

ISSN 3061-8444



# Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química

Año 11, número 11, enero-diciembre 2025

<https://revistatediq.azc.uam.mx/>

Publicación Anual

Universidad  
Autónoma  
Metropolitana   
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**



**REVISTA TENDENCIAS EN DOCENCIA E INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA** Año 11, Número 11, enero-diciembre de 2025, es una publicación anual de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Azcapotzalco. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Rancho los Colorines, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, Ciudad de México y Av. San Pablo No. 420, Edificio HP, 1er. Piso, Col. Nueva El Rosario, C.P. 02128, Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, Tel: (+52) 55-5318-9000 ext. 9029. Página electrónica: <https://revistatediq.azc.uam.mx>

Editor Responsable: Dr. Gerardo Chávez Esquivel, Dirección electrónica: [areaq@azc.uam.mx](mailto:areaq@azc.uam.mx), Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2022- 090716580800-102, ISSN 3061-8444, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Dr. Gerardo Chávez Esquivel, Presidente del Comité Editorial, Departamento de Ciencias Básicas, Unidad Azcapotzalco. Fecha de la última modificación: 31 de diciembre de 2025. Tamaño del archivo 40.9 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

# DIRECTORIO

## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. Gustavo Pacheco López  
*RECTOR GENERAL*

Dra. Esthela Irene Sotelo Núñez  
*SECRETARIA GENERAL*

...

## UNIDAD AZCAPOTZALCO

Dra. Yadira Zavala Osorio  
*RECTORA DE UNIDAD*

Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas  
*SECRETARIO DE UNIDAD*

...

## DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

Dr. Rafael Escalera Pérez  
*DIRECTOR DE LA DIVISIÓN*

Dra. Maricela Claudia Bravo Contreras  
*SECRETARIA ACADÉMICA*

Dr. Ricardo Teodoro Páez Hernández  
*JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS*

Dr. Ernesto Rodrigo Vázquez Cerón  
*JEFE DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA*

M. en I. Q. Carlos Rogelio Tapia Medina  
*JEFE DEL DEPARTAMENTO DE ENERGÍA*

Dra. Midori Landa Castro  
*Jefa del Departamento de Materiales*

Dr. Leonardo Daniel Sánchez Martínez  
*Jefe del Departamento de Sistemas*

# DIRECTORIO EDITORIAL

Dr. Gerardo Chávez Esquivel  
*PRESIDENTE DEL COMITÉ EDITORIAL*

M. en C. Hermilo Benito Goñi Cedeño  
*SECRETARIO*

M. en C. Margarita Chávez Martínez  
*COORDINADORA EDITORIAL*

Dr. Gerardo Chávez Esquivel  
M. en C. Hermilo Benito Goñi Cedeño  
M. en C. Margarita Chávez Martínez  
M. en C. María Rita Valladares Rodríguez  
M. en C. Erasmo Flores Valverde  
Dra. Marisol Espinoza Castañeda  
Dr. Felix Antonio Naranjo Castañeda  
M. en C. Gumercinda Corona Álvarez  
Dr. Gustavo Tavizón Alvarado  
Dra. Johanna Patricia Camacho González  
*COMITÉ EDITORIAL*

C.P. Rosa María Benítez Mendoza  
*JEFA DE OFICINA DE PRODUCCIÓN EDITORIAL Y DIFUSIÓN DE EVENTOS*

D.C.G. Juan Manuel Galindo Medina  
D.C.G. Azalea Idalid Martínez Pérez  
*ASESORES TÉCNICOS*

Lic. Juan Ramírez Godínez  
Lic. Nicolas Pérez Diego  
*REPOSITORIO INSTITUCIONAL ZALOAMATI*

# EDITORIAL

La Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química, publicación anual de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), presenta con orgullo su décima primera edición correspondiente al año 2025. Este número reúne un total de 116 artículos, de los cuales 10 son de divulgación y 106 de investigación. Los artículos se organizan en cuatro ejes temáticos: Educación Química, con 11 contribuciones; Química Ambiental, con 12; Química de Materiales, con 70; y Química de la Vida, con 23 trabajos. Todos los manuscritos fueron sometidos a un riguroso proceso de arbitraje por pares, a cargo del Comité Científico Evaluador, garantizando la calidad académica y la pertinencia de los contenidos publicados. Entre los trabajos más destacados, en el área de Educación Química se encuentra “Fotómetro didáctico: Alternativa para la introducción al análisis cuantitativo”, desarrollado por investigadores de la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. En este estudio se presenta la construcción de un fotómetro didáctico de bajo costo, capaz de obtener espectros en la región visible y determinar concentraciones mediante la ley de Lambert-Beer, mostrando buena linealidad y utilidad pedagógica con valores comparables de un espectrofotómetro comercial. En Química Ambiental destaca el artículo “Influencia de los jales mineros en el contenido de arsénico, plomo y cadmio en polvos de azotea de Zimapán, Hidalgo”, realizado por investigadores de la UAM-Azcapotzalco. Los autores reportan altas concentraciones totales de arsénico y plomo, así como una elevada bioaccesibilidad gástrica, especialmente del plomo, lo que evidencia un riesgo potencial asociado a la dispersión eólica de jales mineros urbanos. Dentro de la temática de Química de Materiales, el trabajo “Desarrollo de biopelículas con características plásticas a partir de residuos agroindustriales”, elaborado por científicos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, describe la síntesis de biopelículas a partir de celulosa y almidón obtenidos de residuos de agave y cáscara de papa, con buena resistencia mecánica y estabilidad térmica, identificando además una composición óptima mediante diseño de experimentos. En el área de Química de la Vida sobresale el estudio “Evaluación de la actividad antiparasitaria in vitro de una serie de derivados nitrados y no nitrados de la dehidroepiandrosterona”, desarrollado por investigadores de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. En este trabajo se evaluaron seis derivados de la dehidroepiandrosterona por su actividad antiparasitaria frente a *Trypanosoma cruzi*, obteniendo resultados prometedores para el tratamiento de la enfermedad de Chagas.

Finalmente, agradecemos profundamente a todos los autores y coautores por confiar en esta revista como plataforma para la difusión de sus investigaciones. Sus valiosas contribuciones nos permiten seguir impulsando el avance del conocimiento y el fortalecimiento de la química en sus diversas áreas.

# COMITÉ CIENTÍFICO EVALUADOR

| No. | Nombre                            | Institución                                                      | País   |
|-----|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------|
| 1   | Abrica González Paulina           | Instituto Politécnico Nacional                                   | México |
| 2   | Alcives Ávila Sorrosa             | Instituto Politécnico Nacional                                   | México |
| 3   | Agacino Valdes Esther             | Universidad Nacional Autónoma de México                          | México |
| 4   | Alfaro Fuentes Ricardo            | Universidad Nacional Autónoma de México                          | México |
| 5   | Aguirre Suárez José Florentino    | Laboratorio de Química del Medio e Industrial, S.S. de C.V.      | México |
| 6   | Alpizar Ramos María del Socorro   | Universidad Nacional Autónoma de México                          | México |
| 7   | Alvarado Ibarra Juana             | Universidad de Sonora                                            | México |
| 8   | Álvarez Legorreta Teresa          | El Colegio de la Frontera Sur                                    | México |
| 9   | Álvarez Ospina Harry              | Universidad Nacional Autónoma de México                          | México |
| 10  | Álvarez Pérez José Raziel         | Universidad Nacional Autónoma de México                          | México |
| 11  | Ávila Córdoba Liliana Ivette      | Universidad Autónoma del Estado de México                        | México |
| 12  | Avilés Flores Martha              | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua                        | México |
| 13  | Ballesteros Medrano Amaro         | Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores           | México |
| 14  | Barcena Soto Maximiliano          | Universidad de Guadalajara, Jalisco                              | México |
| 15  | Beltrán Piña Blanca Gladiana      | Universidad Autónoma de Chihuahua                                | México |
| 16  | Bencomo Trejo Daniel Gerardo      | Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua | México |
| 17  | Bernabé Pineda Margarita          | Universidad de la Cañada, Oaxaca                                 | México |
| 18  | Camacho González Johanna Patricia | Universidad de Chile                                             | Chile  |
| 19  | Cardona Fuentes Lorena Guadalupe  | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla                        | México |
| 20  | Castilla Hernández Patricia       | Universidad Autónoma Metropolitana                               | México |
| 21  | Chávez Sandoval Blanca Estela     | Instituto Politécnico Nacional                                   | México |
| 22  | Colmenares Landín Fernando        | Universidad Nacional Autónoma de México                          | México |
| 23  | Cordero Vargas Alejandro          | Universidad Nacional Autónoma de México                          | México |
| 24  | Corona Becerril David             | Universidad Autónoma del Estado de México                        | México |

|    |                                      |                                            |           |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|
| 25 | Cortés Ortega Jorge Alberto          | Universidad de Guadalajara, Jalisco        | México    |
| 26 | Cosío Castañeda Carlos               | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 27 | Crisóstomo Lucas Carmela             | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 28 | Cruz Olivares Julián                 | Universidad Autónoma del Estado de México  | México    |
| 29 | Delgado Arciniegas Garzón Eusebio    | Universidad de los Andes                   | Venezuela |
| 30 | Ezeta Mejía Araceli                  | Instituto Politécnico Nacional             | México    |
| 31 | Figueroa Ochoa Edgar Benjamín        | Universidad de Guadalajara, Jalisco        | México    |
| 32 | Flores Álamo Marcos                  | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 33 | Flores Rodríguez Gregoria            | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 34 | Fragoso Vázquez Manuel Jonathan      | Instituto Politécnico Nacional             | México    |
| 35 | Galán Vidal Carlos Andrés            | Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | México    |
| 36 | García Bassoco David                 | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 37 | García García Wendy Ivone            | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 38 | García Martínez Julio Cesar          | Instituto Politécnico Nacional             | México    |
| 39 | García Mejía Tania Ariadna           | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 40 | García Orozco Iván                   | Universidad Autónoma del Estado de México  | México    |
| 41 | García Ortega Héctor                 | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 42 | García Ramos Juan Carlos             | Universidad Autónoma de Baja California    | México    |
| 43 | García Zamora José Luis              | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  | México    |
| 44 | Gerlach Barrera Luis Ernesto         | Universidad de Sonora                      | México    |
| 45 | Gómez García José Francisco          | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 46 | González Chávez José Luz             | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 47 | González Ortiz Luis Javier           | Universidad de Guadalajara                 | México    |
| 48 | González Tenorio Diana               | Universidad Nacional Autónoma de México    | México    |
| 49 | Guillén Guillén Marilia              | Universidad de Los Andes                   | Venezuela |
| 50 | Gutiérrez Amador María del Pilar     | Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | México    |
| 51 | Gutiérrez Hernández María del Carmen | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  | México    |
| 52 | Hernández Calva Adriana              | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  | México    |
| 53 | Hernández García José Luis           | Tecnológico Nacional de México             | México    |
| 54 | Hernández Mariano José Ángel         | Hospital Juárez de México                  | México    |
| 55 | Hernández Vázquez Liliana            | Universidad Autónoma Metropolitana         | México    |

