicación de un proceso electroquímico para tratar residuos líquidos de pruebas de tinción de Gram”; “El destino de la basura: Una mirada a sus impactos”; “Caracterización del color verdadero de pigmentos extraídos de *Bixa Orellana* y *Brassica oleracea*, var. *Capitata* comparados con *Indigofera suffruticosa* y azul de metileno”; “Panorama ambiental del Caribe mexicano como sector hotelero en crecimiento y generador de aguas residuales; retos y alternativas”; “Peligro sísmico en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: dos casos de estudio”; y “Organizarse por el agua en contexto rural e indígena: El caso de la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitalá”.

Además, con la llegada de este nuevo año, trabajamos para mejorar continuamente nuestros procesos y seguir brindando un espacio de calidad para la comunidad académica, en el que cada voz y cada aporte sean escuchados y valorados.

Les invitamos a leer los artículos que componen este número, que son el reflejo del arduo trabajo de la comunidad investigadora y académica de la región.

¡Agradecemos profundamente su continuo apoyo y animamos a seguir acompañándonos en este camino hacia la innovación, el desarrollo y el conocimiento!

Atentamente:
Las editoras

«Por la conciencia de la necesidad de servir»
Universidad Autónoma de Chiapas

Revista Espacio I+D, Innovación más Desarrollo



ARTÍCULOS

Estudio de Generación de Residuos Sólidos Urbanos en la Cabecera Municipal de Chiapilla, Chiapas, y Estrategias de Mejoramiento de Manejo de Residuos

Study Of Municipal Solid Waste Generation In The Municipal
Seat Of Chiapilla, Chiapas, And Proposal Of Waste Management
Improvement Strategies

—

Juan Antonio Araiza Aguilar¹
juan.araiza@unicach.mx
ORCID: 0000-0002-3530-0674

Hugo Alejandro Nájera Aguilar¹
hugo.najera@unicach.mx

Rubén Fernando Gutiérrez Hernández²
rgutierrez@ittapachula.edu.mx

Carlos Manuel García Lara¹
carlos.garcia@unicach.mx

1 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL, UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES
DE CHIAPAS. TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS. MÉXICO.

2 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA. TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO—INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TAPACHULA,
TAPACHULA DE CÓRDOVA Y ORDÓÑEZ. CHIAPAS, MÉXICO.



Para citar este artículo:

Araiza Aguilar, J. A., & Nájera Aguilar, H. A. Estudio de Generación de Residuos Sólidos Urbanos en la Cabecera Municipal de Chiapilla, Chiapas, y Estrategias de Mejoramiento de Manejo de Residuos. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39). <https://doi.org/10.31644/IMASD.39.2025.a01>

RESUMEN

El manejo de los residuos sólidos urbanos es uno de los principales retos de las sociedades actuales. Conocer las cantidades producidas de residuos permite cuantificar el equipamiento necesario para adquirirse, como camiones recolectores y contenedores. Además, sirven como base de diseño de obras de ingeniería, tales como rellenos sanitarios y plantas de separación.

En este trabajo se efectuó un estudio de generación de los residuos sólidos urbanos en la cabecera municipal de Chiapilla, Chiapas, con la finalidad de generar información que permita tomar decisiones en materia de manejo de tales residuos. Los trabajos efectuados permitieron determinar las tasas de generación per cápita para la fuente de generación urbana (0.733 kg/hab-día), domiciliaria (0.615 kg/hab-día) y no domiciliaria (0.118 kg/hab-día). Por otro lado, a través del estudio de la composición de residuos sólidos, se determinó que el componente orgánico sigue manteniendo porcentajes altos en el municipio (65.71 %), seguido de otros subproductos tales como plásticos (7.38 %), así como papel y cartón (4.31 %). Con base en los resultados obtenidos, se plantearon algunas estrategias de manejo de residuos para el H. Ayuntamiento, que incluyen la modificación de su normatividad local, el planteamiento de campañas de educación ambiental y otras. Todas esas acciones pueden servir para mejorar las condiciones actuales en el municipio en materia de manejo de residuos.

Palabras clave:

Residuos sólidos; subproductos; generación de residuos.

— Abstract—

Municipal solid waste management is one of the main challenges facing today's societies. Knowing the quantities of waste produced allows us to quantify the equipment needed to acquire it, such as garbage trucks and containers. In addition, they serve as a basis for the design of engineering works, such as landfills and waste separation plants.

In this work, a study of the generation of municipal solid waste in the municipal seat of Chiapilla, Chiapas, was developed with the purpose of generating information that allows making decisions regarding the management of such wastes. The work carried out allowed us to determine the per capita generation rates for the municipal generation source (0.733 kg/inhabitant-day), households (0.615 kg/inhabitant-day) and non-domestic generation (0.118 kg/inhabitant-day). On the other hand, through the study of the composition of solid waste, it was determined that the organic component continues to maintain high percentages in the study area (65.71 %), followed by other subproducts such as plastics (7.38 %), as well as paper and cardboard (4.31 %). Based on the results obtained, some waste management strategies were proposed for the City Council, which include the modification of its local regulations, the formulation of environmental education campaigns and others. All these actions can serve to improve current conditions in the municipality in terms of waste management.

Keywords:

Solid waste; subproducts; waste generation.

A nivel mundial, se ha tenido un cambio drástico en las tasas de generación y características de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), influenciados por factores como el crecimiento poblacional, cambios en los hábitos de consumo, el poder adquisitivo, la migración o nuevas costumbres (Buenrostro y Bocco, 2003; GTZ, 2003; Ojeda y Beraud, 2003). En México este fenómeno también está presente, causando que las entidades responsables de proporcionar los servicios de aseo urbano, se enfrenten a nuevos retos en la búsqueda de proporcionar mayor eficiencia de esas actividades.

De acuerdo con Bernache (2015), dentro de los principales retos a los que se enfrentan los municipios de México se encuentran: **i)** la falta de recursos económicos para atender el pago de personal que involucra el aseo urbano; **ii)** el parque vehicular deficiente para realizar la recolección de residuos; **iii)** la inadecuada ubicación de sitios de disposición final y su deficiente operación; **iv)** la carencia de estrategias para la gestión sustentable de residuos; **v)** la escasa participación social en los procesos de gestión, particularmente en lo que se refiere a minimizar la producción y la separación de los residuos. Otros retos que incluyen aspectos políticos se establecen en (Environmental Protection Agency [EPA], 2020), tales como la rotación política entre trienios de gobierno municipal y la coordinación gubernamental entre distintas dependencias estatales y municipales.

Previo a la solución de problemas y retos asociados con los RSU a través de una buena toma de decisiones, es indispensable conocer las cantidades generadas de residuos, por lo que se recurre a estudios de generación y cuantificación de subproductos de los RSU. Bernache et al. (2001) y Ojeda et al. (2008), señalan la importancia de sistematizar metodologías para los estudios de generación, que aporten información que sirva para la planeación de los servicios de aseo urbano. También son indispensables porque técnicamente permiten cuantificar el equipamiento necesario para adquirirse, como camiones recolectores y contenedores. Además, sirven como base de diseño de obras de ingeniería, tales como rellenos sanitarios y plantas de separación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2020). Desafortunadamente, son pocos los municipios que cuentan con la infraestructura o conocimiento para poder efectuarlos.

La carencia de datos sobre la producción de residuos en los municipios, puede ser perjudicial para la gestión adecuada de ellos. Actualmente son pocos los trabajos efectuados en municipios pequeños o comunidades rurales. Se destacan los trabajos de Alvarado et al. (2009) y Araiza et al. (2015), ya que no solo se generan cifras de manejo de residuos, sino también propuestas acordes al tamaño del asentamiento. El presente trabajo muestra los resultados de un estudio de generación y cuantificación de subproductos de los RSU, efectuado en la cabecera municipal de Chiapilla, Chiapas. Este municipio como muchos otros del país, en los últimos años ha sufrido distintos

cambios socioculturales, que han repercutido en las tasas de generación de RSU. Por ejemplo, de acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2010, 2020), entre 2010 y 2020, la población tuvo un incremento de 13.65 %, es decir, la población pasó de 3,809 a 4,329 habitantes. En este mismo sentido, el número de viviendas pasó de 1,139 a 1,447, es decir, se tuvo un aumento de 27.04 %. En materia de servicios y establecimientos comerciales, en el mismo periodo hubo un pequeño aumento de estos establecimientos, pasando de 198 a 205. Es importante mencionar que el cambio más notable, puede ser visto en la zona centro de la cabecera municipal o primer cuadro de la misma.

A través del presente trabajo, se espera generar información útil para las autoridades municipales y que puedan emplear los datos para diseñar obras, planes y programas en materia de manejo de residuos, por ejemplo, rediseñar el sitio de disposición final actual, así como adquirir mayor cantidad de unidades de recolección. Adicionalmente, se plantean algunas estrategias enfocadas en los aspectos normativos y de educación ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y contexto de manejo de residuos

El presente trabajo se desarrolló en la cabecera municipal del municipio de Chiapilla, Chiapas, ubicado al sureste de México. Sus coordenadas de ubicación son 16° 34' 12.67" de latitud norte y 92° 43' 12.76" de longitud oeste (**Figura 1**). El municipio tiene una extensión territorial total de 53.04 km², cuenta con siete localidades, de las cuales solo la cabecera municipal es urbana y cuenta con una población de 4,329 habitantes (CEIEG 2023). Actualmente, el municipio presenta algunas deficiencias en materia de manejo de residuos, particularmente en las etapas de recolección y disposición final, las cuales son operadas con infraestructura deficiente, por lo que su atención es urgente. Respecto al sitio de disposición final, se requieren celdas nuevas, mientras que, en el caso de la recolección, mayor cantidad de vehículos recolectores. Estas carencias pueden ser solventadas a través de la información proporcionada por los estudios de generación y cuantificación de subproductos.

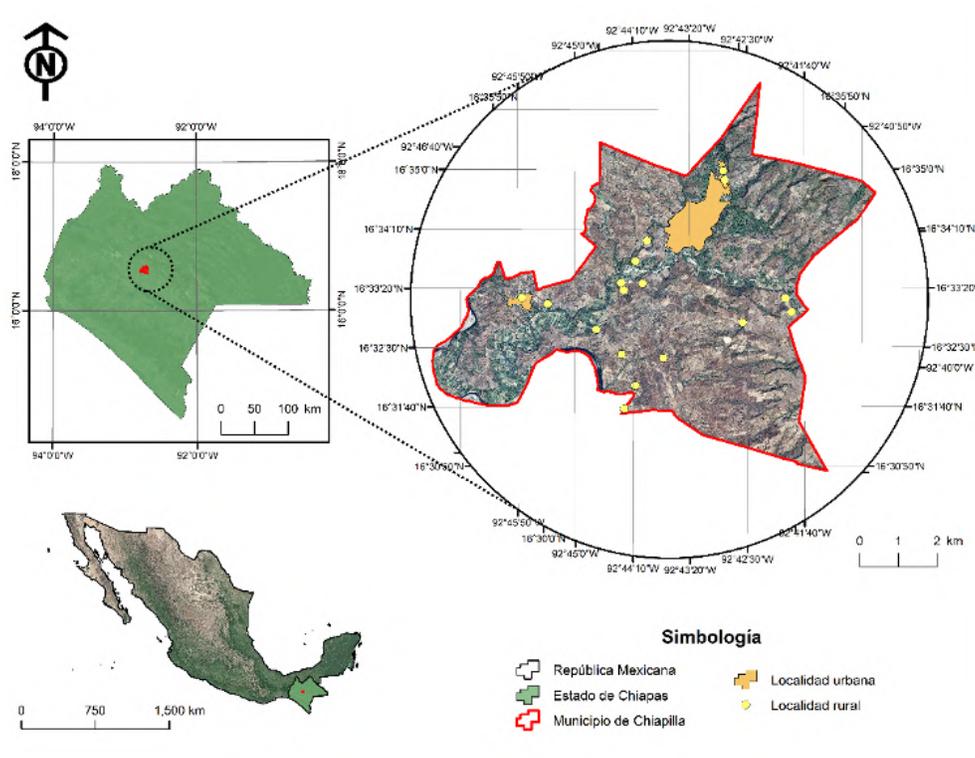


Figura 1. Área de estudio

Recolección de datos de partida y selección de viviendas

Inicialmente, se acudió a las bases de datos del INEGI, además del H. Ayuntamiento municipal de Chiapilla, Chiapas, para confirmar el único estrato socioeconómico visible en el que se realizaría el muestreo de residuos. Posteriormente, de acuerdo a lo indicado por la NMX-AA-061-1985 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI], 1985d), para trabajar con un nivel de confianza de 90%, se determinaron mínimamente 80 casas como premuestras dentro de la cabecera municipal, las cuales fueron numeradas en un plano del área de estudio, y elegidas a través de números aleatorios arrojados por un software estadístico.

Previo a realizar la toma de muestras en cada domicilio, se procedió a recorrer el área de estudio, visitando a los habitantes de las casas seleccionadas para explicarles la razón del muestreo, además de levantar información general de los servicios de aseo urbano. Los trabajos de campo se iniciaron el miércoles 15 de junio del 2022, fecha a partir de la cual se entregó diariamente una bolsa de polietileno, la cual era llenada con los residuos generados en la casa habitación y recolectada al día siguiente para su posterior análisis. Esta operación se repitió hasta el día 21 de junio de 2022, fecha en la cual culminaron los trabajos de campo.

Es importante destacar que, el levantamiento de muestras se realizó a partir de las 7:00 hrs. de cada día, salvo algunos hogares por la ausencia de los jefes de familia. Adicionalmente, se consideró la operación limpieza, que consistió en coleccionar los residuos almacenados el día previo al comienzo de los estudios, con la finalidad de evitar sesgos en los muestreos posteriores.

El análisis de datos atípicos de tasas per cápita de producción de desechos, se efectuó considerando el criterio de Dixon r_{22} para muestras mayores a 14 elementos dentro del Software MINITAB. Las ecuaciones y valores críticos del citado criterio de exclusión, pueden ser vistos en Davis y McCueen (2005).

Con respecto a la generación no domiciliaria (comercial y de servicios), se emplearon bases de datos mostradas en Heredia et al. (2007) y Alvarado et al. (2009), que contienen tasas de generación de residuos por tipo de establecimiento comercial. Adicionalmente, se utilizó la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI (2023), para identificar el número de establecimientos dentro de la cabecera municipal de Chiapilla, Chiapas. La Tabla 1 presenta una clasificación de unidades económicas sugeridas en Araiza et al. (2017a).

Tabla 1
Establecimientos y unidades económicas que pueden analizarse

Unidad económica	Descripción
Comercial	En esta clasificación se encuentran establecimientos tanto pequeños como grandes, donde se comercializan bienes de primera necesidad y otros. Entre los principales establecimientos se encuentran las tiendas de autoservicio, locales comerciales de diversos tipos, así como tiendas de abarrotes y expendios de carnes y verduras.
Servicios	En esta clasificación se encuentran los establecimientos que brindan sostén a la sociedad, tanto desde el punto de vista de transporte, como de realización de trámites y demás. Los establecimientos corresponden a oficinas públicas, privadas, centros culturales y religiosos, además de gasolineras y hoteles.
Especiales	Está integrada por centros educativos, unidades médicas y terminales terrestres.
Otros	En esta última clasificación se agruparon a las áreas verdes de parques y jardines.

Determinación de la composición de residuos y pesos volumétricos

Posterior a la recolección de las bolsas de residuos provenientes de cada casa habitación muestreada, éstas fueron llevadas al espacio de trabajo asignado por el H. Ayuntamiento, en donde se procedió a pesar cada bolsa, registrar su peso en una base de datos y obtener la tasa de generación per cápita con base en la **Ecuación 1**.

$$GPD_R = \frac{mBolsa_R}{Hab_{viv}} \quad (1)$$

Donde GPD_R es la tasa de generación per cápita domiciliaria en kg/hab-día; $mBolsa_R$ es el peso de residuos dentro de cada bolsa en kg; Hab_{viv} es el número de habitantes en cada vivienda del día muestreado.

Enseguida, los residuos de cada bolsa se colocaron sobre el piso y se mezclaron de acuerdo a lo indicado en la NMX-AA-015-1985 (SECOFI, 1985a), aplicando el método de cuarteo, que consiste en fraccionar los residuos (en cuatro partes) hasta obtener una porción adecuada para los pasos subsecuentes. Con el apoyo de un recipiente de 200 L y en apego a lo descrito en la NMX-AA-019-1985 (SECOFI, 1985b) y **Ecuación 2**, se procedió a realizar la operación para determinar el peso volumétrico de los residuos.

$$\rho_R = \frac{m_{cm}(lleno) - m_{cm}(vacío)}{V_{cm} \times N_{llenado}} \quad (2)$$

Donde ρ_R es la densidad de los residuos en kg/m³; $m_{cm}(lleno)$ es el peso del contenedor de muestreo lleno (kg); $m_{cm}(vacío)$ es el peso del contenedor de muestreo vacío (kg); V_{cm} es el volumen del contenedor de muestreo (0.2 m³); $N_{llenado}$ es el nivel de llenado del contenedor de muestreo (%).

Finalmente, para caracterizar o cuantificar los subproductos, una porción de aproximadamente 50 kg proveniente del cuarteo fue empleada. En esta actividad, los residuos se colocaron sobre una mesa, categorizándolos con base a las fracciones y componentes enlistadas en la **Tabla 2**, además de lo indicado en la NMX-AA-022-1985 (SECOFI, 1985c). Es importante indicar que el porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se determinó a través de la **Ecuación 3**.

$$P_{sub} = \frac{m_{sub}}{m_T} \quad (3)$$

Donde P_{sub} es el porcentaje del subproducto considerado; m_{sub} es el peso del subproducto considerado en kg, descontando el peso de la bolsa o recipiente empleado en el pesaje; m_T es el peso total de la muestra en kg (50 kg o cercano a ese valor).

Tabla 2
Componente de las fracciones de los RSU

Fracción	Componentes
Orgánica	Fracción de rápida biodegradabilidad en donde se incluye a los residuos de alimentos y jardinería, así como piezas de madera.
Papel y cartón	Se incluye al papel de impresión, papel tipo revista o encerado, papel periódico, además de cartón y cartón encerado.
Plásticos ^a	En esta fracción se incorporaron a los plásticos denominados PET, HDPE, LDPE, PP, PS, PVC y mezclas de ellos.
Vidrio	Se consideraron dos categorías: transparente y color
Metales	Se incluyen al aluminio en latas y perfil, además de metales tanto en forma de latas como en piezas.
Peligrosos ^b	Se incluye a todos los materiales que tengan características CRETIB, como jeringas, baterías y medicamentos.
Tecnológicos	Se incluye todo aquel equipo o pieza proveniente de algún aparato electrodoméstico.
No aprovechable	En esta fracción se incluye al papel y toallas sanitarias, además de otros subproductos como, hule, piezas de loza y cerámica, materiales de la construcción y finos.

^a PET (polietileno de tereftalato), HDPE (polietileno de alta densidad), LDPE (polietileno de baja densidad), PP (polipropileno), PS (poliestireno), PVC (policloruro de vinilo).

^b CRETIB (corrosivo, reactivo, explosivo, toxico, inflamable y biológico infeccioso).

$$GT_R = GD_R + GND_R \quad (4)$$

$$GPU_R = \frac{GT_R}{PT} \quad (5)$$

$$GS_R = GPU_R \times P_s \quad (6)$$

Donde GT_R es la generación total de residuos del área de estudio en ton/día; GD_R es la tasa de producción de residuos de la fuente domiciliaria en ton/día; GND_R es la tasa de producción de residuos de la no fuente domiciliaria (por ejemplo, escuelas y pequeños negocios) en ton/día; GPU_R es la generación per cápita urbana en kg/hab-día; PT es la población total del área de estudio; GS_R es la tasa de producción de residuos por sector, colonia, u otro tipo de área en ton/día; P_s es población de cada sector, colonia, u otro tipo de área. La **Ecuación 4** es útil para identificar claramente las fuentes domiciliarias y no domiciliarias, mientras que la **Ecuación 5** permite obtener la tasas per cápita. La **Ecuación 6** permite calcular tasas de producción de desechos, pero a nivel de fuente generadora.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadístico de generación per cápita domiciliaria

En este estudio de generación de residuos se logró trabajar con 86 viviendas, las cuales participaron entregando las muestras con residuos durante los 8 días que duraron las actividades de campo (incluyendo la operación limpieza). Posterior a los pesajes, obtención de pesos volumétricos y caracterización de residuos, se examinó la base de datos aplicando un análisis de exclusión de datos atípicos, específicamente el criterio de Dixon r_{22} (para muestras mayores a 14 elementos), dentro del paquete estadístico MINITAB (Figura 2).

A través del criterio de exclusión citado, no se eliminó a ningún dato porque el valor del estadístico de prueba y el p-value son superiores al valor de r_{22} de Dixon y α respectivamente. Por lo anterior, se procedió a obtener los estadísticos de la muestra, obteniéndose una generación per cápita promedio de 0.615 kg/hab-día, una mediana de 0.580 kg/hab-día y desviación estándar de 0.289 kg/hab-día. Adicionalmente, el cálculo del tamaño real de la muestra arrojó un valor de 56, por lo que se aceptaron las 86 premuestras con las cuales se trabajó durante el estudio. Lo anterior se efectuó considerando un error muestral de 0.05 kg/hab-día y un percentil de la distribución t de student correspondiente al nivel de confianza de 90 %.

Por último, el análisis de confiabilidad indicó que los estadísticos de la muestra pueden ser empleados como los parámetros poblacionales, dado que la hipótesis nula de que la media muestral no difiere de la media poblacional es aceptada ($H_0: \bar{X} = \mu$ vs. $H_1: \bar{X} \neq \mu$). Lo anterior, a través del p-value obtenido, el cual es superior al valor de significancia elegido ($0.99 > 0.05$), considerando un nivel de confianza del 95 % y una prueba bilateral.

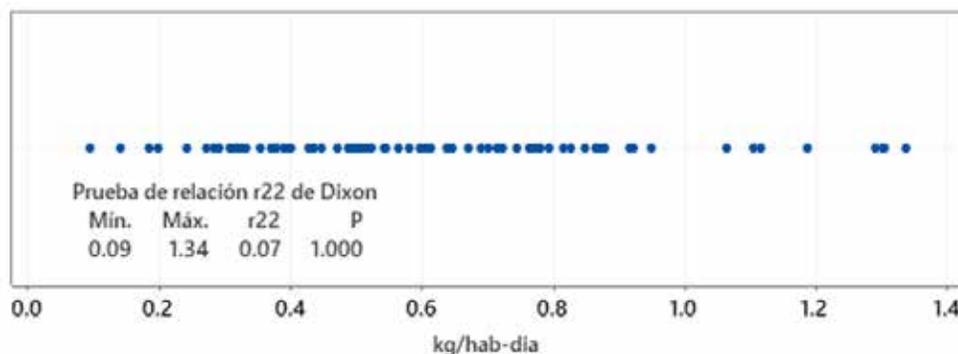


Figura 2. Valores atípicos y aplicación del criterio de exclusión

Producción de residuos domiciliaria y no domiciliaria

La **Tabla 3** muestra la generación per cápita domiciliaria por día, obtenida a través del estudio efectuado. Se observa una desviación estándar de 0.046 kg/hab-día respecto a la tasa promedio global obtenida de 0.615 kg/hab-día. Es importante mencionar que este valor es ligeramente inferior al promedio nacional de 0.653 kg/hab-día, y también al valor de generación per cápita para localidades pequeñas de 0.642 kg/hab-día (<10 mil habitantes), ambos datos reportados por SEMARNAT (2020).

Respecto a otros estudios efectuados en Chiapas, el promedio obtenido en este estudio es superior a las cifras reportadas por Alvarado et al. (2009), Araiza et al. (2015), Araiza et al. (2017a) y Araiza et al. (2017b), para municipios como Chiapa de Corzo, Las Margaritas, Berriozábal y Villaflores respectivamente, las cuales oscilan entre 0.3 y 0.5 kg/hab-día. Estas diferencias pueden deberse a la fecha de realización de los estudios, ya que de acuerdo con Jaramillo (2002), normalmente las tasas de producción de desechos tienden a aumentar anualmente a razón de 1 a 2 %.

Tabla 3

Tasas de generación per cápita domiciliaria obtenidas en el estudio de generación

Día	Promedio por día kg/hab - día	Promedio global kg/hab - día	Desviación estándar kg/hab - día
15/06/2022	0.680		
16/06/2022	0.628		
17/06/2022	0.672		
18/06/2022	0.604	0.615	0.046 kg/hab-día
19/06/2022	0.577		
20/06/2022	0.565		
21/06/2022	0.584		

En cuanto a la producción de residuos no domiciliaria, de acuerdo a la información descrita en el Directorio de Unidades Económicas de INEGI (2023), la cabecera municipal de Chiapilla, Chiapas cuenta con 205 establecimientos (**Tabla 4**), los cuales presentaron una tasa de generación de residuos de alrededor de 0.516 ton/día, equivalente a una tasa per cápita de 0.118 kg/hab-día. Debe destacarse que las unidades económicas comerciales, particularmente las tiendas de abarrotes y pequeños expendios predominan en el área de estudio, ya que corresponden a 36.59 % del total unidades económicas. Por el contrario, expendios de frutas y verduras (1.95 %), así como unidades médicas (1.46 %) y centros educativos (3.90 %) son las unidades económicas con menor presencia.

Tabla 4
Generación de residuos en fuentes no domésticas

	Unidad económica	No. de unidades	Generación por unidad (kg/día)	Generación total (ton/día)
	Local comercial	47	3.5	0.165
	Tienda de abarrotes pequeña	75	0.925	0.069
Comerciales	Expendio de carnes	13	2.43	0.032
	Expendio de frutas y verduras	4	3.92	0.016
	Varios	18	0.803	0.014
Servicios	Oficinas públicas/privada/culturales	18	1.05	0.019
	Restaurantes/alimentos	19	5.96	0.113
Especiales	Centros educativos	8	0.059/alumno	0.081
	Unidades médicas	3	0.92/consultorio	0.003
Otros	Parques y jardines (m ²)	402	0.00993/m ²	0.004
	Total	205	--	0.516

Nota: no se están considerando el área de parques y jardines en la sumatoria de unidades económicas.

Generación per cápita urbana

Con los datos de la generación domiciliaria y no domiciliaria obtenidos previamente, se puede establecer que la cabecera municipal de Chiapilla, Chiapas, genera alrededor de 3.2 ton/día (con cifras estadísticas de 2020), es decir, un equivalente a 0.733 kg/hab-día en generación per cápita urbana y 0.615 kg/hab-día en generación per cápita domiciliaria. Debe notarse que esta última cifra es inferior respecto al promedio nacional de SEMARNAT (2020), pero superior a los datos reportados en otros estudios efectuados en Chiapas (ver **Tabla 5**), lo cual como se indicó previamente, puede deberse a aspectos climáticos y temporales, así como economías locales de los sitios donde se aplicaron tales estudios. A de acuerdo con GTZ (2003), existen también otros factores que pudieran verse implicados en la alteración de las tasas de producción de desechos, tales como los niveles de ingreso de las familias, los patrones de consumo, el crecimiento poblacional o inclusive los niveles de urbanización. Toda esta información es relevante porque puede ser utilizada dentro de los planes o programas de manejo de residuos tanto de fuentes domiciliarias como de no domiciliarias. El factor crecimiento poblacional suele ser el mayormente empleado en todos los estudios relacionados a residuos, ya que proporciona información sobre útil para realizar proyecciones a futuro (Araiza y Rojas, 2020). Los aspectos culturales también suelen afectar las tasas de producción de desechos, dependiendo

del número de fiestas patronales o eventos a lo largo del año. Finalmente, la urbanización también condiciona las tasas de residuos, ya que entre mayor sea, habrá más acceso a nuevos productos o servicios que arriban a las comunidades y afectan estos patrones de generación de residuos.

Tabla 5

Generación de residuos por fuente generadora en Chiapilla, Chiapas

Fuente	Chiapilla		Promedio nacional ^a	Chiapa de Corzo ^b	Las Margaritas ^c	Berriozábal ^d	Villaflores ^e
	kg/hab-día	ton/día					
Domiciliaria	0.615	2.684	0.653	0.487	0.346	0.456	0.495
No domiciliaria	0.118	0.516	0.291	0.300	0.300	0.163	0.212
Total	0.733	3.200	0.944	0.787	0.646	0.619	0.707

Fuentes: a SEMARNAT (2020); b Alvarado et al. (2009); c Araiza et al. (2015); d Araiza et al. (2017a); e Araiza et al. (2017b).

Espacialmente, las fuentes de producción de residuos (domiciliarias y no domiciliarias) se ubican en sentido noreste a sureste, a lo largo de la vialidad principal que atraviesa la cabecera municipal (**Figura 3a**). La zona de baja presencia de fuentes de producción de residuos (**Figura 3b**), está caracterizada por la existencia de terrenos baldíos, casas dispersas, carencia de vialidades pavimentadas, etc. Esto influye para que las unidades económicas de mayor representatividad sean las tiendas de abarrotes pequeñas. Por otro lado, las zonas de alta presencia de fuentes de producción de residuos se concentran de manera importante sobre la parte media de la cabecera municipal (**Figura 3c**), muy cercano al parque central. Esta zona está caracterizada por presencia de casas típicas, oficinas administrativas, establecimientos comerciales grandes y pequeños, así como unidades médicas y escolares. Finalmente, la zona con presencia moderada (media) de fuentes de producción de residuos de todo tipo, abarca la mayor parte del área de estudio (**Figura 3d**).

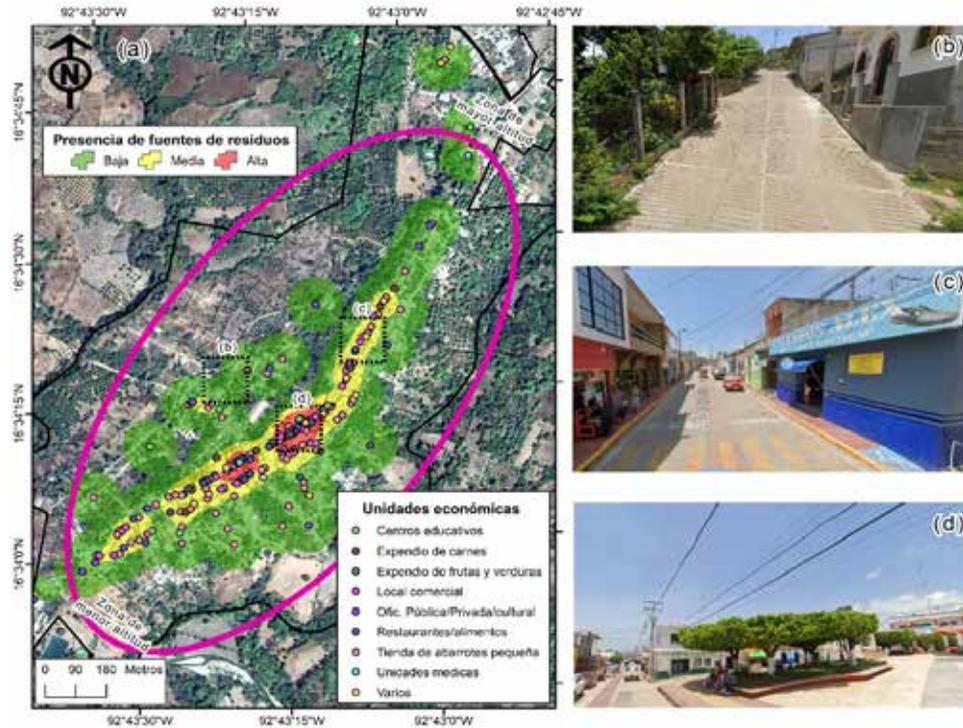


Figura 3. Fuentes de producción de residuos: a) distribución de fuentes, b) zona con baja presencia, c) zona con presencia media, d) zona con elevada presencia

Composición de residuos

La Figura 4 y Tabla 6 muestran la tipología de subproductos generados en la cabecera municipal de Chiapilla. Se observa que la fracción orgánica tiene los porcentajes mayoritarios, particularmente los residuos de alimentos con 35.50 %, seguido de los residuos de jardín con 22.91 %. Otros subproductos como los plásticos (7.38 %) siguen en aumento, particularmente PET (1.02 %), PEAD (1.50 %) y PEBD (2.83 %). Las fracciones de papel y cartón, así como vidrios y metales, tienen una presencia muy baja, con porcentajes que oscilan entre 1 y 3 %.

Se destaca que de la totalidad de los residuos generados en Chiapilla, el 81.41 % son materiales susceptibles de recuperación o aprovechamiento, a través de algún mecanismo de reciclaje con la finalidad de no enviarlos directamente a disposición final y, con ello, alargar la vida útil del relleno sanitario local.

Finalmente, en menor medida aparece la fracción de residuos peligrosos y tecnológicos, con una participación de 1.15 %. Este tipo de subproductos, en concordancia a lo indicado en Araiza et al. (2017a), en un futuro requerirán de algún mecanismo de control o tratamiento, especialmente por el grado de peligrosidad que le incorporan a la mezcla con los residuos convencionales o domiciliarios.

Tabla 6
Composición porcentual de los residuos sólidos domésticos de Chiapilla, Chiapas

Fracción	Porcentaje %	Componentes	Porcentaje %
Orgánica	65.70	Residuos alimenticios	35.49
		Residuos de jardín	22.91
		Madera	0.35
		Hueso de animal	0.35
		Semilla y cascara dura	6.60
		Cartón	2.57
Papel y cartón	4.31	Cartón encerado/Tetrapak	0.52
		Papel encerado/revista	0.40
		Papel de impresión	0.48
		Papel periódico	0.34
		PEAD (polietileno de alta densidad)	1.50
		PEBD (polietileno de baja densidad)	2.83
Plásticos ^a	7.38	PET (polietileno de teraftalato)	1.02
		PP (polipropileno)	1.00
		PVC (cloruro de polivinilo)	0.07
		PS (Unicel)	0.28
		Plásticos varios	0.68
		Vidrios	2.94
Vidrios	2.94	Vidrio de color	0.52
		Vidrio transparente	2.42
Metales	1.08	Aluminio (latas y papel)	0.42
		Latas de otros metales	0.25
Peligrosos	0.61	Material ferroso	0.41
		Residuos Peligrosos (jeringas, pilas, medicamentos)	0.61
Tecnológicos	0.54	Residuos Tecnológicos	0.54
		Pañal desechable / toallas sanitarias	6.71
No aprovechable	17.44	Papel sanitario	5.16
		Cuero/zapatos de	0.51
		Trapo (natural y sintético)	1.93
		Loza y cerámica	0.40
		Hule	0.01
		Residuos de la construcción	0.18
		Residuos finos	2.45
		Cabello	0.09
			0.00
		Total	100.00

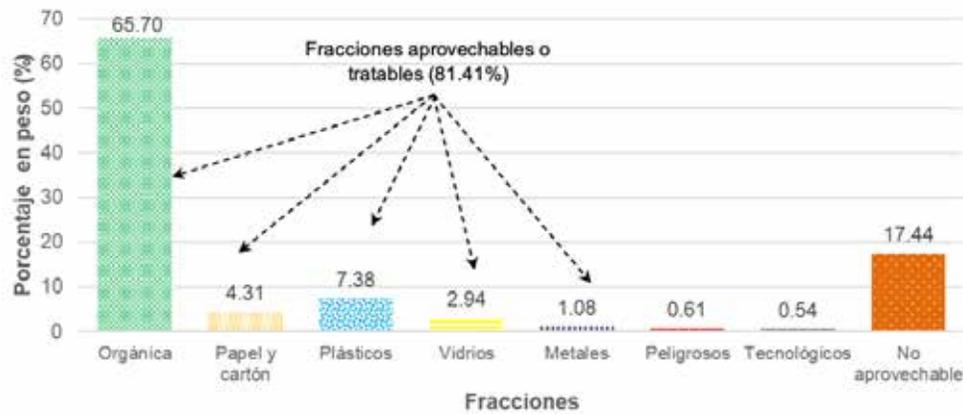


Figura 4. Fracciones principales de residuos sólidos generadas en Chiapilla, Chiapas

En cuanto al peso volumétrico, el valor obtenido fue de 234.07 kg/m^3 , el cual es un valor alto respecto a los 140.44 kg/m^3 y 128.06 kg/m^3 reportados por el SEMARNAT (2020), como promedio nacional y para localidades pequeñas (<10 mil habitantes). Lo anterior se debe posiblemente a la época del año en que se realizó el estudio, que fue al aparecer las primeras lluvias fuertes, lo que incorporó agua o humedad a las muestras, independientemente de la humedad aportada por la materia orgánica presente en los residuos. De acuerdo con Colomer y Gallardo (2007), la humedad de los residuos oscila entre 35 y 65 % y los factores que influyen mayoritariamente en el porcentaje de agua de los residuos son, el contenido de materia orgánica, la procedencia, la forma en que se presentan y la climatología de la región.

