



ISSN 2448-508X

# KUXULKAB'

-Tierra viva o naturaleza en voz Chontal-

Volumen XXII

Número 42

Enero-Abril 2016

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
División Académica de Ciencias Biológicas



« REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA »



**EJEMPLAR MACHO DE PIGUA (*Macrobrachium carcinus*) DE 3 MESES DE EDAD, PRODUCIDO EN EL LABORATORIO DE LARVIPIGUA.**

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: Jeane Rimber Indy



**DIRECTORIO**

Dr. José Manuel Piña Gutiérrez  
Rector

Dra. Dora María Frias Márquez  
Secretaria de Servicios Académicos

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

M. en A. Rubicel Cruz Romero  
Secretario de Servicios Administrativos

L.C.P. Marina Moreno Tejero  
Secretaria de Finanzas

M.C.A. Rosa Martha Padrón López  
Directora de la División Académica de Ciencias Biológicas

Dra. Carolina Zequeira Larios  
Coordinadora de Investigación y Posgrado, DACBiol-UJAT

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

M. en C. Andrés Arturo Granados Berber  
Coordinador de Docencia, DACBiol-UJAT

Biól. Blanca Cecilia Priego Martínez  
Coordinadora de Difusión Cultural y Extensión, DACBiol-UJAT

**COMITE EDITORIAL DE KUXULKAB'**

Dr. Andrés Reséndez Medina (†)  
Editor fundador

Dra. Lilia María Gama Campillo  
Editor en jefe

Dra. Carolina Zequeira Larios  
Dra. María Elena Macías Valadez Treviño  
Editores asociados

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo  
Coordinador editorial

M.C.A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña  
L.D.C. Rafael Sánchez Gutiérrez  
Correctores de estilo

M.C.A. María del Rosario Barragán Vázquez  
Corrector de pruebas

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo  
Téc. Juan Pablo Quiñonez Rodríguez  
Lic. Ydania del Carmen Rosado López  
Diseñadores

L.Comp. José Juan Almeida García  
Soporte técnico institucional

L.C.I. Francisco García Ulloa  
Est. Lic. Idiomas, Ana Yuseth Pérez del Ángel  
Traductor

Pas. Ing. Ambiental, Manuel Alberto Ek Pozo  
Est. Ing. Ambiental, Adrián Hernández Magaña  
Est. Lic. Biología Diana Beatriz Montero Hernández  
Apoyo técnico

**CONSEJO EDITORIAL (EXTERNO)**

Dra. Julieta Norma Fierro Gossman  
Instituto de Astronomía, UNAM - México

Dra. Tania Escalante Espinosa  
Facultad de Ciencias, UNAM - México

Dr. Ramón Mariaca Méndez  
El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR San Cristóbal, Chiapas - México

M. en C. Mirna Cecilia Villanueva Guevara  
Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco - México

Dr. Julián Monge Nájera  
Universidad Estatal a Distancia (UNED) - Costa Rica

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

# KUXULKAB'

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

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

KUXULKAB' se encuentra disponible electrónicamente y en acceso abierto en la siguiente dirección: [www.revistas.ujat.mx](http://www.revistas.ujat.mx); por otro lado se halla citada en:

PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias):  
[www.dgbiblio.unam.mx](http://www.dgbiblio.unam.mx)

LATINDEX (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal):  
[www.latindex.unam.mx/index.html](http://www.latindex.unam.mx/index.html)

**Nuestra portada:**

Acciones de conservación de la biodiversidad realizadas en la División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

**Diseño de:**

Fernando Rodríguez Quevedo & Ydania del Carmen Rosado López; División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

**Fotografías de:**

Rafael Sánchez Gutiérrez; Anahí K. Tapia Gómez, Marcela A. Cid Martínez, José E. Rosique Gil; Guadalupe Gómez Carrasco; León D. Olivera Gómez; José C. Martínez Rodríguez & Ernesto Rodríguez Rodríguez.

KUXULKAB', año XXII, No. 42, enero-abril 2016; es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol). Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura; Col. Magisterial; Villahermosa, Centro, Tabasco, México; C.P. 86040; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; <http://www.revistas.ujat.mx>; [kuxulkab@ujat.mx](mailto:kuxulkab@ujat.mx). Editor responsable: Lilia María Gama Campillo. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-090610320400-203; ISSN: 2448-508X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Coordinador editorial de la revista, Fernando Rodríguez Quevedo; Kilómetro 0.5 de la carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya; CP. 86039; Villahermosa, Centro, Tabasco; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; Fecha de la última modificación: 31 de julio de 2015.

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



# Editorial

## Estimados lectores:

Inicio este 2016, con la publicación cuatrimestral de nuestra revista electrónica ya encaminada. A partir de este número, esperamos que para los estudiantes e investigadores se abran nuevas áreas de oportunidad vinculadas a nuestra publicación, como puede ser una mayor facilidad de acceso a la información así como la posibilidad de navegación entre ella. Este año la web conocida como «www», cumple 25 años de existencia, un sistema que hoy es usado también para que las diferentes revistas, como la nuestra, comuniquen información.