|    |                                    |                                              |           |
|----|------------------------------------|----------------------------------------------|-----------|
| 56 | Jordán Hernández María Concepción  | Universidad Autónoma de Nuevo León           | México    |
| 57 | Leal Silva Rosalva                 | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 58 | León Cedeño Fernando               | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 59 | Leyte Lugo Martha Adriana          | Universidad Autónoma Metropolitana           | México    |
| 60 | López Balbiaux Nayeli              | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 61 | Loredo Tovias Marcos               | Universidad Autónoma de San Luis Potosí      | México    |
| 62 | Luna Sánchez Rosa María            | Universidad Autónoma Metropolitana           | México    |
| 63 | Maldonado Hermenegildo Ana Laura   | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 64 | Mancilla Villa Oscar Raúl          | Colegio de Postgraduados                     | México    |
| 65 | Márquez López José Alfredo Rutilio | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla    | México    |
| 66 | Martínez Montiel Mónica            | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla    | México    |
| 67 | Mendoza Ruiz Carlos Ignacio        | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 68 | Meza Ireta Silvia Alejandra        | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla    | México    |
| 69 | Miranda Hernández Margarita        | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 70 | Morgado Moreno Jorge               | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 71 | Moscoso Sánchez Francisco Javier   | Universidad de Guadalajara, Jalisco          | México    |
| 72 | Osorio Nieto Urbano                | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 73 | Oviedo Pereira Dumas               | Instituto Politécnico Nacional               | México    |
| 74 | Palma Tirado Ana María             | Instituto Tecnológico de Celaya              | México    |
| 75 | Palomino Resendiz Roberto Luis     | Instituto Politécnico Nacional               | México    |
| 76 | Parada Molina Paulo César          | Universidad Veracruzana                      | México    |
| 77 | Pavón Romero Sergio Humberto       | Universidad Autónoma del Estado de México    | México    |
| 78 | Pérez Cabrera José Luis            | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 79 | Pérez Camacho Mariano              | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |
| 80 | Pérez Román Arturo                 | Universidad Autónoma de Chapingo             | México    |
| 81 | Poisot Vázquez Martha Emilia       | Universidad del Papaloapan, Oaxaca           | México    |
| 82 | Radilla Chávez Juan                | Universidad Politécnica del Valle de México  | México    |
| 83 | Ramírez Galicia Guillermo          | Universidad del Papaloapan, Oaxaca           | México    |
| 84 | Ramírez Serrano Armando            | Universidad Autónoma del Estado de México    | México    |
| 85 | Raviolo Andrés                     | Universidad Nacional de Río Negro, Bariloche | Argentina |
| 86 | Reyes Cruz Víctor Esteban          | Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo   | México    |
| 87 | Reyes Trejo Lino Joel              | Universidad Nacional Autónoma de México      | México    |

---

|     |                                     |                                                              |        |
|-----|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------|
| 88  | Reza San Germán Carmen<br>Magdalena | Instituto Politécnico Nacional                               | México |
| 89  | Robinson Fuentes Virginia Ángeles   | Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo             | México |
| 90  | Robles Madrigal Patricia            | Instituto Politécnico Nacional                               | México |
| 91  | Rodríguez Villar Karen              | Universidad Autónoma Metropolitana                           | México |
| 92  | Rosas Ramírez Daniel Genaro         | Universidad Nacional Autónoma de México                      | México |
| 93  | Sánchez Guadarrama María Obdulia    | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla                    | México |
| 94  | Sánchez Pérez Ana Lilia             | Universidad Autónoma Metropolitana                           | México |
| 95  | Sánchez Pozos Miriam                | Universidad Autónoma del Estado de México                    | México |
| 96  | Sandoval Flores Lidia               | Universidad Autónoma del Estado de México                    | México |
| 97  | Shimizu Durán César                 | Universidad de la Ciénega, Estado de Michoacán               | México |
| 98  | Silva León Isabel del Socorro       | Universidad Autónoma de Campeche                             | México |
| 99  | Suárez García María Andrea          | Universidad Nacional Autónoma de México                      | México |
| 100 | Tapia Mauri Daniel                  | Instituto Politécnico Nacional                               | México |
| 101 | Tavizón Alvarado Gustavo            | Universidad Nacional Autónoma de México                      | México |
| 102 | Torres Hernández Ana Elizabeth      | Universidad Nacional Autónoma de México                      | México |
| 103 | Torres Ochoa Omar                   | Universidad Nacional Autónoma de México                      | México |
| 104 | Vega Zavala Abraham                 | Universidad Nacional Autónoma de México                      | México |
| 105 | Velásquez García Ruth               | Universidad Pedagógica Nacional                              | México |
| 106 | Zacahua Tlacuatl Gregorio           | Instituto Politécnico Nacional                               | México |
| 107 | Zumalacárregui Lourdes Margarita    | Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría | Cuba   |

---

# SECCIONES POR TEMÁTICA

## Sección 1. Artículos de Divulgación

### Sección 2. Educación Química

Ambientes de Aprendizaje  
Estrategias de Enseñanza Aprendizaje  
Procesos de Evaluación Educativa

### Sección 3. Química Ambiental

Química del Agua  
Química Verde  
Residuos Sólidos Urbanos  
Toxicología química

### Sección 4. Química de Materiales

Catálisis  
Cerámicos  
Electroquímica  
Fisicoquímica  
Ingeniería Química  
Metalurgia  
Minerales  
Nanoquímica  
Polímeros  
Química Inorgánica  
Química Orgánica  
Química de Superficies  
Química Teórica

### Sección 5. Química de la Vida

Bioquímica  
Biotecnología  
Microbiología  
Química de Medicamentos y Salud  
Química de Productos Naturales

# CONTENIDO

|                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DIRECTORIO .....                                                                                                                                                               | iii |
| DIRECTORIO EDITORIAL .....                                                                                                                                                     | iv  |
| EDITORIAL.....                                                                                                                                                                 | v   |
| COMITÉ CIENTÍFICO EVALUADOR.....                                                                                                                                               | vi  |
| SECCIONES POR TEMÁTICA .....                                                                                                                                                   | x   |
| ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN .....                                                                                                                                                 | 16  |
| La luz oculta de los lantánidos: Una introducción a su luminiscencia, propiedades y aplicaciones tecnológicas .....                                                            | 17  |
| Rapidez de reacción usando una celda electrolítica .....                                                                                                                       | 24  |
| Síntesis sostenible de Fticol a escala de laboratorio vía el producto <i>rac</i> -Weitz-Scheffer: Una propuesta para innovar el laboratorio de química.....                    | 29  |
| Eficiencia en el uso y estrés hídrico .....                                                                                                                                    | 33  |
| Estado de ánimo: microbiota-intestino-cerebro .....                                                                                                                            | 41  |
| Síntesis de compuestos de Pd(II) y sus aplicaciones catalíticas en reacciones de acoplamiento cruzado de sustratos orgánicos para la formación de enlaces C-C y C-N.....       | 49  |
| Nanocatalizadores de MOF's para la producción de energías limpias: Aplicaciones y perspectivas futuras .....                                                                   | 58  |
| El futuro está en los nanomateriales: conceptos, diseño y fabricación para nuevas tecnologías.....                                                                             | 65  |
| Modelado de la digestión anaerobia: de la aplicación de modelos mecanísticos a las redes neuronales artificiales .....                                                         | 75  |
| Glucosa-6-fosfato deshidrogenasa:: 6-fosfogluconolactonasa una diana terapéutica en <i>Giardia lamblia</i> , <i>Trichomonas vaginalis</i> y <i>Plasmodium falciparum</i> ..... | 82  |
| ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN .....                                                                                                                                               | 93  |
| EDUCACIÓN QUÍMICA.....                                                                                                                                                         | 94  |
| Ambientes de Aprendizaje.....                                                                                                                                                  | 95  |
| Proteínas: Estudio fluorométrico de la asociación de lisozima con alizarina .....                                                                                              | 96  |
| Fotómetro didáctico: Alternativa para la introducción al análisis cuantitativo .....                                                                                           | 102 |
| Estrategias de Enseñanza Aprendizaje.....                                                                                                                                      | 107 |
| El acompañamiento tutorial en la regularización académica de alumnos deudores de Matemáticas en Ingeniería Química. Caso ESQIE - IPN.....                                      | 108 |
| Retos y logros de las clases híbridas en la enseñanza de materias socio-humanísticas para alumnos de ingeniería química. Caso ESQIE - IPN .....                                | 117 |
| Bienestar estudiantil como factor clave en la satisfacción del aprendizaje de la química en la carrera de ingeniería química industrial.....                                   | 127 |
| Validez y confiabilidad de un pretest para el tema "Metabolismo" de biología III del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.....                                         | 134 |
| Evaluación del movimiento armónico simple empleando Tracker .....                                                                                                              | 144 |
| Procesos de Evaluación Educativa.....                                                                                                                                          | 150 |
| Percepción de la calidad en la enseñanza de la química en el Departamento de Formación Básica de la ESQIE - IPN.....                                                           | 151 |
| QUÍMICA AMBIENTAL .....                                                                                                                                                        | 158 |
| Química del Agua.....                                                                                                                                                          | 159 |
| Mezcla de óxidos metálicos ZnAlFe para el tratamiento remedial del arsénico en agua.....                                                                                       | 160 |
| Tratamiento sonoquímico de baja frecuencia para la degradación del colorante reactivo negro 5 y su impacto en la fitotoxicidad .....                                           | 167 |
| Impacto potencial de cuerpos receptores contaminados sobre la calidad del agua subterránea: el caso del pozo "Villa Los Milagros", Hidalgo .....                               | 174 |