Estrategias de mejoramiento ambiental en materia de residuos sólidos

Actualmente, en el H. Ayuntamiento de Chiapilla, Chiapas, se carece de mucha información sobre los elementos involucrados en el manejo de los residuos, tales como los datos de la población urbana atendida por el servicio de limpia, las longitudes recorridas por las rutas de recolección y barrido, los tiempos de servicio asociados a la recolección, entre otros. Esto impide analizar a profundidad aspectos relacionados con la eficiencia, calidad y costos de esos servicios. Por lo anterior, una de las primeras estrategias justamente va encaminada a promover que las autoridades municipales se acerquen a la academia (instituciones educativas), a fin de desarrollar estudios similares a este trabajo, tratando de actualizar las cifras de generación de residuos o realizando diagnósticos ambientales. Hoy en día existen trabajos académicos que abarcan varios municipios pequeños y grandes de la entidad Chiapaneca (González, 2021; Cirilo, 2021; Hernández, 2024), pero aún faltan varios más, dada la cantidad de municipios y localidades existentes (124 municipios y

más de 20 mil localidades). Muchos de los trabajos a efectuarse deben de ir también enfocados a implementar tecnologías emergentes de manejo de residuos, tales como el tratamiento a gran escala de los residuos orgánicos o implementar métodos no convencionales de almacenamiento y recolección de residuos, por ejemplo, empleando equipos motorizados en lugar de vehículos especializados, y construyendo contenedores de gran volumen con materiales regionales. Por otro lado, es necesario impulsar el desarrollo de una reglamentación municipal relacionada al manejo de los RSU, ya que actualmente de acuerdo con Araiza (2019), en varios municipios del estado de Chiapas, incluyendo Chiapilla, se carece de algún reglamento municipal de aplicación constante en materia de residuos.

Otra estrategia que ha cobrado relevancia en los últimos años, es el establecimiento de organismos operadores para el manejo de residuos. En el Periódico Oficial del Estado de Oaxaca POEO (2018) y SEMARNAT (2023) se ha reportado el funcionamiento de tales organismos, principalmente dando atención a las etapas de recolección y disposición final. A través de estos organismos operadores, lo que se busca es tener finanzas independientes de los H. Ayuntamientos, pero con el visto bueno o control parcial de ellos. Esto permitirá operar de manera similar a como lo realizan las empresas privadas, es decir, mediante un pago o tarifa por el servicio, lo cual posibilita el autofinanciamiento.

En cuanto a la situación actual del municipio de Chiapilla, es importante establecer campañas de educación ambiental por parte del gobierno municipal, las cuales deben de ir enfocados a niños y mujeres principalmente, considerando que ellos son la base de una formación académica y cultural en la sociedad. Estas campañas deben estar orientadas a la implementación de prácticas de separación de residuos en casa habitación y escuelas, así como al reaprovechamiento de los subproductos de mayor presencia en los residuos sólidos de Chiapilla, tales como materia orgánica o plásticos. Estas actividades van a permitir el establecimiento de mecanismos de almacenamiento temporal y también influir directamente en los hábitos de consumo y comportamientos relacionados con la producción de desechos.

Finalmente, es importante buscar un cambio radical en cuanto a la forma de aplicar la política o jerarquía de manejo de residuos, no solo de Chiapilla sino todos los municipios de México. De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2013) y Sáenz y Urdaneta (2014), actualmente esas políticas o jerarquías en toda América Latina están orientadas a que prevalezcan los sistemas de recolección convencionales, donde se mezclan residuos orgánicos e inorgánicos, y se disponen en Rellenos Sanitarios o Tiraderos a Cielo Abierto, por lo que se deja de lado la minimización mediante el reciclaje y tratamiento de residuos. No obstante, debe de buscarse una visión similar a la europea, donde la

política o jerarquía de manejo de residuos está invertida, es decir, buscando la minimización, teniendo como última etapa u opción menos favorecedora, la disposición final mediante Rellenos Sanitarios. Además, también se plantea la valorización de residuos y el reaprovechamiento como fuente de energía.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron los resultados obtenidos de un estudio de generación y cuantificación de subproductos de RSU, elaborado en la cabecera municipal de Chiapilla, Chiapas. El objetivo principal del trabajo fue generar cifras y datos en materia de residuos sólidos, que las autoridades municipales puedan emplear para diseñar obras, planes y programas en materia de manejo de residuos.

Los trabajos efectuados permitieron cumplir el objetivo planteado, ya que se pudieron determinar las tasas de generación per cápita para la fuente de generación urbana (0.733 kg/hab/día), domiciliaria (0.615 kg/hab/día) y no domiciliaria (0.118 kg/hab/día). Por otro lado, a través del estudio de la composición de residuos, se encontró que el componente orgánico presentó el porcentaje más alto (65.71 %), seguido de otros subproductos como plásticos (7.38 %), además de papel y cartón (4.31 %). Adicionalmente, tan solo 17.44 % es material no aprovechable que debería ir directamente a disposición final.

Algunas estrategias de mejoramiento planteadas en este trabajo sugieren que el H. Ayuntamiento busque la colaboración con instituciones de educación superior, para efectuar mayor cantidad de estudios técnicos. Además, también se plantea buscar un cambio radical en cuanto a la forma de aplicar la política o jerarquía de manejo de residuos, de tal manera que se busque minimizarlos y valorizarlos. Todas esas acciones pueden servir para mejorar las condiciones actuales en el municipio en materia de manejo de residuos.

REFERENCIAS

- Alvarado H.**, Nájera H., González F. y Palacios R. (2009). Estudio de generación y caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en la cabecera municipal de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. *Revista Lacandonia* 3(1), 85-92.
- Araiza Aguilar, J. A.** (2019). *Modelado espacial del riesgo sanitario-ecológico, derivado del mal manejo de los residuos sólidos urbanos, en los municipios de la Cuenca del Cañón del Sumidero, Chiapas*. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación General de Estudios de Posgrado, UNAM. México. 136 pp. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3471779>
- Araiza, J.**, Chávez, J. y Moreno, J. (2017a). Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(4), 691-699. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.04.12>
- Araiza J.**, López C. y Ramírez N. (2015). Manejo de residuos sólidos urbanos: caso de estudio en Las Margaritas, Chiapas. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica* 8 (3), 299-311.
- Araiza, J.**, Chávez, J., Moreno, J. y Rojas, M. (2017b). Municipal Solid Waste Management in a Municipality of Chiapas, Mexico. *Social Sciences*, 6(5), 133-140. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ss.20170605.12>
- Araiza J.**, Rojas M. y Aguilar R., (2020). Forecast generation model of municipal solid waste using multiple linear regression. *Global J. Environ. Sci. Manage.*, 6(1), 1-14 Winter 2020. DOI: <https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.01.01>
- Bernanche G.** (2015). La gestión de los residuos sólidos: un reto para los gobiernos locales. *Sociedad y Ambiente*, 1(7), 72-98. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455744912004>
- Bernache G.**, Sanchez S., Garmendia A. y Sánchez M. E. (2001). Solid waste characterisation study in the Guadalajara Metropoli Zone, México. *Waste Manage. Res.* 19(5), 413-424. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X0101900506>
- Buenrostro, O.** y Bocco, G. (2003). Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives, *Resources Conservation and Recycling*, 39(3), 251-263. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00031-4](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00031-4)
- CEIEG**, Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica (2023). Perfiles municipales - Chiapilla, Chiapas. <https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/Inicio>.
- Cirilo J.** (2021). *Análisis de generación de residuos sólidos de manejo especial en tienda de autoservicio en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 55 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12753/4184>

- Colomer F.** y **Gallardo A.** (2007). *Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos*. Universidad Politécnica de Valencia, 328 pp.
- Davis A.** y **McCueen R.** (2005). *StormWater Management for Smart Growth*. Springer. 2005. p.58.
- EPA**, Agencia de Protección Ambiental (2020). *Mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos: Una Guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en vías de desarrollo*. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos Oficina de Conservación y Recuperación de Recursos. Informe EPA 530-R-20-002-S. 159 pp.
- González D.** (2021). *Caracterización de residuos sólidos domiciliarios en el municipio de Honduras de la Sierra, Chiapas*. Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 60 pp. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4325>
- GTZ**, Agencia de Cooperación Técnica Alemana (2003). *La Basura en el Limbo: Desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos*. México, D.F. 98 pp.
- Heredia P.**, **Sánchez J.**, **Rodríguez M.** y **Aguilar R.** (2007). *Guía para la revisión de proyectos ejecutivos, planes de regularización o evaluación de la conformidad según la NOM-083-SEMARNAT-2003*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) - Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ, por sus siglas en alemán). Manual. México, D.F., 109 pp.
- Hernández C.** (2024). *Estudio de generación y caracterización de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) en la cabecera municipal de Chiapilla, Chiapas*. Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 98 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12753/5149>
- INEGI**, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados*: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#tabulados> (acceso 10.06.23).
- INEGI**, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020: Tabulados*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#tabulados>
- INEGI**, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023). *Directorio de Unidades Económicas*: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Jaramillo J.** (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS/CEPIS/PUB/02.93. Lima, Perú, 287 pp.
- Ojeda, S.** y **Beraud, J.L.** (2003). The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal. *Resources, Conservation and Recycling*, 39(3), 239–250. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00030-2)
- Ojeda S.**, **Armijo C.** y **Márquez M.** (2008). Household solid waste characterization by family socioeconomic profile as unit of analysis. *Resources,*

- Conservation and Recycling*, 52(7), 992-999. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.004>
- PNUMA**, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2013). *Guía para la elaboración de estrategias nacionales de gestión de residuos-avanzar desde los desafíos hacia las oportunidades*. PNUMA, Ginebra, Suiza. 110 pp.
- POEO**, Periódico Oficial del Estado de Oaxaca (2018). Decreto 1502, que contiene la *Ley que crea el Organismo Operador encargado de la Gestión y Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Oaxaca*, aprobado por la LXIII Legislatura el 14 de junio del 2018 y Periódico Oficial Extra del 12 de julio del 2018.
- Sáenz**, A. y Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe, *Revista Omnia*, 20(3), 121-135: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>
- SECOFI** (1985a). *Norma mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – muestreo – método de cuarteo*. Dirección general de normas. Secretaría de comercio y fomento industrial. Diario oficial de la federación, México, 18 marzo de 1985.
- SECOFI** (1985b). *Norma mexicana NMX-AA-019-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – peso volumétrico “in situ”*. Dirección general de normas. Secretaría de comercio y fomento industrial. Diario oficial de la federación, México, 18 marzo de 1985.
- SECOFI** (1985c). *Norma mexicana NMX-AA-022-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – selección y cuantificación de subproductos*. Dirección general de normas. Secretaría de comercio y fomento industrial. Diario oficial de la federación, México, 18 marzo de 1985.
- SECOFI** (1985d). *Norma mexicana NMX-AA-061-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo – residuos sólidos municipales – determinación de generación*. Dirección general de normas. Secretaría de comercio y fomento industrial. Diario oficial de la federación, México, 8 agosto de 1985.
- SEMARNAT**, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. SEMARNAT, Ciudad de México, México. 272 pp.
- SEMARNAT** (2023). Organismos operadores en México para el manejo de residuos. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/organismos-operadores-en-funcionamiento>

Aplicación de un proceso electroquímico para tratar residuos líquidos de pruebas de tinción de GRAM

Application of an electrochemical process to treat liquid waste from GRAM staining tests

Celia Fabiola de Jesús Velasco-Ortiz¹
celia.velasco@unicach.mx • ORCID: 0009-0009-4965-6928

Carlos Enrique López-Aguilar¹
car.aguilar4032019@gmail.com • ORCID: 0009-0009-4333-1946

Hugo Alejandro Nájera-Aguilar¹
hugo.najera@unicach.mx • ORCID: 0000-0002-9337-8242

Rubén Fernando Gutiérrez-Hernández²
rub.gutierrez@tapachula.tecnm.mx • ORCID: 0000-0001-8642-9075

Juan Antonio Araiza-Aguilar¹
juan.araiza@unicach.mx • 0000-0002-3530-0674

1 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL, UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS, TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS, MÉXICO

2 TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TAPACHULA, DEPTO. DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA, TAPACHULA, CHIAPAS, MÉXICO



Para citar este artículo:

Velasco Ortiz, C. F. de J., López Aguilar, C. E., Nájera Aguilar, H. A., Gutiérrez Hernández, R. F., & Araiza Aguilar, J. A. Aplicación de un proceso electroquímico para tratar residuos líquidos de pruebas de tinción de GRAM. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39). <https://doi.org/10.31644/IMASD.39.2025.a02>

RESUMEN

Las actividades experimentales propias de laboratorios de docencia o investigación en instituciones de educación superior, puede conducir a la generación de aguas residuales complejas de tratar por su alta carga orgánica y baja biodegradabilidad, como las provenientes de las pruebas de tinción de Gram (agua residual compuesta por la mezcla de distintos colorantes como naranja de metilo, azul de metileno y violeta de genciana, entre otros). Para el tratamiento de estos efluentes, los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) llegan a ser una buena opción al poder alcanzar la mineralización completa de los contaminantes, como es el caso de la Oxidación Anódica (OA). Así, la efectividad de la OA fue probada usando dos tipos de electrodos; grafito como cátodo, y Diamante Dopado con Boro (DDB) como ánodo. La eficiencia del proceso fue ensayada siguiendo el comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y del color como variables de respuesta. Los ensayos se hicieron bajo un diseño experimental 3², esto es, distintas intensidades de corriente (0.10, 0.20 y 0.30 A) y valores de pH (3, 5 y 7). El influente, partió de concentraciones iniciales en DQO y Color de 623 mg/L y 234 Pt-Co, respectivamente, y de los tratamientos ensayados, el mejor de ellos se tuvo a pH 7 y 0.30 A, con remociones del 100% en ambos parámetros, y hasta 96.7% en los sólidos suspendidos, para un tiempo de reacción de 90 minutos. De esta manera, la OA demostró ser eficiente para oxidar los contaminantes presentes en residuos líquidos provenientes de las pruebas de tinción de Gram, por lo que puede ser una opción real de tratamiento para esta mezcla compleja de residuos de colorantes generados en ambientes escolares.

Palabras clave:

Oxidación anódica; electrodo de BDD; pruebas tinción de Gram; aguas residuales de laboratorio.

— Abstract—

The experimental activities of teaching or research laboratories in higher education institutions can lead to the generation of wastewater that is complex to treat due to its high organic load and low biodegradability, such as those from Gram stain tests (wastewater composed of by the mixture of different dyes such as methyl orange, methylene blue and gentian violet, among others). For the treatment of these effluents, advanced oxidation processes (PAO) can be a good option as they can achieve complete mineralization of the contaminants, as is the case of Anodic Oxidation (AO). Thus, the effectiveness of OA was tested using two types of electrodes; graphite as cathode and boron doped diamond (BDD) as anode. The efficiency of the process was tested following the behavior of the chemical oxygen demand (COD) and color as response variables. The tests were carried out under a 3²-experimental design, that is, different current intensities (0.10, 0.20 and 0.30 A) and pH values (3, 5 and 7). The influent started with initial COD and Color concentrations of 623 mg/L and 234 Pt-Co, respectively, and of the treatments tested, the best of them was at pH 7 and 0.30 A, with 100% removals in both parameters, and up to 96.7% in suspended solids, for a reaction time of 90 minutes. In this way, OA proved to be efficient in oxidizing contaminants present in liquid waste from Gram Stain tests, so it can be a real treatment option for this complex mixture of dye waste generated in school environments.

Keywords:

Anodic oxidation; BDD electrode; Gram stain tests; laboratory wastewater.

En los últimos años, la publicación de numerosos estudios realizados a cuerpos de agua, alertan sobre la presencia de una variada cantidad de productos químicos como fenoles, sulfuros, cromo, entre otros, además de compuestos orgánicos refractarios presentes en efluentes industriales, como los colorantes provenientes de las aguas residuales de la industria textil. Estos últimos y en especial los colorantes azoicos, tienen un efecto directo y negativo sobre los sistemas acuáticos, aún en concentraciones bajas (Bermeo y Tinoco 2016; Hanane et al., 2020). Los colorantes azoicos están compuestos de dos moléculas de nitrógeno unidas por un enlace doble, de alta estabilidad química y baja biodegradabilidad, por lo que ante este tipo de moléculas, autores como Barrera-Andrade et al. (2023) y Brdaric et al. (2024), mencionan que los métodos convencionales de tratamiento como la adsorción, la floculación, los lodos activados, entre otros, no son eficientes para decolorar los efluentes en aguas residuales. Una opción wprocesos de oxidación avanzada (POA) (Nidheesh et al., 2018).

Dentro de los diferentes tratamientos que componen los POA se encuentra la oxidación anódica (OA), misma que consta en la generación de cantidades suficientes de radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$) provenientes de la oxidación del agua (Velázquez 2015; Xie et al., 2022). Fundamentalmente autores como Moreira et al. (2017) y Sánchez et al. (2020) señalan las características de estos radicales; en primer lugar, estos representan la segunda especie más reactiva en la naturaleza, es decir, tienen un potencial redox de 2.8 V; en segundo lugar, reaccionan de forma no selectiva con la mayoría de los compuestos orgánicos, por lo que, la mineralización de los contaminantes puede ser alcanzada, lo cual también dependerá del tipo de electrodo empleado y de los contaminantes tratados. Uno de los electrodos más efectivos para lograr la combustión de los contaminantes son los denominados ánodos de diamante dopado de boro (DDB), los cuales tienen un valor alto de sobre potencial para la evolución del oxígeno, favoreciendo con ello los mecanismos de oxidación completa hasta CO_2 (Klidi et al., 2018).

Los POA pueden ofrecer una mineralización completa de los contaminantes en el agua problema, como es el caso de la OA. Se trata de un proceso completamente ecológico donde no hay transferencia de contaminantes ni producción de lodos (Sánchez et al., 2020). La OA es un proceso donde interactúan las especies orgánicas y electrodos, al presentarse una transferencia de electrones, esta puede ocurrir en el ánodo por generación de oxígeno activo fisisorbido ($\bullet\text{OH}$), o quimisorbido para obtener oxígeno en óxidos metálicos (Barrera-Díaz et al., 2014; Bermeo y Tinoco, 2016).

El proceso de OA se ha probado en aguas problema contaminadas con colorantes, tal es el caso del estudio reportado por Yingying et al. (2021), quienes ensayaron la remoción de colorantes azoicos como el cristal violeta, con electrodos de Ti/BDD con densidades de corriente entre 2.5 y 15 mA

cm⁻², bajo agitación constante y pH neutro, y con remociones del 95% de TOC. Otro estudio es el realizado por La Rosa y Ponce (2007), donde se evaluó la remoción de color del naranja de metilo, utilizando electrodos Ti/Co₃O₄, Ti/PbO₂ y grafito, con una densidad de corriente de 2.5 mA cm⁻². y diferentes valores de pH (2, 5 y 8). Como electrolito soporte se empleó NaCl al 2%. En general, estos ensayos mostraron una remoción de color por encima del 80%. También se reportan los resultados obtenidos con otros tipos de colorantes, tal es el caso del estudio conducido por Petrucci et al. (2015), quienes mediante oxidación anódica aplicado a el colorante verde 19, lograron en 15 minutos de reacción remociones del 100% en color y 53% de TOC usando electrodos de DDB, bajo las siguientes condiciones: intensidad de corriente de 300 mA, pH 7 y con 100 mg/L Na₂SO₄ como soporte electrolítico. Para el caso de la aplicación de PAO en aguas residuales provenientes de las pruebas de tinción de Gram, hasta donde la revisión de la literatura fue posible, únicamente se reporta el trabajo de Granda-Ramírez et al. (2018), quienes aplicaron la fotocatalisis heterogénea con TiO₂, trabajando muestras diluídas al 10%. El tiempo de reacción fue de 2 h y la DQO se redujo en 40%, y el color en un 75%.

Es así que en el presente estudio, a diferencia de la mayor parte de los trabajos reportados, donde los PAO se han aplicado a un colorante en específico, en el presente documento se tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la remoción de DQO y color a través del método de OA, para una mezcla de residuos líquidos provenientes de las pruebas de Tinción de Gram que se realizan en el laboratorio de docencia de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Esta mezcla se caracteriza por estar constituida principalmente por colorantes como: azul de metileno, cristal violeta, yodo, safranina y azul lactofenol, naranja de metilo, además de otros compuestos como acetona y alcohol.

METODOLOGÍA

Caracterización del agua problema

Para este estudio, el agua problema generada semestralmente en el laboratorio como subproducto de las prácticas de microbiología de tinción de Gram, fue caracterizada con los siguientes parámetros: DQO, color, sólidos suspendidos totales (SST) y pH. La prueba de la DQO, se cuantificó empleando el micro método de reflujó cerrado, digstando la muestra a 150°C durante 2 horas, y posteriormente leyendo a 620 nm en un espectrofotómetro HACH DR-5000. En lo que respecta al color, para su determinación se usó un colorímetro HACH DR/890, y para los SST, se empleó el método gravimétrico. Finalmente, el pH solo se ajustó hacia el inicio del proceso y se volvió

a determinar al final del proceso, empleando el equipo HI 3220 HANNA. Todos los parámetros analizados fueron llevados a cabo siguiendo los métodos estandarizados (APHA, 2012).

Pruebas experimentales

Los ensayos de electrodegradación fueron llevados a cabo en una celda electrolítica no dividida (vaso de precipitado de 150 mL) operada bajo un régimen discontinuo. El sistema se compuso de una placa en la parte superior para la sujeción de los electrodos, en donde el ánodo (electrodo de trabajo) y cátodo (electrodo de desgaste) fueron de diamante dopado con boro y grafito, respectivamente. Las dimensiones de ambos fueron equivalentes, esto es, 2.5 cm de ancho, 5 cm de altura y 1.15 mm de espesor. Los electrodos se colocaron de forma paralela a 2 cm de separación y con un área sumergida de 6 cm². En la parte superior de la placa de soporte se dejó un orificio que permitió extraer el volumen de muestra necesaria para la medición de color y DQO.

La corriente fue aportada por una fuente de poder marca EXTECH modelo 382270, en la cual se utilizaron cables y caimanos para conducir la corriente hacia los electrodos. El medio electrolítico se mantuvo en una placa CORNING PC420D con agitación constante durante 2 horas (Figura 1). Para los ajustes de pH, una solución de H₂SO₄ al 10% fue usada.

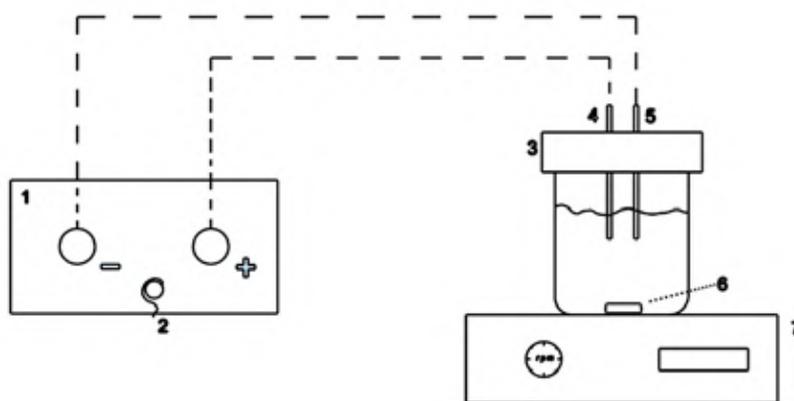


Figura 1. Montaje experimental del proceso electroquímico. Dónde: 1. Fuente de poder, 2. Cable a tierra, 3. Adaptador de electrodos, 4. Ánodo (DDB), 5. Cátodo (Grafito), 6. Magneto, 7. Parrilla de agitación

Diseño experimental y análisis de datos

Un diseño experimental de 3x3 fue llevado a cabo, teniendo como variables de estudio a la intensidad de corriente (*i*) y el pH, cada una de ellas con tres niveles (Tabla 1). Los niveles fueron establecidos de acuerdo con lo reportado

en otros estudios (Yingying et al., 2021 y Barrera-Díaz et al., 2014). Para el caso de la velocidad de agitación, fue manejada como un factor fijo a 300 rpm, velocidad seleccionada considerando lo reportado por Sánchez et al. (2020) y Chilingua et al. (2020).

Tabla 1

Diseño experimental empleado para el proceso de oxidación anódica. Dónde: I (Intensidad de corriente), A (Ampere)

		pH		
		3	5	7
I (A)	0.10	T ₁	T ₂	T ₃
	0.20	T ₄	T ₅	T ₆
	0.30	T ₇	T ₈	T ₉

El volumen de muestra utilizado fue de 100 mL para cada ensayo, bajo una dilución 1:50, dilución seleccionada posterior a realizar pruebas preliminares, además de que con la finalidad de hacer más factible la aplicación del proceso, se trabajó a temperatura ambiente. Finalmente, para favorecer el flujo de la corriente eléctrica en el medio electrolítico, se agregó sulfato de sodio 0.05 M. Este agente electrolítico bajo esta concentración, de acuerdo con Rubí et al. (2023), favorece las remociones de color y materia orgánica (DQO y COT) en el medio de reacción, tal y como también se constata con lo reportado por Yungying et al. (2021), quienes evaluaron el efecto de diferentes tipos de electrolitos en la remoción de contaminantes, y el sulfato de sodio fue el mejor de ellos. Es importante mencionar que pruebas preliminares realizadas con y sin la inducción de corriente eléctrica y de electrolito soporte, permitieron ver la influencia de ambos factores para que el proceso electroquímico se lleve a cabo.

Respecto a las variables de respuesta (color y DQO), se utilizó la ecuación 1 para determinar las eficiencias de remoción alcanzadas, partiendo de los resultados de concentración inicial (C_i) y concentración final (C_f). Los resultados obtenidos, fueron analizados usando el programa estadístico SigmaPlot 12.0, mediante un análisis de varianza donde el intervalo de confianza fue de 95 % y cada tratamiento se realizó por triplicado. En cada caso, el análisis se realizó tras comprobar los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk), independencia y homocedasticidad. Cuando el análisis mostró la existencia de una diferencia significativa entre tratamientos, se realizó el procedimiento de comparación múltiple (Prueba de Tukey).

$$\% \text{ Remoción} = [(C_i - C_f) / C_i] \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

C_i = Concentración inicial

C_f = Concentración final

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Caracterización del agua problema

Los resultados de la caracterización físico-química al agua problema usada en los ensayos bajo la dilución 1:50, se presentan en la Tabla 2, además de su comparación con valores reportados por otros autores.

Tabla 2

Caracterización fisicoquímica del agua problema (mezcla de residuos de la técnica de tinción de Gram)

Parámetros	Unidades	Agua problema de la UNICACH	Nidheesh et al., (2018)	Yusuf y Reza (2012)
		Tinción de Gram	Agua residual textil	Colorante Negro 5
pH	--	9.3	9.5- 12.5	10.17
Conductividad	µs/cm	1320	NR	NR
Color	Pt-Co	234	NR	100
DQO	mg/L	613	1835-3828	NR
SST	mg/L	450	60-416	NR

Nota: NR: No reportado.

De la Tabla 2 puede observarse que el valor de pH obtenido (9.3), es similar al encontrado por Nidheesh et al. (2018) y cercano a lo reportado por Yusuf y Reza (2012), quienes también realizaron ensayos sobre la eliminación de colorantes por un proceso de oxidación. En todos los casos los valores de pH están en el rango básico.

En su apariencia, la tonalidad del residuo de laboratorio era morado y ligeramente viscoso (algo característico de sustancias básicas), y con una lectura en DQO de 613 mg/L y 234 Pt-Co en color. Para el caso de la DQO, el valor mostrado en la Tabla 2, fue más bajo que el reportado por Nidheesh et al. (2018), caso contrario en el color, donde el valor reportado es mayor que lo mencionado por Yusuf y Reza (2012) aunque realmente el valor del agua problema llega a ser mucho mayor si se parte de su valor concentrado.

En general, se observa que los residuos de tinción Gram representan un agua problema compleja con valores importantes tanto en DQO como en color, encontrando una buena parte de sus contaminantes en forma suspendida.

Comportamiento y remoción de la DQO

Para los resultados de remoción en DQO, en la Tabla 3 puede verse que las diferencias en los valores medios entre la mayoría de los grupos de tratamiento son mayores de lo que por casualidad cabría esperar; esto es, hay una diferencia estadísticamente significativa de acuerdo al análisis de varianza realizado ($GL = 8, \alpha = 0.009, F = 3.950$).

Tabla 3
Media y desviación estándar (SD) del porcentaje de remoción de la DQO

	Tratamientos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
	pH 3, 0.10 A	pH 5, 0.10 A	pH 7, 0.10 A	pH 3, 0.20 A	pH 5, 0.20 A	pH 7, 0.20 A	pH 3, 0.30 A	pH 5, 0.30 A	pH 7, 0.30 A
Media	63.000	33.333	77.000	76.333	71.667	70.333	81.000	85.000	88.333
SD	26.889	3.055	4.359	34.298	24.786	25.146	3.000	25.981	20.207

El procedimiento de la prueba mostrada en la Tabla 4, reveló que de 36 comparaciones realizadas, se obtuvieron diferencias significativas en 5 de ellas, donde los resultados obtenidos bajo esta prueba resultan estadísticamente significativos al presentar valores $P \leq 0.05$.

Tabla 4
Procedimientos de comparación múltiple por pares DQO (prueba de Tukey)

Comparación	Diferencias de medias	P	P<0.050
T9 pH 7, 0.30 A vs. T2 pH5, 0.10 A	55.000	0.005	Si
T8 pH 5, 0.30 A vs. T2 pH5, 0.10 A	51.667	0.009	Si
T7 pH 3, 0.30 A vs. T2 pH5, 0.10 A	47.667	0.018	Si
T3 pH 7, 0.10 A vs. T2 pH5, 0.10 A	43.667	0.035	Si
T4 pH 3, 0.20 A vs. T2 pH5, 0.10 A	43.000	0.039	Si

Respecto al comportamiento en la remoción del parámetro de DQO, en la Figura 2 se observa una tendencia a mejorar las remociones en este parámetro a medida que la intensidad de corriente fue incrementada, principalmente para el tiempo de reacción más favorable (90 min) donde se lograron las remociones máximas (100%), esto es, Figura 2c (pH 7 a 0.30 A). Esto muestra a la intensidad de corriente como uno de los parámetros operativos que mayor impacto llega a tener en la degradación de moléculas orgánicas complejas (González et al. 2011; Cruz 2013), pudiendo favorecer la interacción de las especies orgánicas y electrodos, a través de la transferencia de electrones. Mecanismos que, de acuerdo con Bermeo

y Tinoco (2016), llegan a ocurrir en el ánodo, principalmente con los radicales hidroxilo fisisorbidos ($\bullet\text{OH}$).

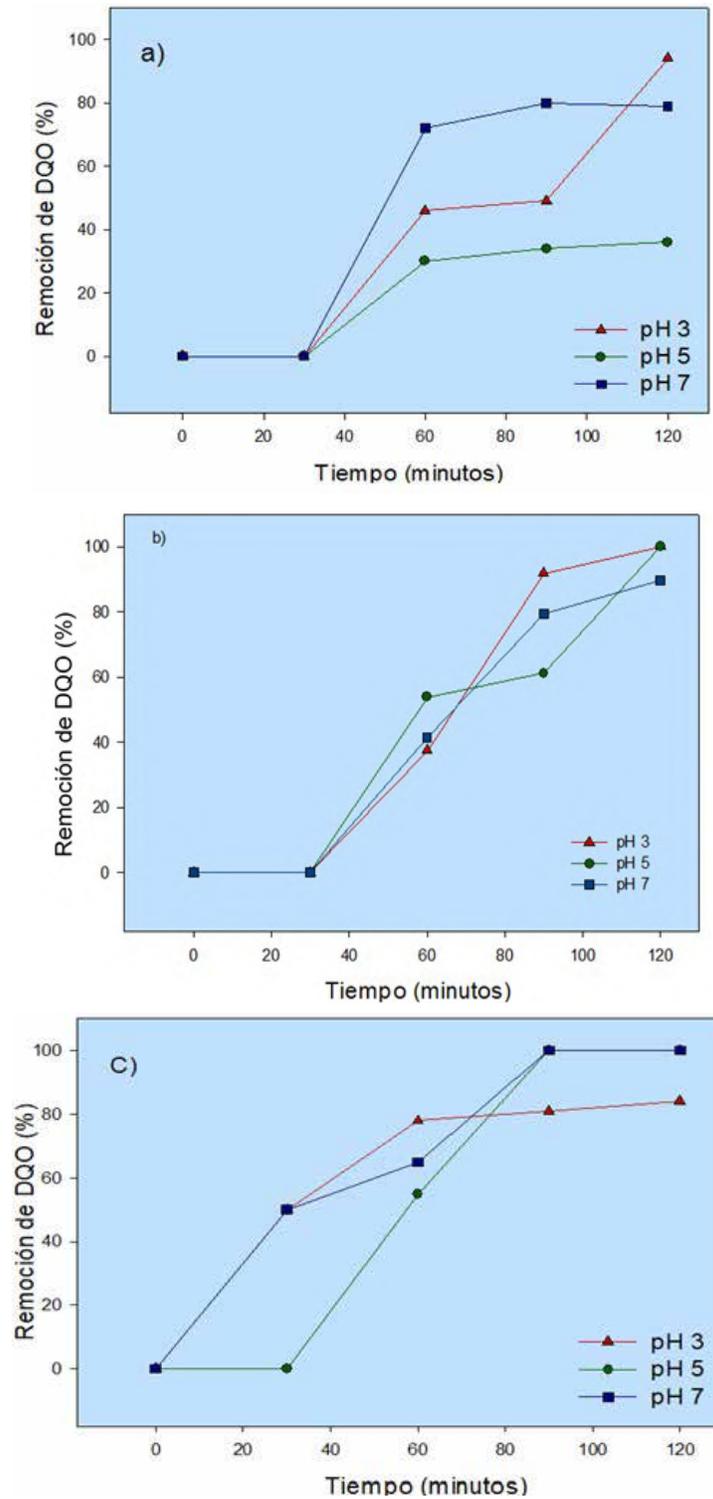


Figura 2. Remoción de DQO a diferentes valores de pH e intensidades de corriente: a) 0.10 A, b) 0.20 A y c) 0.30 A

En la Figura 2a (0.10A) se observa que la mayor remoción en DQO (94%) se obtuvo a pH 3 hacia los 120 minutos de reacción. Los dos tratamientos restantes a pH 5 y 7 quedaron por debajo del 80%.

Para la condición 0.20A (Figura 2b), en los tratamientos a pH 3 y 5, se alcanzó una remoción del 100% en DQO, con un pH final de 4, y para el tratamiento a pH 7, aunque el valor de pH en el efluente final se mantuvo neutro, la remoción alcanzada fue inferior (89% en DQO).

Respecto a la Figura 2c, se tiene que la mayor remoción (100%) fue alcanzada a pH 5 y 7, y con solo 90 minutos de reacción. En general, los resultados obtenidos para los mejores tratamientos (100% de remoción en DQO), reflejan remociones superiores a las obtenidas en otros estudios, tal y como lo reportado por Bermeo y Tinoco (2016), quienes alcanzaron remociones ligeramente inferiores (96% en DQO), al trabajar con agua sintética de la industria textil, o al estudio reportado por Yingying et al. (2021) quienes reportan remociones del colorante azoico AV7 por debajo del 75% de remoción en DQO.

Comportamiento y remoción del color

Para los resultados de remoción de color, también se aplicó un análisis de varianza tal y como se muestra en la Tabla 5. En este análisis se observó evidencia de diferencia significativa entre tratamientos (GL = 8, $\alpha = 0.013$, F = 3.120).

Tabla 5
Media y desviación estándar (SD) del porcentaje de remoción del color

	Tratamientos								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
	pH 3, 0.10 A	pH 5, 0.10 A	pH 7, 0.10 A	pH 3, 0.20 A	pH 5, 0.20 A	pH 7, 0.20 A	pH 3, 0.30 A	pH 5, 0.30 A	pH 7, 0.30 A
Media	48.500	16.250	31.500	52.000	58.250	62.000	63.750	62.000	80.750
SD	23.331	4.272	19.192	20.050	31.298	21.894	20.966	19.579	24.102

De este modo, la fuente de variación del nivel de significancia “P” indica que en alguna de las medias existe diferencia significativa puesto que $P=0.013$, en definitiva, el nivel de significancia resulta ser menor a 0.05. Para aislar el grupo o grupos que difieren de los demás, se utilizó la prueba de Tukey (Tabla 6).

Tabla 6
Procedimientos de comparación múltiple por pares para la remoción de color (prueba de Tukey)

Comparación	Diferencias de medias	P	P<0.050
T9: pH 7, 0.30 A vs. T2: pH 5, 0.10 A	64.500	0.006	Si

En este sentido, el análisis de varianza realizado sobre las 36 comparaciones, nos permiten ver que la diferencia entre algunos de los porcentajes de remoción logrados por los tratamientos evaluados, es significativa en solo una comparación. De acuerdo al análisis mediante la prueba de Tukey, se observó que existe diferencia significativa entre las medias de las comparaciones en el tratamiento T9 vs T2; es decir pH 7, 0.30 A vs. pH 5, 0.10 A.

Para el caso de la remoción del parámetro de color, en la Figura 3 se observa que a una intensidad de corriente baja, los resultados se presentaron por debajo del 70%. Caso contrario con el resto de intensidades de corriente, donde los resultados se mostraron por encima del 80% de remoción.