|                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Evaluación de la calidad del agua de la laguna Chignahuapan municipio de Almoloya del río Edomex mediante cinco ICAs .....                                                                              | 183 |
| Nanopartículas de cobalto como activador de persulfato para la decoloración de azul de metileno .....                                                                                                   | 191 |
| Remoción de Cristal Violeta mediante adsorción con óxido mixto Mg/Fe .....                                                                                                                              | 197 |
| Química Verde.....                                                                                                                                                                                      | 205 |
| Simulación estequiométrica integrada en la gasificación de residuos lignocelulósicos mediante un reactor de lecho fluidizado .....                                                                      | 206 |
| Mecanismo de la producción de hidrógeno verde por separación electrolítica del agua.....                                                                                                                | 213 |
| Residuos Sólidos Urbanos.....                                                                                                                                                                           | 218 |
| Propuesta de diseño de una planta recicladora de plásticos de polietileno de alta densidad (PEAD) y polietileno de baja densidad (PEBD) en México como alternativa de gestión de estos residuos .....   | 219 |
| Toxicología Química.....                                                                                                                                                                                | 225 |
| Influencia de los jales mineros en el contenido de arsénico, plomo y cadmio en polvos de azotea de Zimapán, Hidalgo .....                                                                               | 226 |
| QUÍMICA DE MATERIALES.....                                                                                                                                                                              | 231 |
| Catálisis .....                                                                                                                                                                                         | 232 |
| Desarrollo y optimización de un proceso catalítico para la obtención de 5-metilpirrolidonas asistida por microondas.....                                                                                | 233 |
| Degradación de paracetamol mediante fotocatalisis con diferentes tipos de catalizador a base de TiO <sub>2</sub> .....                                                                                  | 239 |
| Decoloración de Rojo Congo mediante la reacción tipo Fenton asistida por ultrasonido.....                                                                                                               | 245 |
| Influencia de la presencia de pétalos de rosa en la síntesis de nanopartículas de CuO.....                                                                                                              | 252 |
| Degradación fotocatalítica de fenol mediante catalizadores híbridos de cadmio-TiO <sub>2</sub> /quitosano.....                                                                                          | 259 |
| Estudio de fotocatalizadores basados en TiO <sub>2</sub> dopados con no metales para remover colorantes .....                                                                                           | 269 |
| Síntesis de ZnO mediante el método de combustión en solución para la degradación de naproxeno sódico.....                                                                                               | 275 |
| Producción de H <sub>2</sub> como fuente de energía limpia a través de procesos fotocatalíticos empleando materiales sulfurados.....                                                                    | 281 |
| Síntesis de materiales de titanía pura y titanía con samario para la degradación del fármaco ibuprofeno mediante reacciones de fotocatalisis.....                                                       | 287 |
| Decoloración de índigo carmín por medio de Fenton heterogéneo.....                                                                                                                                      | 293 |
| Fotodegradación de naproxeno con ferritas de Co/Ni/Cu .....                                                                                                                                             | 302 |
| Heteropoliácidos de hierro para la degradación del ácido 2,4-diclorofenoxiacético .....                                                                                                                 | 310 |
| Cerámicos.....                                                                                                                                                                                          | 317 |
| Síntesis de HDL Ni/Fe mediante tratamiento hidrotérmico y asistido por ultrasonido .....                                                                                                                | 318 |
| Desarrollo de óxidos de grafeno dopados y análisis de su comportamiento como recubrimiento a las baterías de LiFePO <sub>4</sub> .....                                                                  | 325 |
| Síntesis y caracterización de esmaltes y vidriados cerámicos para recubrimiento y protección de aceros .....                                                                                            | 332 |
| Impresión 3D de piezas cerámicas con base en procesos de extrusión de pastas cerámicas .....                                                                                                            | 338 |
| Optimización de la síntesis de geopolímeros de metacaolín con NaOH y Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> por el método de Taguchi.....                                                                     | 345 |
| Electroquímica.....                                                                                                                                                                                     | 352 |
| Evaluación de la eficiencia del Sarcosyl como inhibidor de corrosión para acero API 5LX52 en medio ácido .....                                                                                          | 353 |
| Influencia de 1-bencilteobromina (1-BTB) y 7-bencilteofilina (7-BTF) en la corrosión de acero en medio salino (3% NaCl) saturado de CO <sub>2</sub> a altas temperaturas por el método de la rueda..... | 364 |
| Fisicoquímica.....                                                                                                                                                                                      | 369 |
| El rol del ácido ftálico en la mejora de la emisión roja en complejos de europio (III) .....                                                                                                            | 370 |
| Disolución de un tejido orgánico con diferentes agentes oxidantes en un estudio comparativo del NaClO, ClO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....                                           | 376 |
| Ingeniería Química.....                                                                                                                                                                                 | 388 |
| Viscosimetría de Couette de doble espacio anular para mediciones de viscosidad intrínseca .....                                                                                                         | 389 |
| Evaluación de la evolución del comportamiento reológico de una espuma modelo de estimulación hidráulica.....                                                                                            | 398 |
| Reutilización de <i>Passak</i> para la obtención de un adsorbente eficiente .....                                                                                                                       | 405 |
| Uso de zeolita natural en reactor biológico anaerobio .....                                                                                                                                             | 410 |

|                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Conversión termoquímica de residuos de naranja en gas de síntesis como estrategia de valorización energética: modelado y simulación en Aspen Plus .....                                             | 416 |
| Modelado predictivo de la viscosidad de 21 líquidos iónicos a presión atmosférica usando redes neuronales artificiales multicapa .....                                                              | 422 |
| M Excel-VBA como Plataforma para el Diseño Preliminar de Columnas de Destilación con Métodos Cortos.....                                                                                            | 437 |
| Metalurgia.....                                                                                                                                                                                     | 447 |
| Análisis cristalográfico durante la transformación de fase reversible $M_3O_4$ - $Mn_2O_3$ - $Mn_3O_4$ .....                                                                                        | 448 |
| Minerales.....                                                                                                                                                                                      | 453 |
| Evaluación del intercambio iónico de amonio en mordenita modificada con Na, K y Ca.....                                                                                                             | 454 |
| Estudio mineralógico y caracterización de arena de la playa La Barra de Sontecomapan, municipio de Catemaco (Región de Los Tuxtlas), Veracruz, México .....                                         | 466 |
| Análisis granulométrico de arena de mar de la Playa Luces Pie de la Cuesta, Acapulco de Juárez, México .....                                                                                        | 476 |
| Nanoquímica.....                                                                                                                                                                                    | 485 |
| Impacto de nanopartículas metálicas por síntesis verde en bacterias fijadoras de nitrógeno .....                                                                                                    | 486 |
| Campos eléctricos locales en nanomateriales 2D de oro y su efecto en las propiedades ópticas de moléculas puestas en sus vecindades.....                                                            | 494 |
| Biosíntesis de nanopartículas de cobre utilizando hongo melena de león (" <i>Hericium erinaceus</i> "): Influencia de las condiciones de síntesis en la distribución de tamaño.....                 | 506 |
| Estudio de la liberación de ácido lipoico en materiales híbridos y bio-híbridos a base de hidróxidos dobles laminares y biopolímeros.....                                                           | 513 |
| Hidróxidos dobles laminares ZnAl y MgAl como transportadores de clorofilina de cobre sódica .....                                                                                                   | 522 |
| Polímeros .....                                                                                                                                                                                     | 528 |
| Electrohilado de PVA con fluconazol entrecruzado con epíclorohidrina en medio básico aplicado con ácido hialurónico en pacientes con onicocriptosis en CDMX.....                                    | 529 |
| Evaluación mecánica de soldaduras en residuos plásticos productos de las cimbras para construcción con concreto .....                                                                               | 537 |
| Desarrollo de biopelículas con características plásticas a partir de residuos agroindustriales.....                                                                                                 | 546 |
| Efecto del tipo de resina de polimerización en las propiedades mecánicas del elemento estructural de brazo para grúa de CFE .....                                                                   | 553 |
| Química Inorgánica .....                                                                                                                                                                            | 561 |
| Modulación luminiscente multicolor verde a rojo en compuestos de coordinación [Tb/Eu(DPA) <sub>3</sub> ].....                                                                                       | 562 |
| Síntesis y caracterización hexamolibdocobaltato(III) de hexaacuogalio .....                                                                                                                         | 569 |
| Síntesis y caracterización de compuestos organometálicos tipo <i>fac</i> -[Re(CO) <sub>3</sub> (N-N')X] con ligantes N-N' derivados del 2-Naftaldehído con potencial actividad anticancerígena..... | 575 |
| Compuestos organometálicos de Mn(I) derivados de bases de Schiff bidentadas aromáticas: síntesis y caracterización.....                                                                             | 582 |
| Química Orgánica .....                                                                                                                                                                              | 587 |
| Perspectiva de heterociclización [3+2] basado en Menadiona .....                                                                                                                                    | 588 |
| Síntesis de nuevos híbridos sacarina-sulfonamida a partir de fármacos reciclados .....                                                                                                              | 593 |
| Síntesis asistida por microondas del triazolil xilobencilado .....                                                                                                                                  | 601 |
| Reacción multicomponente del glicoconjugado-triazolil 4-bromobencilado .....                                                                                                                        | 607 |
| Síntesis de un glicoconjugado triazol teofilina con potencial actividad antimicrobiana .....                                                                                                        | 613 |
| Obtención del glicoconjugado triazolil-yodobencilado mediante una reacción tipo Fokin .....                                                                                                         | 619 |
| Síntesis de 4-clorobencil- triazolil-alofuranosa mediante una reacción multicomponente CuAAC tipo Sharpless .....                                                                                   | 625 |
| Preparación del 4-bromobencil-triazolil-ribofuranosa, mediante una reacción multicomponente tipo Sharpless .....                                                                                    | 630 |
| Síntesis de un glicoconjugado triazol 1,5-disustituido partiendo de S-alenilbencimidazol y catalizado con Cu(I).....                                                                                | 636 |
| Síntesis de un plausible inhibidor de $\alpha$ -glucosidasa derivado de etinilestradiol-teobromina .....                                                                                            | 642 |
| Síntesis de un potencial inhibidor de $\alpha$ -glucosidasa .....                                                                                                                                   | 648 |

|                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Química de Superficies .....                                                                                                                                                            | 653 |
| Estudio de la influencia de la presión de oxígeno en la reacción de oxidación de CO sobre un cúmulo de percolación recubierto de Pt(100) mediante simulación Monte Carlo dinámico ..... | 654 |
| Comportamiento antimicrobiano y reológico de hidrogeles de TiO <sub>2</sub> /quitosano-carboximetilcelulosa .....                                                                       | 661 |
| Adsorción de arsénico con Fe y Ag soportados en una zeolita natural .....                                                                                                               | 671 |
| Remoción de naproxeno con material híbrido carbón activado/zeolita natural con hierro .....                                                                                             | 677 |
| Química Teórica .....                                                                                                                                                                   | 683 |
| Estudio DFT de la reacción de aminólisis del epóxido de propileno con metilamina .....                                                                                                  | 684 |
| Estudio teórico de la caracterización y propiedades electrónicas de la superficie MgO/100.....                                                                                          | 692 |
| Estudio de la interacción entre excitones y polarones en semiconductores tipo Perovskitas .....                                                                                         | 700 |
| Estudio teórico de la adsorción de iones flúor en la hematita .....                                                                                                                     | 706 |
| Estudio teórico de las configuraciones antiferromagnéticas de las fases np y lp de la MOF MIL-53(Cr).....                                                                               | 712 |
| Estudio de la adsorción de CO sobre catalizadores de un solo átomo soportados en $\gamma$ -grafino .....                                                                                | 719 |
| Modelado y validación del espectro FTIR de la quitina mediante simulación molecular .....                                                                                               | 727 |
| QUÍMICA DE LA VIDA.....                                                                                                                                                                 | 734 |
| Bioquímica.....                                                                                                                                                                         | 735 |
| Derivados de benzimidazol y tiazol como inhibidores de G6PD: efectos sobre SIRT2, VEGF y viabilidad celular en líneas celulares de glioblastoma.....                                    | 736 |
| Caracterización estructural y funcional de tres variantes patogénicas humanas de glucosa 6 fosfato deshidrogenasa .....                                                                 | 753 |
| Autoensamblaje de la hidrofobina de clase I (ABH4) de <i>Agaricus bisporus</i> en diferentes interfases.....                                                                            | 763 |
| Estudio de la estabilidad térmica de la proteína TmY por dinámica molecular: efecto de la mutación Lys104Ala .....                                                                      | 769 |
| Biotecnología.....                                                                                                                                                                      | 776 |
| Evaluación del potencial de levadura de origen mezcalero para la producción de cerveza artesanal .....                                                                                  | 777 |
| Microbiología.....                                                                                                                                                                      | 784 |
| Análisis de compuestos análogos a Nitazoxanida: efecto giardicida y alteraciones en la expresión génica de <i>Giardia lamblia</i> ..                                                    | 785 |
| Aislamiento de cepas de <i>E. coli</i> y <i>Klebsiella</i> productoras de betalactamasas de espectro extendido en ejemplares de <i>Caracara plancus cheriway</i> en cautiverio .....    | 798 |
| Frecuencia de aislamiento de <i>Klebsiella pneumoniae</i> productora de $\beta$ -lactamasas en pacientes con infecciones recurrentes del tracto urinario .....                          | 806 |
| Actividad inmunoestimulante de células inactivas de <i>Lactocaseibacillus</i> IMAU60214 en macrófagos humanos .....                                                                     | 814 |
| Química de Alimentos .....                                                                                                                                                              | 822 |
| Identificación de carbohidratos en yogures bebibles .....                                                                                                                               | 823 |
| Extracción y caracterización de la capsaicina proveniente del chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> ): como una experiencia integral de docencia .....                              | 828 |
| Análisis fisicoquímico de yogurt blanco endulzado.....                                                                                                                                  | 836 |
| Química de Medicamentos.....                                                                                                                                                            | 844 |
| Síntesis verde y evaluación anticancerígena <i>in vitro</i> de derivados de benzimidazol 1,2-disustituidos .....                                                                        | 845 |
| Evaluación <i>in vitro</i> de nitratos derivados de la 3 $\beta$ ,19-hidroxiapiandrosterona sobre epimastigotes de dos aislados mexicanos de <i>Trypanosoma cruzi</i> .....             | 854 |
| Evaluación de la actividad antiparasitaria <i>in vitro</i> de una serie de derivados nitrados y no nitrados de la dehidroepiandrosterona .....                                          | 859 |
| Caracterización fenotípica de un bacteriófago con actividad lítica contra la cepa de <i>Escherichia coli</i> uropatógena CFT073 .....                                                   | 864 |
| Modelado de la interacción flutamida-megalina en presencia de los antibióticos gentamicina y kanamicina.....                                                                            | 875 |
| Acoplamiento molecular de la cucurbitacina B y el receptor $\beta_3$ -adrenérgico humano: estudio <i>in silico</i> sobre su potencial para modular el metabolismo lipídico .....        | 882 |
| Efecto del ácido acetilsalicílico sobre el desarrollo embrionario del pollo ( <i>Gallus gallus</i> ).....                                                                               | 891 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Química de Productos Naturales .....                                                                                                       | 900 |
| Evaluación fisicoquímica y biológica de la compatibilidad entre aceite de Neem y Curcumina para su uso en formulaciones farmacéuticas..... | 901 |
| Interacciones moleculares y estructura de nanopartículas de C-ficocianina/WPI-zeína obtenidas mediante pH-shifting .....                   | 909 |
| Índice de Autores.....                                                                                                                     | 918 |

# Evaluación de la calidad del agua de la laguna Chignahuapan municipio de Almoloya del río Edomex mediante cinco ICAs

Montoya-Moreno Arnulfo<sup>1</sup>, Barceló-Quintal Icela Dagmar<sup>1\*</sup>, Olvera-Neria Óscar<sup>1</sup>, Ávila-Pérez Pedro<sup>2</sup>, Gómez-Salazar Sergio<sup>3</sup>, Solís Correa Hugo Eduardo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Departamento de Ciencias Básicas. División CBI, Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

<sup>2</sup>Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Química. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara.

\*Autor para correspondencia: [ibarceloq@gmail.com](mailto:ibarceloq@gmail.com)

ORCID \*: 0000-0002-3304-9404

## Recibido:

16/mayo/2025

## Aceptado:

10/diciembre/2025

## Palabras clave:

Índice de Calidad (ICA),  
Laguna Chignahuapan,  
contaminación

## Keywords:

Quality Index (QI),  
Chignahuapan Lagoon,  
pollution

## RESUMEN

Los índices de calidad del agua (ICAs) permiten evaluar la salud de cuerpos acuáticos mediante la integración de múltiples parámetros. Este estudio compara cinco ICAs (NSF, OWQI, DRM, León y Montoya) aplicados a la laguna de Chignahuapan, un humedal Ramsar y fuente del río Lerma en México. Se utilizaron datos históricos de 11 sitios, considerando variables como OD, DBO<sub>5</sub>, nitratos, pH, turbidez y coliformes fecales. Los índices OWQI, DRM, León y Montoya, que emplean 11 parámetros, coincidieron en clasificar la mayoría de los sitios como contaminados o altamente degradados. En contraste, el índice NSF, basado en solo 7 parámetros, arrojó resultados inconsistentes. Las discrepancias reflejan la sensibilidad diferencial de los ICAs según el número de variables y la metodología de agregación. Se concluye que es necesario desarrollar índices regionales o híbridos que reflejen con mayor fidelidad la condición ecológica de humedales de montaña afectados por la presión urbana.

## ABSTRACT

Water Quality Indices (WQIs) are used to evaluate the environmental conditions of a body of water and are mathematical combinations that integrate physical, physicochemical and biological parameters that describe the state of health or the degree of contamination of an aquatic system as a whole. Currently, there are many models which must be used depending on the required quality of the body of water. This is the case of the Chignahuapan lagoon in the municipality of Almoloya del Río EDOMEX, which is the source of the Lerma River and for its evaluation five ICAS models were used: NSF, León-Dinius, Montoya et al., OQWI and ATI, of which, the last four, in which 11 parameters were used, indicated that, The lagoon has sites with poor, very bad, polluted or highly polluted quality. In the case of the NSF AQI that only uses 7 parameters, the results were not reliable.

## Introducción

Una manera de conocer o evaluar las condiciones de calidad de un cuerpo acuático, es calcular un índice que combine matemáticamente a todas las medidas de la calidad del agua y describa en forma general y fácilmente entendible si un agua está contaminada o en qué grado de contaminación se encuentra e incluso si está limpia de contaminantes, así un índice puede reflejar la condición global de la calidad del cuerpo de agua (Fernández et al., 2005, PNUMA, 2022), según estos autores, se conocen más de 30 índices de calidad de un agua que son de uso común, y consideran un número de variables que se encuentran entre 3 y 72. La mayoría de estos índices incluyen al menos tres de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) y nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), fósforo en forma de ortofosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), potencial de hidrógeno (pH), sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST). Horton (1965) ha sido uno de los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo de un Índice de Calidad del Agua (ICA). Posteriormente con trabajos de mayor envergadura, la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, realizó un estudio para evaluar el QWI o ICA con base en nueve parámetros. Prati, et al. (1971), presentaron un trabajo con trece parámetros y Dinius, (1972a, 1987b) realizó otro similar con once parámetros. Entre los ICA más empleados se destaca el propuesto por Brown et al., 1970 que es una versión modificada del Water Quality Index (WQI), desarrollada por la National Sanitation Foundation (NSF), este índice goza de amplia difusión y aplicación (Fernández et al., 2005). Según Cude (2001), las revisiones de los Índices de Calidad del Agua (ICA) han constituido una continua preocupación por su importancia, como lo demuestran los diferentes estudios, los cuales han generado nuevos enfoques y a su vez han proporcionado nuevas herramientas para el desarrollo de otros índices (Dinius, 1987b; Kung et al., 1992; Dojlido, et al., 1994). Entre las primeras comparaciones son destacables las de Landwehr and Deininger (1976), seguidas por Ott (1978) quien realizó una revisión de los índices usados en los Estados Unidos, además de una discusión detallada sobre la teoría y práctica de los Índices Ambientales en Europa en donde los aportes han provenido de estudios como los de Van Helmond y Breukel (1996). En México Montoya, et al. (1997), León (1991a) y León (1992b) desarrollaron ICAS que se aplican por la Conagua. Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las denominadas aritméticas y las multiplicativas (Brown et al. 1970). A su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. El intento más reciente