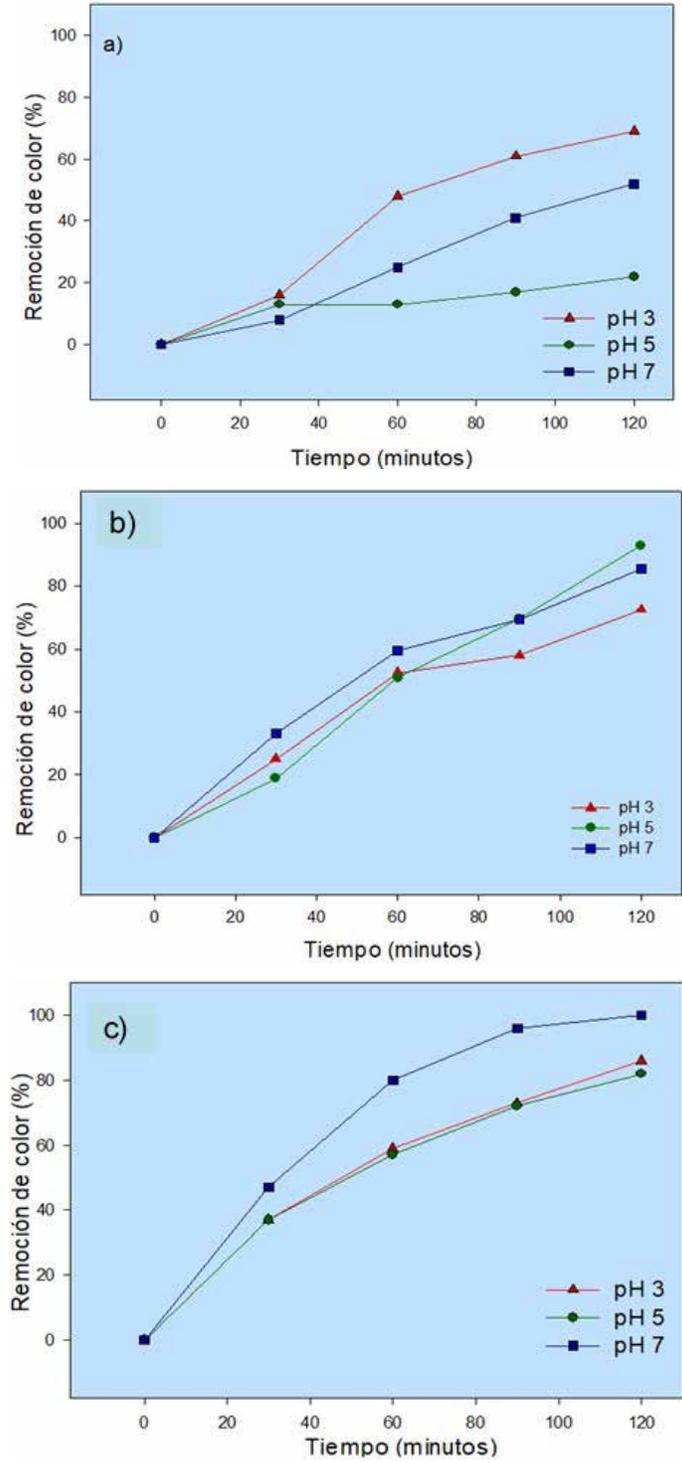


Figura 3. Remoción de color a diferentes intensidades de corriente a) 0.10 A, b) 0.20 A y c) 0.30 A

De la Figura 3 se observa que los 3 tratamientos ensayados a una intensidad de corriente de 0.10 A (Figura 3a), muestran las menores eficiencias de remoción de color, y en general en el rango del 22 al 69.26%.

Para la Figura 3b (intensidad de corriente de 0.20 A), se puede ver que para un tiempo de reacción de 120 minutos y con pH 5 y 7 se registraron las mayores remociones, esto es, 93 y 85%, respectivamente.

Finalmente, para la Figura 3c (intensidad de corriente de 0.30 A), las máximas remociones (100%) se tuvieron a pH 7 y para los tiempos de 90 y 120 minutos de reacción. Y al igual que sucedió con la DQO, también con este parámetro puede verse la influencia que la intensidad de corriente puede tener en la degradación de moléculas orgánicas complejas (González et al. 2011; Cruz 2013).

En general, en la descomposición de moléculas orgánicas complejas, los •OH producidos en el medio de reacción, de acuerdo con autores como Barrera-Andrade et al. (2023) y Milam y Planalp (2024), son eficaces en la descomposición de colorantes como el azul de metileno, presente en la mezcla de colorantes que caracteriza a los residuos de tinción de Gram. El proceso comienza mediante la adición de un radical hidroxilo al anillo o a la oxidación del átomo de azufre. Después de varias adiciones de radicales hidroxilo a los anillos de fenilo, la estructura del anillo puede romperse en fracciones fenólicas, dando paso a oxidaciones adicionales hasta la posible mineralización de la molécula (CO₂ y H₂O).

Por otro lado, se realizó el análisis de la caracterización final en el influente y efluente para las mejores combinaciones de pH y las diferentes intensidades de corriente. Los resultados son mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7
Caracterización del agua residual (influyente y efluente)

Parámetro	Unidad	a			b		c	
		Influyente	Efluente	% de remoción	Efluente	% de remoción	Efluente	% de remoción
pH	---	---	3.4	---	7	---	5	---
Color	(Pt-Co)	234	69.26	70.4	85	63.7	0	100
DQO	(mg/L)	612	36.72	94	61	90	0	100
SST	(mg/L)	450	390	13.3	75	83.3	15	96.7

De la tabla se observa que tanto el color como la DQO registraron remociones del 100% bajo la combinación de pH 7 y 0.30 A, al registrar valores de 0 hacia el final del tratamiento. También resalta la baja presencia de SST en el efluente final (15 mg/L). Las remociones alcanzadas en el presente estudio,

fueron mucho mayores a las reportadas en el único trabajo encontrado (Granda-Ramírez et al. 2018), donde un PAO como lo es la fotocatalisis heterogénea con TiO_2 se ha aplicado a los residuos de la prueba de tinción de Gram, y solo un 40% de la DQO y un 75% de color fueron removidos.

Comportamiento de los parámetros evaluados y el error estadístico obtenido.

En las Figuras 4 y 5 se muestran los resultados de la remoción de color y DQO con respecto al error obtenido.

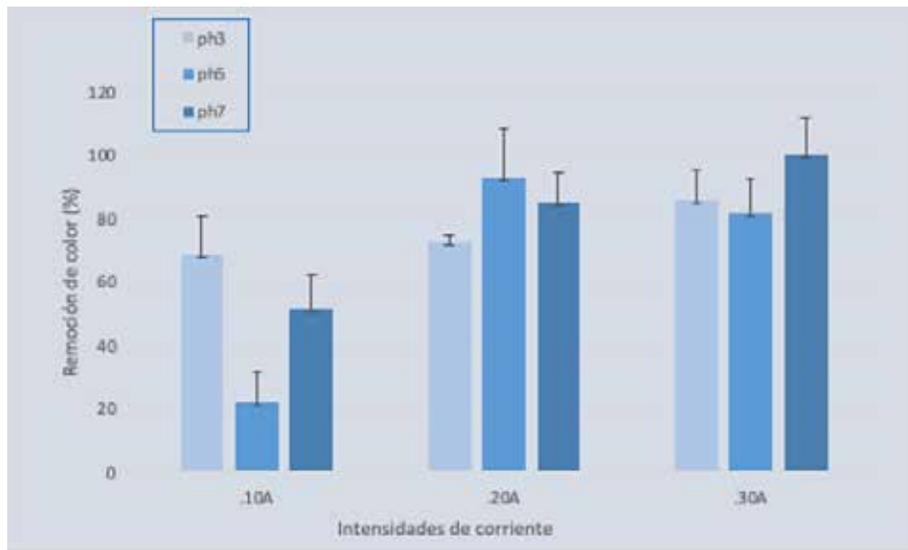


Figura 4. Remoción de color con el error obtenido

Como puede observarse y bajo las condiciones evaluadas, los valores de remoción en color no se encuentran dispersos, se observan aún más concentrados en el valor de pH 3 bajo 0.20 A. De cualquier forma es conveniente destacar la relación directa entre la remoción de color y la intensidad de corriente aplicada; en efecto, a mayor intensidad de corriente, el resultado de remoción en color resultó ser más significativo.

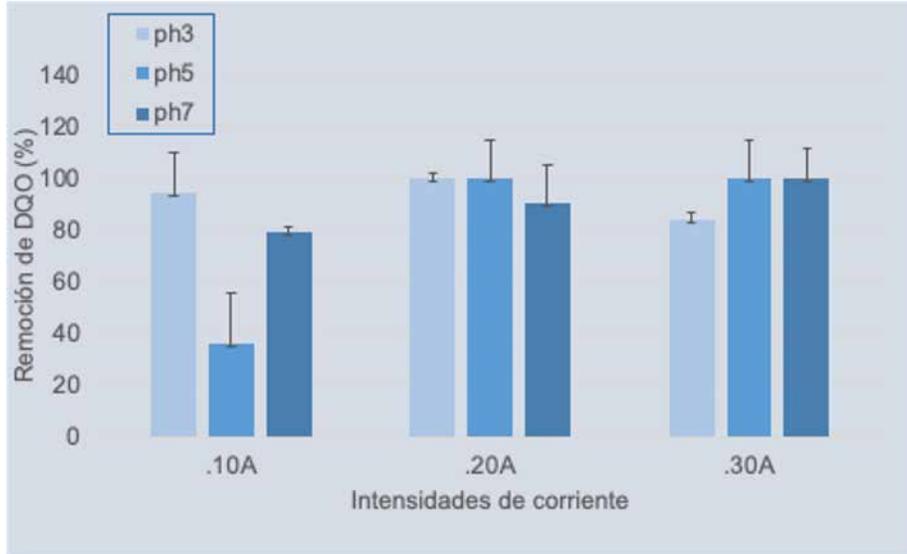


Figura 5. Remoción en DQO con el error obtenido

Para el caso de las pruebas de tratabilidad en remoción de DQO, se observó que para las condiciones evaluadas (0.10 A y pH 7, 0.20 A y pH 3, y 0.30 A y pH 3), los valores del error obtenido fueron concentrados y las remociones se encontraron por encima del 80%.

CONCLUSIONES

La OA usando como ánodo el electrodo de DDB y como cátodo el electrodo de grafito, demostró ser eficiente para oxidar los contaminantes presentes en residuos líquidos provenientes de las pruebas de tinción de Gram, por lo que puede ser una opción real de tratamiento para esta mezcla compleja de colorantes generadas en ambientes escolares.

El ANOVA demostró la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. La prueba de Tukey permitió observar que las mejores condiciones de remoción 100% en DQO y Color, y del 96.7% en SST, se presentaron cuando el sistema fue operado con 300 mA y el pH neutro.

Finalmente, considerando que en el laboratorio de docencia de Ingeniería Ambiental de la UNICACH se generan en promedio 2 L de residuos líquidos de tinción de Gram de forma semestral, se requeriría tratar alrededor de 100 L del agua problema ya diluida, misma que podría ser descargada con valores de cero mg/L en DQO y cero unidades Pt-Co en color bajo las mejores condiciones encontradas en el presente estudio.

REFERENCIAS

- APHA.** (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22nd ed.). Joint Editorial Board.
- Barrera-Andrade, J. M., de la Fuente-Maldonado, N., López-Medina, R., Maubert-Franco, A. M., & Rojas-García, E.** (2023). Revolutionizing wastewater treatment: Harnessing metal-organic frameworks for exceptional photocatalytic degradation of azo-type dyes. *Colorants*, 2, 674–704. <https://doi.org/10.3390/colorants2040035>
- Barrera-Díaz, C., Canizares, P., Fernández, F. J., Natividad, R., & Rodrigo, M. A.** (2014). Electrochemical advanced oxidation processes: An overview of the current applications to actual industrial effluents. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 58(3), 256-275. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47532759003>
- Bermeo-Garay, M., & Tinoco-Gómez, O.** (2016). Remoción de colorantes de efluente sintético de industria textil aplicando tecnología avanzada. *Industrial Data*, 19(2), 91-95. <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v19i2.12844>
- Brdarić, T. P., Acimović, D. D., Švorc, L., & Vasić Anićijević, D. D.** (2024). Bibliometric study of electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs) for wastewater treatment. *Coatings*, 14, 1060. <https://doi.org/10.3390/coatings14081060>
- Chiliquinga, M., Espinoza-Montero, P. J., Rodríguez, O., Picos, A., Bandala, E. R., Gutiérrez-Granados, S., & Peralta-Hernández, J. M.** (2020). Simultaneous electrochemical generation of ferrate and oxygen radicals to blue BR dye degradation. *Processes*, 8(7), 753. <https://doi.org/10.3390/pr8070753>
- Granda-Ramírez, C. F., Hincapié-Mejía, G. M., & Lopera-Uribe, S.** (2018). Tratamiento de residuos de laboratorio vía fotocatalisis heterogénea con TiO₂. *TecnoLógicas*, 21(42), 1-12. <https://doi.org/10.22430/22565337.787>
- Cruz Ornelas, R.** (2013). *Oxidación electroquímica de residuos farmacéuticos (diclofenaco, ketorolaco y naproxeno) en diferentes matrices acuosas* [Tesis de posgrado, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)].
- González, T., Domínguez, J. R., Palo, P., & Sánchez-Martín, J.** (2011). Conductive-diamond electrochemical advanced oxidation of naproxen in aqueous solution: Optimizing the process. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 86(1), 121-127. <https://doi.org/10.1002/jctb.2494>
- Hanane-Afanga, H., Zazou, E., Titchou, F., Youness-Rakhila, R., Ait Akbour, R., Elmchaouri, A., & Ghanbaja, J.** (2020). Integrated electrochemical processes for textile industry wastewater treatment: System perfor-

- mances and sludge settling characteristics. *Sustainable Environment Research*, 30, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0043-2>
- Xie, J., Zhang, C., & Waite, T. D.** (2022). Hydroxyl radicals in anodic oxidation systems: Generation, identification, and quantification. *Water Research*, 217, 118425. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118425>
- Klidi, N., Clematis, D., Delucchi, M., Gadri, A., Ammar, S., & Panizza, M.** (2018). Applicability of electrochemical methods to paper mill wastewater for reuse: Anodic oxidation with BDD and TiRuSnO₂ anodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 815, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2018.02.063>
- La Rosa-Toro, A., & Ponce-Vargas, M.** (2007). Evaluación de electrodos de espinela de cobalto y de dióxido de plomo en la oxidación electroquímica de colorantes azo. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(4), 183-196. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937607002>
- Milam, L. R., & Planalp, R. P.** (2024). Bimetallic Fenton-like catalysts in the remediation of dyes. *Colorants*, 3, 1-16. <https://doi.org/10.3390/colorants3010001>
- Moreira, F. C., Boaventura, R. A., Brillas, E., & Vilar, V. J.** (2017). Electrochemical advanced oxidation processes: A review on their application to synthetic and real wastewaters. *Applied Catalysis B: Environmental*, 202, 217-261. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.037>
- Nidheesh, P. V., Zhou, M., & Oturan, M. A.** (2018). An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. *Chemosphere*, 197, 210-227. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.195>
- Petrucci, E., Di Palma, L., Lavecchia, R., & Zuorro, A.** (2015). Treatment of diazo dye Reactive Green 19 by anodic oxidation on a boron-doped diamond electrode. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 26, 116-121. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.06.014>
- Rubí, H., Galicia, L. E. M., Soto, M., & Gálvez, F. A. V.** (2023). Perspectiva de la oxidación electroquímica de colorantes sintéticos en aguas residuales artificiales: Rol del material anódico. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 20(3), 1. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2023.3.3.1>
- Sánchez-Sánchez, T. J., Nájera-Aguilar, H. A., Gutiérrez-Hernández, R. F., García-Lara, C. M., Araiza-Aguilar, J. A., Bautista-Ramírez, J. A., & Castañón-González, J. H.** (2020). Application of anodic oxidation with graphite electrodes in pretreated leachates. *Open Journal of Applied Sciences*, 10(3), 69-77. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2020.103006>
- Velázquez, J. M.** (2015). *Influencia de la concentración de cloruros en la remoción de color y materia orgánica (DQO y COT) en lixiviados tipo III empleando el proceso de oxidación anódica* [Tesis, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].

- Xie J, et al. (2022)** An integrated model for termination of RNA polymerase III transcription. *Sci Adv* 8(28):eabm9875
- Yingying, J., Zhao, H., Liang, J., Yue, L., Li, T., Luo, Y., Liu, Q., Lu, S., Asiri, A. M., Gong, Z., & Sun, X. (2021).** Anodic oxidation for the degradation of organic pollutants: Anode materials, operating conditions, and mechanisms. A mini review. *Electrochemistry Communications*, 123, 106912. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2020.106912>
- Yavuz, Y., & Shahbazi, R. (2012).** Anodic oxidation of Reactive Black 5 dye using boron doped diamond anodes in a bipolar trickle tower reactor. *Separation and Purification Technology*, 85, 130-136. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.10>

El destino de la basura: una mirada a sus impactos

The destination of the waste: A view of its impacts

—

Teresa de Jesús Sánchez-Sánchez
ingteresa.sanz@gmail.com

DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN DE
ECOSISTEMAS TROPICALES. INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS.
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS. TUXTLA GUTIÉRREZ,
CHIAPAS, MÉXICO



Para citar este artículo:

Sánchez Sánchez, T. de J. El destino de la basura: una mirada a sus impactos. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39). <https://doi.org/10.31644/IMASD.39.2025.a03>

RESUMEN

Los residuos sólidos urbanos (RSU) reflejan la cultura de una sociedad y tienen un impacto significativo en la salud pública y el medio ambiente. En México, la disposición final inadecuada de estos residuos es un problema crítico, agravado por la prevalencia de sitios no controlados frente a los rellenos sanitarios. Se registran 2,203 Sitios de Disposición Final (SDF), de los cuales el 87% son sitios no controlados, siendo los rellenos sanitarios la minoría. Los efectos adversos de esta disposición inadecuada incluyen la contaminación del aire y del agua, las emisiones de metano y lixiviados, la degradación del paisaje y la proliferación de enfermedades debido a los vectores de transmisión y los riesgos para la salud pública. Este trabajo busca analizar los desafíos asociados con la gestión y disposición final de los RSU en México, identificar los principales impactos ambientales y sociales derivados de estas prácticas y proponer estrategias que fomenten un manejo más sostenible.

Palabras clave:

Residuos sólidos urbanos; disposición final; medio ambiente.

— *Abstract*—

The generation of Municipal Solid Waste (MSW) reflects the culture of a society, and inadequate management of it can have a negative impact on public health and the environment. In Mexico, approximately 120,128 tons of USW are generated per day (SEMARNAT, 2020). There are 2,203 registered Final Disposal Sites (FDS), of which 87% are uncontrolled sites, with sanitary landfills being the minority. The adverse effects of inadequate final disposal of MSW include air and water pollution, methane and leachate emissions, landscape degradation, and the proliferation of diseases due to the transmission vectors they harbor. This document aims to provide an overview of MSW disposal in Mexico, as well as its main environmental and social impacts.

Keywords:

Urban solid waste, final disposal, environment

El problema de la basura comenzó cuando el ser humano dejó de ser nómada y se estableció en lugares fijos (Córdoba-Meriño et al. 2018). Desde entonces, la complejidad y las repercusiones de la gestión de residuos han aumentado con el tiempo. ¿Alguna vez te has preguntado qué sucede con la basura que generamos a diario? Para muchas personas, sigue siendo un misterio, ya que suelen deshacerse de sus desechos sin reflexionar sobre su destino final. Sin embargo, la basura no desaparece por arte de magia, solo cambia de lugar, y si no se maneja adecuadamente, puede ocasionar graves daños al medio ambiente.

En México, el problema de la basura sigue en constante aumento, debido a factores como el incremento poblacional, el desarrollo industrial, los avances tecnológicos, los cambios en los hábitos de consumo y el mayor uso de productos desechables de lenta biodegradabilidad (SEMARNAT, 2015). Esta situación se ha agravado en el contexto postpandemia, debido a nuevos hábitos como el crecimiento del comercio electrónico, que ha generado una mayor cantidad de embalajes de cartón, plásticos y otros materiales utilizados en los envíos, así como el alto consumo de insumos de protección personal como gel antibacterial y cubrebocas (Das et al. 2021; Oceana, 2023).

La eliminación definitiva de la basura representa un gran desafío debido a los costos elevados asociados con la construcción, operación y mantenimiento de sitios adecuados para su disposición final. Un manejo inadecuado puede tener graves consecuencias tanto ambientales como para la salud pública. La contaminación del suelo, la afectación de los mantos acuíferos y cuerpos de agua superficiales, son solo algunos de los problemas que pueden surgir como resultado de una gestión deficiente (Jaramillo, 2002).

Este trabajo tiene como objetivo explorar los diferentes aspectos de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) en México. La estructura del documento se organiza de la siguiente manera:

1. **¿Qué son los RSU?**
Se presentará la definición y clasificación de los RSU.
2. **¿Cuántos RSU se generan en México?**
Se expondrán estadísticas sobre la cantidad de residuos generados en el país.
3. **El destino final de los RSU.**
Se describirá cómo se gestionan los RSU en México, detallando los tipos de sitios de disposición final.
4. **Residuos posteriores a la disposición final.**
Se analizará sobre los subproductos generados después de la disposición de los residuos.
5. **Impactos ambientales y en la población por la disposición inadecuada de los RSU.**

Se profundizará en los efectos negativos de una mala gestión de residuos en la salud pública y el medio ambiente.

6. Comentarios finales.

Se ofrecerán conclusiones y recomendaciones para mejorar la gestión de residuos en México.

MÉTODOS

Se realizó una revisión de fuentes académicas, científicas, informes gubernamentales y datos estadísticos sobre la disposición final de los residuos sólidos en México. La búsqueda se realizó a través de plataformas como PubMed y Google Scholar.

Se seleccionaron artículos científicos en inglés y español, informes de organismos como la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y datos estadísticos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Los criterios de selección se basaron en la relevancia, calidad académica y el período de publicación, priorizando aquellos documentos publicados entre 2002 y 2024.

Los términos de búsqueda utilizados fueron:

- Manejo de residuos sólidos
- Impacto ambiental de los residuos
- Manejo de residuos COVID
- Generación de residuos
- Legislación sobre residuos en México

Estas combinaciones permitieron abordar aspectos clave relacionados con la gestión, impacto y normativa de los residuos sólidos.

1. ¿QUÉ SON LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS?

Como resultado de la vida cotidiana del ser humano se generan residuos, como en las casas, las dependencias públicas y privadas, en la recreación, en el arte, entre otros (Tello-Espinoza, 2018). Todas nuestras actividades humanas, desde la producción y consumo de bienes y servicios, generan residuos inevitablemente. La construcción de viviendas, por ejemplo, además de residuos de materiales de construcción como concreto, ladrillos y madera, también puede generar desechos peligrosos como pinturas y solventes. A diario hacemos uso de transporte público o privado, un servicio que genera

desechos derivados del mantenimiento y operación, como aceites usados, neumáticos desgastados, baterías desechadas, entre otros.

En la era digital que vivimos actualmente, hasta los lugares más alejados cuentan con servicios de telecomunicaciones. La instalación y el mantenimiento de redes de telecomunicaciones producen desechos electrónicos y de construcción. Además, los dispositivos electrónicos como teléfonos móviles, computadoras y equipos de red tienen ciclos de vida relativamente cortos, lo que resulta en una acumulación constante de residuos electrónicos (Oceana, 2023).

Cuando los materiales ya no pueden ser utilizados directamente en la misma actividad donde se generaron son considerados residuos. Aunque existen varias definiciones para el término “residuo”, en general, se entiende como cualquier material, que una vez generado, deja de ser útil para quien lo generó, lo que lleva a la necesidad de deshacerse de ellos.

La definición de residuos sólidos, según Tchobanoglous et al. (1994), “*son todos los desechos que surgen de las actividades humanas y animales, que normalmente son sólidos y que se desechan como inútiles o no requeridos*”. Esta definición concisa, señala que cualquier material que haya perdido su utilidad dentro del contexto en el que se generó se convierte en un residuo, pero puede tener potencial como materia prima secundaria en otros procesos. Por ejemplo, los aceites de cocina usados pueden ser recolectados y transformados en biodiesel mediante procesos de transesterificación (Haq et al. 2021).

En México, de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), un residuo “*es todo material o producto que se desecha, que puede encontrarse en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso, estar contenido en recipientes o depósitos, y ser susceptible de valoración o sujetarse a tratamiento o disposición final*”. Estos residuos se clasifican en residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos, de acuerdo con sus características y origen.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, los residuos sólidos urbanos (RSU) se definen como:

Aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que generen residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

Los RSU incluyen una amplia variedad de materiales, desde orgánicos como restos de comida y desechos de jardinería, hasta envases, embalajes y envoltorios utilizados en las actividades diarias, así como textiles y

desechos de limpieza urbana, entre otros. Estos materiales componen lo que comúnmente conocemos como basura.

2. ¿CUÁNTOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS SE GENERAN EN MÉXICO?

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en México es un problema común en todas las comunidades y su magnitud está directamente relacionada a la cantidad de residuos generados (Tello-Espinoza, 2018). En las últimas siete décadas, ha habido un notable aumento en la generación de RSU. En 1950, la generación per cápita era de 0.300 kg/hab/día. Sin embargo, para el año 2012, este volumen diario casi se triplicó, alcanzando los 0.852 kg por habitante (SEMARNAT, 2012). Se estima que en 2020 el volumen ascendió a 0.944 kg. De acuerdo con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales, que se realiza cada dos años, a nivel nacional, la generación total se estima en 108,146 toneladas por día, en comparación con las 99,770 toneladas diarias estimadas en 2012 (INEGI, 2023). Respecto al estado de Chiapas, se estima una generación diaria de 5,188 toneladas, lo que representa el 4.8 % del total nacional (SEMAHN, 2022).

El aumento en la generación de RSU se atribuye a varios factores, como el crecimiento de las áreas urbanas, el desarrollo industrial, los avances tecnológicos y los cambios en los hábitos de consumo de la población (Jaramillo, 2002). Estos factores contribuyen a la complejidad del problema, ya que los residuos generados tienden a tener una composición cada vez menos biodegradables y una mayor cantidad de compuestos tóxicos (Köfalusi y Aguilar, 2006).

La pandemia de COVID-19, acentuó esta problemática al incrementar significativamente la generación de residuos como cubrebocas desechables, envases de gel antibacterial y otros insumos de protección personal (Das et al. 2021; Yousefi et al. 2021). Según la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, estos materiales se clasifican en su mayoría como Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI) en entornos hospitalarios, una parte considerable terminó formando parte de los RSU debido a su uso masivo por la población general. Esta situación evidencia deficiencias en los sistemas de separación y disposición final, ya que muchos de estos residuos no reciben un manejo adecuado, incrementando los riesgos de contaminación ambiental y de salud pública.

En conjunto, estos factores han contribuido a un deterioro ambiental progresivo, resaltando la necesidad urgente de abordar el problema de manera integral y sostenible para mitigar su impacto negativo en el medio ambiente y la salud pública.

El artículo 10 de la LGPGIR, establece que el manejo integral de los RSU está bajo la responsabilidad de los gobiernos municipales, desde la recolección hasta la disposición final. Sin embargo, en la práctica los municipios carecen de capacidades técnicas y financieras lo que dificulta la implementación de medidas efectivas para abordar este problema de manera integral.

3. EL DESTINO FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La disposición final de los RSU se refiere su depósito permanente cuando se considera que han perdido totalmente su valor. Sin embargo, es importante señalar que no todos los RSU terminan en el mismo destino, ya que esto depende en gran medida por la efectividad de las políticas, de la infraestructura y la capacidad de gestión disponible en cada municipio (Rodríguez y Montesillo, 2017). Además, la cultura ciudadana en el manejo de los RSU desempeña un papel importante, ya que puede influir en la cantidad de residuos generados, su disposición, la participación en programas de reciclaje y la adopción de prácticas más sostenibles en su gestión (Córdova-Merino et al. 2018; Kountouris,2022). En México, muchos municipios no cuentan con un manejo adecuado de los RSU.

A nivel nacional se registran 2,203 Sitios de Disposición Final (SDF) y Chiapas se encuentra entre los estados con mayor cantidad de estos sitios, junto con Chihuahua, Veracruz y Oaxaca (Fig. 1, SEMARNAT, 2020). Las prácticas más comunes de disposición final son los Rellenos Sanitarios (RS) y predominantemente, los Tiraderos a Cielo Abierto (TCA), conocidos comúnmente como basureros. A continuación, se describen estos métodos.

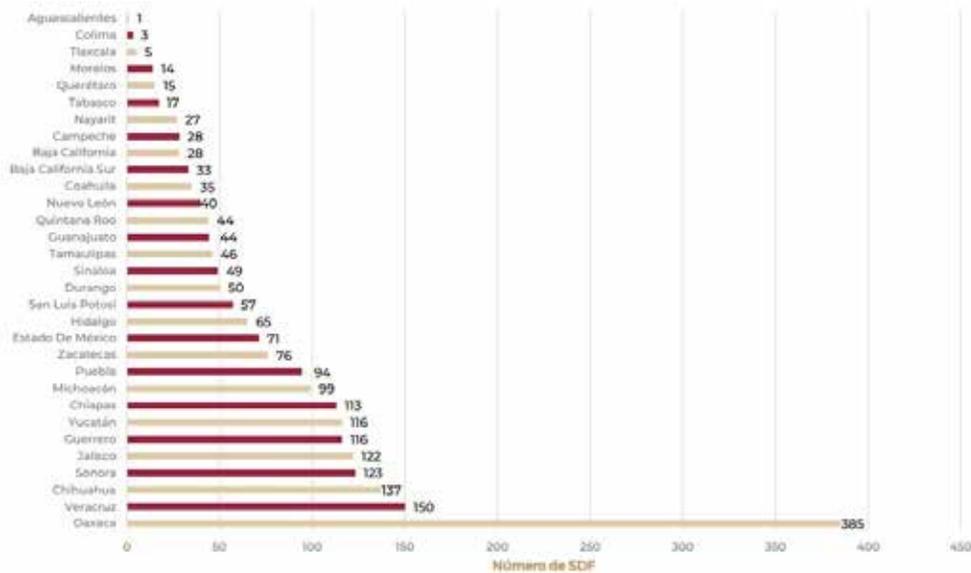


Figura 1. Sitios de Disposición Final por entidad federativa. Fuente: SEMARNAT, 2020

3.1 *Relleno Sanitario (RS)*

Es un método de ingeniería diseñado para gestionar los residuos sólidos de forma segura y controlada. En términos generales consiste en depositar los residuos en celdas impermeabilizadas donde se compactan para reducir su volumen y optimizar la capacidad de almacenamiento del sitio, a diario se recubren con tierra u otro material inerte para evitar la proliferación de vectores sanitarios y malos olores. Los subproductos que se generan por la descomposición de los residuos deben ser manejados adecuadamente para evitar la contaminación ambiental (Jaramillo, 2002; Nájera-Aguilar et al. 2012). La normativa mexicana, NOM-083 SEMARNAT-2003, establece las especificaciones ambientales para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un RS.

Los RS son una alternativa más segura y menos perjudicial para el medio ambiente en comparación con los métodos de disposición final no controlados que permiten una gestión más ordenada y eficiente de los RSU contribuyendo a la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

3.2 *Tiradero a Cielo Abierto (TCA)*

Es el método más antiguo para la disposición de los RSU, que consiste en depositarlos directamente al suelo sin ningún tipo de revestimiento o control ambiental sobre los subproductos originados por la descomposición de la materia orgánica (Fig. 2). Estos sitios suelen incendiarse con frecuencia ya que la basura contiene y genera sustancias combustibles (Cerda, 2007), por lo tanto, es una práctica inadecuada por los efectos adversos al medio ambiente y a la salud pública. La mayoría de los TCA son clandestinos y se han extendido en todo el territorio mexicano ocupando barrancas y cauces de ríos, lagos y lagunas, minas abandonadas, zonas pantanosas, terrenos baldíos y áreas geológicamente inestables (Rojas-Valencia y Sahagún-Aragón, 2022).



Figura 2. Tiradero a Cielo Abierto, Berriozábal, Chiapas. Fuente: Propia

De estos sitios de disposición final, los RS son los únicos ambientalmente aceptables, siempre y cuando sean diseñados, construidos y operados de acuerdo con las regulaciones vigentes para minimizar los impactos al entorno y los riesgos a la salud pública. Lamentablemente, en nuestro país la práctica más común sigue siendo el uso de los Tiraderos a Cielo Abierto, con más del 87% de los SDF operando bajo este método (INEGI, 2020) debido a la facilidad y bajo costo de operación.

Actualmente existen algunos métodos alternativos para la disposición final de los RSU, como el reciclaje, el compostaje, la incineración y la producción de energía a partir de residuos (Cabrera, 2022). Estos métodos buscan reducir la cantidad de residuos enviados a los rellenos sanitarios para prolongar su vida útil y promover una gestión más sostenible.

4. RESIDUOS POSTERIORES A LA DISPOSICIÓN FINAL

La descomposición de los residuos sólidos urbanos en cualquier SDF inevitablemente genera otros residuos o subproductos, principalmente, biogases y lixiviados:

El desconocimiento teórico se hace visible en la práctica, ya que muchas de las actividades se reducen a una pedagogía simulada; se finge enseñar y cumplir con los objetivos institucionales recurriendo al entretenimiento:

4.1 Biogás

Es una mezcla gaseosa producto de la fermentación de la fracción orgánica de los residuos sólidos dispuestos en los SDF, compuesto principalmente por metano (40-55%) y bióxido de carbono (40-50%). Cantidades menores de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, hidrógeno y oxígeno y trazas de monóxido de carbono, amoníaco e hidrocarburos aromáticos (Vaverková, 2019). La producción y composición del biogás que se libera depende de la composición de los residuos, el contenido de humedad, la temperatura, la edad del SDF, entre otros. Se genera durante la descomposición anaeróbica de la materia orgánica que comienza entre uno o dos años después de haber sido depositada y continua durante unos 15-25 años (Köfalusi y Aguilar, 2006; Rojas-Valencia y Sahagún-Aragón, 2022)

4.2 Lixiviados

Líquidos generados por la descomposición de los residuos y la filtración del agua de lluvia a través de ellos. Son considerados altamente contaminantes por la composición química y microbiológica variable y heterogénea. El contenido de contaminantes en los lixiviados (material orgánico biodegradable y refractario, componentes húmicos, metales pesados, sales inorgánicas), varía en función del tiempo, generalmente en los primeros años de descomposición hay un rápido incremento y con los años hay una lenta disminución que puede ser por más de 50 años (Costa et al., 2019; Vaverková, 2019). Sin embargo, su composición y concentración pueden variar dependiendo de la naturaleza de los residuos del mismo modo que en la producción de biogás.

La principal diferencia en las emisiones entre los SDF es que, en los TCA, el biogás y los lixiviados se liberan sin control, lo que tiene repercusiones ambientales y sociales.

5. IMPACTOS AMBIENTALES Y EN LA POBLACIÓN POR LA DISPOSICIÓN INADECUADA DE LOS RSU

El manejo inadecuado de la disposición final de los RSU genera múltiples problemas que afectan tanto al medio ambiente como a las comunidades. Entre los principales impactos destacan la contaminación del suelo y del agua, la emisión de gases de efecto invernadero, la proliferación de enfermedades como la malaria y el dengue, la presencia de malos olores, el bloqueo de desagües y alcantarillas, y el daño a la fauna, como la asfixia de animales en bolsas de plástico (Abubakar et al. 2022).

La calidad estética del entorno cercano a los sitios de disposición final se ve gravemente afectada por el levantamiento de polvo y la dispersión de

residuos ligeros, como plásticos y papeles. Además, los olores provenientes de la descomposición de los residuos orgánicos, principalmente por la presencia del amoníaco y el sulfuro de hidrógeno, empeoran la calidad de vida de las comunidades cercanas, ya que la exposición prolongada a estos compuestos volátiles se ha asociado con posibles riesgos para la salud, como irritación respiratoria, cáncer e incluso daños al sistema nervioso central (Wu et al. 2018). La acumulación excesiva de residuos favorece la proliferación de fauna nocivas. En muchos casos, se producen incendios deliberados para reducir el volumen de la basura y prolongar la vida útil de los sitios de disposición. Sin embargo, estos incendios generan contaminación del aire y el suelo debido a los gases tóxicos, cenizas y humo producidos (Manjunatha et al. 2024). Además, contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero como el CO_2 y el CH_4 , acelerando el calentamiento global (Köfalusi y Aguilar, 2006; Abubakar et al. 2022). Por otro lado, las aguas subterráneas y superficiales se ven amenazadas por la constante producción de lixiviados.



Figura 3. Impactos ambientales y en la población por la disposición inadecuada de los RSU. Elaboración propia basada en Jaramillo (2002), Köfalusi y Aguilar (2006), y Abubakar et al. (2022)

La gestión inapropiada de los RSU constituye un desafío crítico con implicaciones sociales y ambientales (Fig. 3), que exige atención inmediata. Comprender los riesgos ambientales asociados es importante para abordar el problema de manera efectiva. Para mitigar estos impactos, es esencial adoptar

enfoques sostenibles que no solo promuevan la reducción y tratamiento adecuado de los residuos, sino que también fomenten la participación de todos los sectores involucrados: gobiernos, empresas y ciudadanos. La implementación de políticas públicas eficientes, junto con una mayor conciencia social sobre la importancia de una gestión adecuada de los RSU, contribuirá a la protección del medio ambiente y al bienestar de las comunidades, previniendo consecuencias aún más graves en el futuro. Solo mediante un esfuerzo colectivo será posible lograr un entorno más saludable y sostenible para las generaciones venideras.

6. COMENTARIOS FINALES

La gestión de residuos sólidos urbanos en México es un desafío creciente que requiere medidas urgentes y concretas. Con una generación diaria estimada de 108,146 ton/día a nivel nacional y 5,188 ton/día en Chiapas, los sistemas inadecuados de disposición final han propiciado la proliferación de tiraderos clandestinos y la acumulación de basura en espacios públicos. Este trabajo muestra la magnitud del problema y la necesidad de mejorar tanto la infraestructura para el manejo y disposición final de residuos como las estrategias para reducir su generación diaria.

Promover prácticas de reciclaje, reutilización y reducción desde la fuente, puede conducir a nuestro país hacia un modelo de economía circular donde los recursos permanezcan en el ciclo productivo el mayor tiempo posible, alineándose con las metas globales de la Agenda 2030 de la ONU y los Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 12 que promueve un consumo y producción responsables.

Si bien el gobierno tiene un papel fundamental en la creación de infraestructuras y políticas públicas adecuadas, la participación activa de la sociedad es igualmente indispensable. Las políticas gubernamentales deben enfocarse en implementar estrategias de reducción, reutilización y reciclaje, con especial atención a sectores con altas tasas de generación de residuos, como la industria y el comercio. Asimismo, es primordial garantizar el cumplimiento riguroso de las normativas ambientales, que con frecuencia son ignoradas o insuficientemente aplicadas.

De este modo, este trabajo contribuye al entendimiento de los desafíos de la gestión de residuos sólidos urbanos en México, identificando la necesidad de fortalecer la infraestructura y promover la economía circular como estrategias clave. Para lograrlo, es esencial un esfuerzo colectivo entre todos los actores sociales, con el fin de construir un presente más limpio, saludable y sostenible para las generaciones actuales y futuras.

REFERENCIAS

- Abubakar**, I. R., Maniruzzaman, K. M., Dano, U. L., AlShihri, F. S., AlShammari, M. S., Ahmed, S. M. S., and Alrawaf, T. I. (2022). Environmental sustainability impacts of solid waste management practices in the global South. *International journal of environmental research and public health*, 19(19), 12717.
- Cabrera**, E. S. (2022). Alternativas bioenergéticas de los residuos sólidos urbanos: panorama en México. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (31), 59-76.
- Córdoba-Meriño**, R., Cantillo-Manjarrez, I., De Horta-Martínez, M., Guerra-Arocha, E., Monsalve-Muñoz, M., Sánchez-Medina, J. y Dennys-Saavedra, D. (2018). Cultura ciudadana para el manejo de residuos sólidos mediante la investigación como estrategia pedagógica. *Cultura. Educación y Sociedad*, 9(3), 141-152.
- Costa**, A. M., Alfaia, R. G. D. S. M., and Campos, J. C. (2019). Landfill leachate treatment in Brazil—An overview. *Journal of environmental management*, 232, 110-116.
- Das** A. K., Islam M. N., Billah MM., and Sarker A. (2021). COVID-19 and municipal solid waste (MSW) management: a review. *Environ Sci Pollution Research*. 28(23):28993-29008.
- Diario Oficial de la Federación**. (2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México.
- Haq**, I. U., Akram, A., Nawaz, A., Abbas, S. Z., Xu, Y., and Rafatullah, M. (2021). Comparative analysis of various waste cooking oils for esterification and transesterification processes to produce biodiesel. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 14(3), 462-473.
- INEGI** (2023). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2023*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2023/>
- Jaramillo**, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. *Organización Panamericana de la Salud*.
- Köfalusi**, G. K., y Aguilar, G. E. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta ecológica*, (79), 39-51. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907903>
- Kountouris**, Y. (2022). The influence of local waste management culture on individual recycling behavior. *Environmental Research Letters*, 17(7), 074017. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac7604>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)**. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>

- Manjunatha** GS, Lakshmikanthan P, Chavan D, Baghel DS, Kumar S, and Kumar R. (2024) Detection and extinguishment approaches for municipal solid waste landfill fires: A mini review. *Waste Manag Res.* 42(1):16-26.
- Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.** *Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.*
- Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002.** *Requisitos para el manejo de los Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos (RPBI) en establecimientos de atención médica.*
- Oceana** (2023). Comercio electrónico, plástico innecesario y contaminación. Regular para resolver.
- Rodríguez**, D. G. E., y Montesillo, C. J. L. (2017). Propuesta para la gestión sustentable de los residuos sólidos urbanos en la zona central conurbada de Toluca. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 12(21)
- Rojas-Valencia**, M. N., y Sahagún-Aragón, C. (2022). Tiraderos a Cielo Abierto. *Ciencia y Desarrollo.*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.** (2012). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2012.*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.** (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2020.*
- SEMAHN** (2022). *Programa Estatal Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos. Diagnóstico Básico 2022.*
- Tchobanoglous**, G., Theisen, H., y Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Ed. Mc Graw-Hill/Interamericana de España, S.A. Vol. II.
- Vaverková**, M. D. (2019). Landfill impacts on the environment. *Geosciences*, 9(10), 431.
- Wu**, C., Liu, J., Liu, S., Li, W., Yan, L., Shu, M., Zhao, P., Zhou, P. and Cao, W. (2018). Assessment of the health risks and odor concentration of volatile compounds from a municipal solid waste landfill in China. *Chemosphere*, 202, 1-8.
- Yousefi** M, Oskoei V, Jonidi Jafari A, Farzadkia M, Hasham Firooz M, Abdollahinejad B, Torkashvand J. (2021). Municipal solid waste management during COVID-19 pandemic: effects and repercussions. *Environmental Science and Pollution Research* 3;28(25):32200-9.

Caracterización espectral y análisis del color verdadero de diferentes colorantes naturales como *Bixa Orellana*, *Brassica oleracea*, var. *Capitata* e *Indigofera suffruticosa*

Spectral Characterization and True Color Analysis of Various Natural Dyes such as *Bixa Orellana*, *Brassica oleracea* var. *Capitata*, and *Indigofera suffruticosa*

—

Carlos Manuel García Lara¹

carlos.garcia@unicach.mx • ORCID: 0000-0001-5860-266X

Hugo Alejandro Nájera Aguilar¹

hugo.najera@unicach.mx • ORCID: 0000-0002-9337-8242

Juan Antonio Araiza Aguilar¹

juan.araiza@unicach.mx • ORCID: 0000-0002-3530-0674

Flor de Magaly González Hilerio¹

flor.gonzalez@unicach.mx

María de los Ángeles Polanco Enciso²

maría.polanco@unach.mx

1 INGENIERÍA AMBIENTAL, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS. TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS. MÉXICO.

2 FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN, C-I, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS. TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS. MÉXICO.



Para citar este artículo:

García Lara, C. M., Nájera Aguilar, H. A., Araiza Aguilar, J. A., González Hilerio, F. de M., & Polanco Enciso, M. de los Ángeles. Caracterización espectral y análisis del color verdadero de diferentes colorantes naturales como *Bixa Orellana*, *Brassica oleracea*, var. *Capitata* e *Indigofera suffruticosa*. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39).
<https://doi.org/10.31644/IMASD.39.2025.a04>

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el proceso de obtención de colorantes a partir de especies vegetales como la *Bixa Orellana* (Achiote) y *Brassica oleracea*, var. *capitata* (col morada). Las absorbancias de los colorantes obtenidos fueron comparadas con *Indigofera suffruticosa* (añil) y azul de metileno, adquiridos comercialmente, utilizando espectroscopía en el ultravioleta (UV), visible (Vis) e infrarrojo cercano (IR), obteniendo absorbancias superiores a 2.5 en el rango de longitudes de onda de alta energía, útil en la industria médica por sus propiedades de desinfección. Se determinaron modelos de regresión lineal con diluciones de estos colorantes para la obtención del color verdadero obteniendo coeficientes de determinación superiores a 95%.

Palabras Clave:

Colorantes; extracción; espectroscopía UV-Visible; color verdadero.

— Abstract—

This study evaluated the process of obtaining dyes from plant species such as *Bixa Orellana* (Achiote) and *Brassica oleracea, var. capitata* (red cabbage). The absorbances of the obtained dyes were compared with *Indigofera suffruticosa* (indigo) and methylene blue, commercially acquired, using ultraviolet (UV), visible (Vis) and near-infrared (IR) spectroscopy, achieving absorbances greater than 2.5 in the high-energy wavelength range, which is useful in the medical industry due to its disinfectant properties. Linear regression models were determined using dilutions of these dyes to obtain the true color, achieving determination coefficients greater than 95%.

Keywords:

Dyes; extraction; UV-Vis spectroscopy; true color.

La baja disposición de agua para consumo humano es uno de los temas de salud más significativos en la actualidad, ya que es un recurso utilizado para abastecimiento, alimentación, recreación, economía, entre otros. En México, alrededor de 80% de los ecosistemas acuáticos tienen algún grado de contaminación. Los principales contaminantes observados son materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo y microorganismos (coliformes fecales) (Hernández, et al. 2020). Existen diferentes técnicas convencionales y no convencionales para la eliminación de microorganismos en el agua como son la aplicación de productos químicos, esterilización UV y ósmosis inversa (Faroon, et al. 2023), para el primer caso y nanofiltración (Nasir, et al. 2022), electrocoagulación (Gamero, et al. 2020), fotosensibilización (Santos, et al. 2023), entre otros, como segundo caso. Este último representa una alternativa de bajo costo para la desinfección del agua utilizando la radiación solar y colorantes, los cuales son estructuras químicas utilizadas por sus propiedades de coloración, se les clasifica en naturales por su origen vegetal, animal o mineral (colorantes) y artificiales debido a modificaciones físicas o químicas, absorben luz y dan color en la región visible del espectro (400-800 nm). Por sus características son empleados además en sustratos para darles color y puedan resistir la decoloración al ser expuestos en agua, agentes oxidantes, sudor y ataque microbiano, por lo que también son utilizados en industrias como la textil, alimentos, impresión, cosméticos, medicina, plásticos, concreto y papel. Uno de los colorantes más utilizados en la industria es el azul de metileno, el cual es comúnmente aplicado para colorear seda, lana, algodón y papel (Rodríguez-Basantes, et al. 2019).

En este trabajo se presenta el proceso de extracción de dos diferentes colorantes orgánicos, así como la determinación del color verdadero, comparándolos con la *Indigofera suffruticosa* y azul de metileno.

MATERIALES Y MÉTODO

El procedimiento a seguir para la extracción del colorante es la selección de una masa determinada de la especie vegetal elegida (semillas u hojas), si esta se compone de hojas se procede a trocearla para disminuir el tiempo de obtención de colorante. A continuación, se presentan dos técnicas de extracción, la primera utiliza agua a temperatura de ebullición con la especie vegetal elegida y con agitación constante a 200 RPM durante 10 minutos, se deja enfriar y se filtra el líquido utilizando papel filtro, se procede a concentrar el extracto hirviendo la disolución o poniéndola a baño María, este proceso se repite en algunos casos hasta en 4 ocasiones para obtener la mayor cantidad de colorante posible. La segunda es utilizando una solución de hidróxido de sodio o hidróxido de potasio (medio alcalino) a una con-

centración de 1.5% o también utilizando alcohol etílico concentrado para extraer el colorante bajo agitación constante a 150 RPM en tiempos que van desde 10 minutos hasta 1 hora, dependiendo de la especie vegetal, para el caso de utilizar medio alcalino, se procede a acidificar la solución utilizando ácido fosfórico al 10% (H_3PO_4) con agitación constante hasta alcanzar un pH entre 2 y 2.5, finalmente se concentra el extracto mediante decantación del material y secado en horno a una temperatura óptima de manera que no se modifique las propiedades del colorante. Para su conservación se puede congelar el material concentrado o agregarle alcohol etílico en proporción 1:8 (Rodríguez-Basantes, et al. 2019). La masa final de colorante obtenida se mide utilizando una balanza analítica de la marca OHAUS modelo PIONEER TJ2611 con precisión de 0.1mg para conocer la eficiencia en su extracción.

Para el análisis espectral se sigue el procedimiento descrito en la NMX-AA-017-SCFI-2021, para la medición de color verdadero en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas, mediante coeficientes de absorción espectral a tres longitudes de onda diferentes en el intervalo visible del espectro (436, 525 y 620 nm) utilizando

$$\alpha(\lambda) = \frac{A}{d}f$$

Donde A es la absorbancia de la muestra de agua a la longitud de onda λ , d es la distancia en mm de camino óptico a través de la celda contenedora de la muestra de agua y f es un factor para obtener el coeficiente espectral en m^{-1} ($f=1000$). El estudio se realizó con un espectrofotómetro UV/VIS marca HACH modelo DR6000. El color verdadero se expresa en función del coeficiente de absorción espectral a la longitud de onda analizada, así como el valor de pH de la muestra, si la muestra es diluida se evalúa el volumen de agua utilizado en el cálculo final del color verdadero.

RESULTADOS

Se utilizaron tres diferentes materias primas como son el añil, achiote y col morada para la obtención de colorantes orgánicos, los cuales fueron contrastados con azul de metileno. A continuación, se describe el proceso de obtención de cada uno.

Para el Añil, proveniente de la *Indigofera suffruticosa*, se tuvo un colorante con una presentación sólida, por lo que para su preparación se molió hasta obtener gránulos inferiores a un diámetro de 0.5 mm. A continuación, se colocó una masa de 800 mg de añil en 400 mL de agua destilada, se mantuvo en agitación durante 10 minutos a 200 RPM para homogenizar la mezcla hasta obtener una concentración de 2 g/L, con un pH promedio de 7.0.

A partir de esta concentración, se prepararon 9 diluciones disminuyendo la concentración en valores periódicos, hasta alcanzar una concentración mínima de 200mg/L.

En el caso de la *Bixa Orellana* (Achiote), se realizaron dos procedimientos para la obtención del colorante, en el primero se colocó una masa de 100 g de semillas de achiote con 150 mL de agua destilada en un matraz erlenmeyer, se hirvió a una temperatura de 150°C con una agitación constante a 200 RPM en una parrilla de calentamiento y agitación marca Thermo Scientific modelo Cimarec durante 15 minutos, cuidando que las semillas no se adhirieran a las paredes del matraz. Una vez transcurrido el tiempo se procedió a filtrar la mezcla para eliminar las semillas lavadas de achiote utilizando un colador de malla regular de nylon, el líquido obtenido se depositó en tres capsulas de porcelana distribuido en volúmenes iguales, para su posterior secado. Debido a que el primer proceso no removió completamente el colorante de las semillas de achiote, se procedió a una segunda lavada con las mismas condiciones de la primera. Las capsulas de porcelana con el líquido obtenido se depositaron en un horno de secado marca Biobase, modelo FCD-3000 Serials, previamente acondicionado a una temperatura de 60°C durante 8 horas aproximadamente.



Figura 1. Vista ampliada de las semillas de achiote. a) primera lavada, b) segunda lavada, se observa claramente la remoción de colorante entre lavadas al obtener mayor superficie oscura en las semillas

Debido a que el extracto obtenido, a pesar de las lavadas realizadas, presentó una consistencia espesa que inhibe el proceso de extracción se debió utilizar un volumen mayor de agua, una masa menor de semillas de achiote o número mayor de lavadas. Una vez concluido el proceso de extracción del colorante, se procedió a evaluar la masa y su eficiencia de remoción, obteniéndose 0.9397g de colorante, lo que representa una eficiencia de remoción del 93.32%.

Para el segundo procedimiento, se utilizaron 10 g de semilla de achiote y 30 mL de un medio alcalino (NaOH o KOH), ambas soluciones a una

concentración de 1.5%, la mezcla se mantuvo en agitación constante a 140 RPM durante 1 hora, posteriormente se dejó en digestión durante 24 horas, transcurrido el tiempo se separaron las semillas y se realizó un segundo lavado repitiendo el proceso antes descrito, los extractos obtenidos por cada lavada se unieron y se procedió a su acidificación agregando gotas de ácido fosfórico al 10% (H_3PO_4) con agitación constante a 150 RPM hasta alcanzar un pH de 2 a 2.5, por último se decantó el material para la separación de las semillas, dejando secar el líquido durante tres días a temperatura ambiente en un espacio controlado. La masa obtenida utilizando hidróxido de sodio fue en promedio de 1.2 g, mientras que utilizando hidróxido de potasio fue de 1.8 g.

Para la *Brassica oleracea*, var. *capitata* (col morada), se troceó finamente 463.85g de col morada (6 hojas) y se dividió en cuatro bloques de 115g, aproximadamente. A cada bloque contenido en vasos de precipitado se le agregó 460 mL de agua destilada previamente hervida durante 30 minutos con agitación magnética. Dos lotes se dejaron enfriar a temperatura ambiente y a continuación, se les agregó 1/8 de su volumen de alcohol etílico concentrado para su conservación, evaluación y para evitar la proliferación de microorganismos. Los otros dos lotes, se redujeron mediante evaporación a una temperatura promedio 250°C durante una hora, por lo que se obtuvo una disminución de 100 y 55 mL, respectivamente.

Absorbancia

Con los colorantes obtenidos de cada especie vegetal se procedió a determinar una concentración de estos y de una solución de azul de metileno de tal forma que al medir la absorbancia se tuvieran valores cercanos entre sí, obteniendo las curvas que se presentan en la figura 2.

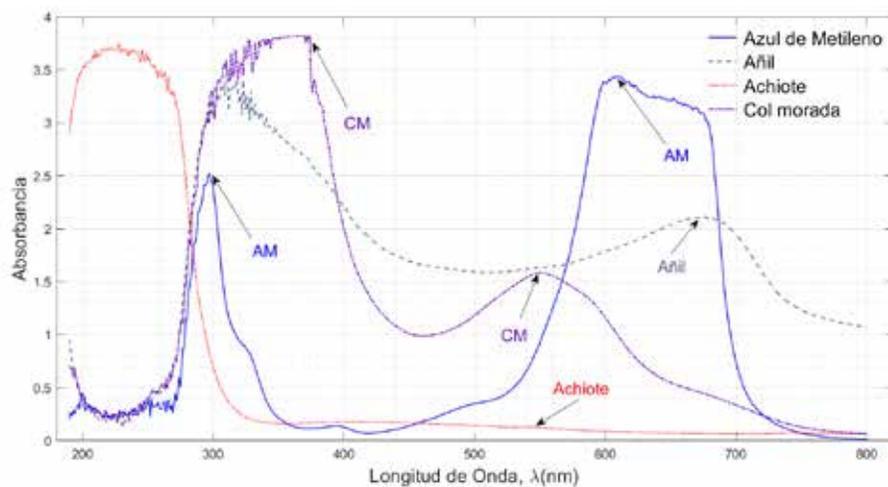


Figura 2. Curvas de absorbancia de los colorantes analizados

De la figura 2, se observó la mayor absorbancia para el azul de metileno a una concentración de 10 mg/L fue a 610 nm lo cual indica mayor temperatura pero menor energía, similar al observado en otros trabajos como Amaya, 2023, que presentó un análisis desde 390 a 800 nm, sin embargo, en este caso se realizó un barrido desde 190 nm presentando un segundo pico de absorbancia a los 297 nm, que corresponde a una frecuencia alta de luz, este rango de longitud de onda con mayor energía permite su uso en medicina para eliminar población microbiana y en tratamiento de agua (Santos, et al. 2023). Para el Añil a una concentración de 2 g/L, se tuvo mayor absorbancia alrededor de 310 nm y 675 nm acorde a lo observado por Basuki, 2018. En el caso del achiote con una concentración de 22.5 mg/L, se determinó un pico de absorbancia a una longitud de onda inferior a los 300 nm lo que corresponde a rangos de mayor energía útil en medicina, las bandas de absorbancia características entre 250, 370 y 500-545 nm están indicadas para antocianinas. La absorción de esta última banda varía con el pH del medio y lo que permite detectar el tipo de antocianina. La col morada presentó dos picos de absorbancia a 370 nm y 550 nm, valores cercanos a los observados por Paez-Cartaya, 2018.

Color Verdadero

Para determinar el color verdadero de las sustancias disueltas en agua, se procedió al cálculo del coeficiente de absorción espectral a 436, 525 y 620 nm, todas las muestras al ser diluidas en agua destilada elevaron su pH a valores cercanos a 7.0. A continuación, se determinó la curva de calibración empleando el azul de metileno a diferentes concentraciones que van desde 0.1 hasta 10 mg/L.

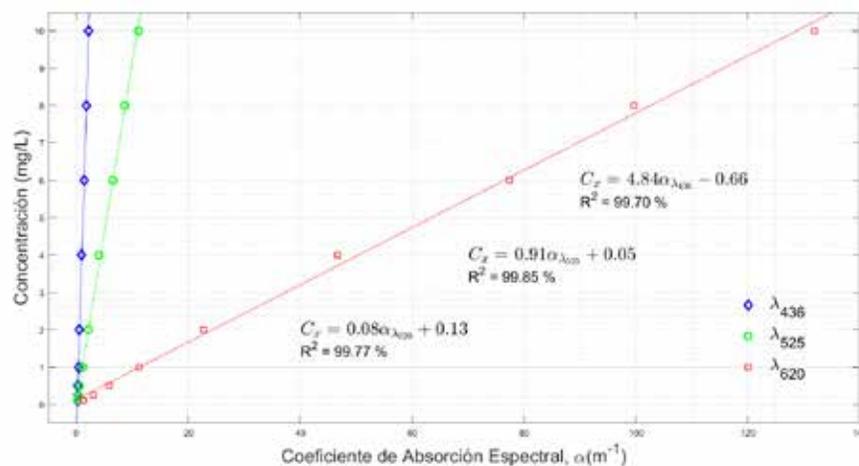


Figura 3. Curva de calibración del Azul de metileno con el coeficiente de absorción espectral a diferentes concentraciones

La figura 3, presentó la relación lineal entre el coeficiente de absorción espectral y la concentración del colorante a diferentes diluciones. El valor del coeficiente de absorción espectral para cada longitud de onda representó el color verdadero tomando en consideración las diluciones realizadas para cada concentración. En la gráfica, se observó diferentes pendientes para cada longitud de onda analizada, la correspondiente a 620 nm que es a la que se obtuvo la máxima absorbancia del colorante, implica mayor sensibilidad del método analítico debido a la pendiente prolongada encontrada y mayor control de gradientes de color, se determinó un coeficiente de determinación R^2 superior al 99% en todas las longitudes de onda analizadas lo que indicó una fuerte relación lineal entre las variables. Las expresiones encontradas permitirán asegurar que la aplicación final que se le de al colorante sea la deseada debido a que el tono o color requerido será exacto controlando la concentración del mismo.

La figura 4, presentó la curva de calibración del añil, en donde no se observó una diferencia significativa entre las longitudes de onda analizadas los que infiere no estar dentro de algún pico máximo de absorbancia, por lo que el color verdadero variará únicamente en brillo.

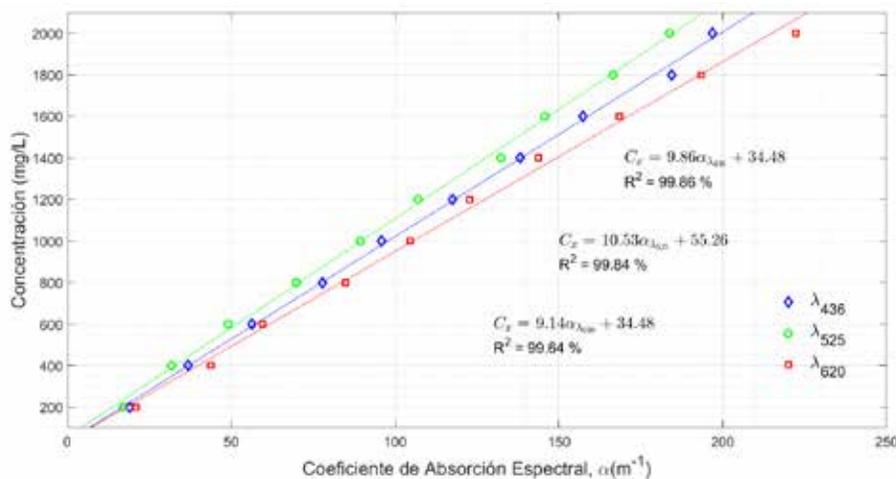


Figura 4. Curva de calibración del Añil con el coeficiente de absorción espectral a diferentes concentraciones

Cabe señalar que el añil al ser diluido en agua destilada no presentó una solución homogénea, es decir, se observó sedimentación o residuos de éste esparcidos en el recipiente, lo cual implicó variaciones en la concentración que dependen de las condiciones iniciales del colorante.

Para la curva de la figura 5, se prepararon 4 diluciones del colorante obtenido del achiote disminuyendo la concentración de 22.5 a 12.5 mg/L, se observó mayor sensibilidad a 436 nm, además de la mejor aproximación con una R^2 arriba del 98%. Se presentaron además valores bajos en el coeficiente de absorción espectral lo que indica que ha bajas concentraciones de achiote se obtuvo un color intenso en la solución.

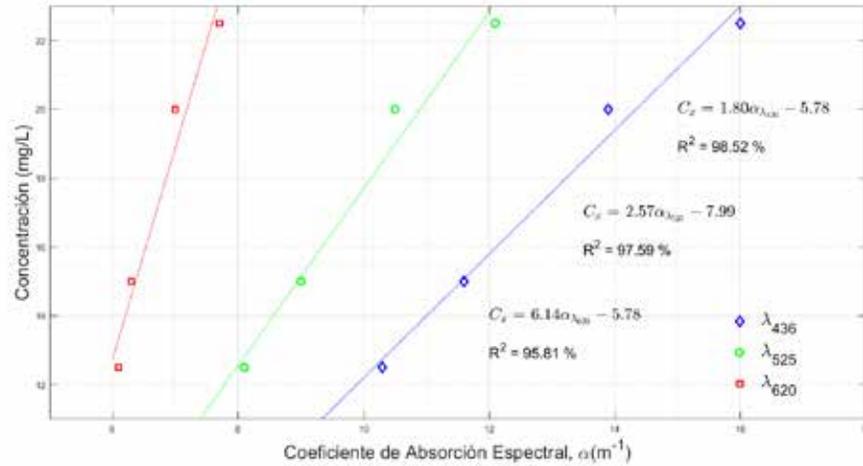


Figura 5. Curva de calibración del colorante basado en Achote con el coeficiente de absorción espectral a diferentes concentraciones

Para este colorante, el método de obtención elegido fue el segundo basado en hidróxido de sodio a una concentración de 1.5% y ácido fosfórico al 10%, lo anterior debido a que el primer método presentó sedimentación al diluirlo en agua, mientras que para el segundo se obtuvo una mezcla homogénea.

Para el colorante obtenido de la col morada se prepararon 10 diluciones, disminuyendo la concentración inicial en valores periódicos hasta que se obtuvo un mínimo del 5%, como se presenta en la figura 6. Se observó mayor sensibilidad a 525 nm. Es importante señalar que este colorante ha sido propuesto como indicador de pH debido a la sensibilidad que presentó mediante cambios visibles en color, lo que resulta eficaz en el desarrollo de biosensores para la conservación de alimentos (Molina-Arteaga, et al. 2022).

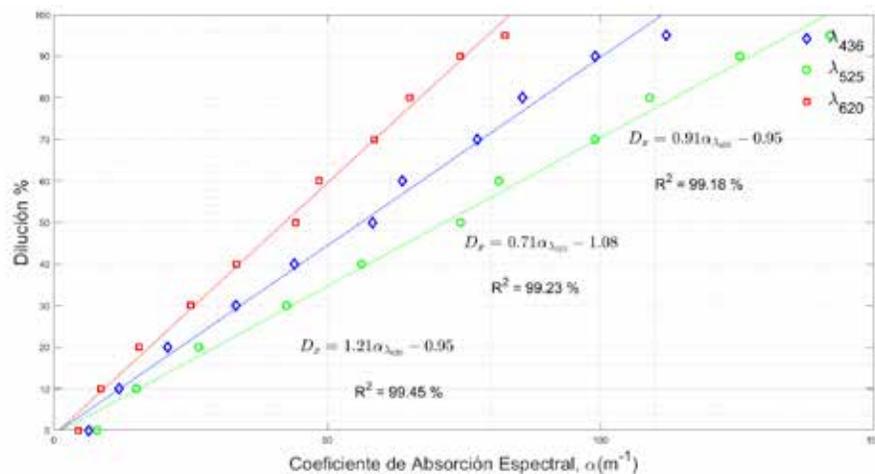


Figura 6. Curva de calibración del colorante obtenido de la Col Morada con el coeficiente de absorción espectral a diferentes diluciones

Con las ecuaciones obtenidas para cada uno de los colorantes, fue posible determinar el coeficiente absorción espectral a una concentración desconocida de estos con una R^2 superior al 99% en las tres longitudes de onda, solo en el caso del achiote se tuvo un coeficiente de determinación inferior al 96% a 620 nm, estas ecuaciones ayudarán a simplificar el sistema de monitoreo en caso de no contar con un espectrómetro que realice el barrido en el espectro visible, lo anterior mediante el empleo de un sensor de color que evalúe las absorbancias a longitudes de onda de 436, 525 y 620 nm, respectivamente.

CONCLUSIONES

Se presentaron procesos de obtención de colorantes solubles en agua. Utilizando como solvente hidróxido de potasio e hidróxido de sodio para la extracción del colorante del achiote por sus ventajas económicas y agua para la col morada.

Se determinaron las absorbancias de diferentes colorantes orgánicos a concentraciones de 2g/L y 12 mg/L, correspondientes al añil y achiote, respectivamente, los colorantes analizados presentaron absorbancias altas en longitudes de onda menores a los 400 nm lo que corresponde a alta energía, lo que los hace viables en áreas como la medicina y tratamiento terciario de agua.

Se obtuvieron relaciones lineales entre el coeficiente de absorción espectral y las concentraciones de los colorantes utilizados observando variaciones en el gradiente de color para el caso del azul de metileno y variaciones en el brillo para el caso de los colorantes orgánicos.

Se observaron coeficientes de determinación R^2 superiores al 99% en la mayoría de los casos, lo que indica una elevada relación del modelo de regresión lineal a los datos reales y permite simplificar el procedimiento de color verdadero con un detector de color que abarque las longitudes de onda propuestas en la NMX-AA-017-SCFI-2021.

REFERENCIAS

- Amaya Vesga, Á. A., Carvajal Grimaldos, A. C., Gómez Tarazona, R. A. y Mendoza Castellanos, Y. R. (2023).** Demostración práctica de la importancia de la longitud de onda en la espectroscopía Ultravioleta Visible. *Educación Química*, 34(2), 40-49. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.2.83275>
- Basuki, Suyitno and Kristiawan, B.** Absorbance and electrochemical properties of natural indigo dye. 2018. *AIP Conf. Proc.* 1931, 030067. <https://doi.org/10.1063/1.5024126>.
- Faroon, M., ALSaad, Z., Albadran, F., & Ahmed, L. (2023).** Review on Technology-Based on Reverse Osmosis. *Anbar Journal of Engineering Sciences*, 14(1), 89-97. DOI: 10.37649/aengs.2023.139414.1047
- Gamero-Quijano, A., García, P., & La Rosa-Toro-Gómez, A. (2020).** Remoción de bacterias patógenas del agua mediante electrocoagulación con ánodos de aluminio / Removal of pathogenic microorganisms from water by electrocoagulation with aluminum electrodes. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 11(4), 136-178. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-04-05>
- Hernández Vargas, O., Mancilla Villa, O. R., Palomera García, C., Olguín López, J. L., Flores Magdaleno, H., Can Chulim, Álvaro, Ortega Escobar, H. M., & Sánchez Bernal, E. I. (2020).** Evaluación de la calidad del agua y de la ribera en dos cuencas tributarias del río Tuxcacuesco, Jalisco, México. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 36(3), 689-701. <https://doi.org/10.20937/RICA.53595>
- Molina-Arteaga, N.I., Toala-Zambrano, A.N., Sánchez, F., Macías-Pro, M.A., Rosero-Delgado, E.A. (2022).** Antocianinas como biosensores en la conservación de alimentos. *Revista Bases de la Ciencia*, 7(2), 15-32. <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i2.4449>
- Nasir, A. M., Adam, M. R., Mohamad Kamal, S. N. E. A., Jaafar, J., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., Aziz, F., Yusof, N., Bilad, M. R., Mohamud, R., A Rahman, M., & Wan Salleh, W. N. (2022).** A review of the potential of conventional and advanced membrane technology in the removal of pathogens from wastewater. *Separation and purification technology*, 286, 120454. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120454>
- Paez-Cartaya, I., Rodríguez-Sánchez, J. L., Cruz-Viera, L. (2018).** Optimización de la extracción de antocianinas de *Hibiscus sabdariffa L.* y su caracterización cromática. *Ciencia y Tecnología De Alimentos*, 28(2), 17-21. <https://revcitecal.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/56>
- Rodríguez-Basantos, A. I., Esparza-Bonilla, C. J., & Huacho-Chávez, I. F. (2019).** Obtención de antocianinas de la *Brassica oleracea var. Capitata*

para el uso en alimentos. *Dominio De Las Ciencias*, 5(1), 652–666.
<https://doi.org/10.23857/dc.v5i1.1067>

Santos, A. D., Gonçalves, D., Martins, R. C., Gmurek, M., Nogueira, A., Castro-Silva, S., Castro, L. M., & Quinta-Ferreira, R. (2023). Homogeneous Photosensitized Oxidation for Water Reuse in Cellars: A Study of Different Photosensitizers. *Sustainability*, 15(8), 6861. <https://doi.org/10.3390/su15086861>

Panorama ambiental del Caribe mexicano como sector hotelero en crecimiento y generador de aguas residuales; retos y alternativas

Environmental overview of the Mexican Caribbean as a growing hotel sector and generator of wastewater; challenges and alternatives

—

José Ariosto Moreno Pérez
ariostomoreno8@gmail.com

Apolinar Oliva Velas
cuitt2006@yahoo.com

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS. LABORATORIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, BARCELÓ MAYA GRAND RESORT. SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO. MÉXICO



Para citar este artículo:

Moreno Pérez, J. A. Panorama ambiental del Caribe mexicano como sector hotelero en crecimiento y generador de aguas residuales; retos y alternativas. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39). <https://doi.org/10.31644/IMASD.39.2025.a05>

RESUMEN

El sector hotelero en el Caribe mexicano alberga millones de turistas al año, representando una fuerte generación de empleos. El agua residual hotelera tiene altas concentraciones de grasas y aceites, provenientes de las cocinas y restaurantes, esto representa un problema en los procesos biológicos de tratamiento de agua residual, específicamente en la aparición de bulking filamentoso. Bacterias filamentosas como *Thiothrix spp.*, *Microthrix parvicella*, tipo 1701, *Gordonia spp.* y tipo 0041 provocan problemas de sedimentación acarreado sólidos al efluente, provocando una mala calidad de agua residual tratada. En el presente estudio se analizaron los problemas anteriormente mencionados, además de señalar a los interceptores de grasas y los sistemas de flotación de aire (DAF) como tecnologías eficientes y económicas para la remoción de grasas y aceites a la entrada de los sistemas de tratamiento. Se concluyó que, en complemento del uso de tecnologías, se deben incluir capacitación al personal y a los huéspedes, y fomentar mejores prácticas de cocina y hábitos alimenticios para disminuir el consumo de alimentos que contengan grasas y aceites.

Palabras clave:

Hotelería; turismo; agua residual; bulking; lodo activado.

— Abstract—

The Mexican Caribbean hosts millions of tourists per year, this is an important source of job in the region. Hotel wastewater has high concentrations of fats and oils from kitchens and restaurants. These compounds cause several reactions with de components of wastewater and represents a problem in biological wastewater treatment processes, specifically filamentous bulking events. Filamentous bacteria such as *Thiothrix* spp., *Microthrix parvicella*, type 1701, *Gordonia* spp. and type 0041 causes settling problems, carrying solids to the effluent, causing poor quality of treated wastewater. This study has the aim to analyze those problems, and to underline technology as grease interceptors and dissolved air flotation systems (DAF), who represent efficient and economical technologies for removing fat and oil at the inlet of treatment systems. It was concluded that in addition to the use of technologies, strategic training programs should be included for staff and guests in general, to promote better kitchen practices and healthy food habits to reduce the consumption of fat and oils food.

Keywords:

Hospitality; tourism; wastewater; bulking; activated sludge.

TURISMO, HOTELERÍA EN EL CARIBE MEXICANO Y AGUA RESIDUAL

La Secretaría de Turismo (SECTUR) señala que el sector hotelero en México representa el 28.7% del producto interno bruto turístico. El país se encuentra en la 7ª posición a nivel mundial en infraestructura hotelera (International Hotel Consulting Services, 2022, Secretaría de Turismo, 2022). Para el año 2022, hubo una inversión de 215 mil millones de pesos, en 521 proyectos turísticos, generando 115 mil empleos directos e indirectos. Los estados con mayores montos de inversión fueron Nayarit, Ciudad de México, Baja California Sur, Yucatán, Quintana Roo y Guerrero (Secretaría de Turismo, 2022). En el periodo 2019-2023, la infraestructura hotelera del país creció de 23 600 establecimientos a 25 500, y se estima que esta tendencia continúe en años próximos (Statista, 2024).