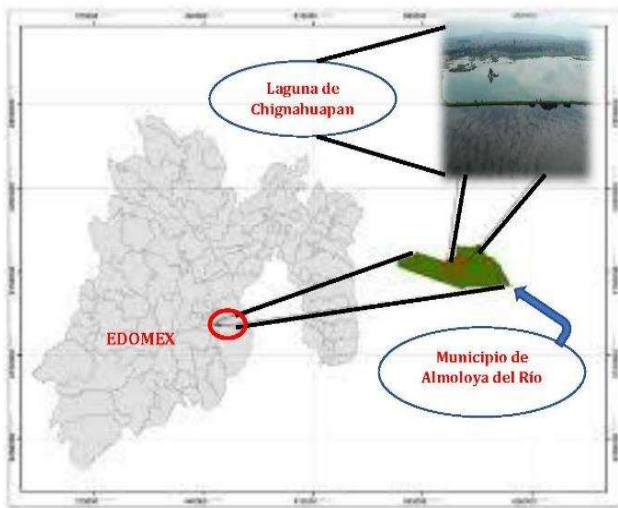
para el diseño del ICA es el de Dinius (1972a) que diseñó, a partir de la evaluación e interacción de parámetros, un ICA de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos por parámetro, que adaptó León en 1992. Autores como Ramos y Juárez, (2021) han efectuado comparaciones entre los ICAs, con la intención de lograr una homogeneización de los ICAs. Torres, et al., (2009), indica que el aplicar un Índice de Calidad del Agua se tienen ciertas ventajas como son el aplicar un método simple, conciso y válido que puede expresar la importancia de los datos generados en el laboratorio, asimismo se pueden identificar las tendencias de la calidad del agua y definir las áreas problemáticas y por lo tanto priorizar la calidad de un agua en forma detallada. No obstante, su aplicación tiene ciertas limitaciones, pues no se pueden evaluar todos los riesgos presentes en un agua, como el caso de la presencia de sustancias tóxicas y por lo tanto no son de aplicación universal, pues dependen de las condiciones ambientales que presenta la cuenca de una región, además considera que cuando el agua contiene una fuerte contaminación el valor del ICA es cercano o igual a 0%; mientras que en aguas limpias con excelentes condiciones es de 100%.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua de la Laguna Chignahuapan en el municipio de Almoloya del Río ubicada en el Valle de Toluca dentro del Estado de México, cuerpo de agua importante donde nace el río Lerma, para ello se aplicaron y compararon los índices de calidad (ICAS o WQI) de la NSF (Brown et al., (1970), el de León, (1992a y 1992b), el de Montoya, et al., (1997), el ICA de Oregon (OQWI) (Dojlido et al., 1994, Cude, 2001) y el ICA de Aquatic Toxicity Index (Wepener et al., (1992), con la finalidad de evaluar con estos índices la situación ambiental de la laguna.

La Laguna de Chignahuapan, (Figura 1), hasta hace cuatro décadas gozaba de un envidiable ecosistema lacustre con gigantes manantiales, pero desde el 23 de junio de 1950, ha sufrido una sobrexplotación, al conducir el agua a la ciudad de México mediante un gran acueducto, con esta acción se acabó también la laguna de Lerma y el caudal se empobreció. Actualmente queda el "Parque Municipal Lagunas de Chignahuapan", pertenece a una pequeña porción en el extremo sur de la cuenca del Río Lerma-Chapala-Santiago, Región Hidrológica 12, a una altitud de 2600 msnm. Esta zona concentraba ciénagas y manantiales que desaparecieron por la cantidad de agua que se envía a la Ciudad de México. La laguna de Chignahuapan abarca la zona poniente del Municipio de Almoloya del Río del EDOMEX, es el centro de los principales recursos hídricos lénticos que incluyen a las presas José Antonio Alzate e Ignacio Ramírez, la ciénega del Lerma, lagos, manantiales.

Además del recurso lótico que es el propio río Lerma. Según el criterio Ramsar, Ceballos (2003), las ciénegas del Lerma al que pertenece la laguna, son los humedales remanentes más extensos del Centro de México, especialmente de los Valles de México y Toluca.

Las ciénegas presentan diferentes hábitats, con una alta diversidad de fauna y flora acuática, incluyendo decenas de especies endémicas y en riesgo de extinción, muchas de las cuales son exclusivas de estas ciénegas. También son importantes para el mantenimiento de las aves acuáticas migratorias, ya que son el hábitat más extenso en la región en la que se encuentran (Jiménez et al., 2011).



**Figura 1.** Ubicación de la laguna de Chignahuapan en el Municipio de Almoloya del Río, EDOMEX.

## Metodología

### Muestreo

Se tomaron muestras de agua con un muestreador van Dorn en siete sitios, cinco en la Laguna Chignahuapan, una en el Bordo Dumac y otra en las descargas a la laguna. Las muestras de agua en la laguna se obtuvieron de cuatro columnas de agua formando un círculo virtual por sitio, aproximadamente con un radio de dos metros y se prepararon para cada caso una mezcla compuesta. Las muestras de agua se tomaron a 40 cm de profundidad. De los sitios S6 y S7, donde se ubican las descargas, se tomaron: del primero tres muestras y se preparó una muestra compuesta en cada muestreo y del segundo, que es un salto, se obtuvo directamente una muestra compuesta.

### Medidas in situ

Se midieron en campo los parámetros: pH, temperatura, conductividad, utilizando un potenciómetro Hannah instruments HI 98150, acoplado a un sistema vernier LabQuest con sus respectivos electrodos. Para el OD disuelto y la temperatura se utilizó un equipo YSI 55 Dissolved Oxygen. La temperatura se midió siguiendo la norma NMX-AA-007-SCFI-2013 y para el oxígeno disuelto (OD) se siguió la norma NMX-AA-012-SCFI-2001.

### Medidas ex situ

En las muestras de agua de cada sitio se determinaron los siguientes parámetros: la DBO<sub>5</sub> se determinó con un equipo DBO VELD SCIENTIFICA Modelo FOC225E y conforme a la norma NMX-AA-28-SCFI-2001, el análisis de los nitratos se efectuó con un equipo Complete Water Quality Laboratory DREL/2400 de Hach, mediante el reactivo NitraVer 5 y para las lecturas se utilizó el programa 355 Nitrate HR, para los fosfatos se consideró la norma NMX-AA-029-SCFI-2001 y el manual del espectrofotómetro de luz visible DR/2400 Hach, utilizando el método 10127 (molibdato vanadato con digestión con persulfato ácido). La alcalinidad se determinó siguiendo la norma NMX-AA-036-SCFI-2001. La dureza se calculó con la ecuación:

$$\text{Dureza en mg/L (CaCO}_3\text{)} = [\text{M}^{2+} \text{ (mg/L)}] * [50/\text{PE de M}^{2+}]$$

Dónde: M<sup>2+</sup>= estado de oxidación del metal y PE= equivalente químico.

La turbidez se midió según la norma NMX-AA-038-SCFI-2001. Los coliformes fecales se determinaron según la norma NMX-AA-042-SCFI-2015.

### Utilización de los parámetros para la obtención de los ICAS en la laguna Chignahuapan

En este trabajo, se utilizaron cinco índices de calidad: el del National Sanitation Foundation (NSF), la de León-Dinius que desarrolló el Instituto de Tecnología del Agua (IMTA), el de Montoya y colaboradores que utiliza la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el modelo de ICA de Oregon (OQWI), que se adaptó con los factores de ponderación utilizados en Costa Rica por su nomenclatura semejante al de León-Dinius y Montoya et al. Se utilizó además el ICA Aquatic Toxicity Index (ATI), que fue desarrollado por Wepener et al. (1992), ha sido utilizado para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos. Dado que existe una extensa base de datos de toxicidad principalmente para peces, los efectos tóxicos de las diferentes calidades del agua para los peces se han empleado como indicadores de la salud del ecosistema acuático.

Debido a la importancia de la laguna en cuanto al cuidado del tipo de biota existente y al ser centro de aves migratorias, se decidió utilizar en esta evaluación el quinto modelo de Índice de Calidad del Agua ATI.

En la tabla 1 se indican las ecuaciones que se han desarrollado para cada ICA que se utilizó en este trabajo, donde se señalan las características, la ponderación y escala de calificaciones para la obtención de la calidad del agua de la Laguna Chignahuapan, donde cada color indica la calidad de un cuerpo de agua.

**Tabla 1.** Relación de índices de calidad, ecuaciones, país y escala de calificaciones.

| Índice                                                               | Ecuación                                                           | Observaciones                                                                                                                                         | País            | Escala de calificaciones |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Montoya, et al., (1997)                                              | $ICA = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot SI_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$       | II: índice de calidad para el parámetro $W_i$ : coeficiente de ponderación del parámetro III: Número total de parámetros n: Número de subíndices      | México          |                          |
| NSF (National Sanitation Foundation) DT, (1978), Brown et al. (1970) | $WQI = \sum_{i=1}^n \frac{W_i \cdot SI_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$       | Promedio aritmético ponderado: $W_i$ : peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro II: subíndice de i-ésimo parámetro n: Número de subíndices     | EU              |                          |
| ICA-León (1992a), Dinius (1972a), (Índice de Calidad del Agua)       | $ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i}$                                    | Promedio geométrico ponderado: $W_i$ : peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro $Q_i$ : subíndice de i-ésimo parámetro n: Número de subíndices | México          |                          |
| OWQI (Dojildo, et al., (1994) y adaptado en Costa Rica)              | $WQI = \frac{R}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{W_i}{SI_i^2}}}$           | Donde $SI_i$ es el subíndice de cada parámetro n: Número de subíndices                                                                                | EU y Costa Rica |                          |
| ATI (Aquatic Toxicity, Index) Poornam, (2013)                        | $I = \frac{1}{100} \left( \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{SI_i} \right)^2$ | Donde $I$ es el índice de puntuación final, $q_i$ es la calidad del parámetro i-ésimo (un valor entre 0-100) n: Número de subíndices                  | EU              |                          |

**Utilización de los Índices de Calidad de la NSF (WQI)**

Se utilizó este índice que es de uso internacional con el objeto de compararlo con los que utiliza el IMTA (León-Dinius) y la CONAGUA (Montoya et al., 1997).

Según la tabla 1, la ecuación para el cálculo del índice para la NSF es un promedio aritmético ponderado, para el cual se tienen solo 7 parámetros cuyas ecuaciones se citan en la tabla 2a así como el factor de ponderación para cada parámetro, cerrándose el total en 1 (tabla 2b). Con el fin de obtener el OD del agua y aplicar la ecuación propuesta por Montoya et al., (1997a) se calculó primero el OD de saturación, utilizando la ecuación obtenida por Díaz-Rodea, et al., 2022.

**Utilización de los Índices de Calidad de León-Dinius**

El ICA de León (1991a) y (1992b), desarrollado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), agrupa las variables contaminantes más representativas.