Como destino turístico, la zona del Caribe Mexicano es una potencia a nivel mundial, debido a sus paisajes, riqueza cultural y accesibilidad económica. Comprende destinos como Cancún, Puerto Morelos, Isla Mujeres, Cozumel, la Riviera Maya, Bacalar y otros destinos (SECTUR, 2015, 2023). Después del levantamiento del distanciamiento social provocado por la pandemia de la COVID-19, en los hoteles de estos destinos populares se observó un aumento en la ocupación de 45.5%, con una afluencia de 13 530 307 turistas en 2021, a 19 680 330 en 2022, representando una derrama económica de \$19 425.90 millones de dólares (SEDETUR-QR, 2022). Es por ello que el turismo representa una de las mayores fuentes de ingresos para el país, sólo superada por las remesas internacionales (SECTUR, 2023; Statista, 2024), y además favorece el empoderamiento, integración y obtención de ingresos de poblaciones vulnerables como las comunidades rurales y pueblos indígenas (International Hotel Consulting Services, 2022; SEDETUR-QR, 2022; Statista, 2024).

En el ámbito ambiental, el sector hotelero representa un problema de contaminación, siendo una de las fuentes más importantes de producción de aguas residuales en zonas costeras, con características variadas. La creciente demanda de agua potable recae en los servicios, que van desde el llenado de jacuzzis y albercas, estanques artificiales hasta el lavado de sábanas, mantelería, limpieza de cuartos, utensilios de cocina, entre otras actividades. Toda esta agua requerida, después de ser utilizada se convertirá en agua residual (Abdul Khader & Chinnamma, 2021; Estévez et al., 2022). En zonas de importancia turística como Cancún, se estima que el uso de agua potable en los hoteles ronda los 550 L * huésped⁻¹ * noche⁻¹, aunque estas estimaciones pueden variar dependiendo de la naturaleza del destino turístico (Sánchez González, 2022; Santacruz de León & Santacruz de León, 2020), este volumen excede el promedio de agua usado en actividades domésticas, que rondan los 144 L * persona⁻¹ * día⁻¹ (Estévez et al., 2022).

La Secretaría de Turismo del Estado de Quintana Roo (SEDETUR-QR, 2022) reporta que, solamente en Cancún hay 207 hoteles, con un total de 43 109 habitaciones, y para el año 2022 tuvo una afluencia de 6 786 004 turistas. Para este mismo año, en la zona del Caribe había un total de 1 331 hoteles, distribuidos en 11 municipios, los cuales recibieron 19 680 330 turistas (SEDETUR-QR, 2022). De acuerdo al Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR, 2018), la ciudad de Cancún, una de las más desarrolladas del Caribe, tiene la infraestructura para tratar $4\,707\,798\text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ de agua residual, considerando únicamente las aguas residuales descargadas al sistema de drenaje y alcantarillado, sin embargo, no existe información oficial detallada sobre el consumo de agua per cápita, de generación de agua residual por complejos hoteleros, ni de la infraestructura privada para el tratamiento del agua residual en la región (Biosilva A. C., 2015; Sánchez Gonzáles, 2022).

Es importante dimensionar las capacidades de tratamiento de agua residual en estas ciudades en desarrollo, incluyendo las de cada hotel, ya que la tendencia del aumento poblacional y de proyectos turísticos en el Caribe Mexicano, agudizan la incertidumbre sobre la infraestructura de tratamiento de agua residual, y si ésta logrará a corto plazo cubrir en su totalidad el tratamiento adecuado del agua residual, ya que actualmente los cuerpos de agua en el Caribe reciben descargas de agua contaminada, representando un serio problema ambiental y de salud pública (Biosilva A. C., 2015).

Contaminantes como las grasas y aceites, presentes en las aguas residuales de los hoteles, figuran como uno de los principales problemas, tanto en daños a la infraestructura (tuberías y alcantarillado), en la operación de sistemas de tratamiento de agua residual, y al medio ambiente cuando las aguas residuales no reciben el tratamiento adecuado. Por un lado, en presencia de Ca^{2+} , la grasa suele solidificarse y adherirse en las paredes de las tuberías, que, con el paso del tiempo causa obstrucciones y malos olores, mientras que los aceites, al por sus propiedades químicas hidrofóbicas, forman una capa en la superficie de los cuerpos de agua, impidiendo el paso de la luz y de oxígeno, afectando los procesos bioquímicos de la vida acuática (Khoury et al., 2023; Klaukans & Sams, 2018).

Este texto tiene como finalidad analizar el escenario en el que se encuentra el Caribe Mexicano como destino turístico en desarrollo y los retos a enfrentar debido a las cantidades de agua residual generadas y sus características, específicamente las grasas y aceites, así mismo subrayar los problemas que representan estos compuestos en los tratamientos biológicos convencionales, así como las tecnologías y/o metodologías disponibles para afrontar estas problemáticas, que se relacionan directamente con la sustentabilidad y aprovechamiento racional del valioso recurso hídrico.

CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE HOTELERÍA

En México, antes de ser descargadas al ambiente, las aguas residuales deben ser tratadas para cumplir con la normatividad aplicable y reducir contaminantes como sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO_5 y DQO), grasas y aceites (GYAs), temperatura, pH, nitrógeno, fósforo y microorganismos patógenos (coliformes fecales y *Escherichia coli*), por mencionar algunos. A nivel federal la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 es la que establece los límites de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, mientras que la NOM-002-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal (Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, 2022; Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, 1998). Los hoteles instalados en el territorio mexicano deben cumplir al menos una de las normas mencionadas anteriormente, dependiendo de hacia dónde se dirijan sus descargas, para esto se debe recurrir a algún tipo de proceso de tratamiento de agua residual, sin embargo, un 80-90% de las aguas residuales generadas en el caribe mexicano son descargadas sin ningún tratamiento (Biosilva A. C., 2015).

Las principales fuentes de generación de agua residual de hotelería (ARH) vienen de los servicios que los huéspedes requieren y de las áreas correspondientes para cubrir las necesidades. Se pueden señalar como servicios más importantes a los baños (WC), tinas/regaderas, lavabos, cocinas/bares y lavandería (Abdul Khader & Chinnamma, 2021; Estévez et al., 2022).

Abdul Khader & Chinnamma (2021) señalan que, en el agua residual de los hoteles, los principales contaminantes son los SST, la DBO, la DQO, y las GYAs. En su estudio en un hotel-boutique reportaron las siguientes características en el ARH; pH 5, DBO 170 mg/l, DQO 350 mg/L, SST 350 mg/L y GYAs 7 mg/L.

Estévez y colaboradores (2022), determinaron en un estudio realizado para hoteles de cuatro a cinco estrellas en España, las características de las ARH por cada fuente de generación, y contrastaron los contaminantes cuando existen medidas de ahorro de agua y cuando no se consideran, esta información se ilustra en la Tabla 1.

En el estudio citado, se determinó que la mayor concentración de contaminantes en el ARH proviene de la lavandería y la mezcla de aguas del WC, cuando existen métodos de ahorro de agua. En este mismo estudio se puede observar que la concentración de los contaminantes disminuye cuando la cantidad de agua utilizada es mayor (sin métodos de ahorro), pero en la práctica, esto no representa un beneficio, debido a que cuando se produce más agua residual se requiere de cárcamos de mayor capacidad

para su captación y/o de tratamientos más eficientes, aumentando los costes de operación (Cabrera Acevedo, 2011). Estévez y colaboradores (2022) no consideraron en su estudio la concentración de grasas y aceites, pero señalaron nutrientes que forman parte fundamental en procesos de eutrofización como el nitrógeno y el fósforo (Leader et al., 2005). En México, estos nutrientes si son regulados y señalados por la normatividad en materia de agua residual como contaminantes que deben ser reducidos a bajas concentraciones para que el agua pueda ser descargada al suelo o a cuerpos de agua (Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, 2022).

Tabla 1
Características del agua residual de hoteles de 4 a 5 estrellas

Composición (mg/L)	Fuente del agua residual (con métodos de ahorro de agua)				
	Tina/regadera	lavabo	lavandería	mezcla	WC (Heces, orina, papel de baño)
Sólidos suspendidos totales (SST)	80.27	86.01	1131.84	248.46	1171.52
Demanda química de oxígeno (DQO)	432.23	421.43	4214.29	1030.16	1472.82
Nitrógeno total	2.84	2.32	14.81	4.63	299.89
Fosforo total	0.10	1.38	2.65	0.79	36.43
Composición (mg/L)	Fuente del agua residual (sin métodos de ahorro de agua)				
	Tina/regadera	lavabo	lavandería	mezcla	WC (Heces, orina, papel de baño)
Sólidos suspendidos totales (SST)	37.46	23.81	396.14	96.20	555.94
Demanda química de oxígeno (DQO)	201.71	116.67	1475.00	398.86	702.23
Nitrógeno total	1.33	0.64	5.18	1.79	142.31
Fosforo total	0.05	0.38	0.93	0.31	17.29

Nota. Consumo medio de agua en hoteles (100 – 249 cuartos) con métodos de ahorro: 12.35 m³ * día⁻¹. Sin método de ahorro: 31.89 m³ * día⁻¹. Métodos de ahorro como grifos de bajo flujo, inodoros eficientes, riegos eficientes, sistemas de regulación de presión, detección de fugas y colección de agua de lluvia para riego. Fuente: editado con datos de Estévez et al., (2022).

Los datos señalados por Estévez y colaboradores (2022) contrastan a los reportados por Pharmawati et al., (2018) quienes mencionan que las características del ARH son similares a las domiciliarias, con los siguientes parámetros y valores; DBO 110-400 mg/L, DQO 250-1000 mg/L, SST 100-350 mg/L, nitrógeno amoniacal (NH₃) 12-50 mg/L y grasas y aceites (GYAs) 50-150 mg/L.

Las diferencias en las características fisicoquímicas del agua residual varían de hotel a hotel, debido a diferentes factores, como la naturaleza de los servicios, el número de habitaciones y sus métodos de consumo

de agua. De los estudios mencionados anteriormente, poco se señalan las características de las aguas de las cocinas y/o restaurantes de los hoteles, específicamente las grasas y aceites, pero existe literatura que abordan estos contaminantes estudiados en establecimientos alimenticios, cuyas características complican el tratamiento del ARH.

GRASAS Y ACEITES EN LAS AGUAS RESIDUALES

Uno de los grandes retos en el tratamiento de agua residual hotelera recae en las grasas y aceites (GYAs), cuyo principal origen son las actividades del servicio de restaurantes y cocina, como el uso de aceites, mantecas o cebos, la preparación de carnes, salsas, caldos, aderezos, quesos, mantequillas, y comida frita (Gurd et al., 2019). Algunos tipos de grasas que se encuentran en la dieta moderna se ilustran en la Tabla 2, estas conforman los menús en las cocinas y restaurantes de los hoteles.

Las GYAs tendrán diferentes estados (sólidos o líquidos viscosos) dependiendo del grado de saturación de sus cadenas de carbono y su longitud, cuando predominan los ácidos grasos de cadena corta, las grasas suelen ser más “suaves” con bajos puntos de fusión, comparadas a las que tienen ácidos grasos de cadena larga. Por ejemplo, los aceites de palma tienen su punto de fusión en rangos de 27 – 45 °C, mientras que el aceite de coco tiene un rango de 23 – 26 °C (Sharma et al., 2022). Esta naturaleza química de las grasas y aceites hace que su presencia en sistemas de alcantarillado ocasione problemas de taponamientos, por la formación de depósitos.

Tabla 2
Grasas presentes en la dieta moderna

Tipo de grasa	Saturada	Monoinsaturada	Poliinsaturada	Trans*
Nombres coloquiales	Grasa “mala”	Grasa “buena”	Grasa “buena”	Grasa “mala”
Química	Sin dobles enlaces	Con un doble enlace	Dos o más dobles enlaces	
Fuentes	- Grasa de la carne - Leche entera, queso, crema, mantequilla - Productos horneados (panqueques, pasteles) - Comida rápida frita - Aceite de palma y de coco	- Aguacate, nueces (cacahuates, almendras, avellanas y cremas de nueces) - Margarina para untar (a base de aceites de canola u oliva) - Aceites de canola, oliva y maní	- Pescado y mariscos - Margarina poliinsaturada - Aceites vegetales (aceites de soya, girasol, maíz y cártamo) - Nueces de Brasil y semillas	- Pies, galletas, pasteles, tartas, comidas fritas, leche, queso, cortes de res y cordero

Nota. *Las grasas trans únicamente se forman de manera natural en el estómago de las ovejas y vacas, por lo que están presentes en pequeñas cantidades en la leche, y en cortes de res y cordero. Fuente: Sharma et al., (2022).

De acuerdo a la Tabla 2, se puede señalar que la agrupación coloquial de los grupos de grasas presentes en los alimentos es únicamente referida como “mala” por su relación a problemas a la salud (metabólicos o cardiovasculares), cuando la dieta diaria se basa en un consumo abusivo de estos alimentos. Incluir las grasas y aceites en la dieta es necesario, ya que son parte esencial de componentes celulares y procesos metabólicos, pero es importante señalar que, aunque la mayoría tenga un origen “natural”, es importante moderar su consumo y consumir otros alimentos de origen vegetal y animal.

En este contexto se pueden señalar cinco grandes grupos de GYAs de importancia en la dieta humana, los cuales se ilustran en la Tabla 3.

Tabla 3
Grupos principales en las grasas y aceites

Grupo	Descripción
Ácidos grasos libres	Ácidos carboxílicos con cadenas largas de hidrocarburos. Se presentan en su forma esterificada como mayor componente de los lípidos. Los más comunes tienen en su cadena de 8 a 22 átomos de carbono, y tienen una o más insaturaciones (dobles enlaces). En restaurantes, los ácidos grasos libres representan un 15% de concentración en sus efluentes, bajando el pH del agua.
Triacil-glicerol	Los ácidos Grass se presentan generalmente como ésteres de glicerol, conocidos como triglicéridos. Son no polares e insolubles en agua. Las grasas y aceites son mezclas complejas de triacilgliceroles, cuya composición varía dependiendo del organismo de origen; animal o vegetal.
Ceras de éster	Las ceras incluyen varios tipos de compuestos de cadena media y larga, incluyendo hidrocarburos (TCH_2), alcoholes ($\text{R-CH}_2\text{OH}$), aldehídos (R-CHO), ácidos (R-COOH), y ésteres (R-COOR'). Existen ceras de origen vegetal y animal.
Fosfolípidos	La naturaleza anfifílica de los fosfolípidos les proporcionan propiedades de interés en la industria farmacéutica, cosmética y alimenticia. Aunque estos compuestos son retirados en la refinación de los aceites, parte de ellos terminan siendo parte de las mezclas en las GYAs en el tratamiento de agua.
Esteroles y ésteres de esteroles	Estrictamente hablando, los esteroides no son lípidos, por ejemplo, el colesterol, pero tienen propiedades físicas similares a las grasas y aceites. Estos pueden ser esterificados a ácidos grasos de cadena larga mediante reacciones de oxidación, de ahí que también se agrupen junto a los demás compuestos que forman las GYAs en el agua residual.

Nota. Elaborada con información de Husain et al., (2014).

En la Tabla 3 se pueden señalar las principales características que tienen las GYAs presentes en alimentos base de la dieta humana. Como se ha mencionado anteriormente, en las cocinas de los hoteles se producirán en cantidades considerables residuos de los alimentos, y derivado de las actividades de limpieza de utensilios, o vertido directo de grasas y aceites, estos compuestos terminarán en las líneas de agua residual, que tendrán principalmente dos destinos, una planta de tratamiento de agua residual o un cuerpo de agua o suelo, permitiendo la reacción de estos compuestos con los que se encuentren en el agua.

REACCIONES QUÍMICAS RELACIONADAS A LA GYAs EN EL AGUA RESIDUAL

Husain et al., (2014) señalan detalladamente la naturaleza de las reacciones involucradas en el proceso de freír la comida, principalmente por el contenido de sales en los alimentos y la naturaleza de los radicales libres en los aceites de cocina.

Los ácidos grasos libres son químicamente activos y fácilmente se saponifican en presencia de hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, los cuales actúan como fuertes agentes generadores de jabón metálico. El sodio y el potasio se encuentran de manera natural en los alimentos crudos, y al freírlos algunos iones de sodio pueden ser extraídos por los ácidos grasos libres presentes en los aceites para freír, formando oleato de sodio (jabones de sodio). El oleato de sodio reduce la tensión superficial entre el aceite de freír y la delgada capa de agua en la superficie de la comida frita, provocando la migración de los lípidos polares desde el aceite de freír a la comida frita. Además, los jabones de sodio estimulan la formación de espuma del aceite para freír y esto acelera la oxidación. La reacción de oxidación que es provocada por el calor, metales ligeros y pesados, es una cadena de reacciones radicales que ocurren de una manera rápida durante la fritura de la comida.

Primero, los radicales libres peroxi-, alcoxi- y alquilo- del aceite reaccionan con el oxígeno o RH (véase Ecuación 1)



La reacción es iniciada con el ataque en el grupo alquilo del aceite, seguido de una reacción en cadena, que resulta en un grupo hidroperóxido (-OOH) en la cadena (véase Ecuación 2).



Los hidroperóxidos resultantes, vuelven a reaccionar por la combinación de dos radicales para formar aldehídos, cetonas y ácidos grasos (véase Ecuación 3).



Estas reacciones durante la fritura de los alimentos generan ácidos grasos libres, generalmente encontrados en los aceites usados y forman parte del contenido de GYAs en el agua residual. Posteriormente estos ácidos grasos libres reaccionarán con un álcali, como el hidróxido de sodio para formar jabón metálico (ver Ecuación 4).



Así mismo, las pequeñas cantidades de triacilgliceroles son saponificadas (hidrolizadas) formando jabones metálicos.



El sodio contribuye en la saponificación de las GYAs y producen jabón duro, el cual se deposita en pequeñas capas en las tuberías, provocando problemas de mantenimiento. El contenido de sodio puede incrementar en el agua residual debido al uso de sal en la preparación de los alimentos, pero también los detergentes y sanitizantes contienen grandes cantidades de hidróxido de sodio (NaOH), el cual es un catalizador alcalino fuerte, que potencializa las reacciones de saponificación (Sultana et al., 2024a). Otro elemento relevante es el calcio, ya que sus iones (Ca^{2+}) y los ácidos grasos libres también realizan reacciones de saponificación, formando jabones de calcio. Esta reacción está influenciada principalmente por la temperatura y el pH, y las fuentes de los reactivos que afectan significativamente la fuerza, la apariencia, las cantidades y propiedades fisicoquímicas de los depósitos de GYAs en las tuberías (Sultana et al., 2024a; Yusuf et al., 2023).

El agua residual proveniente de las cocinas y restaurantes de los hoteles son aguas ricas en contenido orgánico, debido al contenido de GYAs, pero la composición de estos será diversa por el tipo de menú que se maneje, además de otros factores como las prácticas de limpieza en cocina (cantidad de agua utilizada, separación de sólidos, uso de lavavajillas y productos de limpieza, etc.) (Gurd et al., 2019). El problema de las GYAs puede escalar a problemas de mantenimiento debido a taponamientos de tuberías, pero también impactar negativamente en el proceso de tratamiento de agua, debido a todos los compuestos derivados de las reacciones de las GYAs que tuvieron lugar en el sistema de colección de agua.

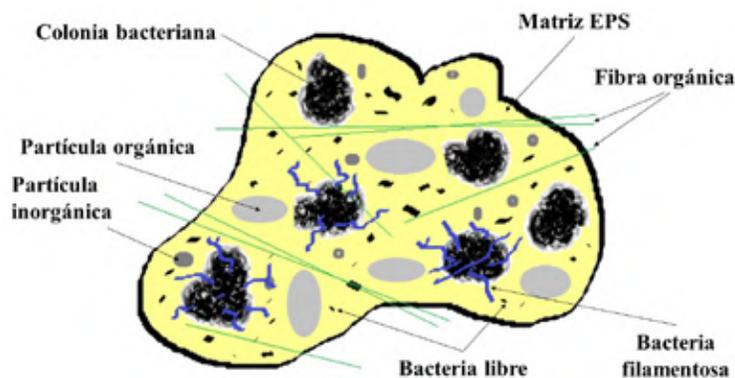
SISTEMAS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Típicamente, los sistemas de tratamiento de agua residual son aquellos procesos en donde los sólidos del agua residual son parcialmente removidos y/o transformados mediante la descomposición de sólidos orgánicos complejos y

degradables, a compuestos orgánicos relativamente estables o mineralizados (Sonune & Ghate, 2004). Los procesos de tratamiento de agua residual pueden variar dependiendo del tipo de agua a tratar, pero de acuerdo a las características del agua residual en hotelería, uno de los más comunes son los tratamientos biológicos convencionales, donde se utilizan microorganismos en lugar de químicos para remover los contaminantes presentes en el agua residual, con estos métodos se pretende reducir la acumulación de químicos y prevenir la eutrofización en los cuerpos de agua (Schaidler et al., 2017; von Sperling, 2007).

En los sistemas biológicos de tratamiento de agua residual la mayoría de los microorganismos se encuentran en forma de agregados microbianos, como floc de lodo, biopelículas y gránulos. Esto gracias a sustancias poliméricas extracelulares (EPS por sus siglas en inglés), un complejo de polímeros de alto peso molecular, que ha sido observado en estos medios (Sheng et al., 2010). La presencia de los EPS influye en las propiedades fisicoquímicas de los agregados microbianos, incluyendo estructura, carga superficial, floculación, propiedades de sedimentación, absorción y deshidratación (Sheng et al., 2010).

Los procesos de lodos activados son ampliamente utilizados en las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), donde se cuentan con unidades de aireación, las cuales son utilizadas para la conversión de los compuestos orgánicos solubles en sólidos sedimentables, seguido de procesos de clarificación, generalmente tanques en donde se separan los sólidos del líquido (Arcos A., 2013; Deepnarain et al., 2020). Idealmente, los procesos aeróbicos son capaces de convertir las moléculas orgánicas en CO_2 , H_2O , nutrientes inorgánicos (N, P), biomasa y otros productos como los EPS. En los lodos activados, la estructura del floc varía de acuerdo con diferentes factores, pero comúnmente está formado por colonias de bacterias rodeadas por una red extracelular de EPS, además, el floc puede incluir fibras orgánicas y partículas inorgánicas como se observa en la Figura 1 (Alrhoun, 2014).



Nota. Elaboración propia con datos de (J. Guo et al., 2014; Shchegolkova et al., 2016)

Figura 1. Estructura general del floc en los lodos activados

Es común encontrar bacterias filamentosas en el floc de lodo activado, las cuales pueden proporcionar una estructura de soporte en la forma tridimensional del floc (Figueroa et al., 2015; Pacheco Salazar et al., 2003). Así mismo se pueden observar protozoarios unicelulares como flagelados, amebas y ciliados, así como organismos complejos como los metazoos (rotíferos), nematodos y algunos gusanos, que son parte de los sistemas de lodos activados (Curds, 1973; Isac et al., s/f; Martin-Cereceda et al., 1996). La eficiencia en la sedimentación es crucial en PTAR con lodos activados, y gobierna el potencial y la capacidad de todo el sistema de tratamiento. Técnicamente, las propiedades de sedimentación del lodo son descritas mediante el índice volumétrico de lodos (IVL), que expresa la cantidad (en mL) ocupada por un gramo de sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSTLM), generalmente en 1 L de muestra durante 30 minutos. Cuando el lodo activado tiene valores de IVL sobre 150 mL/g se puede señalar como lodo con ‘bulking’ (del inglés abultado), el cual obstaculiza todo el proceso de lodos activados (Deepnarain et al., 2020; Torrescano España, 2009).

MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS EN LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

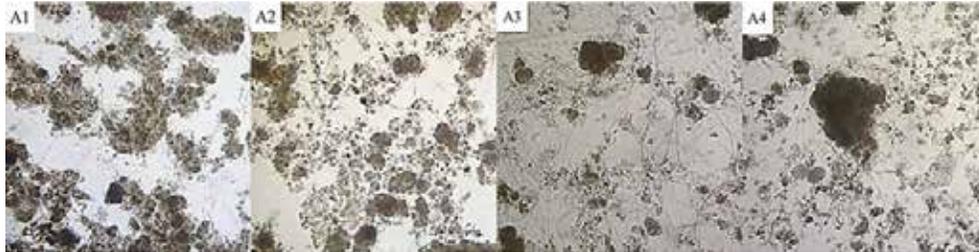
El crecimiento excesivo de bacterias filamentosas es asociado con problemas de sedimentación y formación de espuma (*foaming* en inglés). El bulking de lodo es caracterizado por un crecimiento de bacterias filamentosas en los alrededores del medio líquido del floc, inhibiendo la formación de segregados densos, mientras que el foaming es causado por los flocs de lodo que flotan a la superficie del medio acuoso, segregándose en una capa de lodo relativamente estable en la interfaz agua-aire (Alrhoun, 2014). En la Figura 2 se ilustra un ejemplo de foaming.



Nota. Nilsson, (2015).

Figura 2. Ejemplo de foaming en un sistema de tratamiento biológico convencional

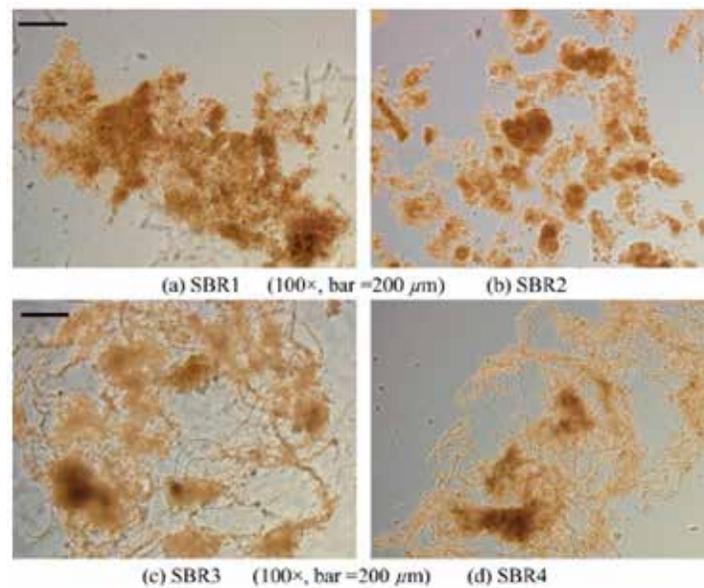
A nivel microscópico, el bulking se puede identificar cuando el floc presenta características dispersas, sin agregación y se observan los microorganismos filamentosos alrededor del floc (J. Guo et al., 2014). En su estudio, Yao et al., (2019) ilustra detalladamente cuando el lodo presenta bulking filamentoso, en la Figura 3, se observan muestras de un floc regular (Fig.3 A1 y A2) y otro con características de bulking filamentoso (Figura 3 A3 y A4).



Nota. Editado de Yao et al., (2019).

Figura 3. Vista de tipos de floc al microscopio (100x)

Por otra parte Guo et al., (2014) analizó el floc de rectores por lotes en secuencia (SBR, del inglés Secuenced Batch Reactor) a nivel laboratorio. En la Figura 4 se pueden observar las diferencias entre un floc regular y un floc con presencia de microorganismos filamentosos.



Nota. SBR; Sequenced Batch Reactor. Fuente: editado de Guo et al., (2014).

Figura 4. Observación de floc en reactores tipo batch

En la Figura 4 (a y b) se pueden observar flocs considerados como deseables en un buen sistema de tratamiento de agua, mientras que en la Figura 4 (c y d) se muestra un floc característico con presencia de microorganismos filamentosos. Guo y su equipo de colaboradores reportaron que en los reactores que presentaron floc filamentosos, el efluente tuvo DQO por encima de los 100 mg/L. El arrastre de sólidos y la baja calidad del efluente son los resultados de tener un lodo con bulking, esto es respaldado por otros estudios, señalando a los problemas de bulking filamentosos como de los más importantes en los procesos biológicos convencionales de lodos activados (Aonofriesei & Petrosanu, 2007; Lu et al., 2023; Nilsson, 2015).

En la literatura se señalan diversos microorganismos filamentosos causantes del bulking. La bacteria de azufre del tipo 021N y *Thiothrix* spp., son capaces de utilizar sustratos orgánicos y compuestos reducidos de azufre como fuentes de energía, junto con bacterias heterotróficas adaptadas a lodos que reciben altas cargas orgánicas (relaciones “AM” Alimento/Microorganismo > 0.15 Kg de DBO₅ Kg⁻¹ SSTLM día⁻¹), por ejemplo, *Sphaerotilus* spp. y *Haliscomenobacter hydrossis*. Además, se tienen identificadas a especies como *Microthrix parvicella*, tipo 1701, *Gordonia* spp. y tipo 0041 por ser las responsables de eventos de bulking filamentosos (Alrhoun, 2014; Aonofriesei & Petrosanu, 2007; Bjo et al., 2002; Deepnarain et al., 2020; Nilsson, 2015).

La proliferación de los microorganismos filamentosos se debe a parámetros relacionados con la operación como la concentración baja de oxígeno, relación AM alta, deficiencias de N y P, bajo pH, DBO residual soluble y las altas concentraciones de grasas y aceites (G. Liu et al., 2018; Pacheco Salazar et al., 2003). En este contexto se puede señalar que la presencia de GYAs en las ARH potencian los problemas por bulking filamentosos en los tratamientos biológicos convencionales, debido a las características fisicoquímicas analizadas previamente, las aguas provenientes de cocinas y restaurantes presentan pH bajo, además de que se genera competencia por el oxígeno disuelto en los sistemas aeróbicos entre las GYAs y los microorganismos que requieren dicho elemento para sus procesos de respiración (Cabrera Acevedo, 2011; Nilsson, 2015).

PANORAMA DEL AGUA RESIDUAL DE LOS HOTELES EN EL CARIBE MEXICANO

En infraestructura, de acuerdo con el Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (Comisión Nacional del Agua, 2022), Quintana Roo cuenta con 29 plantas municipales de tratamiento de agua, pero no se tiene información referente a cuántos hoteles

están conectados a la red de alcantarillado municipal para enviar sus aguas residuales a estas plantas, o si cuentan con sus propias plantas de tratamiento.

En materia de agua residual, la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo, en su artículo 129 establece que, “cuando no existan sistemas municipales para la evacuación de las aguas residuales municipales, los propietarios de hoteles, fraccionamientos, condominios, residencias, industrias y similares, deberán instalar sistemas de tratamiento y reciclaje de sus aguas residuales, ya sean individuales o comunales, para satisfacer las condiciones particulares que determinen las autoridades competentes” (Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo, 2018). En este sentido, los hoteles que se encuentran ubicados en el caribe mexicano, que estén en el territorio del estado de Quintana Roo, están obligados a tener en sus instalaciones una PTAR. De acuerdo con lo investigado por Biosilva A. C., (2015), los hoteles que cuentan con infraestructura de tratamiento de agua residual son operados por personal interno o por empresas autorizadas, pero estos hoteles enfrentan retos importantes en la operación de sus plantas de tratamiento que, como se ha expuesto, los procesos biológicos convencionales son susceptibles de ser ineficientes debido a las delicadas condiciones de operación.

Las deficiencias de oxígeno disuelto en los sistemas biológicos, por exceso de GYAs y microorganismos filamentosos, desembocan en un aumento en el consumo de energía, debido al aumento en el uso de aireadores, sopladoras etc.

También se originan problemas en la gestión de los biosólidos generados en el proceso, iniciando con un aumento de concentración de lodo (SSTLM) en los tanques de aireación, que posteriormente requieren mayores purgas (retiro en volumen de lodo del sistema) para mantener los niveles óptimos de concentración de SSTLM * m³ ⁻¹ en los biorreactores, y de esta forma poder mejorar la disolución de oxígeno para que la calidad del agua tratada no se vea comprometida. Esta sobreproducción de lodo se traducirá en una mayor demanda de insumos utilizados en el proceso de deshidratado (floculantes y coagulantes), y complicaciones en el almacenamiento, retiro y disposición final de los biosólidos (Flores-Alsina et al., 2009; J. H. Guo et al., 2010; Y. Liu et al., 2020).

En la Figura 5, se ilustra el panorama general de la situación actual del Caribe mexicano analizada en este texto. Esta interrelación de componentes, llevan a un posible escenario; el desequilibrio ambiental, aumento en los riesgos a la salud pública y una menor disponibilidad de agua.



Figura 5. Escenario general del Caribe mexicano y sus retos ambientales

La protección al medio ambiente y la salud pública es el principal objetivo para regular las descargas de aguas residuales de los hoteles, debido a que estas representan un riesgo alto de enfermedades, principalmente las patógenas, y también causan un impacto negativo en los ecosistemas. Las ARH sin tratamiento contienen bacterias, virus y parásitos que pueden causar infecciones gastrointestinales y respiratorias, entre otras. El riesgo incrementa cuando los puntos de las descargas de aguas residuales se encuentran en los siguientes puntos:

- Zonas agrícolas; ya que las fuentes de agua para irrigación pueden estar contaminadas, y de esta manera alcanzar los cultivos (Werneck et al., 2017).
- Zonas costeras o con ríos, arroyos, lagos etc.; estas áreas son nicho ecológico de diversas especies, cuya posición en la cadena trófica permite que los contaminantes a los que estén expuestos alcancen al ser humano (ONU, 2017).

Los efectos de la contaminación de las aguas residuales son más graves en grupos vulnerables, ya sea por la edad; niños y lactantes, así como los adultos mayores son más susceptibles a las enfermedades, además de las personas con enfermedades crónicas o discapacidad. Sin mencionar que, en poblaciones con vulnerabilidad económica, el acceso a agua potable y una buena nutrición, desencadenan situaciones de salud que, al añadir el factor “contaminación”, suponen escenarios desafiantes para un sistema de salud pública ya saturado (ONU, 2017).

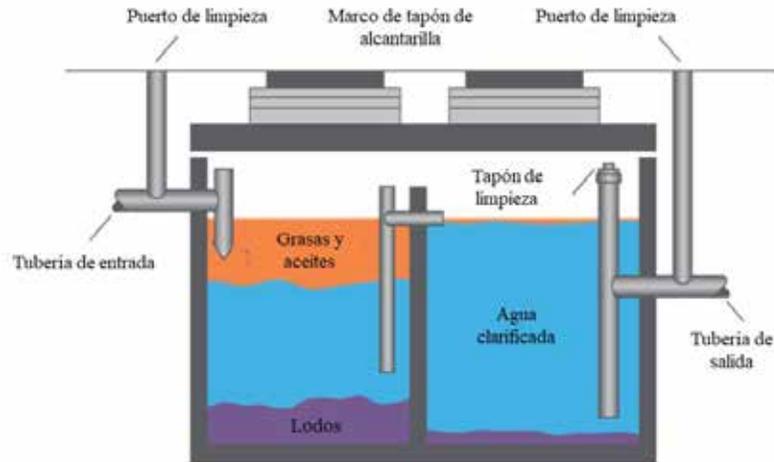
La zona del Caribe cuenta con un suelo cárstico, con formaciones de cavernas, cenotes, y ríos subterráneos, lo que expone fácilmente a los cuerpos de agua subterráneos a la contaminación por descargas de agua residual, que transporta enfermedades a toda la fauna y flora (acuática y terrestre) que se encuentre cercana a los sitios de descarga, de la mano con la eutrofización

en los cuerpos superficiales y subterráneos de agua que reciben altas concentraciones de materia orgánica. Los problemas anteriores empeoran el paisaje natural, principalmente en zonas donde la explotación económica es el paisaje, como lo es el turismo en esta zona (Biosilva A. C., 2015).

Las empresas hoteleras deben de tomar las medidas necesarias para mejorar su infraestructura de tratamiento de agua, reducir el consumo de agua y mejorar sus prácticas en producción de alimentos y limpieza en sus cocinas, con la meta de reducir gastos de operación y mantenimiento de sus instalaciones y sus sistemas de tratamiento de agua, todo sin perder el objetivo de cumplir con las demandas que exige la normatividad mexicana en materia de agua residual, cuya finalidad es preservar la integridad del ecosistema, del cual dependen directamente. Las tecnologías disponibles en el tratamiento de agua residual son diversas, pero que sean eficientes y costeables para el sector hotelero, se identificaron dos principales, y se presentan en este contexto como la ventana de oportunidad para resolver los problemas que las ARH representan.

TECNOLOGÍAS PARA ENFRENTAR LAS GRASAS Y ACEITES

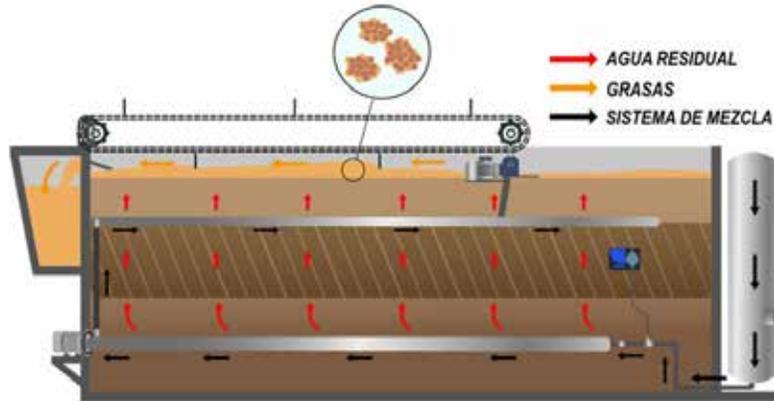
De las tecnologías más comunes y adecuadas son los interceptores de grasas, los cuales se instalan en los restaurantes y cocinas, para impedir que las grasas y aceites terminen en los tanques de captación de aguas residuales, tuberías y al final en la PTAR. Típicamente un interceptor de grasas es un dispositivo instalado en el sistema hidráulico para atrapar o interceptar las grasas y aceites del agua. El fundamento es la separación física, mientras que el agua residual se enfría, las GYAs se endurecen y los sólidos de los alimentos se asientan y forman lodos. El agua sin GYAs y sólidos sedimentables avanza a compartimentos posteriores y sigue su flujo hasta llegar a los sistemas de tratamiento (Sultana et al., 2024b; Yusuf et al., 2023). En la Figura 6 se ilustra un esquema general de un interceptor de grasas.



Nota. Liquid Environmental Solutions, (s/f)

Figura 6. Esquema de un sistema interceptor de grasas

La desventaja principal de un interceptor de grasas es que se requiere del retiro constante de los materiales que este dispositivo atrapa, o de lo contrario terminarán en el sistema hidráulico y en los sistemas de tratamiento de agua. Este problema se soluciona al contar con una cartera de proveedores que se especialicen en el retiro de estos residuos, ya que, generalmente en los hoteles no hay espacios diseñados para el tratamiento de sólidos. La mayor ventaja de estos interceptores es que maneja mayores caudales que las trampas de grasa convencionales, y son ideales para el sector hotelero que demanda la elaboración de grandes cantidades de alimentos, y en consecuencia la limpieza de material de cocina en poco tiempo. Por otro lado, los sistemas de flotación por aire disuelto o DAF (del inglés Dissolved Air Flotation) son equipos que separan partículas sólidas, como las GYAs, diseñados para clarificación de aguas residuales de tipo industrial y urbano. El proceso de separación es un método fisicoquímico en donde se aplican coagulantes y micro o nano burbujas de aire para separar sólidos en la superficie de agua. Es muy eficiente y utilizando los parámetros de operación adecuados la remoción de SST y GYAs puede llegar al 90%, mientras que la reducción de DBO y DQO alcanzan de un 40 a 55% (Palaniandy et al., 2010; Penetra et al., 1999; Rattanapan et al., 2011). Este sistema mejora el proceso de tratamiento de aguas convencionales al minimizar la carga orgánica que recibirán los biorreactores, cuyos beneficios inmediatos serán una mayor disolución del oxígeno y menor aparición de microorganismos filamentosos, que resultará en un mejor clarificado del agua residual tratada, la cual podrá ser reincorporada al medio sin complicaciones. En la Figura 7 se ilustra un esquema general del funcionamiento de un DAF.



Nota. (Synertech Water Resources, s/f).

Figura 7. Esquema general de un DAF

Como se observa en la Figura 7, las grasas se colectan en la parte superior y son separadas del agua para darle otro tratamiento. Los DAF sobresalen de otras tecnologías debido a su atractivo bajo costo en mantenimiento y consumo energético, y esto se pueden adaptar para que las grasas colectadas se envíen a cárcamos de digestión de grasas, y dependiendo de la especialización de las instalaciones, se podría generar biogás (por métodos anaerobios), o simplemente mezclar la grasa digerida con las purgas de los lodos para que terminen en el proceso de deshidratación de lodos.

La tecnología en la ingeniería de aguas residuales ofrece diferentes opciones para abordar problemáticas, derivadas de aguas residuales con exceso de grasas y aceites, en los procesos biológicos convencionales, pero, de manera estratégica se puede enfrentar la situación. Una de estrategia es capacitar al personal involucrado en el proceso de preparación de comida (Chefs, cocineros) y limpieza en las cocinas (ayudantes, stewards), implementando métodos de separación y recuperación de aceites, los cuales se pueden revalorizar de diferentes maneras. Otra forma y quizá la más compleja, es que la población en general apueste por reducir el consumo de alimentos fritos o que incluyan altos contenidos de grasas y aceites, esto, a gran escala representaría una mejora en hábitos alimenticios, disminución de enfermedades cardio vasculares e incluso el sobre peso.

CONCLUSIONES

Como país en desarrollo, México tiene en el caribe una ventana de oportunidad para ser líder en el sector hotelero a nivel mundial, pero al mismo tiempo tiene un reto importante en mantener el equilibrio entre el aprovechamiento y la conservación de sus recursos naturales, específicamente el agua. En este escrito se pudo identificar las características del agua residual

hotelera, así mismo se subrayó que los problemas principales que estas acarrearán a los sistemas de tratamiento de agua residual; el bulking filamentoso, el cual hace difícil la operación de los sistemas biológicos convencionales. Se señaló a los interceptores de grasa y los DAF como tecnologías funcionales para disminuir de manera directa la concentración de grasas y aceites a la entrada de los sistemas de tratamiento de agua. Sin dejar de lado las estrategias de capacitación y concientización al personal y a los consumidores para que en conjunto se asegure la calidad en los sistemas de tratamiento de agua residual, y al mismo tiempo mantener un balance entre aprovechamiento y conservación del agua.

REFERENCIAS

- Abdul Khader, S., & Chinnamma, M. A.** (2021). Design of a sewage treatment plant for a hotel complex. *International Research Journal of Engineering and Technology*. <https://www.irjet.net>
- Alrhoun, M.** (2014). Hospital wastewaters treatment: Upgrading water systems plans and impact on purifying biomass. *TEL Archives*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01133490>
- Anofriesei, F., & Petrosanu, M.** (2007). Activated sludge bulking episodes and dominant filamentous bacteria at wastewater treatment plant Constanta Sud (Romania). *Proceedings of the Romanian Academy, Series A: Mathematics, Physics, Technical Sciences, Information Science*, 2, 83–87.
- Arcos, A. Y.** (2013). Microbiología de lodos activados. *Hechos Microbiológicos*, 4(2), 117–122. <http://www.udea.edu.co/hm>
- Biosilva, A. C.** (2015). *Diagnóstico del manejo de las aguas residuales en Puerto Morelos, Quintana Roo*.
- Bjo, L., Hugenholtz, P., Tyson, G. W., & Blackall, L. L.** (2002). Filamentous Chloroflexi (green non-sulfur bacteria) are abundant in wastewater treatment processes with biological nutrient removal. *Microbiology*, 148. <https://www.arb-home.de>
- Cabrera Acevedo, A.** (2011). Propuesta de reutilización del efluente de la planta de tratamiento Tryp Península en fuentes ornamentales y espejos de agua de los hoteles ubicados en el sector Punta Hicacos. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 5(1).
- Comisión Nacional del Agua.** (2022). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. <https://aneas.com.mx/wp-content/pdf/documentos-oficiales/10-inventario-nacional-de-ptars.pdf>
- Curds, C. R.** (1973). The role of protozoa in the activated-sludge process. *Integrative and Comparative Biology*, 13(1), 161–169. <https://academic.oup.com/icb/article/13/1/161/1992162>
- Deepnarain, N., Nasr, M., Kumari, S., Stenström, T. A., Reddy, P., Pillay, K., & Bux, F.** (2020). Artificial intelligence and multivariate statistics for comprehensive assessment of filamentous bacteria in wastewater treatment plants experiencing sludge bulking. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 100853. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100853>
- Estévez, S., Feijoo, G., & Moreira, M. T.** (2022). Environmental synergies in decentralized wastewater treatment at a hotel resort. *Journal of Environmental Management*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115392>
- FAO.** (s.f.). *Wastewater treatment*. (17 de abril de 2018), <http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e05.htm>

- Figueroa, M., Val Del Río, A., Campos, J. L., Méndez, R., & Mosquera-Corral, A.** (2015). Filamentous bacteria existence in aerobic granular reactors. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 38(5), 841–851. <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1327-x>
- Flores-Alsina, X., Comas, J., Rodríguez-Roda, I., Gernaey, K. V., & Rosen, C.** (2009). Including the effects of filamentous bulking sludge during the simulation of wastewater treatment plants using a risk assessment model. *Water Research*, 43(18), 4527–4538. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2009.07.033>
- FONATUR.** (2018, junio 25). Tratamiento de aguas residuales Cancún, Q. Roo. *Fondo Nacional para el Fomento al Turismo*. <https://www.gob.mx/fmt/acciones-y-programas/tratamiento-de-aguas-residuales-162728>
- Guo, J. H., Peng, Y. Z., Peng, C. Y., Wang, S. Y., Chen, Y., Huang, H. J., & Sun, Z. R.** (2010). Energy saving achieved by limited filamentous bulking sludge under low dissolved oxygen. *Bioresource Technology*, 101(4), 1120–1126. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2009.09.051>
- Guo, J., Peng, Y., Wang, S., Yang, X., & Yuan, Z.** (2014). Filamentous and non-filamentous bulking of activated sludge encountered under nutrients limitation or deficiency conditions. *Chemical Engineering Journal*, 255, 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.075>
- Gurd, C., Jefferson, B., & Villa, R.** (2019). Characterization of food service establishment wastewater and its implication for treatment. *Journal of Environmental Management*, 252, 109657. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109657>
- Husain, I. A. F., Alkhatib, M. F., Jami, M. S., Mirghani, M. E. S., Zainudin, Z. Bin, & Hoda, A.** (2014). Problems, control, and treatment of fat, oil, and grease (FOG): A review. *Journal of Oleo Science*, 63(8), 747–752. <https://doi.org/10.5650/jos.ess13182>
- International Hotel Consulting Services** (2022). *Sector hotelero en México en 2022 y perspectivas de futuro - IHCS*. <https://www.ihcshotelconsulting.com/es/blog/sector-hotelero-en-mexico-en-2022-y-perspectivas-para-el-futuro/>
- Isac, L., Rodríguez, E., Salas, M. D., & Fernández, N.** (s.f.). *Protozoos en el fango activo*. https://bibliotecagbs.com/archivos/089_156_CAPficha_PROTOZOOS.pdf
- Khoury, D., Millet, M., Jabali, Y., & Delhomme, O.** (2023). Fog water: A general review of its physical and chemical aspects. *Environments*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/environments10120224>
- Klaucans, E., & Sams, K.** (2018). Problems with fat, oil, and grease (FOG) in food industry wastewaters and recovered FOG recycling methods using anaerobic co-digestion: A short review. *Key Engineering Materials*, 762, 61–68. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.762.61>

- Leader, J. W., Reddy, K. R., & Wilkie, A. C. (2005).** Optimization of low-cost phosphorus removal from wastewater using co-treatments with constructed wetlands. *Water Science & Technology*, 51(9), 283–290. <https://soils.ifas.ufl.edu/wetlands/publications/PDF-articles/291.Optimization%20of%20low-cost%20phosphorus%20removal%20from%20wastewater%20using%20co-treatments%20with%20constructed%20wetlands.pdf>
- Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo (2018).**
- Liquid Environmental Solutions (s.f.).** Grease trap vs. grease interceptor. (6 de junio de 2024), <https://www.liquidenviro.com/blog-news/grease-trap-vs-grease-interceptor>
- Liu, G., Wang, J., & Campbell, K. (2018).** Formation of filamentous microorganisms impedes oxygen transfer and decreases aeration efficiency for wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 189, 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.125>
- Liu, Y., Yuan, L., Huang, S., Huang, D., & Liu, B. (2020).** Integrated design of monitoring, analysis, and maintenance for filamentous sludge bulking in wastewater treatment. *Measurement*, 155, 107548. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2020.107548>
- Lu, X., Yan, G., Fu, L., Cui, B., Wang, J., & Zhou, D. (2023).** A review of filamentous sludge bulking controls from conventional methods to emerging quorum quenching strategies. *Water Research*, 236, 119922. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119922>
- Martin-Cereceda, M., Serrano, S., & Guinea, A. (1996).** A comparative study of ciliated protozoa communities in activated-sludge plants. *PEMS Microbiology Ecology*, 21, 267–276. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1996.tb00123.x>
- Nilsson, F. (2015).** Application of ozone in wastewater treatment: For mitigation of filamentous bulking sludge & reduction of pharmaceutical discharge.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 (2022).** Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 (1998).** Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. *Diario Oficial de la Federación*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0
- ONU. (2017).** *The United Nations world water development report 2017: Wastewater: The untapped resource; facts and figures*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247553e.pdf>

- Pacheco Salazar, V. F., Jáuregui Rodríguez, B., Pavón Silva, T. B., & Mejía Pedrero, G. V.** (2003). Control de crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19(1), 47–53.
- Palaniandy, P., Adlan, M. N., Aziz, H. A., & Murshed, M. F.** (2010). Application of dissolved air flotation (DAF) in semi-aerobic leachate treatment. *Chemical Engineering Journal*, 157(2–3), 316–322. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2009.11.005>
- Penetra, R. G., Reali, M. A. P., Foresti, E., & Campos, J. R.** (1999). Post-treatment of effluents from anaerobic reactor treating domestic sewage by dissolved-air flotation. *Water Science and Technology*, 40(8), 137–143. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00619-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00619-8)
- Pharmawati, K., Hidayatullah, D., & Wirasakti, P.** (2018). Identification The application of water conservation in hotel. *E3S Web of Conferences*, 73, 04019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187304019>
- Rattanapan, C., Sawain, A., Suksaroj, T., & Suksaroj, C.** (2011). Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes. *Desalination*, 280(1–3), 370–377. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2011.07.018>
- Sánchez Gonzáles, A.** (2022). Tratamiento de aguas residuales en el giro hotelero. *Flowen*. <https://flowen.com.pe/tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-giro-hotelero/>
- Santacruz de León, E. E., & Santacruz de León, G.** (2020). Consumo de agua en establecimientos hoteleros en México. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 29(1), 120–136. <https://www.redalyc.org/journal/1807/180762690008/html/>
- Schaider, L. A., Rodgers, K. M., & Rudel, R. A.** (2017). Review of organic wastewater compound concentrations and removal in onsite wastewater treatment systems. *Environmental Science and Technology*, 51(13), 7304–7317. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04778>
- Secretaría de Turismo.** (2022, abril 9). *Hotelería representa más del 75% de la inversión turística de México*. <https://www.gob.mx/sectur/prensa/hoteleria-representa-mas-del-75-de-la-inversion-turistica-de-mexico>
- SECTUR.** (2015, febrero 9). *Riviera Maya*. <https://www.sectur.gob.mx/programas/gestion-de-destinos/productos-turisticos/mundo-maya/riviera-maya/>
- SECTUR.** (2023, febrero 7). *El Caribe Mexicano llega a Punto México en Sectur con su riqueza artesanal, gastronómica y turística*. <https://www.gob.mx/sectur/prensa/el-caribe-mexicano-llega-a-punto-mexico-en-sectur-con-su-riqueza-artesanal-gastronomica-y-turistica-325722?idiom=es>
- SEDETUR-QR.** (2022). *Indicadores Turísticos Ene-Dic 2022*. <https://sedetur-qroo.gob.mx/ARCHIVOS/indicadores/Indicador-Tur-EneDic-2022.pdf>

- Sharma, S. K., Barthwal, R., Saini, D., & Rawat, N. (2022).** Chemistry of food fats, oils, and other lipids. En *Advances in Food Chemistry: Food Components, Processing and Preservation* (pp. 209–254). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4796-4_6
- Shchegolkova, N. M., Krasnov, G. S., Belova, A. A., Dmitriev, A. A., Kharitonov, S. L., Klimina, K. M., Melnikova, N. V., & Kudryavtseva, A. V. (2016).** Microbial community structure of activated sludge in treatment plants with different wastewater compositions. *Frontiers in Microbiology*, 7, 90. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00090>
- Sheng, G. P., Yu, H. Q., & Li, X. Y. (2010).** Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems: A review. En *Biotechnology Advances*, 28(6), 882–894. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.08.001>
- Sonune, A., & Ghate, R. (2004).** Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.113>
- Statista. (2024, abril 30).** *La industria hotelera en México – datos estadísticos*. <https://es.statista.com/temas/7891/la-industria-hotelera-en-mexico/#topicOverview>
- Sultana, N., Roddick, F., Jefferson, B., Gao, L., Bergmann, D., Papalois, J., Guo, M., Tzimourtas, K., & Pramanik, B. K. (2024a).** Effectiveness of grease interceptors in food service establishments for controlling fat, oil, and grease deposition in the sewer system. *Science of the Total Environment*, 912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169441>
- Sultana, N., Roddick, F., Jefferson, B., Gao, L., Bergmann, D., Papalois, J., Guo, M., Tzimourtas, K., & Pramanik, B. K. (2024b).** Effectiveness of grease interceptors in food service establishments for controlling fat, oil and grease deposition in the sewer system. *The Science of the Total Environment*, 912. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.169441>
- Synertech Water Resources. (s.f.).** Sistema de flotación por aire DAF. Recuperado el 8 de junio de 2024, de <https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/sistema-de-flotacion-por-aire-disuelto-daf>
- Torrescano España, J. L. (2009).** Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual. *Aquaforum*, 52.
- von Sperling, M. (2007).** *Wastewater characteristics, treatment and disposal* (Vol. 1). IWA Publishing.
- Werneck, L. M. C., Vieira, C. B., Fumian, T. M., Caetano, T. B., Emilio dos Santos, J., Ferreira, F. C., Pimenta, M. M., & Miagostovich, M. P. (2017).** Dissemination of gastroenteric viruses in the production of lettuce in developing countries: A public health concern. *FEMS Microbiology Letters*, 364(9), 1–10. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx085>

- Yao, J., Liu, J., Zhang, Y., Xu, S., Hong, Y., & Chen, Y. (2019).** Adding an anaerobic step can rapidly inhibit sludge bulking in SBR reactor. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47304-3>
- Yusuf, H. H., Roddick, F., Jegatheesan, V., Gao, L., & Pramanik, B. K. (2023).** Tackling fat, oil, and grease (FOG) build-up in sewers: Insights into deposit formation and sustainable in-sewer management techniques. En *Science of the Total Environment*, 904. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166761>

Peligro sísmico en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: dos casos de estudio

Seismic hazard in the metropolitan zone of Tuxtla Gutiérrez:
two case studies

—

Roberto Moreno Ceballo¹ • roberto.moreno@unicach.mx

Jorge Antonio Paz Tenorio² • jorge.paz@unicach.mx

Carlos Narcía López³ • carlos.narcia@unicach.mx

Raúl González Herrera⁴ • ingeraul@yahoo.com

Josué Alexis Clemente Quezad⁵ • josalex003@gmail.com

1 LABORATORIO DE CÓMPUTO Y SIG, ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL,
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS,
TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO.

2 MAESTRÍA EN CIENCIAS EN DESARROLLO SUSTENTABLE, FACULTAD DE
INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS, TUXTLA
GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO.

3 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL, FACULTAD DE INGENIERÍA,
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS, TUXTLA GUTIÉRREZ,
CHIAPAS, MÉXICO.

4 CONSULTOR PRIVADO, OTTAWA, CANADÁ

5 PROTECCIÓN CIVIL MUNICIPAL DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.MÉXICO



Para citar este artículo:

Moreno Ceballo, R., Paz Tenorio, J. A., Narcía López, C., González Herrera, R., & Clemente Quezada, J. A. Peligro sísmico en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: dos casos de estudio. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39). <https://doi.org/10.31644/IMASD.39.2025.a06>

RESUMEN

En la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez-conformada por los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, Berriozábal, San Fernando y Suchiapa-, la interacción de la actividad humana con las características naturales ha originado escenarios peligrosos en los que se presentan diferentes niveles de vulnerabilidad ante eventos sísmicos. Las consecuencias de los sismos ocurridos en esta región sureste de la República Mexicana han cobrado vidas y generado daños importantes que han trascendido en los grupos con mayor grado de marginación de la población. Esta investigación aborda los daños históricos y los espesores de suelo como indicadores del efecto de sitio para un análisis de la peligrosidad sísmica de dos municipios: Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo. Se empleó una metodología multiparámetro (Moreno Ceballo et al., 2019, Moreno Ceballo et al., 2020) basada en los Sistemas de Información Geográfica, que contempló una revisión documental y un registro en campo de daños históricos por sismo en las dos localidades, las microzonificaciones sísmicas de estas ciudades que cuentan con períodos fundamentales de vibración del suelo que varían entre 0.14 s y 0.39 s para Chiapa de Corzo (Salgado et al., 2004) y entre 0.08 s y 1.33 s para Tuxtla Gutiérrez (González-Herrera et al., 2013, Narcía López et al., 2006). Con el modelo empleado por Newmark y Rosenbleuth (1976), se obtuvo la variación de los espesores de sedimentos que conducen el efecto de sitio en la zona, considerando una velocidad media de onda de corte de 150 m/s. Finalmente se elaboraron mapas de espesor de sedimentos para ambas manchas urbanas, que oscilan entre 7.12 m y 14.62 m para Chiapa de Corzo y entre los 3 m y 46.78 m para Tuxtla Gutiérrez y se realizó una correlación espacial con los daños históricos por sismo en ambas localidades.

Palabras Clave:

Amplificación sísmica; mapa; microzonificación sísmica; vulnerabilidad sísmica.

— Abstract—

In the metropolitan zone of Tuxtla Gutiérrez, made up of the municipalities of Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, Berriozábal, San Fernando and Suchiapa, the interaction of human activity with natural features has given rise to dangerous scenarios in which the region presents different levels of vulnerability to seismic events. The consequences of the earthquakes that occurred in this southeastern region of the Mexican Republic have claimed lives, generating significant damage that has transcended the groups with the greatest degree of marginalization of the population. This research addresses historical damage and soil thicknesses as indicators of the site effect for an analysis of the seismic hazard of two municipalities: Tuxtla Gutiérrez and Chiapa de Corzo. A multiparameter methodology (Moreno Ceballos et al., 2019, Moreno Ceballos et al., 2020) based on Geographic Information Systems was used, which included a documentary review and a field record of historical damage due to earthquakes in the two localities, the seismic microzonings of these cities that have fundamental periods of ground vibration that vary between 0.14 s and 0.39 s for Chiapa de Corzo (Salgado et al., 2004) and between 0.08 s and 1.33 s for Tuxtla Gutiérrez (González-Herrera et al., 2013, Narcía López et al., 2006). With the model used by Newmark and Rosenbleuth (1976), the variation of sediment thicknesses that lead to the site effect in the area was obtained, considering an average shear wave velocity of 150 m/s. Finally, sediment thickness maps were prepared for both urban areas, ranging from 7.12 m to 14.62 m for Chiapa de Corzo and between 3 m and 46.78 m for Tuxtla Gutiérrez, and a spatial correlation was made with the historical damage caused by earthquakes in both localities.

Keywords:

Seismic amplification; map; seismic microzonation; seismic vulnerability.

En México, gran parte del territorio nacional presenta un riesgo sísmico significativo, generado principalmente por los terremotos que ocurren en la Costa del océano Pacífico, en la conjunción de las placas tectónicas de Cocos y de Norteamérica. El estado de Chiapas es una región considerablemente propensa a la actividad sísmica, esto debido a una característica singular con respecto al resto de la República Mexicana, en él convergen tres placas tectónicas: la Placa de Cocos, la Placa de Norteamérica y la Placa del Caribe (Figura 1).

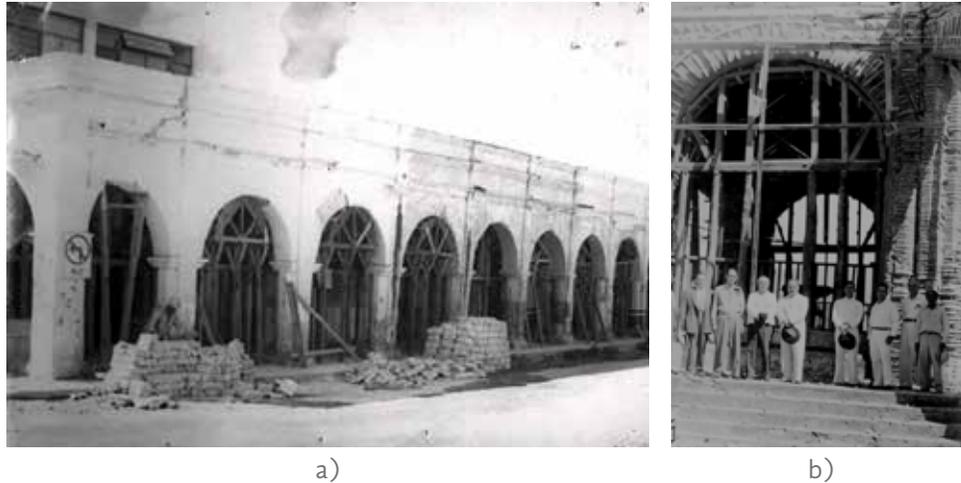


Nota. (CENAPRED, 2006).

Figura 1. Placas tectónicas que interactúan en el estado de Chiapas con su respectiva dirección de desplazamiento

Chiapas se divide en cuatro provincias tectónicas: la provincia de las Fallas Inversas, la provincia de las Fallas Laterales, el Batolito de Chiapas y las Fallas de Motagua-Polochic (Guzmán y Meneses, 2000) y se han identificado además cinco fuentes sismogénicas (González-Herrera, 2014) que han originado los sismos ocurridos en la región, siendo la primera el proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica (Suárez y Singh, 1986; Pardo y Suárez, 1995). La segunda fuente está asociada a la deformación interna de la placa subducida, esta produce sismos que van desde los 80 hasta los 300 km de profundidad, del tipo intraplaca, como el ocurrido el 07 de septiembre de 2017, de Mw 8.2. La tercera fuente corresponde a sistemas de fallas superficiales que han provocado una deformación cortical, esta origina temblores de magnitud y profundidad moderada (González-Herrera et al., 2015).

Estos sismos provocan daños a nivel local, como los ocurridos en Chiapa de Corzo entre julio y octubre de 1975 (Figura 2a y 2b) (Nadayapa, 2011). La presencia de volcanes activos en el estado (el Tacaná y el Chichonal o el Chichón) y el fallamiento lateral izquierdo entre la Placa de Norteamérica y la Placa del Caribe (González-Herrera, 2015), corresponden a la cuarta y quinta fuente respectivamente.



Nota. (Nandayapa, 2011).

Figura 2. Daños en los portales y caída de uno de los remates de los arcos botareles de la fuente colonial de Chiapa de Corzo, Chiapas

ÁREA DE ESTUDIO

Las Zonas Metropolitanas (ZM) se definen como el conjunto de municipios relacionados entre sí por un alto grado de integración física o funcional de manera intermunicipal o interestatal. Otro requisito para ser catalogada ZM es que la población total de los municipios que la conforman sea superior a los 200 mil habitantes y que la localidad urbana o conurbación que da origen a la misma cuente con más de 100 mil habitantes (SEDATU, 2020).

La dinámica de desarrollo y crecimiento económico que experimentan algunas ciudades, como el caso de Tuxtla Gutiérrez, las ha llevado a rebasar sus límites municipales (INEGI, 2014), esto ha provocado que se actualicen en su composición. En el 2023 se publicó el documento “Metrópolis de México 2020”, resultado de un trabajo colaborativo entre el Consejo Nacional de Población (CONAPO), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) en el cual se definen 48 ZM en México, conformadas por 345 municipios en los que residen 67.6 millones de personas.

Por lo tanto, la ZM de Tuxtla Gutiérrez (Figura 3), está integrada por este municipio (capital del estado de Chiapas), además de Berriozábal, Chiapa de Corzo, Suchiapa y San Fernando, tal como puede apreciarse en la Tabla 1.

Tabla 1
Municipios que conforman la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez

Municipio	Superficie (Km ²)	Altitud	Cantidad de habitantes
Tuxtla Gutiérrez	334.61	527	604,147
Chiapa de Corzo	829.98	509	112,075
Berriozábal	351.70	904	64,632
Suchiapa	283.66	460	25,627
San Fernando	359.26	912	41,793

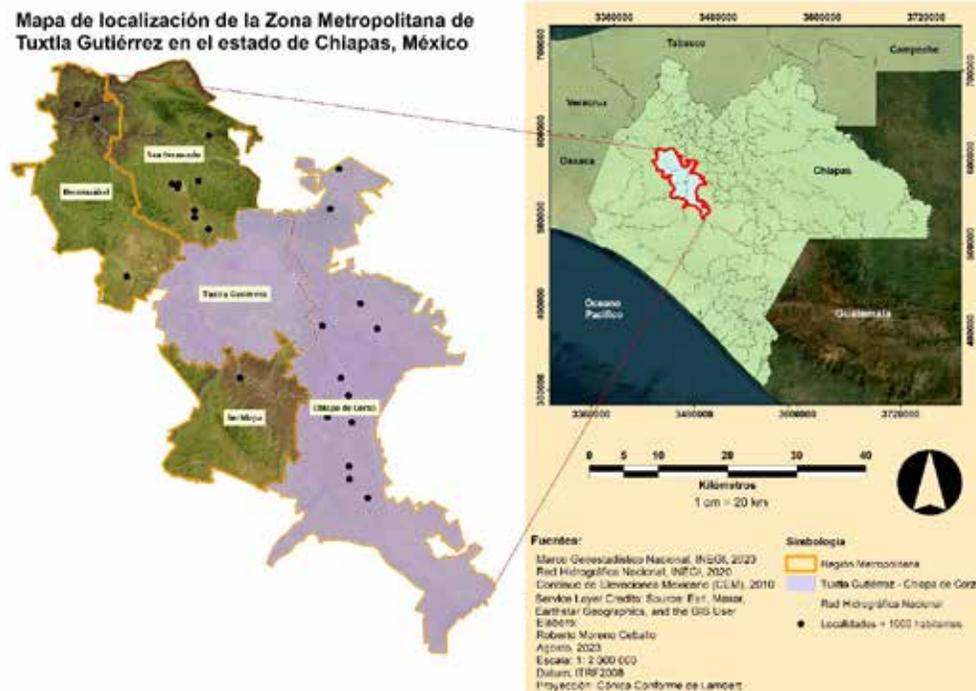


Figura 3. Mapa de localización de la Región Metropolitana del estado de Chiapas, México

La ZM de Tuxtla Gutiérrez ha experimentado un crecimiento importante en el período comprendido entre 2010 y 2020, a nivel población, aumentó en más de 100 mil habitantes, lo cual representa un incremento del 14 por ciento aproximadamente (Figura 4).



Figura 4. Crecimiento poblacional en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez de acuerdo a los censos poblacionales de INEGI de los años 2010 y 2020 respectivamente

Características generales del área de estudio

En la zona norte de la región predomina la sierra alta de laderas tendidas, seguido de sierra alta escarpada compleja; al sur de la región predomina la meseta con cañadas, seguido de la sierra alta de laderas tendidas y en menor proporción de áreas de cañones típicos. En la zona este de la región se localiza el valle de laderas tendidas con lomerío y sierra alta de declive escarpado; en la parte oeste de la región predomina el lomerío típico, al centro de la región se localiza la meseta típica y llanura aluvial con lomerío (Mullerried, 1957), en esta zona se encuentra el Cañón del Sumidero, geoforma de grandes dimensiones producto de un sistema de fallas y fracturas geológicas, además de la acción erosiva del río Grijalva; las formas de relieve con poca pendiente con lomas, mesetas y valles predominan en el centro, lo que representa aproximadamente el 60% del territorio.

La altura del relieve va desde menos de 30 m y hasta los 2,600 m sobre el nivel del mar (INEGI, 2004). En el área de estudio, de manera general se presentan 8 unidades de suelo, dentro de las cuáles existe una mayor distribución porcentual del Litosol, Regosol y Rendzina:

Tabla 2
Unidades de suelo de la Zona Metropolitana

Unidades de suelo	Distribución Porcentual
Litosol	38.04
Regosol	20.90
Rendzina	14.38
Vertisol	10.51
Luvisol	4.91
Acrisol	4.55
Feozem	3.54
Fluvisol	1.67
Cuerpo de agua	0.93
Zona Urbana	0.58

Nota. (INEGI. Carta Topográfica escala 1:250 000 Serie III. INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005)

En cuanto a la Geología, la superficie de la ZM presenta siete tipos de roca y se compone de suelos terciarios, predominan tres tipos, caliza (34.46%), limonita-arenisca (29.01%), y lutita-arenisca (16.55%). También de suelos cretácicos: limolita (7.35%) y aluvial (07.22%). Otras composiciones variadas de suelo conforman el 05.40% restante de la superficie de la región (Secretaría de Hacienda, 2017).

Sismicidad en la región

Los sismos ocurridos en la región han tenido un fuerte impacto en la región sureste de México, trascendiendo considerablemente en los grupos con mayor grado de marginación de la población. De acuerdo al censo de población y vivienda realizado por INEGI en el año 2010, más del 70% de la población de la región presenta un grado de marginación medio – alto. El análisis del peligro sísmico en una región determinada engloba el manejo de gran cantidad de información, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos para dos casos de estudio: Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo. Ambos sitios fueron seleccionados por la existencia de edificaciones con alto valor patrimonial, por contar con un fondo habitacional con cierto grado de deterioro y por la presencia de zonas con alto grado de marginación.

El efecto de los sismos en las ciudades antes mencionadas se puede apreciar a distintas escalas, a nivel estatal por haber sufrido eventos telúricos de gran envergadura que afectaron las construcciones patrimonio cultural de la humanidad como es el caso de Chiapa de Corzo (sismos de octubre de 1975), o el sismo de octubre de 1995 para Tuxtla Gutiérrez y a nivel local por las características del suelo los niveles de amplificación sísmica. La

ocurrencia de eventos de gran magnitud (Figura 5), como el suscitado el 07 de septiembre de 2017 (Mw 8.2) nos reiteran la necesidad de realizar estudios de peligro en zonas de una amplia riqueza cultural.

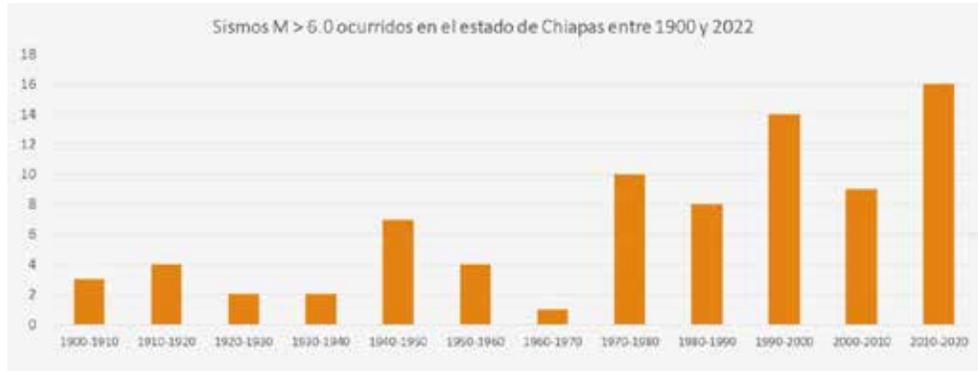


Figura 5. Sismos ocurridos en el estado de Chiapas entre 1900 y 2022 con una magnitud $M > 6$

METODOLOGÍA

Para esta investigación se empleó una metodología multiparámetro (Moreno Ceballos et al., 2019, Moreno Ceballos et al., 2020) basada en los Sistemas de Información Geográfica, que contempló las características geológicas, edafológicas y se determinaron además las zonas susceptibles a inundación o llanuras inundables. También se empleó una base de datos de daños históricos por sismos en la región, muchos de ellos recabados en campo entre 2017 y 2020:

Revisión documental y recolección de datos en campo

Revisión documental de los eventos sísmicos registrados en la zona de estudio, a partir de encuestas aplicadas a la población y entrevistas semiestructuradas realizadas a cronistas e historiadores. Esto permitió realizar una recopilación de los daños presentados con la ocurrencia eventos sísmicos en la región, destacando los ocurridos el 06 de octubre de 1975 (para el caso de Chiapa de Corzo) y el sismo del 07 de septiembre de 2017 de 8.2 Mw.

Las bases de datos de los daños históricos se construyeron fortaleciendo la investigación documental con trabajo de campo, donde también se consideró el uso que han tenido los inmuebles desde 1975 a la actualidad (Moreno-Ceballos et al., 2020). Se empleó un navegador GPS/GNSS para referenciar geográficamente las edificaciones que presentaron daños por los eventos sísmicos considerados para este trabajo.

Zonas inundables

Las zonas adyacentes a los cauces fluviales son muy atractivas para los desarrollos urbanísticos, la utilización de dichas zonas, sin considerar los límites naturales necesarios para evacuar las crecientes, ha contribuido a amplificar el efecto negativo de las inundaciones, que en algunos casos dejan consecuencias trágicas (Arbeláez et al., 2002). Es por ello que se determinaron las zonas inundables por la presencia de ríos importantes que históricamente han provocado afectaciones en las zonas urbanas del área de estudio, como es el caso de las inundaciones provocadas por el huracán Arthur en el 2008 (Hernández, 2009) y huracán Matthew en el 2010 (López, 2010) en Chiapa de Corzo.