**Tabla 2.** (a). Ecuaciones que se utilizan en el índice del NSF. (b). Tabla del factor de ponderación para cada parámetro.

| Factor de ponderación $W_i$ |      |
|-----------------------------|------|
| OD                          | 0.18 |
| pH                          | 0.13 |
| DBO <sub>5</sub>            | 0.18 |
| Nitratos                    | 0.11 |
| Fosfatos                    | 0.11 |
| SST                         | 0.13 |
| Coliformes Fecales          | 0.16 |
| Total                       | 1.00 |

| WQI-NSF Brown et al. (1970), Ott (1978)                                                                                                                     |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| $WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$                                                                                                                               |  |
| pH                                                                                                                                                          |  |
| $7 \leq pH = 8, SI = 100$<br>$8 < pH = 11, SI = 100 \cdot EXP((pH - 8) \cdot (-0.5187742))$                                                                 |  |
| Conductividad                                                                                                                                               |  |
| No la considera                                                                                                                                             |  |
| Alcalinidad                                                                                                                                                 |  |
| No la considera                                                                                                                                             |  |
| Dureza                                                                                                                                                      |  |
| No la considera                                                                                                                                             |  |
| OD                                                                                                                                                          |  |
| $3.3 \text{ mg/L} < DO < 10.5 \text{ mg/L}$<br>$SI = -80.28954 + 31.88249 \cdot DO - 1.200999 \cdot DO^2$                                                   |  |
| DBO <sub>5</sub>                                                                                                                                            |  |
| $8 \text{ mg/L} < BOD, SI = 10$                                                                                                                             |  |
| Nitratos                                                                                                                                                    |  |
| $NO_3^- \leq \frac{3 \text{ mg}}{L}$<br>$SI = 100 \cdot EXP((NO_3^-) \cdot (-0.460512))$                                                                    |  |
| Fosfatos                                                                                                                                                    |  |
| $PO_4^{3-} \leq 0.25 \text{ mg/L}$<br>$SI = 100 - 299.5406 \cdot PO_4^{3-} + 0.1384108 \cdot (PO_4^{3-})^2$<br>$0.25 \text{ mg/L} < PO_4^{3-}$<br>$SI = 10$ |  |
| Col. Fecales                                                                                                                                                |  |
| $1600 \# / 100 \text{ mL} < FC$<br>$SI = 10$                                                                                                                |  |
| SST                                                                                                                                                         |  |
| $280 \text{ mg/L} < TSS$<br>$SI = 10$                                                                                                                       |  |
| Turbidez                                                                                                                                                    |  |
| No la considera                                                                                                                                             |  |

**2a**

Es un modelo adaptado de Dinius, (1972a y 1987b), mediante un promedio geométrico ponderado, además útil para aguas superficiales En la tabla 3a se presentan las ecuaciones para el cálculo del ICA de cada parámetro, en la tabla 3b la tabla del factor de ponderación ( $W_i=i$ ). En este modelo se propusieron 11 parámetros para la laguna. Para el OD de saturación se utilizó también el calculado por Díaz-Rodea, et al., 2022.

**Tabla 3.** (a). Ecuaciones que se utilizan en el índice de León-Dinius. (b). Tabla del factor de ponderación para cada parámetro.

| Parámetro               |  | Peso ( $W_i$ ) |
|-------------------------|--|----------------|
| DBO                     |  | 0.208333       |
| Oxígeno disuelto        |  | 0.20833        |
| Coliformes fecales      |  | 0.208333       |
| Conductividad eléctrica |  | 0.08333        |
| Fosfatos totales        |  | 0.020833       |
| Nitrógeno en nitratos   |  | 0.020833       |
| Alcalinidad             |  | 0.041670       |
| Dureza total            |  | 0.041670       |
| pH                      |  | 0.041670       |
| Sólidos suspendidos     |  | 0.08333        |
| Turbidez                |  | 0.04167        |
| TOTAL                   |  | 1.000002       |

| ICA-León (1992a), Dinius (1987b)            |  |
|---------------------------------------------|--|
| $ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i}$             |  |
| pH                                          |  |
| $SI = 10^{(4.32 - 0.2994I)}$                |  |
| Conductividad                               |  |
| $SI = 540 + CE^{(-0.877)}$                  |  |
| Alcalinidad                                 |  |
| $SI = [105 \cdot ALC]^{(-0.186)}$           |  |
| Dureza                                      |  |
| $SI = 10^{(3.74 - (0.0217 \cdot durezza))}$ |  |
| OD                                          |  |
| $SI = \frac{DO_{sat}}{DO} \cdot 100$        |  |
| DBO <sub>5</sub>                            |  |
| $SI = 120 \cdot DBO^{(-0.673)}$             |  |
| Nitratos                                    |  |
| $SI = 162.2 \cdot (NO_3^-)^{(-0.0543)}$     |  |
| Fosfatos                                    |  |
| $SI = 162.2 \cdot (NO_3^-)^{(-0.0543)}$     |  |
| Col. Fecales                                |  |
| $SI = 97.51 \cdot [5 \cdot FC^{(-0.27)}]$   |  |
| SST                                         |  |
| $SI = 97.51 \cdot [5 \cdot FC^{(-0.27)}]$   |  |
| Turbidez                                    |  |
| $SI = 108(Turb)^{-0.478}$                   |  |

**3a**

La importancia del modelo contempla ante la escasez de datos muestreados, el ICA que, a falta del valor de algún parámetro, su peso se puede repartir en forma proporcional entre los que se hayan podido determinar y además de que puede excluir del operador multiplicativo el de menor importancia al efectuar el cálculo global del ICA del agua sujeta a evaluación, pero cuidando los valores que permita la norma existente.

### Utilización de los Índices de Calidad de Montoya y colaboradores

En México, para indicar la calidad de un agua se utiliza el Índice de Calidad (ICA) de Montoya et al., (1997) y es aplicado por la CONAGUA. Permite determinar la calidad del agua mediante el análisis de parámetros, físico-químicos, químicos y bacteriológicos, estableciendo el grado de contaminación existente en el agua en la fecha de un muestreo expresado como porcentaje de agua pura. Este índice considera 18 parámetros para su cálculo con distintos pesos relativos ( $W_i$ ), según la importancia que se seleccione en la evaluación total. En este trabajo, se utilizaron y compararon los Índices de Montoya et al. para 11 parámetros: pH, Conductividad Eléctrica (Cond.), Alcalinidad (Alc.), Dureza Total (DT), Oxígeno disuelto (OD), DBO<sub>5</sub>, Nitratos, Fosfatos, Coliformes fecales, Sólidos suspendidos totales (SST) y turbidez (tub.). De nuevo para el OD de saturación se utilizó el calculado por Díaz-Rodea, et al., 2022. En la tabla 4a como en los dos casos anteriores se dan las ecuaciones para el cálculo de cada ICA, donde este utiliza las mismas ecuaciones que León-Dinius. En la tabla 4b se indican los factores de ponderación utilizados.

**Tabla 4.** (a). Ecuaciones que se utilizan en el índice de Montoya et al. 1997. (b). Tabla del factor de ponderación para cada parámetro.

| ICA-Montoya et al. (1997)                             |  |
|-------------------------------------------------------|--|
| $ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$ |  |
| <b>pH</b>                                             |  |
| $SI = 10^{(4.22 - 0.293pH)}$                          |  |
| <b>Conductividad</b>                                  |  |
| $SI = 540 * CE^{(-0.379)}$                            |  |
| <b>Alcalinidad</b>                                    |  |
| $SI = [105 * ALC]^{(-0.186)}$                         |  |
| <b>Dureza</b>                                         |  |
| $SI = 10^{(1.974 - (0.00174 * Dur))}$                 |  |
| <b>OD</b>                                             |  |
| $SI = \frac{OD_{sat}}{OD} * 100$                      |  |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>                                |  |
| $SI = 120 * DBO^{(-0.673)}$                           |  |
| <b>Nitratos</b>                                       |  |
| $SI = 162.2 * (NO_3^{-1})^{(-0.0343)}$                |  |
| <b>Fosfatos</b>                                       |  |
| $SI = 162.2 * (NO_3^{-1})^{(-0.0343)}$                |  |
| <b>Col. Fecales</b>                                   |  |
| $SI = 97.51 * [5 * FC]^{(-0.27)}$                     |  |
| <b>SST</b>                                            |  |
| $SI = 97.51 * [5 * FC]^{(-0.27)}$                     |  |
| <b>Turbidez</b>                                       |  |
| $SI = 108^{(Turb)^{-0.178}}$                          |  |

| Parámetro               | Peso ( $W_i$ ) |
|-------------------------|----------------|
| DBO                     | 5              |
| Oxígeno disuelto        | 5              |
| Coliformes fecales      | 5              |
| Conductividad eléctrica | 2              |
| Fosfatos totales        | 0.5            |
| Nitrógeno en nitratos   | 0.5            |
| Alcalinidad             | 1              |
| Dureza total            | 1              |
| pH                      | 1              |
| Sólidos suspendidos     | 2              |
| Turbidez                | 1              |
| TOTAL                   | 24             |

4a

4b

### Utilización de los Índices de Calidad OWQI y el de ATI

En el caso del Índice de Calidad del Agua de Oregon, OWQI, (Dojlido et al., 1994, Cude, 2001), proporciona la calidad del agua en un solo valor mediante la comparación de diferentes parámetros según las normas.

Este índice es de uso frecuente en el dominio público (Cude, 2001) y ha sido adaptado en Costa Rica. Se consideró el ICA OQWEI, con la ponderación de Costa Rica, según la tabla 5 y para el índice de ATI se utilizaron y compararon a la par las tablas de ponderación de León-Dinius y el de Montoya et al., indicadas en las tablas 3a y 4a, con sus respectivos factores de ponderación en las tablas 3b y 4b respectivamente.

**Tabla 5.** Factores de ponderación.

| Escala de clasificación del OWQI (Costa Rica) |                     |
|-----------------------------------------------|---------------------|
| Rango                                         | Calidad             |
| 90-100                                        | Excelente-Muy buena |
| 75-90                                         | Buena               |
| 45-75                                         | Media               |
| 20-45                                         | Mala                |
| 0-20                                          | Muy Mala            |

### Resultados y discusión

A continuación, se presentan los diferentes resultados para cada modelo de ICA obtenido para los siete sitios de la laguna.

En la tabla 6 se presentan los valores de los ICAS por parámetro, según la tabla de ponderación 2b, asimismo el Global según el modelo de la National Sanitation Foundation (NSF). Este modelo solo considera 8 parámetros, donde la Calidad del ICA Global resultó de una calidad Buena en el sitio 1 y Media en los otros sitios.