La amplificación del movimiento del suelo es una de las principales causas de daños importantes en zonas con depósitos sedimentarios poco compactados. Según Schmudde (1968), la llanura de inundación, una forma geomorfológica generalmente compuesta por material no consolidado transportado por los ríos, favorece este fenómeno. Estos suelos incrementan la amplificación sísmica, intensificando los efectos de un sismo, de manera general, los daños causados se relacionan con variaciones de los materiales geológicos cercanos a la superficie y, de manera particular, estas amplificaciones del movimiento del terreno se asocian con depósitos sedimentarios recientes y poco consolidados (Tinsley y Fumal, 1985).

Grado de daño y determinación de la vulnerabilidad

Para la asignación del grado de daño y determinación de la vulnerabilidad sísmica se empleó la Escala Macrosísmica Europea (EME), esta considera una descripción y esquema gráfico, además define en forma cualitativa cada uno de los cinco grados de daño de que consta; donde el grado de daño varía del grado 1 que corresponde a daños despreciables, hasta el grado 5 que es asociado al colapso total del inmueble (Grunthal, 1998), (Arellano et al., 2003), (Silva, 2006). Se analizó además la calidad en la edificación tomando en cuenta los materiales empleados y se determinaron las zonas de mayor amplificación sísmica a partir de mediciones de los períodos fundamentales de vibración del suelo y su posterior comparación con el espesor de sedimentos y el empleo de las variables: Edafología, Geología, Daños históricos, Amplificación Sísmica.

Elaboración de mapas

Finalmente se elaboraron mapas que contienen información sobre los daños históricos por sismo y el espesor de sedimentos para las manchas urbanas.

En 1976, Newmark y Rosenbleuth acuñaron una expresión que relaciona el espesor de los sedimentos con su período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de ondas de corte:

$$T = 4 \sum_i^n \frac{h_i}{\beta_i} \quad (1)$$

Donde T representa el período natural del terreno, h es el espesor del i -ésimo estrato y β es la velocidad de propagación de ondas de corte. El número de estratos sedimentarios está representado por n . A partir de este modelo, simplemente despejamos para obtener la ecuación definitiva con la cual se alimentó al software ArcMap con el propósito de obtener los valores que se interpolaron posteriormente:

$$h_i = \frac{(T \times \beta_i)}{4} \quad (2)$$

Para estimar los espesores de sedimentos bajo ambas manchas urbanas, se utilizó el modelo descrito anteriormente, complementariamente al cálculo de los períodos naturales de vibración de los suelos. Para esto se usó una velocidad β promedio de 150 m/s (Narcía et al., 2006), los períodos usados para Chiapa de Corzo corresponden a los hallados por Salgado et al. (2004); mientras que para el caso de Tuxtla Gutiérrez se emplearon 285 mediciones realizadas en toda la mancha urbana (Figura 6).

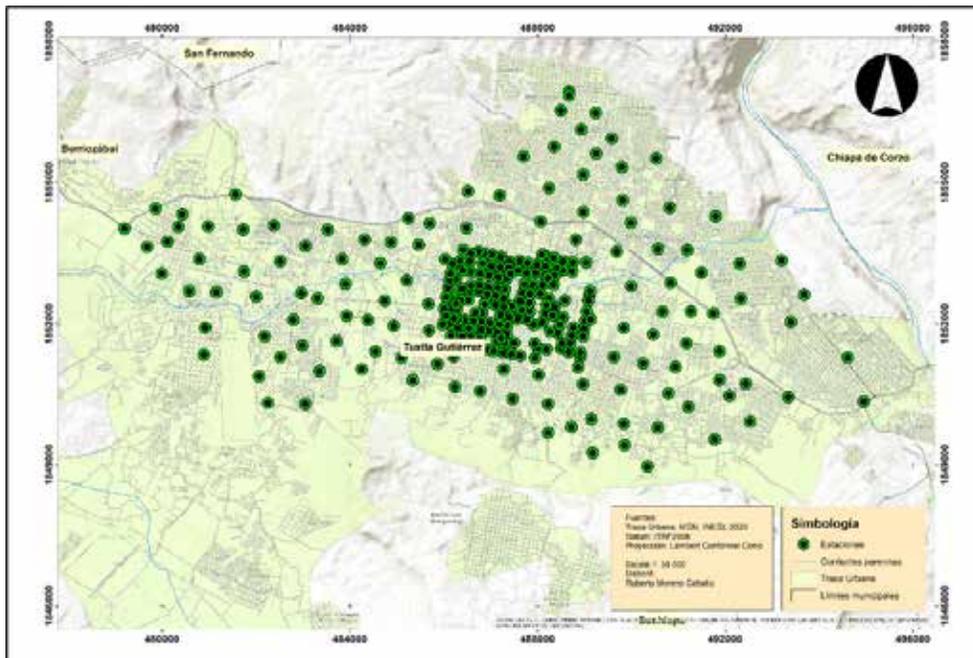


Figura 6. Localización de las estaciones para medir los períodos fundamentales de vibración ambiental en la cabecera municipal de Tuxtla Gutiérrez

CHIAPA DE CORZO

Chiapa de Corzo se localiza sobre la carretera federal 190, a escasos 12 Km de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas. Es cabecera municipal del municipio del mismo nombre y geográficamente se ubica en los límites de la depresión Central y del Altiplano Central, sus coordenadas geográficas son 16° 42"N y 93° 00"W (497920.00 m E y 1849152.00 m N, Zona 15 N), su altitud es de 406 msnm y cuenta con una extensión territorial de 869.21 km² (INAFED, 2018). Colinda al norte con los municipios de Osumacinta, Soyaló e Ixtapa; al este con los municipios de Ixtapa, Zinacantán, Acala, y Venustiano Carranza; al sur con los municipios de Venustiano Carranza y Villa Corzo; al oeste con los municipios de Villa Corzo, Villaflores, Suchiapa, Tuxtla Gutiérrez y Osumacinta (INEGI, 2008).

El municipio de Chiapa de Corzo tiene características geológicas, donde predomina la caliza en un 40.84%, Lutita – Arenisca (27.06%), Limolita – Arenisca (13.22%), Caliza – Lutita (10.56%), Conglomerado (7.44%), Ígnea Intrusiva Básica (0.74%) y Arenisca – Conglomerado (0.12%) (INEGI, 2008).

En cuanto a las características edafológicas, la porción Este de la población está conformada por un Regosol calcárico, en esta zona existen algunos lomeríos bajos. El lado Oeste y una pequeña porción al Sur se encuentran en un Vertisol pélico; así mismo, otra zona al Suroeste del poblado está constituido por un Fluvisol éutrico. Al Sur y Suroeste se encuentra el cuerpo de agua que constituye el río Grande de Chiapa o río Grijalva. La mayor parte del centro histórico de Chiapa de Corzo es sensiblemente plana (Salgado et al., 2004).

El mapa de la Figura 7 ilustra la distribución de los daños provocados por sismo en la cabecera municipal de Chiapa de Corzo, se puede apreciar una concentración en la zona centro y en las zonas cercanas al río Grijalva. Varias edificaciones importantes se han visto afectadas de manera reincidente como el templo del Calvario, la iglesia de Santo Domingo, la iglesia de San Jacinto y algunas viviendas que sobrevivieron a ambos eventos sísmicos. El mayor número de afectaciones corresponde a las tradicionales casas de adobe, aproximadamente el 30 % de las edificaciones censadas durante el trabajo de campo; es importante especificar que el adobe por lo general presenta un pobre comportamiento estructural durante la ocurrencia de fenómenos naturales como es el caso de los sismos.

La amplificación del terreno local puede deberse a la naturaleza, composición y morfología de las capas superficiales de suelo. A este fenómeno local del comportamiento del terreno se le conoce como “efecto local”, “respuesta local” o “efecto del sitio” (Rodríguez, 2005). El daño presentado en los inmuebles es causado, en gran medida por la amplificación del movimiento del suelo, la cual es mayor en áreas

constituidas por depósitos de sedimentos blandos y poco compactados, como las zonas cercanas a las márgenes de los ríos.

Geomorfológicamente, la llanura de inundación es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión (Schmudde, 1968), la presencia de este tipo de suelos favorece la amplificación sísmica provocando un mayor efecto de sitio ante un sismo, es por ello que tras una profunda revisión documental, así como la incorporación de reportes de Protección Civil, se elaboró un mapa del Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) para la cabecera municipal de Chiapa de Corzo (Figura 8).

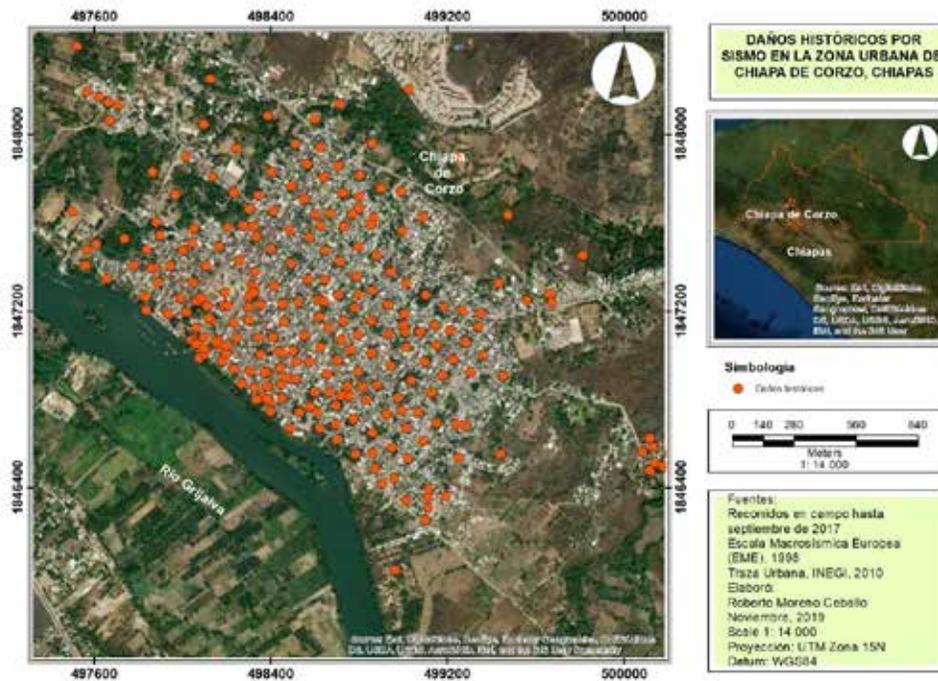


Figura 7. Ubicación de los daños históricos en Chiapa de Corzo Chiapas en dos eventos sísmicos

De manera general, los perjuicios causados por la sacudida del terremoto comúnmente se relacionan con variaciones de los materiales geológicos cercanos a la superficie y, de manera particular, estas grandes amplificaciones del movimiento del terreno se asocian con depósitos sedimentarios recientes y poco consolidados (Tinsley y Fumal, 1985).

Los planes de desarrollo de las poblaciones deben contemplar la respuesta sísmica local del subsuelo, con el fin de definir los parámetros específicos de diseño estructural sísmoresistente, de acuerdo al historial sísmico de la región (IPCMIRD, 2010). Esta investigación aborda principalmente la parte física dentro del análisis del riesgo sísmico, estudiando el estado actual de los edificios y el proceso de construcción de la vulnerabilidad, principal-

mente por la intervención humana que ante la ausencia de la asesoría técnica recurren a procesos de autoconstrucción o a la utilización de materiales que no cumplen con la normatividad correspondiente.



Nota. (Moreno-Ceballo et al., 2019)

Figura 8. Llanura inundable de la cabecera municipal de Chiapa de Corzo

Tabla 3
Sismos que han afectado a Chiapa de Corzo

Fecha	Latitud	Longitud	Magnitud
05/06/1897	16.30	-95.40	7.4
19/04/1902	14.90	-91.50	7.5
23/09/1902	16.60	-92.60	7.7
14/01/1903	15.00	-93.00	7.6
09/12/1912	15.50	-93.00	7.0
30/03/1914	17.00	-92.00	7.2
10/12/1925	15.50	-92.50	7.0
28/06/1944	15.00	-92.50	7.1
26/09/1955	15.50	-92.50	6.9
09/11/1956	17.45	-94.08	6.3
29/04/1970	14.52	-92.60	7.3
05/10/1975	16.74	-92.92	4.8
10/09/1993	14.20	-92.80	7.2
14/03/1994	15.98	-92.43	6.8
21/10/1995	16.81	-93.47	7.1
18/11/2001	15.45	-93.60	6.3
16/01/2002	15.58	-93.60	6.3
07/09/2017	15.76	-93.70	8.2

Nota. (Salgado et al., 2004; SSN, 2017)

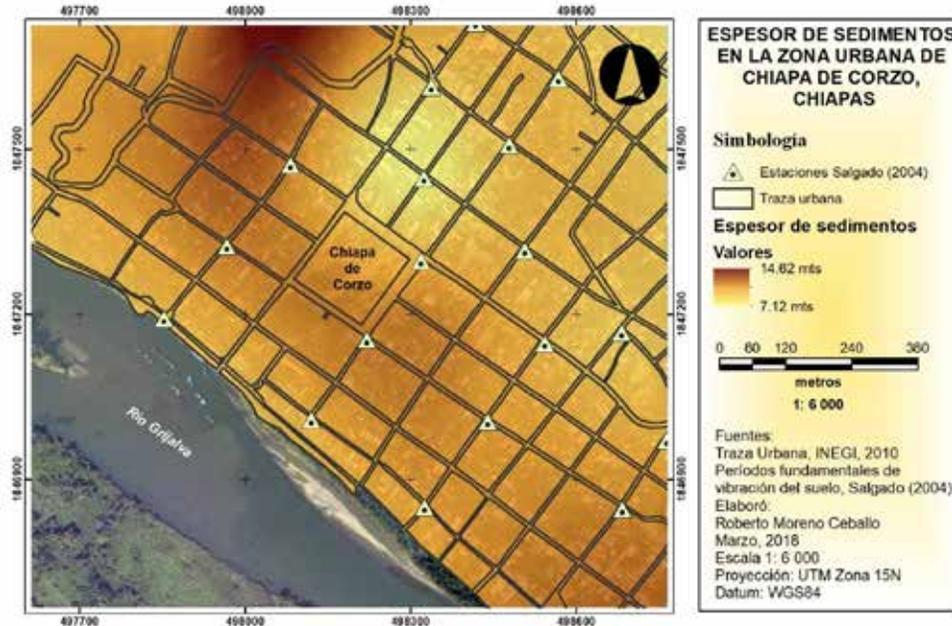


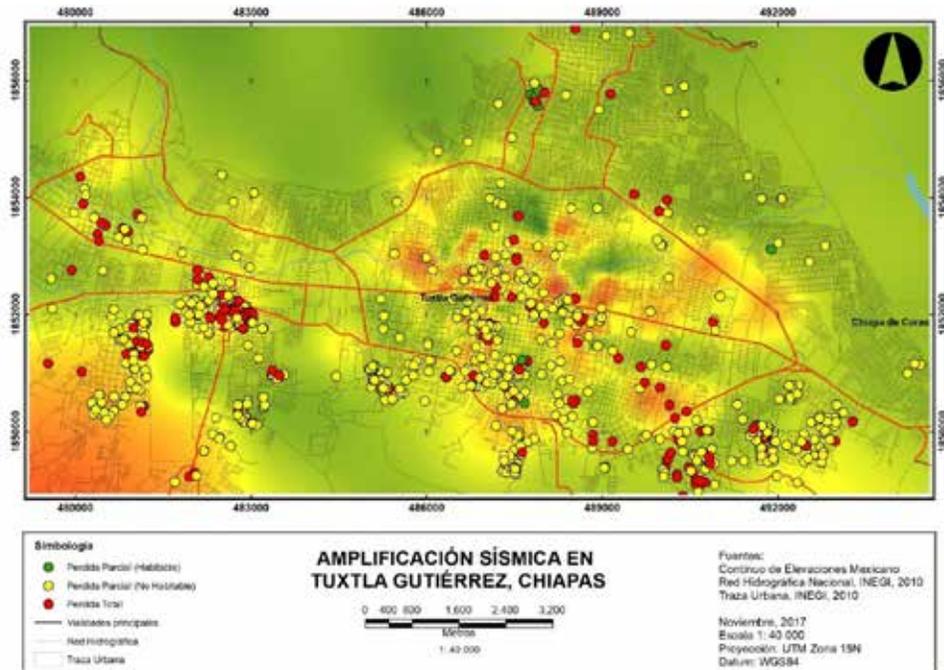
Figura 9. Mapa de espesor de sedimentos para la cabecera municipal de Chiapa de Corzo, Chiapas

TUXTLA GUTIÉRREZ

Ubicada en la Depresión Central del estado de Chiapas presenta relieve montañoso al norte y al sur. Su extensión territorial es de 412.40 km², lo que representa el 3.26% de la región Centro y el 0.55% de la superficie estatal. Esta ciudad limita al norte con los municipios de San Fernando y Usumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocuaútl y Berriozábal (CEIEG, 2010).

El territorio municipal está conformado por sierras altas con laderas tendidas, llanuras con aportes aluviales y mesetas por erosión; en el parteaguas norte prevalece un conjunto de sierras cuya altitud no rebasa los 1,200 msnm. La ladera norte es estable, y está constituida por calizas del Cretácico superior (formación Ocozocoautla-La Angostura), corresponde a los flancos de la mesa de la Ánimas. En cambio, la ladera sur es inestable por naturaleza (Paz, 2012), ya que corresponde a depósitos recientes tipo coluvión, generados partir de los materiales desprendidos de bordes de la mesa kárstica de Copoya (Paz et al., 2011), misma que se compone de calizas y areniscas del Eoceno medio (formación San Juan) (Ferrusquia et al., 2000, citado en Paz-Tenorio et al., 2017).

La señal medida sobre el suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico presenta distintas duraciones (Atakan et al., 1997; Lermo y Chávez-García, 1993), sobre todo en aquellos con una composición inestable, esto se debe al cambio que sufren las ondas sísmicas al atravesar los distintos estratos del suelo.



Nota. (González et al., 2020).

Figura 10. Amplificación sísmica en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

En la Figura 10 se presenta un mapa de amplificación sísmica en Tuxtla Gutiérrez (González-Herrera et al., 2012), en donde también se pueden observar los daños del sismo del 7 de septiembre de 2017 (8.2 Mw), resaltan un número importante de pérdidas totales y parciales con la ocurrencia de ese fenómeno. Cuando los materiales y sistemas constructivos empleados son homogéneos, por ende, también la vulnerabilidad de las construcciones, esto quiere decir que las afectaciones están condicionadas por el efecto de sitio (Moreno et al., 2019).

Además, se encuentra dentro de la cuenca del río Sabinal y está inmersa dentro de la Región Hidrológica Número 30 Grijalva-Usumacinta, cuenta con una longitud en su trayecto de 407 km, de los cuales 148.96 km se ubican en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, que representa el 36 %, aproximadamente. Nace en la loma “El Chupadero”, a 5 km al noroeste del municipio de Berriozábal (al poniente) y recorre 46.4 km para ir a desembocar en el río Grijalva (al oriente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez) en el municipio de Chiapas de Corzo (García Benítez, et al., 2022). En la Figura 11 se presenta un mapa de las zonas inundables en la cabecera municipal de Tuxtla Gutiérrez, elaborado a partir de reportes de Protección Civil Municipal en el período comprendido entre 2004-2016.

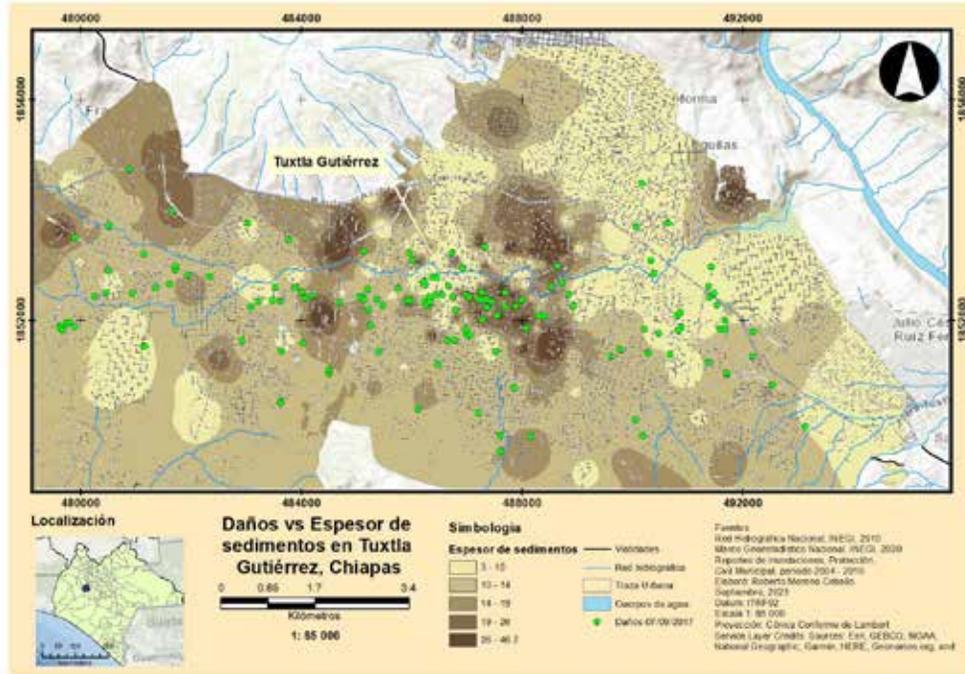


Figura 12. Espesor de sedimentos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

RESULTADOS

La elaboración de mapas de espesor de sedimentos y el análisis de la ampliación sísmica en ambas manchas urbanas permitieron comparar los daños provocados por sismo y a su vez establecer una relación con las zonas de mayor afectación. Se analizaron 198 manzanas de la cabecera municipal de Chiapa de Corzo y se obtuvieron espesores de sedimentos que oscilan entre los 7.12 m y 14.62 m (Figura 8). La ciudad presenta patologías constructivas homogéneas, lo cual pone de manifiesto que las condiciones locales del subsuelo han sido determinantes en la localización de los daños; se observó además cómo la mayor cantidad de estos ocurren en zonas entre los 8 y 12 metros de espesor de sedimentos y se han concentrado en la zona centro de la ciudad y en las márgenes del río Grijalva, es decir, suelos blandos, poco consolidados.

Para Tuxtla Gutiérrez se obtuvieron espesores que oscilan entre los 3 m y 46.78 m (Figura 12) y se realizó una correlación espacial con los daños históricos por sismo, encontrando que la mayoría de los daños se localizan en la zona centro y en la zona sur poniente de la ciudad y se ubican además entre los 10 m y los 20 m de espesor de sedimentos. Es importante resaltar la necesidad de complementar los resultados obtenidos en este trabajo con mediciones actuales ubicadas en toda la extensión de la mancha urbana de ambas ciudades, ya que en los últimos años el crecimiento poblacional ha

sido considerable, ocupando además zonas consideradas en riesgo por fenómenos geológicos como la ladera sur de Tuxtla Gutiérrez (Paz-Tenorio, 2012).

CONCLUSIONES

La autoconstrucción es un factor determinante en las afectaciones provocadas por los sismos ocurridos en el área de estudio, esto ha tenido consecuencias en grupos con alto grado de marginación de la población que por desconocimiento o falta de recursos recurre a este medio para edificar su vivienda. Identificar las amenazas y vulnerabilidades existentes en nuestra comunidad es una tarea importante que permitirá generar acciones e ideas para reducirlas a través de planes de acción.

Los resultados aquí presentados forman parte de una investigación relacionada con la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, empleando una metodología que permita obtener zonificaciones preliminares utilizando información de libre acceso, que permita además replicar la misma en el resto de las ciudades de la ZM.

REFERENCIAS

- Arbeláez**, A. C., Posada, L., y Vélez, M. V. (2002). Usos de suelo en la zona inundable del río San Carlos, Colombia. *XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*.
- Arellano**, E., Juárez, H., Gómez, A., Lara, J., y Sánchez, E. (2003). *Caracterización y clases de vulnerabilidad en edificaciones de la colonia Roma, Ciudad de México*. CNIS MX.
- Atakan**, K., Brandsdóttir, B., Halldórsson, P., & Fridleifsson, G. O. (1997). Site response as a function of near-surface geology in the South Iceland Seismic Zone. *Natural Hazards*, 15(2-3), 139-164. <https://doi.org/10.1023/A:1007902419241>
- CENAPRED**, Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2006b). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: fenómenos geológicos*. Sistema Nacional de Protección Civil.
- Centro Estatal de Información Estadística y Geográfica (CEIEG)**. (2010). Para consulta en línea: <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/>
- García Benítez**, M., Nucamendi Hernández, S., y Ávila Flores, O. (2022). Condiciones de habitabilidad ante inundaciones: El caso de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Interdisciplinaria sobre Estudios Urbanos*, 8(8), 1-23.
- González Herrera**, R., Aguilar Carboney, J. A., Mora Chaparro, J. C., Palacios Silva, R. J., y Figueroa Gallegos, J. A. (2012). Análisis estadístico del peligro e inferencia del riesgo sísmico en el norte del estado de Chiapas. *Ingeniería: Revista Académica de la Facultad de Ingeniería*, 16(2), 58-70.
- González-Herrera**, R., Mora-Chaparro, J. C., Aguirre González, J., y Novelo-Casanova, D. A. (2013). La estructura de velocidades y su relación con el peligro sísmico en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 1(30), 121-134.
- González-Herrera**, R. (2014). *Estimación de las pérdidas económicas en las estructuras asociadas a peligro sísmico en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.ciencianueva.unam.mx/repositorio/handle/123456789/83>
- González-Herrera**, R., y Ortiz, S. (2015). Estimación de los costos del riesgo sísmico en Chiapa de Corzo: Vulnerabilidad sísmica en Chiapa de Corzo, Chiapas.
- González-Herrera**, R., Aguilar Carboney, J. A., Mora Chaparro, J. C., y Aguirre González, J. (2015). El sismo del 7 de julio de 2014, análisis de consecuencias y su repercusión en las estrategias de reducción de riesgo sísmico en Tapachula, Chiapas. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica*.
- Grunthal**, G. (1998). *Escala macrosísmica europea 1998* (segunda edición). Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales.

- Guzmán, M., & Meneses, J. J.** (2000). The North America-Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: A fault jog in Southeastern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 459-468.
- Hernández Unzón, A.** (2009). Informe de México sobre la temporada de Huracanes 2008 e inundaciones asociadas. En XXXI Reunión del Comité de Huracanes de la AR-IV de la OMM: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Hernández, O., Meli, M., y Padilla, M.** (1979). *Refuerzo de vivienda rural en zonas sísmicas: Estudios experimentales*.
- INAFED.** (2018). *Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México: Chiapa de Corzo*. (1 de mayo de 2017) <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07027a.html>
- INEGI.** (2004). *Guía para la interpretación de cartografía: Edafología*.
- INEGI.** (2008). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística.** (2014). *Programa de consulta en línea*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ce/2014/doc/minimonografias/m_zmm_ce2014.pdf
- IPCMIRD.** (2010). *Sistema Estatal de Protección Civil del Estado de Chiapas: Plan Operativo de Protección Civil por Riesgo Sísmico*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Lermo, J., & Chávez-García, F. J.** (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(5), 1574-1594.
- López, R.** (2010, septiembre 28). Van siete muertos por Matthew en Chiapas; daños en más de mil casas. *La Jornada*, p. 29.
- Moreno Ceballo, R., González Herrera, R., Paz Tenorio, J. A., Aguilar Carboney, J. A., y Del Carpio Penagos, C. U.** (2020). Identificación de las zonas de mayor amplificación sísmica en la mancha urbana de Chiapa de Corzo, Chiapas como herramienta para evaluar la vulnerabilidad física por exposición. *Geofísica Internacional*, 59(3), 136-154.
- Moreno Ceballo, R., González Herrera, R., Paz Tenorio, J. A., Aguilar Carboney, J. A., & Del Carpio Penagos, C. U.** (2019). Effects of sediment thickness upon seismic amplification in the urban area of Chiapa de Corzo, Chiapas, Mexico. *Earth Sciences Research Journal*, 23(2), 1-9.
- Mullerried, F.** (1957). *La geología de Chiapas* (180 páginas). Gobierno Constitucional del Estado de Chiapas.
- Narcía López, C., Cruz Díaz, R., Aguilar Carboney, J., Ramírez Centeno, M., y González Herrera, R.** (2006). El período natural de vibración del suelo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(1), 22-36.
- Nandayapa, A.** (2011). *Temblores de 1975 en la ciudad de Chiapa de Corzo*. Tuxtla Gutiérrez.

- Newmark, N.**, y Rosenbleuth, E. (1976). *Fundamentos de ingeniería sísmica* (1.a ed.). Diana.
- Padrón, C.**, Mendes, K. C., Schmitz, M., y Hernández, J. J. (2011). La microzonificación sísmica en el proceso de planificación urbana: Caso de estudio, municipio Chacao. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 26(2), 89-101.
- Pardo, M.**, & Suárez, G. (1995). Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 100, 12357-12373.
- Paz-Tenorio, J. A.**, Gómez-Ramírez, M., González-Herrera, R., y Domínguez-Salazar, F. F. (2011). Los procesos de remoción en masa: Génesis, efectos y limitaciones en el crecimiento urbano de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47E), 1-18.
- Paz-Tenorio, J. A.** (2012). *La inestabilidad de laderas y la construcción social del riesgo: Tres casos en el sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas* (Tesis de maestría). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Paz-Tenorio, J. A.** (2017). *Procesos gravitacionales y la construcción social del riesgo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas* (Tesis de doctorado). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Paz-Tenorio, J. A.**, González-Herrera, R., Moreno Ceballos, R., y Gómez-Ramírez, M. (2017). Mapa de susceptibilidad a procesos gravitacionales, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Eventos detonados por el sismo del 7 de septiembre*. Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jalisco.
- Rodríguez, J.** (2005). *Bases y desarrollo de sistemas de control sísmico para el ferrocarril: Aplicación a la Alta Velocidad Española (AVE)* (Tesis doctoral). Facultad de C.C. Físicas, Universidad Complutense de Madrid.
- Rodríguez, Q.** (2007). *Estructura tridimensional de velocidades para el sureste de México, mediante el análisis de trazado de rayos sísmicos de sismos regionales* (Tesis de maestría). Instituto de Geofísica, UNAM.
- Salgado, A.**, Escamirosa, F., y Calvo, A. (2004). Zonificación sísmica de tres centros históricos del sureste mexicano. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 11-15.
- Saldaña, L.**, Jaramillo, H., y Calvo, J. A. (2005). Metodología para la evaluación del riesgo sísmico de pequeñas y medianas ciudades: Estudio de caso, zona centro de la ciudad de Armenia, Colombia. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*.
- Schmudde, T. H.** (1968). Flood plain. In R. W. Fairbridge (Ed.), *The Encyclopedia of Geomorphology* (pp. 359-362). Reinhold.
- Secretaría de Hacienda.** (2017). *Secretaría de Hacienda*. (15 de mayo de 2017) <http://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informacion/Desarrollo-Regional/prog-regionales/METROPOLITANA.pdf>

- Secretaría de Hacienda del Gobierno del Estado de Chiapas.** (2014). *Programa Regional de Desarrollo: Región I Metropolitana*. <http://haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informaci/Desarrollo-Regional/prog-regionales/METROPOLITANA.pdf>
- Silva, M. A.** (2006). *Comportamiento estructural por hundimientos de edificaciones ubicadas en distintas zonas en la ciudad de Pachuca* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDETU].** (2020). *Metrópolis de México 2020*. Ciudad de México, s.n.
- SSN.** (2017). *Reporte especial: Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 Mw 8.2)*.
- Suárez, G., & Singh, K.** (1986). Tectonic interpretation of the Trans Mexican Volcanic Belt discussion. *Tectonophysics*, 127, 155-160. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(86\)90098-0](https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90098-0)
- Tinsley, J. C., & Fumal, T. E.** (1985). Mapping Quaternary sedimentary deposits for areal variations in shaking response. In J. E. Ziony (Ed.), *Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region: An Earth-Science perspective* (pp. 101-126). U.S. Geological Survey Professional Paper 1360.
- Vicente, R., Ferreira, T., & Maio, R.** (2014). Seismic risk at the urban scale: Assessment, mapping and planning. *Procedia Economics and Finance*, 14, 71-80. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00641-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00641-1)

Organizarse por el agua en contexto rural e indígena: el caso de la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitalá (APAMS)

Organizing around water in rural and indigenous contexts: the case of the Association of Water Management Committees in the Municipality of Sitalá (APAMS)

—

José Luis Méndez Rodríguez
jose Luis@cantaroazul.org

FUNDACIÓN CÁNTARO AZUL, A.C. / COORDINADOR DE PROYECTOS DE INCIDENCIA EN AGUA Y SANEAMIENTO PARA EL MUNICIPIO DE SITALÁ.



Para citar este artículo:

Méndez Rodríguez, J. L. Organizarse por el agua en contexto rural e indígena: el caso de la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitalá (APAMS). *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39). <https://doi.org/10.31644/IMASD.39.2025.a07>

RESUMEN

El objetivo de este ensayo es profundizar en el conocimiento acerca de experiencias organizativas comunitarias que velan por el acceso al agua en contextos rurales e indígenas, en Chiapas. A partir del caso de la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitalá (APAMS), se analiza la experiencia de más de cuatro años de proceso organizativo que ha implicado diversos retos y aprendizajes, como un caso que puede inspirar otros procesos organizativos en Chiapas y el sureste mexicano. La APAMS ha promovido diversas acciones al interior de las comunidades, lo que le ha permitido legitimar su rol como portavoz de las necesidades y propuestas comunitarias. Sobre todo, ha logrado colocar a Sitalá en el escenario estatal para avanzar poco a poco en el cumplimiento de los derechos humanos al agua y al saneamiento. Aunque, actualmente, sigue teniendo varios retos que implica la necesidad de continuar fortaleciendo sus procesos internos y las vinculaciones con actores externos.

Palabras Clave:

Patronatos de agua; gestión comunitaria; derechos humanos; gobernanza; saneamiento.

— *Abstract*—

The objective of this essay is to deepen the knowledge about community organizational experiences that ensure access to water in rural and indigenous contexts in Chiapas. Based on the case of the Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitalá (APAMS), we analyze the experience of more than four years of an organizational process that has involved various challenges and lessons learned, as a case that can inspire other organizational processes in Chiapas and southeastern Mexico. APAMS has promoted diverse actions within the communities, which has allowed it to legitimize its role as a spokesperson for community needs and proposals. Above all, it has placed Sitalá on the state stage, gradually advancing in the fulfillment of human rights to water and sanitation. Nevertheless, the association continues to confront multiple challenges, underscoring the ongoing imperative to enhance internal processes and external collaborations.

Keywords:

Water management committees; community management; human rights; governance; sanitation.

El presente artículo se basa en la experiencia de trabajo del autor, acerca de promover, asesorar y coadyuvar en la construcción de un proceso organizativo de patronatos de agua del municipio de Sitalá; experiencia basada en ser parte del equipo de trabajo de la asociación civil Cántaro Azul.¹ Por lo tanto, es un ensayo que se fundamenta en aprendizajes vivenciales a lo largo de más de 4 años de vinculación con liderazgos comunitarios y actores de diversa índole que han sido parte de la experiencia organizativa en cuestión.

El acceso al agua es una necesidad social de vital importancia para que las familias y comunidades puedan vivir de forma digna, siendo el agua un elemento esencial para procurar la salud y otros derechos asociados como la educación, un ambiente sano, entre otros. Sin embargo, existe una brecha de acceso al agua para uso domiciliario con notorias diferencias entre los ámbitos urbano y rural. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) la cobertura de agua potable en los hogares en América Latina alcanza sólo el 35 % en las zonas rurales, mientras que la cobertura en las zonas urbanas alcanza el 90 % (UNESCO, 2022).

A lo largo de los territorios rurales de América Latina y el Caribe existen organizaciones comunitarias que nacen de la necesidad colectiva de contar con el agua para la subsistencia de las familias. Estas organizaciones comunitarias han favorecido mejores condiciones de vida para las familias a quienes prestan sus servicios. No obstante, los desafíos a los que se enfrentan son mayúsculos. Tal es el hecho de que la mayoría opera con colaboraciones mínimas o nulas de las instituciones gubernamentales a quienes les compete brindar los servicios básicos de agua y saneamiento.

En la región latinoamericana, estas organizaciones comunitarias son conocidas como Organizaciones Comunitarias de Servicios de Agua y Saneamiento (OCSAS), las cuales se definen como estructuras sociales que han surgido para apoyar los esfuerzos para garantizar la gestión del agua (UNESCO, 2022). Se ha documentado varios casos donde las OCSAS practican el fortalecimiento entre pares, el desarrollo de acciones articuladas desde la escala municipal hasta la internacional, y emprenden acciones para aumentar el alcance de resultados, que serían menos efectivas si cada quien acciona por sí sola.

Desde mi experiencia, bajo el imaginario de “asociatividad de OCSAS”, podemos entender a la articulación entre OCSAS como el escalamiento de

1 Cántaro Azul es una asociación civil con base en San Cristóbal de Las Casas, que trabaja en municipios de la región Altos de Chiapas desde hace más de una década; para conocer más se puede visitar su sitio web: <https://www.cantaroazul.org/mision-y-vision>

los alcances y capacidades de acción de las organizaciones comunitarias, que generan mecanismos propios de vinculación ante otros actores, dependiendo de los acuerdos y necesidades, y que integra una amplia variedad de formas organizativas comunitarias. El presente ensayo plantea contribuir al conocimiento acerca de los procesos organizativos de comités y patronatos de agua, y al debate respecto a la necesidad del escalamiento de la acción colectiva desde las bases comunitarias para el avance en la garantía de los derechos humanos al agua y al saneamiento, tomando de referencia el caso en Chiapas de la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitalá (APAMS).