**Tabla 6.** Resultado de los ICAS, del ICA global y la evaluación según la tabla de ponderación según la NSF.

| ICAS                                                                   | Sitios   | ICA de cada parámetro en los sitios de la Laguna de Chignahuapan |      |                  |                              |                               |          |      | Ponderación |            |
|------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------|------|------------------|------------------------------|-------------------------------|----------|------|-------------|------------|
|                                                                        |          | pH                                                               | OD   | DBO <sub>5</sub> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | C. Fecal | SST  |             | ICA Global |
| NSF (National Sanitation Foundation)<br>$ICA = \sum_{i=1}^n W_i * I_i$ | Sitio S1 | 13.00                                                            | 2.25 | 1.80             | 15.18                        | 1.80                          | 1.60     | 1.30 | 71.07       | Buena      |
|                                                                        | Sitio S2 | 13.00                                                            | 2.24 | 1.80             | 14.70                        | 1.80                          | 1.60     | 1.30 | 70.19       | Media      |
|                                                                        | Sitio S3 | 13.00                                                            | 2.22 | 1.80             | 14.43                        | 1.80                          | 1.60     | 1.30 | 69.34       | Media      |
|                                                                        | Sitio S4 | 13.00                                                            | 2.19 | 1.80             | 12.37                        | 1.80                          | 1.60     | 1.30 | 66.40       | Media      |
|                                                                        | Sitio S5 | 13.00                                                            | 2.20 | 1.80             | 12.17                        | 1.80                          | 1.60     | 1.30 | 66.46       | Media      |
|                                                                        | Sitio S6 | 8.50                                                             | 2.13 | 1.80             | 9.95                         | 1.80                          | 1.60     | 1.30 | 57.33       | Media      |
|                                                                        | Sitio S7 | 11.24                                                            | 2.00 | 1.80             | 9.92                         | 1.80                          | 1.60     | 1.30 | 56.12       | Media      |

En la tabla 7 de la misma forma, se indican los ICAS del modelo de León-Dinius, donde se consideraron 11 parámetros y se observa que la Calidad del ICA Global resultó, según la tabla de ponderación 3b, Mala en los sitios 1 al 5 y Muy Mala en los sitios 6 y 7 que corresponde al Bordo Dumac donde llegan aguas residuales y a una descarga de agua residual importante de la población aledaña respectivamente.

**Tabla 7.** Resultado de los ICAS, del ICA global de León Dinius y la evaluación según la tabla de ponderación.

| ICAs                                            | Sitios   | ICA de cada parámetro en los sitios de la Laguna de Chignahuapan |       |      |        |      |                  |                              |                               |          |      |       | ICA Global | Ponderación |
|-------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------|-------|------|--------|------|------------------|------------------------------|-------------------------------|----------|------|-------|------------|-------------|
|                                                 |          | pH                                                               | Cond. | Alc. | Dureza | OD   | DBO <sub>5</sub> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | C. Fecal | SST  | Turb. |            |             |
| León-Dinius<br>$ICA = \prod_{i=1}^{11} I_i W_i$ | Sitio S1 | 1.22                                                             | 1.41  | 1.17 | 1.12   | 2.25 | 1.49             | 1.11                         | 1.08                          | 2.45     | 1.35 | 1.02  | 30.68      | Mala        |
|                                                 | Sitio S2 | 1.21                                                             | 1.41  | 1.17 | 1.12   | 2.24 | 1.49             | 1.11                         | 1.08                          | 2.43     | 1.33 | 1.02  | 29.51      | Mala        |
|                                                 | Sitio S3 | 1.21                                                             | 1.41  | 1.17 | 1.12   | 2.22 | 1.49             | 1.11                         | 1.08                          | 2.41     | 1.32 | 1.02  | 28.89      | Mala        |
|                                                 | Sitio S4 | 1.21                                                             | 1.42  | 1.17 | 1.12   | 2.19 | 1.49             | 1.11                         | 1.08                          | 2.41     | 1.33 | 1.02  | 28.56      | Mala        |
|                                                 | Sitio S5 | 1.21                                                             | 1.42  | 1.17 | 1.12   | 2.20 | 1.45             | 1.11                         | 1.08                          | 2.41     | 1.33 | 1.02  | 27.93      | Mala        |
|                                                 | Sitio S6 | 1.17                                                             | 1.41  | 1.17 | 1.12   | 2.13 | 1.33             | 1.11                         | 1.08                          | 2.33     | 1.32 | 1.01  | 22.79      | Muy Mala    |
|                                                 | Sitio S7 | 1.19                                                             | 1.41  | 1.17 | 1.12   | 2.00 | 1.32             | 1.11                         | 1.08                          | 2.33     | 1.32 | 1.02  | 21.68      | Muy Mala    |

Respecto a la tabla 8, el resultado según el modelo de Montoya et al., donde se consideraron los mismos 11 parámetros del modelo anterior, resultó en una Calidad para ICA Global, en función de la tabla de ponderación 4b, para los sitios 1 y 2, así como los sitios 4, 5 6 y 7 de Alta Contaminación y de Contaminado el sitio 3.

**Tabla 8.** Resultado de los ICAS, del ICA global de Montoya et al. 1997 y la evaluación según la tabla de ponderación.

| ICAS                                                                   | Sitios   | ICA de cada parámetro en los sitios de la Laguna de Chignahuapan |       |      |        |      |                  |                              |                               |          |      |       | ICA Global | Ponderación           |
|------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------|-------|------|--------|------|------------------|------------------------------|-------------------------------|----------|------|-------|------------|-----------------------|
|                                                                        |          | pH                                                               | Cond. | Alc. | Dureza | OD   | DBO <sub>5</sub> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | C. fecal | SST  | Turb. |            |                       |
| Montoya<br>$ICA = \frac{\sum_{i=1}^{11} I_i W_i}{\sum_{i=1}^{11} W_i}$ | Sitio S1 | 5.02                                                             | 2.67  | 1.87 | 3.04   | 2.04 | 0.21             | 6.99                         | 1.38                          | 1.38     | 1.56 | 2.01  | 27.24      | Altamente contaminado |
|                                                                        | Sitio S2 | 4.27                                                             | 2.67  | 1.88 | 3.03   | 1.98 | 0.20             | 6.93                         | 1.37                          | 1.37     | 1.30 | 2.06  | 26.66      | Altamente contaminado |
|                                                                        | Sitio S3 | 4.39                                                             | 2.66  | 1.88 | 3.01   | 1.92 | 0.21             | 6.81                         | 1.36                          | 1.36     | 1.21 | 2.07  | 29.14      | Contaminado           |
|                                                                        | Sitio S4 | 4.27                                                             | 2.73  | 1.88 | 3.00   | 1.80 | 0.20             | 6.74                         | 1.35                          | 1.35     | 1.26 | 2.03  | 28.91      | Altamente contaminado |
|                                                                        | Sitio S5 | 3.99                                                             | 2.76  | 1.87 | 2.99   | 1.84 | 0.18             | 6.81                         | 1.36                          | 1.36     | 1.31 | 2.08  | 27.00      | Altamente contaminado |
|                                                                        | Sitio S6 | 1.80                                                             | 2.59  | 1.86 | 2.98   | 1.54 | 0.13             | 6.70                         | 1.34                          | 1.34     | 1.13 | 2.03  | 23.66      | Altamente contaminado |
|                                                                        | Sitio S7 | 2.59                                                             | 2.65  | 1.88 | 2.97   | 1.16 | 0.13             | 6.70                         | 1.35                          | 1.35     | 1.12 | 2.03  | 24.1354    | Altamente contaminado |

Tomando en cuenta los 11 parámetros se procedió a utilizar el modelo del ICA de Oregón (OWQI), adaptado en Costa Rica, cuya escala de ponderación se utilizó en este trabajo y cuyos resultados se presentan en la tabla 9. En este caso el ICA Global resultó en una calidad muy mala en los siete sitios, donde los ICAS se asemejan más al modelo de Montoya et al., 1977.

Finalmente, por su importancia para la fauna presente en la laguna se consideró el modelo Aquatic Toxicity Index, ATI, (Poonam, et al., 2013) y que fue desarrollado por Wepener et al., (1992), para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos, aunque este modelo considera más parámetros, con el objetivo de comparar con los otros modelos citados se consideraron los mismos 11 parámetros. Los resultados se presentan en la tabla 10, para la obtención del Índice Global, se tomaron en cuenta los valores de ponderación y compararon los de León-Dinius y los de Montoya et al., 1977.

**Tabla 9.** Resultado de los ICAS, del ICA global y la evaluación según la tabla de ponderación.

| ICAs                                                                            | Sitios   | ICA de cada parámetro en los sitios de la Laguna de Chignahuapan |       |      |        |      |                  |                              |                               |          |      |       | ICA Global | Ponderación |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------|-------|------|--------|------|------------------|------------------------------|-------------------------------|----------|------|-------|------------|-------------|
|                                                                                 |          | pH                                                               | Cond. | Alc. | Dureza | OD   | DBO <sub>5</sub> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | C. Fecal | SST  | Turb. |            |             |
| OWQI Costa Rica<br>$WQI = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^{11} \frac{I_i^2}{W_i^2}}}$ | Sitio S1 | 0.75                                                             | 2.4   | 5.0  | 3.3    | 5.8  | 403.4            | 0.2                          | 2.4                           | 110.1    | 19.3 | 4.1   | 13.40      | Muy Mala    |
|                                                                                 | Sitio S2 | 0.95                                                             | 2.4   | 4.9  | 3.2    | 6.5  | 424.3            | 0.2                          | 2.5                           | 117.2    | 18.4 | 4.1   | 13.08      | Muy Mala    |
|                                                                                 | Sitio S3 | 0.90                                                             | 2.5   | 4.9  | 3.5    | 7.6  | 414.6            | 0.2                          | 2.5                           | 130.2    | 19.9 | 4.1   | 13.01      | Muy Mala    |
|                                                                                 | Sitio S4 | 0.95                                                             | 2.3   | 4.9  | 5.7    | 10.2 | 423.7            | 0.3                          | 2.3                           | 130.2    | 19.0 | 4.2   | 12.87      | Muy Mala    |
|                                                                                 | Sitio S5 | 1.09                                                             | 2.3   | 6.0  | 5.9    | 9.42 | 527.7            | 0.3                          | 2.4                           | 130.7    | 19.2 | 4.0   | 11.88      | Muy Mala    |
|                                                                                 | Sitio S6 | 5.35                                                             | 2.6   | 5.0  | 12.7   | 26.7 | 1039.0           | 0.5                          | 1.9                           | 176.9    | 21.4 | 4.2   | 8.78       | Muy Mala    |
|                                                                                 | Sitio S7 | 2.58                                                             | 2.5   | 4.9  | 11.3   | 16.3 | 1089.8           | 0.5                          | 1.9                           | 178.0    | 21.4 | 4.2   | 5.83       | Muy Mala    |

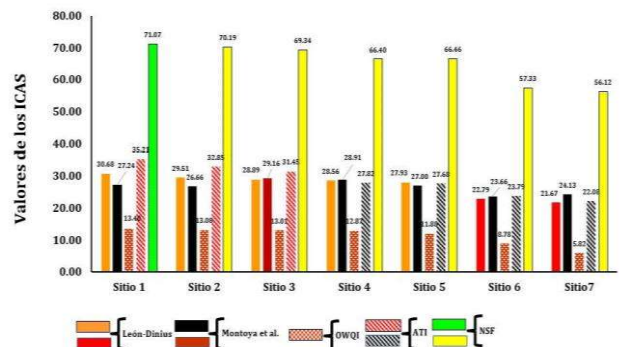
\*Todos los valores a excepción del ICA Global son a 10<sup>4</sup>

**Tabla 10.** Resultado de los ICAS, del ICA global y la evaluación según la tabla de ponderación.

| ICAs                                                                            | Sitios   | ICA de cada parámetro en los sitios de la Laguna de Chignahuapan |       |       |        |       |                  |                              |                               |          |       |       | ICA Global | Ponderación |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|-------|------------------|------------------------------|-------------------------------|----------|-------|-------|------------|-------------|------------|
|                                                                                 |          | pH                                                               | Cond. | Alc.  | Dureza | OD    | DBO <sub>5</sub> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | C. Fecal | SST   | Turb. |            | L-D         | M-et al    |
| OWQI Costa Rica<br>$WQI = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^{11} \frac{I_i^2}{W_i^2}}}$ | Sitio S1 | 115.75                                                           | 64.78 | 44.78 | 42.18  | 41.59 | 4.98             | 228.12                       | 64.29                         | 9.53     | 37.48 | 49.57 | 35.21      | Malo        | Cont.      |
|                                                                                 | Sitio S2 | 115.75                                                           | 64.01 | 45.17 | 42.57  | 39.38 | 4.85             | 214.95                       | 63.20                         | 9.24     | 31.30 | 49.42 | 32.85      | Malo        | Cont.      |
|                                                                                 | Sitio S3 | 115.75                                                           | 63.92 | 45.03 | 41.72  | 36.17 | 4.91             | 208.63                       | 62.97                         | 8.76     | 28.98 | 49.69 | 31.45      | Malo        | Cont.      |
|                                                                                 | Sitio S4 | 115.75                                                           | 65.41 | 45.20 | 39.13  | 31.27 | 4.86             | 173.99                       | 65.60                         | 8.76     | 30.25 | 48.78 | 27.82      | Malo        | Cont.      |
|                                                                                 | Sitio S5 | 115.75                                                           | 66.30 | 44.96 | 38.93  | 32.69 | 4.35             | 171.50                       | 63.99                         | 8.75     | 31.47 | 49.88 | 27.68      | Malo        | Alt. Cont. |
|                                                                                 | Sitio S6 | 115.75                                                           | 62.06 | 44.63 | 36.30  | 19.37 | 3.10             | 148.71                       | 72.10                         | 7.52     | 27.09 | 48.64 | 23.79      | Muy Mala    | Alt. Cont. |
|                                                                                 | Sitio S7 | 115.75                                                           | 63.64 | 45.13 | 36.62  | 2.48  | 3.03             | 148.48                       | 72.42                         | 7.50     | 26.84 | 48.71 | 22.08      | Muy Mala    | Alt. Cont. |

\*L-D indica León-Dinius; M-et al. indica Montoya et al.

En la figura 2 se representa una gráfica comparativa de los modelos de ICAs que se usaron en este trabajo. Se observa que los modelos de León-Dinius, Montoya et al., 1977, OWQI y el ATI indican el mal estado en general de la laguna, es importante señalar que mientras más parámetros medidos, los ICAS indicarán con más detalle la calidad de este cuerpo de agua. Para reforzar esto, se comparó también el modelo de la NSF que utiliza siete parámetros y como se observa, presenta un ICA en color verde (Tabla 1) en el sitio 1 indicando una calidad buena y los demás sitios de color amarillo una calidad media.



**Figura 2.** Diagrama de comparación de los modelos de ICAS en siete sitios de la laguna de Chignahuapan en el Municipio de Almolya del Río en el Estado de México.

Al comparar los otros modelos estos prácticamente coinciden entre mala, y/o contaminada y altamente contaminada, en todos los sitios.

## Conclusiones

Los ICAs son de gran utilidad para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua, ya sean de agua dulce o marinos. Pues permiten determinar tanto su grado de salud o de la contaminación si esta existe. Es importante mencionar que también en paralelo es necesario analizar las normas oficiales y/o los criterios de calidad, cuando se tenga que hacer partícipe la fauna y flora del cuerpo de agua e incluso sin olvidar a los sedimentos.

Los ICAs son también de utilidad para aconsejar a las autoridades gubernamentales y sociedad civil el tipo de estrategias para conservar o solucionar el problema que presente el cuerpo de agua.

Sin embargo hay que ser cautelosos, al seleccionar el o los ICAs, ya que existen muchos ICAs que son de uso común y se debe tener en cuenta las variables de más peso en función del tipo de cuerpo de agua y su posterior uso, ya sea para su potabilización, para uso público y de contacto, para la industria y/o para la agricultura.

La laguna es un cuerpo de agua de alta relevancia en la zona ya que en sus aguas viven especies endémicas por su típico estado natural como lo indica el criterio Ramsar lo cual es reconocido por las autoridades a través del Programa de ordenamiento ecológico local del Municipio de Almoloya del Río, 2015, esperando que esto continúe por la importancia de dicha laguna.

Respecto al problema ambiental de la laguna, los resultados de cuatro índices muestran que su situación ambiental es mala o muy mala, contaminada y en algunos sitios es altamente contaminada debido que, al contener más parámetros, presentan coincidencias relativas. Sin embargo, el ICA de la NSF no muestra resultados similares, ya que el ICA Global indica que la calidad va desde buena en el sitio 1 a mejor calidad en los demás sitios, lo cual puede generar un descontrol al evaluar la calidad del agua de la laguna.

## Referencias

Brown R. M., McClelland N. I., Deninger R. A. and Tozer R. G. (1970). A water quality index: do we dare?. *Water & Sewage Works*, 117(10), 339-343.

Ceballos G. (2003). Ficha informativa de los Humedales de Ramsar (FIR), sitio Ramsar: Ciénegas del Lerma. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 17. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

Cude, C. G. (2001). Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Resources Association*, 37(1), 125-137.

Díaz-Rodea S., Espejo-Montes F. de los Á., Gómez- Núñez J., Solís-Correa H. E., Gómez-Salazar S., Barceló-Quintal I.D. (2022). Utilización de los Índices de Calidad (ICA's) para la evaluación del agua del arroyo Río Puerta Grande en la Cd. de México en el estiaje. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*. Año 8(8). ISSN 2448-6663/200-207. <http://revistatediq.azc.uam.mx>

Dinius, S. H. (1972a). Social accounting system for evaluating water resources. *Water Resources Research*, 8, 1159-1177.

Dinius S.H. (1987 b). Design of an index of water quality. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Resources Association, 23, 833-843. Recuperado el 16 de septiembre de 2023. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1987.tb02959.x>

Dojlido J., Raniszewski, J. and Woyciechowska, J. (1994) Water quality index applied to river in the vistula. River basin in Poland. *Enviromental Monitoring and Aassessment*, 33, 33-42.

Fernández N., Ramírez A., Solano F. (2005). Índices fisicoquímicos de calidad del agua un estudio comparativo. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Universidad del Valle/Instituto Cinara, pp 211-219.

Horton R.K. (1965). Index-number system for rating waterquality. *Water Pollut.*, 307, 300-306.

Jiménez C., Olivera M., C.M., Díaz J.I. (2011). Atlas de la Cuenca del Río Lerma, Compendio. Biblioteca Mexiquense de Bicentenario. Colección Mayor: Patrimonio de un Pueblo. Primera edición. Secretaría de Educación del Gobierno del Estado de México. ISBN 968-484-655-X (Colección Mayor), ISBN 978-607-495-153-0. Consejo Editorial de la Administración Pública Estatal. Secretaría del Agua y Obra Pública, Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma.

Kung H.T.; Ying L.G.; Liu Y.C. (1992). A complementary tool to water quality index: fuzzy clustering analysis. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Recuperado el 11 de septiembre de 2024. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1992.tb03174.x>

Landwehr, J.M. y Deiniger, R.A. (1976), A comparison of several water quality indexes. *J. Water Pollitaion Control Fedrn.*, 48(5), 954-958.

- León, V. L.F., (1991)a. Índice de calidad del agua, ICA, Inf. # Sh-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, p. 36.
- León, V. L. F., (1992)b. Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala. Memorias VII congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cocoyoc, Morelia, 20-26.
- Montoya H.; Contreras C.; García V. (1997). Estudio integral de la calidad del agua en el Estado de Jalisco. Comisión. Nacional del Agua, Gerencia Regional Lerma-Santiago, Guadalajara.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0)
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013. Análisis de agua-medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.  
[http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa007-2014\\_01.pdf](http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa007-2014_01.pdf)
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-28-SCFI-2001. Análisis de agua-determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO<sub>5</sub>) y residuales tratadas método de prueba.  
<http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2001/nmx-aa-028-scfi-2001.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas-determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.  
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166773/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001. análisis de agua-determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba.  
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166776/NMX-AA-036-SCFI-2001.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua-determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.  
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166777/NMX-AA-038-SCFI-2001.pdf>
- Ott, W.R. (1978). Environmental indices, theory and practice, a Science, Ann Arbor, Michigan, ISBN 0-250-40191-6. In: Dinius, S.H., 1987. Design of a Water Quality Index. W.R. Bulletin, V23, #5, 833-43
- Poonam T., Tanushreem B., Sukalyan Ch. (2013). Water quality indices- important tools for water quality assessment: a review. *International Journal of Advances in Chemistry (IJAC)*, 1(1), 15-28.
- Prati L; Pavanello R. Pesarin F. (1971). Assesment of surface water quality by a single index of contamination. *Water Resources*. 5,741-751
- Programa de ordenamiento ecológico local del Municipio de Almoloya del Río. (2015). H. Ayuntamiento Constitucional de Almoloya del Río, México, Pp 1-175  
<https://dgts.edomex.gob.mx/sites/files/files>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2022). *Global Water Quality Assessment: Guidelines and Methodologies*. United Nations Environment Programme.  
<https://www.unep.org/resources/report/gemswater-global-water-quality>
- Ramos, H, and Juárez, C. (2021). Comparative study of CCME-WQI and national water quality indices in Latin America. *Water Policy*, 23(2), 347-361.  
<https://doi.org/10.2166/wp.2021.189>
- Torres, P; Cruz, C.H. Cruz; Patiño P.J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano una revisión crítica. *Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- Van Helmond, C.A.M. and R.M.A. Breukel. (1996). Physicochemical water quality indices. Proceedings MTM-II Posters-Surface Waters, 475-479.
- Wepener V., Euler N., Van Vuren J. H. J., Du Preez H. H. and Kohler A., (1992). The development of an aquatic toxicity index as a tool in the operational management of water quality in the Olifants River (Kruger National Park), *Koedoe*, 35 (2), 1-9.