Es prioritario analizar la situación que viven las organizaciones comunitarias en torno al agua, en tanto que en la reciente década sigue prevaleciendo una diversidad de retos respecto a la implementación de los derechos humanos al agua y al saneamiento, donde la gobernanza del agua sigue teniendo tintes utópicos en tanto al diseño y ejecución de políticas públicas acordes a las realidades rurales de Chiapas y de México.

SITUACIÓN DE LA GESTIÓN COMUNITARIA DEL AGUA EN MÉXICO Y CHIAPAS

En varios de los países del Caribe, Centro y Sudamérica se ha practicado con mayor tradición la asociatividad de organizaciones comunitarias, mientras que en México existen pocos ejemplos de este tipo, pero con larga tradición de lucha en otros contextos como el de la resistencia ante las grandes obras de represas (que ha implicado la reubicación de muchas comunidades) o ante la extracción y contaminación desmedida de empresas mineras y otras modalidades extractivistas.

En las experiencias rurales en México, la asociatividad de organizaciones comunitarias de agua está siendo poco practicada como estrategia para el escalamiento de procesos de incidencia y de fortalecimiento territorial de las agendas de estas organizaciones comunitarias. Sin embargo, las experiencias de gestión comunitaria del agua en México están tomando un lugar cada vez más visible. Dentro de los pocos casos existentes, en territorios indígenas y rurales de Chiapas se están gestando procesos que parten de la importancia de la unión entre comunidades para alcanzar objetivos comunes con base en las necesidades sentidas respecto al acceso al agua y al saneamiento.

En los territorios rurales e indígenas de Chiapas, diversos actores sociales han realizado acciones desde el marco de la gestión comunitaria del agua, con el objetivo principal de lograr mejoras significativas para el acceso al agua. Entendiendo a la gestión comunitaria del agua como una práctica colectiva que busca solucionar el acceso equitativo a servicios de agua y saneamiento con el fin de satisfacer las necesidades de familias, colectivos y comunidades (adaptación propia partiendo de Cántaro Azul, 2023). En

esta entidad, es notoria la crisis de acceso a servicios de agua y saneamiento que ha sido elemento fundamental de la situación de marginación en la que viven miles de comunidades. En particular, entre el Altiplano Central y las Montañas del Norte, el escenario en torno a la gestión comunitaria del agua implica a estructuras de representación comunitaria conocidas como “patronatos de agua”.² Los cuales, con el apoyo de sus comunidades, han impulsado y sostenido acciones colectivas para atender las necesidades en torno al agua.

Los patronatos de agua generalmente hacen parte de un servicio comunitario honorífico (no reciben sueldo o gratificación económica), siendo esta el elemento principal que implica que las personas en este tipo de cargos se renueven cada año para que varios habitantes de la comunidad cumplan con este tipo de servicios para el beneficio colectivo. Son estructuras de representación designadas por asambleas comunitarias para que un grupo de personas lleve a cabo las labores necesarias para hacer posible el acceso al agua de las familias de una comunidad. Labores que normalmente se centran en cuestiones operativas como el cuidado de manantiales y el mantenimiento de sistemas comunitarios de agua, pero también llegan a tomar funciones de representación y negociación ante actores externos (ayuntamiento, sector agua a nivel estatal o federal, entre otros). Algunos autores que citan las características de los patronatos de agua en zonas rurales de Chiapas son Murillo y Soares (2017).

Sin embargo, las acciones locales requieren cada vez más del escalamiento de procesos para afrontar las múltiples crisis que atraviesan las problemáticas en torno al agua en contextos rurales e indígenas. Ante la necesidad de mayor alcance, la asociatividad de organizaciones comunitarias de agua está demostrando diversas ventajas al ser un mecanismo para construir agendas de trabajo colectivo en distintas escalas, donde los comités y patronatos de agua sean sujetos clave del desarrollo de soluciones para la atención a las problemáticas que aquejan a la población que representan.

Ante la diversidad de retos de la implementación sustancial del derecho humano al agua en Chiapas, se están gestando procesos de organización intercomunitaria, que se han materializado en “asociaciones de patronatos de agua”. Particularmente en los municipios de Sitalá y de Chenalhó, están desarrollándose casos donde los patronatos de agua están asumiendo la necesidad de organizarse entre iguales, considerando los beneficios de accionar y fortalecerse colectivamente. Específicamente, la APAMS es el actor principal del presente ensayo.

2 En otras zonas de Chiapas, como la Meseta Comitú o la Depresión Central, el nombre usado es “comités de agua”.

Comúnmente, cuando existe un patronato de agua se debe en gran medida a la existencia de sistemas comunitarios de agua entubada. Sin embargo, en miles de hogares, de los territorios tseltales y tsotsiles de Chiapas, aún no existe el servicio de agua entubada. Mientras que, en otros casos, varios de los sistemas de agua implementados por el Estado mexicano han quedado obsoletos al poco tiempo de iniciar operaciones, lo que refleja la limitada capacidad de las instituciones gubernamentales para la sostenibilidad de los sistemas instalados.

Es así que, en diversos análisis colectivos, junto con organizaciones de la sociedad civil (OSC), los patronatos de agua han ido definiendo propuestas para tener mejores condiciones sociales para avanzar sustancialmente en la solución de las necesidades comunitarias. Dentro de los análisis realizados, destaca la importancia de fomentar y fortalecer relaciones colaborativas con el Estado mexicano, sobre todo con los ayuntamientos municipales y otras instancias de gobierno que tienen competencias respecto a los servicios de agua y saneamiento, es decir, se busca la colaboración con estas instancias porque es su obligación desarrollar acciones, según los marcos legales a nivel federal y estatal.

La creación de las asociaciones de patronatos de agua se fundamenta en la importancia de que el sector rural cuente con una representatividad legítima en los espacios de concertación de acuerdos con actores clave de las entidades gubernamentales. Partiendo de esta situación, se reconoce a la gestión comunitaria del agua y el saneamiento como una serie de soluciones basada en la ciudadanía organizada.

EL PROCESO DE INTEGRACIÓN DE LA APAMS

La situación de Sitalá indica que el 59 % de la población del municipio carece de acceso al agua y drenaje en sus viviendas, y el 69 % se encuentra en situación de pobreza extrema (Secretaría de Bienestar, 2024). Lo observable en el territorio muestra una situación aún más grave, debido a que varios de los sistemas de agua instalados en las recientes décadas han quedado obsoletos y sin seguimiento por parte de las instancias competentes; esto lo hemos corroborado en diversas visitas en territorio desde hace varios años, y contrastado con los testimonios de diversos actores comunitarios en decenas de talleres e intercambios de experiencias desde hace varios años.

En la historia reciente de Sitalá, destaca el hecho de que hace pocas décadas prevalecía la tenencia de tierra en manos de un grupo pequeño de terratenientes que mantenían un poder destacable en la vida social y política de este territorio. Situación que fue cambiando poco a poco a través de las movilizaciones sociales que modificaron las condiciones de tenencia de tierras, siendo la etapa más reciente el levantamiento armado del EZLN

donde varios grupos de Sitalá lograron obtener tierras para fundar sus propias comunidades (Bobrow-Strain, 2015).

En este contexto, de cambios destacables en las décadas recientes, la APAMS se creó en el año 2019 con la voluntad de diversos liderazgos comunitarios que decidieron organizarse para buscar soluciones ante la difícil situación que viven en cuanto a la carencia de servicios básicos de agua y saneamiento, vinculado con una histórica omisión de los ayuntamientos municipales que no han priorizado la atención a las comunidades rurales ni han sido capaces de posicionar a Sitalá ante las instancias estatales y federales.

En el mismo escenario de la creación de la APAMS, confluyeron diversas iniciativas de organizaciones de la sociedad civil que en 2019 estábamos desarrollando un proyecto de alianza territorial denominada “Alianza Crecer Juntos por Sitalá”, donde particularmente tres organizaciones estaban trabajando en el eje estratégico denominado “Agua y Territorio” (Cántaro Azul, Cooperación y Organización Integral para el Desarrollo Rural AC. (CONIDER) y Diseño y Capacitación para el Desarrollo y las Microfinanzas (DICADEM). Esta alianza estaba visualizando la posibilidad de promover procesos organizativos entre patronatos de agua, en sesiones de trabajo donde Cántaro Azul posicionó las ideas en torno al fortalecimiento de los patronatos de agua en la escala intercomunitaria, lo que supondría la concertación de acuerdos para que las acciones y propuestas de los gestores comunitarios del agua llegasen a impactar en las decisiones y acciones de las instituciones de gobierno.

En diciembre de 2019 se logró realizar la primera asamblea municipal por el agua, en la cabecera municipal de Sitalá, donde acudieron representantes de varias comunidades, algunas de ellas donde Cántaro Azul ha trabajado, varias otras donde CONIDER y DICADEM han tenido mayor enfoque de trabajo comunitario, y, a la vez, más de la mitad de estos representantes comunitarios participaban, en ese año, en otro proceso organizativo conocido como el espacio de diálogo “*Tsoblej Slekubtesel Sitalá*”.³ Como un acuerdo de esta primera asamblea, se decidió promover la articulación municipal de líderes comunitarios con el fin de buscar soluciones a las diversas problemáticas en torno al agua, de las comunidades que representaban. Así inició el proceso organizativo que al día de hoy se autodefine como la APAMS.

A partir de la primera asamblea municipal, tres asambleas más que tuvieron un carácter tanto resolutivo como formativo, donde se comenzó a

3 La amplia participación de líderes comunitarios que hacían parte del “*Tsoblej Slekubtesel Sitalá*” se debe a que en el proceso interno de este espacio de diálogo se obtuvo como resultado de análisis colectivo que la problemática principal a resolver en el territorio de Sitalá es el acceso al agua para las familias sitaltecas (seguido de otras problemáticas en torno a salud, saneamiento, comercialización de café, y otros).

delinear los mecanismos de toma de decisiones y los asuntos prioritarios a tratar en las asambleas; esto fue tomando forma dependiendo de los objetivos que se iban acordando entre los patronatos de agua. Idóneamente, las asambleas debieron ser mensuales, pero el ritmo fue interrumpido debido a la contingencia sanitaria por la pandemia de la COVID-19. Teniendo una pausa de sesiones de trabajo entre abril hasta agosto de 2020. Retomando a modo de asambleas microrregionales en septiembre, octubre y noviembre del mismo año.

Ya para diciembre de 2020 se desarrolló el Primer Foro de Escucha Municipal en torno a agua y saneamiento en Sitalá. El cual fue la primera experiencia de acción estratégica donde tuvo que realizarse sesiones de preparación para planificar con buen detalle varios de los pormenores para el diálogo que se esperaba sostener con distintas instituciones gubernamentales, incluido el Ayuntamiento Municipal. El evento fue co-convocado por Cántaro Azul, CONIDER y DICADEM, bajo el grupo de trabajo de “Agua y Territorio” de la Alianza Crecer Juntos por Sitalá.

El objetivo del Foro fue promover un diálogo directo entre el sector comunitario y el gubernamental, para vincular necesidades, iniciativas y propuestas de colaboración entre los actores participantes. En cuanto a instituciones de gobierno, participaron delegados y representantes de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Estatal del Agua (INESA), la Comisión Estatal de Derechos Humanos (CEDH), la Comisión de Caminos e Infraestructura Hidráulica (CCeIH), entre otras. Uno de los factores para lograr una buena convocatoria, fue el hecho de que se organizó semanas previas una visita de un sub-director de la CONAGUA a un par de localidades de Sitalá, donde acompañó el INESA. Siendo el resultado del diálogo del Foro de Escucha la firma de acuerdos de voluntades para promover acciones estratégicas para avanzar en el cumplimiento de los derechos humanos al agua y al saneamiento para las comunidades asociadas a la APAMS.

En el marco de la planificación del Primer Foro de Escucha, en las asambleas microrregionales de octubre de 2020, se identificó la necesidad de que el proceso organizativo de patronatos de agua pueda contar con un nombre propio, quedando como decisión su nombre actual (APAMS) y definiendo quiénes serían los voceros comunitarios en el diálogo con instituciones de gobierno. Con el paso del tiempo, la estructura de representación de la APAMS tomaría el nombre actual de Mesa Directiva.

Uno de los logros más importante del primer Foro de Escucha fue posicionar en el radar institucional a Sitalá y a la APAMS, ya que antes de este evento Sitalá era en gran medida desconocido en el alcance de conocimiento territorial de los servidores públicos a pesar de estar en los primeros lugares de las estadísticas de marginación social. Muestra de ello, en el 2021 se logró desarrollar colaboraciones con el (INESA), mediante el cual se logró

gestionar más de 400 filtros domiciliarios de agua, que beneficiaron a un número igual de hogares distribuidas en 13 localidades rurales de Sitalá. Cabe destacar que inicialmente Sitalá no estaba contemplado en la lista de municipios priorizados por el INESA, pero fue retomado a partir de las personas que representaron a este Instituto en el Primer Foro de Escucha.

En el periodo de inicio de la APAMS (2019-2020) cabe destacar al *Tsoblej Slekubtesel Sitalá* como elemento fundamental de la creación de la APAMS en tanto que, desde la primera asamblea municipal del agua, atendieron el llamado aportando una proporción grande de las personas participantes, siendo personas activas en convocar a patronatos de agua u otro tipo de representación de las comunidades donde provenían. Y siendo promotores dentro de sus comunidades acerca de la importancia de contar con una organización comunitaria más sólida que tenga la capacidad de promover cambios significativos para atender las problemáticas en torno al agua, el saneamiento, la salud, las economías familiares y otros temas estratégicos que identificaron en su análisis interno.

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA APAMS Y CONTEXTO COMUNITARIO

Actualmente, la APAMS está integrada por 35 comunidades rurales tseltales. Cantidad que ha ido fluctuando desde el año 2019, teniendo mayor estabilidad a partir del año 2022. Algunas comunidades, a través de sus patronatos de agua, han decidido no caminar junto a la APAMS, mientras que varias otras se han ido sumando en distintos momentos. Cada comunidad asociada a la APAMS cuenta con un patronato de agua quien las representa en las asambleas municipales. Estos patronatos de agua son quienes se encargan de representar las necesidades e intereses de su comunidad ante la APAMS y ante actores externos como las instituciones gubernamentales. Mientras que, en las comunidades donde cuentan con sistemas de agua entubada, llevan a cabo las acciones de mantenimiento y mejoras en todo el sistema de agua, incluyendo el área de captación; dentro de sus comunidades, son quienes convocan a asambleas comunitarias en caso de tener que tomar decisiones importantes en torno al agua, en coordinación con la principal autoridad comunitaria, que normalmente es el Agente Rural Municipal, aunque en casos donde existe autoridad agraria (comisariado ejidal).

Cabe destacar que muchas comunidades que se integraron a la APAMS en el 2019 y 2020, no contaban con patronatos de agua, sino que eran representadas por el agente municipal o el comisariado ejidal, e incluso por líderes que participaban a título personal por su interés en el tema (pero sin designación formal de su asamblea comunitaria). El aumento de la cantidad de patronatos de agua sucedió paulatinamente, siendo el momento más

importante la promoción de asambleas comunitarias en el año 2021, entre la APAMS y la Alianza Crecer Juntos, donde algunas comunidades formalizaron la creación de sus patronatos de agua mediante actas de asamblea comunitaria.

La asamblea de patronatos de agua es el espacio donde se toman las decisiones más importantes en torno a la APAMS. Cada patronato de agua que está asociado tiene voz y voto. Mientras que la Mesa Directiva es la encargada de representar las necesidades, los acuerdos y las propuestas de la APAMS, así como de atender las acciones y vinculaciones estratégicas con actores externos, tanto gubernamentales como otros actores de la sociedad civil, como la APAMCH (Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Chenalhó) y otras estructuras de representación de patronatos y comités de agua de Chiapas. Por lo tanto, el modo en que se desarrollan las asambleas de patronatos de agua se inspira en gran medida de los propios mecanismos de las asambleas comunitarias, como espacios de toma de decisiones.

El proceso organizativo de la APAMS se ha desarrollado en un contexto retador donde dentro de las comunidades rurales suceden dinámicas sociales que en muchos casos ha llevado al divisionismo. Principalmente, por la capacidad de intervención de los partidos políticos y de programas de gobierno que se ejecutan sin el cuidado de promover la cohesión social, logrando todo lo contrario por la prevalencia de intereses particulares ante el bienestar colectivo, lo que implica contradicciones respecto a los objetivos sociales de los programas gubernamentales y los partidos políticos. Muestra de esto, en los recientes ejercicios de priorización para el mecanismo oficial del COPLADEM (Comité de Planeación para el Desarrollo Municipal) se ha priorizado la construcción de viviendas debido a una larga tradición de los partidos políticos que han promovido acuerdos directos con algunos grupos comunitarios con el fin de capitalizarse con el mayor número de posible de votos en las elecciones municipales.

Este es uno de los mayores retos que la APAMS ha tenido debido a que en el periodo 2021 hubo poca posibilidad de cambiar los modos políticos locales de priorización de necesidades ante el COPLADEM. Mientras que en el reciente periodo (2024) se tiene la expectativa de tener mayor capacidad de incidencia, pero aún está por verse hasta qué punto el agua y el saneamiento podrían figurar entre las principales necesidades priorizadas en el COPLADEM.

Asimismo, la cuestión de género sigue siendo muy retador en tanto que en las comunidades rurales no se ha dado el valor suficiente a la participación de las mujeres. Generalmente, los hombres no toman en cuenta las opiniones y propuestas de las mujeres respecto a la problemática del agua (lo que se repite en varios otros aspectos de la vida doméstica y comunitaria). Sin embargo, en los recientes años, en los espacios de la APAMS se ha avanzado en la valoración del papel de las mujeres, siendo la acción más

clara el hecho de que el principal cargo de representación de la APAMS fue designado para que lo ocupe una mujer, con base en las decisiones de la asamblea de patronatos de agua. Además, también es notorio que, desde el año 2021, ha crecido el número de comunidades que han integrado por lo menos a una mujer dentro de los patronatos de agua.

En cuanto a la estructuración de los patronatos de agua, en el año 2021, destaca que en 15 comunidades las asambleas decidieron integrar por lo menos a una mujer dentro de los patronatos de agua, situación sin precedentes. Lo cual es un logro de la promoción constante de reflexiones acerca del papel de las mujeres en la vida comunitaria. Reflexiones que han sido facilitadas por las organizaciones que integran la Alianza Crecer Juntos por Sitalá; por ejemplo, se ha reflexionado acerca de cómo las mujeres viven cotidianamente las consecuencias de la falta de acceso al agua. Actualmente, en el año 2024, son 20 comunidades las que han integrado por lo menos a una mujer dentro de los equipos de los patronatos de agua; uno de los objetivos principales de este año es sostener esta cantidad siendo que este año se renovarán la mayoría de los equipos de patronatos de agua que están asociadas a la APAMS.

ACCIONES ESTRATÉGICAS DE LA APAMS 2022-2024

Uno de los procesos clave de la APAMS fue la generación de su Plan de Gestión. El cual fue desarrollado a partir de una serie de talleres en el año 2022, concluyendo la redacción del documento en marzo de 2023.⁴ El Plan tiene el objetivo general de promover que las autoridades responsables de garantizar los derechos humanos al agua y al saneamiento lleven a cabo las acciones necesarias para hacer posible la infraestructura con base en las prioridades acordadas desde la APAMS para que así las comunidades puedan gozar de sus derechos. Mientras que los objetivos del proceso de construcción⁵ de este Plan fueron: a) Identificar y priorizar las necesidades de infraestructura de agua y saneamiento en las comunidades; b) Organizar las demandas de las comunidades en torno al acceso al agua y saneamiento; c) Promover la participación de las comunidades y sus representantes en la toma de decisiones; d) Asegurar el seguimiento a los acuerdos tomados en las asambleas de la APAMS.

4 Un elemento importante de la construcción del Plan de Gestión fue el proyecto de la asociación civil CONIDER, quien integró formalmente esta iniciativa en su proyecto 2021-2023 financiado por la Fundación Gonzalo Río Arronte. Mientras que todas las organizaciones integradas en la Alianza Crecer Juntos hicieron aportaciones estratégicas a lo largo de todo el proceso de construcción colectiva como un compromiso para el continuo fortalecimiento para la APAMS.

5 El proceso implicó la realización de talleres mensuales entre agosto de 2022 a enero de 2023, así como la generación de acuerdos comunitarios promovidos por los patronatos de agua ante cada asamblea comunitaria, para fundamentar la necesidad y el interés de desarrollar un plan colectivo a escala de la APAMS.

Este plan se dirige principalmente a entidades de gobierno como el Ayuntamiento Municipal, la Comisión Nacional del Agua, la Comisión de Caminos e Infraestructura Hidráulica del estado de Chiapas y el Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas, buscando generar y fortalecer relaciones de colaboración para garantizar los derechos humanos al agua y al saneamiento.

Una de las características más destacables del proceso de construcción del Plan de Gestión de la APAMS fue la concertación de acuerdos en cuanto a cuáles comunidades iban a quedar en los primeros puestos de priorización, en contraste de cuáles quedarían en los últimos puestos. Lo que implicó diálogos donde se hacía explícita la necesidad sentida de cada comunidad, pero también abrió la oportunidad de entender que algunas comunidades vivían una situación un tanto más preocupante por las complicaciones cotidianas de no contar con algún factor que redujera la situación de marginación. Esto llevó a que algunas comunidades opinaran que su comunidad puede quedar en una posición de mayor espera para que puedan ser tomadas en cuenta las comunidades con mayores rezagos en cuanto a acceso a agua.

Las comunidades que cedieron posiciones tenían uno o más de los siguientes factores: a) contaban con sistema comunitario (aunque con aspectos críticos de su funcionamiento), b) contaban con sistemas de almacenamiento domiciliario en algún grado de avance, c) aunque dependiesen en gran medida del acarreo de agua, contaban con fuente superficial a pocos kilómetros de la comunidad o incluso complementado con pozos dentro de la comunidad. Entre otros criterios que dialogaron entre los patronatos de agua.

Ya contando con un Plan de Gestión, la APAMS se movilizó para solicitar diálogos con distintas instancias gubernamentales, comenzando por la escala municipal hasta instancias federales. En el periodo de abril a diciembre de 2023 se generó diversos oficios, acercamientos con actores de gobierno y posicionamiento del tema en eventos y medios de comunicación a escala regional hasta la nacional. Sin embargo, prácticamente no se logró que las instancias de gobierno realicen acciones significativas, a pesar que se he tratado de visibilizar las problemáticas en colaboración con representantes comunitarios de otros municipios como Berriozábal, Chenalhó, Tenejapa, La Trinitaria, entre otros.

La acción estratégica con mayor alcance mediático ha sido el desarrollo de la “Agenda Chiapas por el agua”,⁶ la cual busca sentar las bases para desarrollar un Plan de Justicia Hídrica para Chiapas. Esta Agenda fue construida con base en la voz comunitaria de distintos municipios, incluido Sitalá, para

6 Para conocer a detalle la Agenda Chiapas por el agua, véase: <https://www.cantaroazul.org/agenda-chiapas-por-el-agua>

lo cual se desarrollaron encuentros para la interacción y posicionamiento de necesidades y propuestas comunitarias y de juventudes e infancias. Particularmente, la APAMS aportó en los encuentros de septiembre y noviembre de 2023; mientras que, en este último, hubo una participación más intencionada del Tsoblej Sle kubtesel Sitalá.

Dentro del contexto municipal de Sitalá, con base en la experiencia de la APAMS en el año 2023, para inicios del 2024, la Mesa Directiva de la APAMS decidió promover un fortalecimiento de vínculos con las organizaciones de base comunitaria con quienes había diversos grados de alianza y acercamiento. Entre los meses de febrero a mayo del presente año, se logró fortalecer y amplificar una alianza comunitaria que retoma los mecanismos de organización del Tsoblej Sle kubtesel Sitalá, integrando a otras organizaciones de base comunitaria, las cuales son: el grupo local del movimiento estatal de parteras *Nich Ixim*, organización de artesanas *Luchiyej Antsetic ta Sitalá*, organización municipal de mieleros y el concejo de seguridad municipal (este último es independiente del gobierno municipal, que retoma la visión social del núcleo local que anteriormente se autodenominaba como MODEVITE).⁷

La primera acción que ha realizado la alianza comunitaria Tsoblej Sle kubtesel Sitalá, es un acercamiento a los candidatos a la presidencia municipal dentro del marco de elecciones del presente año. Que tuvo como resultado la firma de acuerdos de colaboración que suponen un primer paso que deberán retomarse ahora que se sabe quién de los candidatos ganó la presidencia municipal. Dentro de los acuerdos firmados se indica que el nuevo ayuntamiento municipal se compromete a “definir como prioridad municipal la atención al mejoramiento de los servicios de agua y saneamiento para las comunidades asociadas en el Tsoblej Sle kubtesel Sitalá, iniciando por acciones a nivel comunitario en las comunidades priorizadas en el Plan de Gestión de la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitalá” (Acta de acuerdos, entre la candidata a presidencia municipal por el partido político MORENA y las estructuras sociales municipales integradas en el Tsoblej Sle kubtesel Sitalá, 2024; documento interno). Entre otros acuerdos, se buscará materializar diversas acciones para avanzar con mayor claridad en el cumplimiento de los derechos humanos al agua y al saneamiento, así como otros derechos, en beneficio de las comunidades y familias que más lo necesitan.

Sin embargo, esta no es la primera vez que se logran acuerdos escritos entre la APAMS e instancias de gobierno. Por lo tanto, será fundamental dar seguimiento con una estrecha colaboración con diversos actores. Siendo la academia uno de los sectores con menos presencia en este tipo de iniciativas para el fomento de la gobernanza del agua.

7 MODEVITE significa Movimiento en Defensa de la Vida y el Territorio. Este movimiento sigue vigente en Chiapas.

APORTES DEL CASO DE LA APAMS PARA EL DESARROLLO RURAL EN CHIAPAS

La APAMS es un claro referente de las posibilidades de organización de base comunitaria para la estructuración de propuestas para el mejoramiento de las condiciones en la vida rural con perspectiva de justicia social. En pocos años, la APAMS ha iniciado su caminar en el territorio de Sitalá con la finalidad de construir mayores oportunidades para el desarrollo de las actividades de los patronatos de agua, que impacte positivamente en diversos sentidos, sobre todo en mejorar la cobertura y la calidad de la infraestructura de agua y saneamiento.

La gestión comunitaria del agua, materializada en acciones coordinadas por los patronatos de agua, es un mecanismo de participación social que existe en diversos territorios rurales de Chiapas desde hace muchas generaciones, pero poco reconocida en los marcos legales e institucionales, y con retos enormes para su sostenibilidad en los distintos contextos. Por ello, es inaplazable la generación de políticas públicas y acuerdos sociales que lo fortalezcan para lograr avances en el cumplimiento de los diversos derechos asociados al agua y al saneamiento.

En las localidades de Sitalá existen ejemplos de la invaluable labor de los patronatos de agua, pero también se reconoce que en diversos sentidos los patronatos de agua son rebasados ante los retos económicos, sociales, técnicos y administrativos que implica sostener los servicios de agua y saneamiento en las comunidades rurales.

Es importante profundizar en el conocimiento acerca de estas expresiones organizativas que están construyendo propuestas para la solución de problemáticas de agua y saneamiento. Así como aportar propuestas sólidas, basadas en el conocimiento local y empírico, para el fortalecimiento de sujetos sociales que puedan conformar organizaciones sociales para posicionar al sector rural en el escenario de gobernanza territorial del agua y el saneamiento.

En el año 2022, la experiencia de la APAMS inspiró a varios patronatos de agua del municipio de Chenalhó, quienes a finales del mismo año formalizaron la creación de su propio proceso organizativo, autodenominándose como la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Chenalhó (APAMCH). Estos patronatos de agua de Chenalhó tuvieron distintos acercamientos con representantes de la APAMS en eventos e intercambios de experiencia, siendo lo más destacable: el Primer Foro de Escucha Estatal realizado en junio de 2022 y el Encuentro Interestatal de Gestión Comunitaria del Agua realizado en septiembre de 2022.

En este escenario, los procesos organizativos de patronatos y comités de agua aparecen en los recientes años con el potencial de articular acciones entre sociedad civil organizada y el sector gubernamental. Tal es el hecho de

actual sueño colectivo de diversas representaciones comunitarias que están impulsando acciones hacia un plan de justicia hídrica para Chiapas. Esfuerzo que podrá tener mayor alcance en la medida en que se sumen diversos sectores de la sociedad, como la academia, la cual puede podría aportar no sólo en la documentación de las problemáticas o el diseño de tecnologías alternativas, sino también en el desarrollo de proyectos de vinculación comunitaria con enfoque de investigación acción participativa.

REFERENCIAS

- Bobrow-Strain, A.** (2015). *Enemigos íntimos: Terratenientes, poder y violencia en Chiapas* (1.^a ed.). UNAM: CIMSUR, CONACULTA, CONECULTA, UNACH, UNICACH, UNICH, COCYTECH.
- Cántaro Azul.** (2023). *¿Qué es la gestión comunitaria del agua y el saneamiento?* Fundación W.K. Kellogg, Fundación AVINA y Fundación Gonzalo Río Arronte-Institución de Asistencia Privada.
- Murillo-Licea, D., y Soares-Moraes, D.** (2017). Patrones de manejo y negociación por el agua en parajes tsotsiles de la ladera sur del volcán Tsonte'vits, Chiapas, México. *Revista LiminaR, Estudios Sociales y Humanísticos*, 15(1), 163–176. <https://doi.org/10.2536/liminar.v15i1.501>
- Secretaría de Bienestar.** (2024). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2024 – 07 Chiapas – 07082 Sitalá*. Gobierno de México <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/887335/07082Sitala2024.pdf>
- UNESCO.** (2022). *Organizaciones comunitarias de servicios de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe*. Francia y Uruguay.

DOCUMENTO
ACADÉMICO

Programa educativo de Ingeniería
Ambiental de la
Facultad de Ingeniería, Universidad de
Ciencias y Artes de Chiapas.
20 aniversario

Sería Environmental Engineering Educational Program of the Faculty
of Engineering, UNICACH, 20th Anniversary

Rebeca Isabel Martínez Salinas
rebeca.martinez@unicach.mx

Hugo Alejandro Nájera Aguilar
hugo.najera@unicach.mx

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS. MÉXICO



Para citar este artículo:

Martínez Salinas, R. I., & Nájera Aguilar, H. A. Programa educativo de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas 20 aniversario. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39). Recuperado a partir de <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/433>

Este número de la Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo de la Universidad Autónoma de Chiapas conmemora los veinte años de creación de la carrera de Ingeniería ambiental, programa educativo de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas - UNICACH. Deseamos compartir algunos de los resultados y contribuciones que aportan sus egresados, investigadores y colaboradores. A lo largo de estos años han logrado crear una comunidad que se mantiene vigente ante los retos del cambio climático, la vigilancia al cumplimiento de la legislación y normatividad ambiental para la administración equitativa de los valiosos recursos naturales que nos provee nuestra entidad y la región para el mundo. Diversas organizaciones sociales y gobiernos reconocen la importancia crucial de los profesionistas de la Ingeniería ambiental en la protección y restauración del medio ambiente, que resalta su importante función con la metáfora actual “sanadores del planeta”.

El acceso al agua es una necesidad social de vital importancia para que las familias y comunidades puedan vivir de forma digna, siendo el agua un elemento esencial para procurar la salud y otros derechos asociados como la educación, un ambiente sano, entre otros. Sin embargo, existe una brecha de acceso al agua para uso domiciliario con notorias diferencias entre los ámbitos urbano y rural. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) la cobertura de agua potable en los hogares en América Latina alcanza sólo el 35 % en las zonas rurales, mientras que la cobertura en las zonas urbanas alcanza el 90 % (UNESCO, 2022).

Desde su creación, el programa ha formado recursos humanos de alta calidad, competentes y éticos en los niveles de licenciatura y posgrado. En su camino, se han estrechado lazos de amistad y colaboración con académicos e investigadores de diversas instituciones de educación superior -como la UNACH- y que hoy contribuyen a la publicación de este número con fines de divulgación académica y científica. Agradecemos ampliamente la colaboración de sus egresados que continúan su especialización o labor en instituciones como el Tecnológico Nacional de México a través del Instituto Tecnológico de Tapachula y del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, la Universidad Autónoma de Chiapas, la Secretaría de Protección

Civil Municipal de Tuxtla Gutiérrez, la Fundación Cántaro Azul A.C. y por supuesto, la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Esta publicación incluye 7 artículos, en su mayoría convergen en problemáticas ambientales y fenómenos naturales de alta preocupación para la sociedad y que continúan siendo un reto en la búsqueda de soluciones conjuntas, en referencia al manejo de los residuos sólidos urbanos, la generación de las aguas residuales en diferentes sectores económicos, la gobernanza del recurso hídrico en las comunidades y alternativas para su desinfección, el tratamiento de aguas residuales complejas y el riesgo sísmico en el área metropolitana. La contribución de cada artículo queda plasmada en aspectos que afectan a la sociedad en general y muestran la necesidad de continuar con el abordaje de estos retos, tomando en cuenta a los sectores sociales, académicos, empresariales, científicos y de gobierno de manera integral.

El abordaje sobre la disposición inadecuada de los residuos sólidos que se genera en cada casa, sitio de trabajo o espacio público por cada habitante en nuestro estado, así como su manejo, se presentan de manera clara en “El destino de la basura: Una mirada a sus impactos” proporciona una visión global sobre la disposición final de la basura en México, así como sus principales impactos ambientales y sociales. En “El estudio de generación de residuos sólidos urbanos en la cabecera municipal de Chapilla, Chiapas” se presenta de manera detallada la generación per cápita y la composición de los residuos, además de las estrategias de manejo que incluyen la modificación de la normatividad local y la importancia de campañas de educación ambiental, con el objetivo de mejorar las condiciones actuales para el sitio de estudio.

El tema del recurso hídrico es de importancia urgente y relevante tanto a nivel local como internacional, requiere de los esfuerzos permanentes de cada sector de la sociedad. En este orden, algunos de los autores de este número abordan temas que tratan desde la organización comunitaria en el contexto rural e indígena que velan por el acceso al agua en su contexto, lo que ha permitido avanzar en el cumplimiento de los derechos humanos al agua y al saneamiento “El caso de la Asociación de Patronatos de Agua del Municipio de Sitúala”, hasta la explicación de los impactos por contaminantes como las grasas y los aceites en las aguas residuales provenientes del sector hotelero en el Caribe mexicano, además de sus retos, alternativas y recomendaciones para la disminución de su impacto. Otro escenario que da a conocer estrategias correctivas en el tratamiento de aguas residuales es el artículo “Aplicación de un proceso electroquímico para tratar residuos líquidos de pruebas de tinción de Gram” en donde los autores presentan los ensayos de tratabilidad para un agua residual muy compleja de tratar dada su alta carga orgánica y baja biodegradabilidad, este proceso puede ser una opción real de tratamiento para mezclas complejas de residuos de

colorantes. Otra alternativa relacionada en la disminución de los impactos en el agua es la obtención de colorantes orgánicos que pueden ser obtenidos a bajo costo y que aportan con una acción desinfectante en el agua, este tema se muestra en el artículo “Caracterización del color verdadero de pigmentos extraídos de *vida Orellana* y *Brassica oleracea*, var. *Capitata* comparados con *Indigofera suffruticosa* y azul de metileno”.

Finalmente, este número presenta el “Peligro sísmico en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: dos casos de estudio”, los autores buscan hacer un aporte al entendimiento del peligro sísmico en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, a través del análisis de los daños históricos y las características del suelo como un elemento fundamental en el efecto de sitio en la región, empleando una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica. Se presentan mapas que pueden ser utilizados como herramientas clave para la gestión del riesgo y la planificación urbana en la región.

Los trabajos que se presentan en esta publicación muestran solo una pequeña parte de la amplia diversidad de problemáticas relacionadas con el medio ambiente, su preservación, conservación, manejo y administración de los recursos naturales que permitan no comprometer su disponibilidad para generaciones futuras y donde el papel de la Ingeniería ambiental ocupa un lugar relevante y necesario para contribuir en el orden público y privado.



Figura 1



Figura 2

En conmemoración del 20 aniversario del programa educativo de Ingeniería ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UNICACH, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a las 29 generaciones de egresados por llevar el espíritu de nuestra carrera más allá de las aulas y transformarlo en acciones concretas que transforman el mundo a través de su éxito y compromiso como reflejo de la calidad y dedicación del esfuerzo en su formación académica. A los directivos que han creído en el programa educativo y han sido clave para posicionar a nuestra carrera como impulsora de cambio. A los docentes por ser la columna vertebral de este logro, que con su enseñanza y compromiso han inspirado a generaciones de ingenieros e ingenieras ambientales a trabajar por un futuro sostenible. Al personal administrativo que con su apoyo constante y esfuerzo diario permite mantener todo en marcha de manera entusiasta y fundamental para nuestra comunidad.

Gracias por ser parte de esta historia y construir juntos un legado que continuará impactando positiva y favorablemente a nuestra sociedad y al entorno.