Es importante destacar que la velocidad a la que este sistema se ha desarrollado y permite el acceso a la información es exponencial. Los primeros intentos electrónicos de comunicar especialmente en relación a libros, se realizó a través de los discos compactos (CD) hace relativamente poco tiempo; para facilitar este proceso de intercambio de información se han generado varias estrategias que aún siguen perfeccionándose. Hoy existen temas pendientes al respecto, por ejemplo el tipo de acceso o los costos de su implementación por un lado, así como el desarrollo de diferentes sistemas que facilitan el acceso. Cabe destacar, que en esta carrera de desarrollo tecnológico participa también la velocidad de aumento en instrumentos de acceso a la información. Actualmente en nuestro teléfono celular podemos tener lecturas a través de descargar libros y artículos electrónicos.

La División Académica de Ciencias Biológicas consciente de estos avances, se adentro en la búsqueda de alternativas, que permita a nuestra revista, participar en todas estas nuevas posibilidades de compartir información, y esto es posible gracias al grupo editorial de apoyo que con su compromiso, inquietud e ideas colaboran aportando opiniones y estrategias para ser cada vez más, una revista ejemplo de la divulgación regional; a ellos les reitero mi agradecimiento ya que *Kuxulkab'* es posible por el excelente equipo.

Las cinco interesantes contribuciones que se publican en esta ocasión con temas de contaminación, conservación y biodiversidad, son una muestra de la preocupación por el futuro y las posibilidades que tenemos de mejorarlo, tanto con nuevas y mejores prácticas como con el rescate de aquellas que nuestros ancestros conocedores de su entorno utilizaban. Además, nos recuerdan que dependemos de la energía y los recursos naturales, pero lo más importante, es tener información expuesta y disponible como lo hace nuestra revista; esto para reflexionar en las acciones que podríamos tomar. Aprovechamos para agradecer a los árbitros y colaboradores que nos apoyan, así como de reiterar que *Kuxulkab'* es una opción para comunicar temas de actualidad e investigaciones. La divulgación de la ciencia es una responsabilidad de los que trabajamos en estas áreas y contribuye a generar conciencia de nuestro entorno.

*Lilia María Gama Campillo*  
EDITOR EN JEFE DE KUXULKAB'

*Rosa Martha Padrón López*  
DIRECTORA DE LA DACBIOL-UJAT

# Contenido

<b>DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN LAS CAFETERÍAS DE LA DACBioI</b>	<b>5</b>
Anahí Karina Tapia Gómez, José Ramón Laines Canepa & José Aurelio Sosa Olivier	
<b>VARIACIÓN DE LAS ESPORAS DE <i>Ganoderma sp</i> EN LA ATMÓSFERA DE VILLAHERMOSA, TABASCO</b>	<b>13</b>
Marcela Alejandra Cid Martínez, Karina Gallardo Velázquez & José Edmundo Rosique Gi	
<b>IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS MOLECULARES PARA LA CONSERVACIÓN DEL MANATÍ ANTILLANO (<i>Trichechus manatus manatus</i>) EN MÉXICO</b>	<b>19</b>
Guadalupe Gómez Carrasco, Julia María Leshner Gordillo, León David Olivera Gómez, Raymundo Hernández Martínez & Félix Jiménez Gómez	
<b>PATRONES TEMPORALES EN COMUNIDADES BIOLÓGICAS</b>	<b>27</b>
Alain Lois D'artola Barceló	
<b>ANÁLISIS DE ZANJAS DE OXIDACIÓN COMO TECNOLOGÍA DE REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES EN EL ESTADO DE TABASCO</b>	<b>33</b>
José Cruz Martínez Rodríguez & Ernesto Rodríguez Rodríguez	



# ANÁLISIS DE ZANJAS DE OXIDACIÓN COMO TECNOLOGÍA DE REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES EN EL ESTADO DE TABASCO

## OXIDATION DITCHES ANALYSIS USED AS BIOLOGIC REMOVAL TECHNOLOGY OF NUTRIENTS IN TABASCO

José Cruz Martínez Rodríguez<sup>1✉</sup> & Ernesto Rodríguez Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Licenciado en Ingeniería Ambiental por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). <sup>2</sup>Doctor en Ciencias y profesor-investigador de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol-UJAT).

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

✉ chepe\_chepecruz@hotmail.com

### Como referenciar:

Martínez Rodríguez, J.C. & Rodríguez Rodríguez, E. (2016). Análisis de zanjas de oxidación como tecnología de remoción biológica de nutrientes en el estado de Tabasco. *Kuxulkab'*, XXII(42): 33-41, enero-abril.

### Disponible en:

<http://www.revistas.ujat.mx>

<http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

### Resumen

Actualmente el crecimiento demográfico y el desarrollo del sector industrial en nuestro país genera un incremento del volumen de aguas residuales, ante ello en algunos lugares de México se aplica la simple dilución en las aguas superficiales como medio para disminuir la carga de contaminantes. Considerando minimizar el impacto ambiental en los cuerpos receptores se requiere la implementación de un tratamiento biológico completo, que incluya la remoción biológica de nutrientes, incluso en comunidades pequeñas. Partiendo de la información disponible sobre las zanjas de oxidación, las dimensiones de este tipo de plantas, el número de canales empleados y su configuración, se compara con datos de población servida y el caudal de agua residual tratada. Se concluye así que dicha tecnología es viable en el trópico tabasqueño para el control de la eutrofización en los cuerpos de agua de tipo urbano.

**Palabras clave:** Zanjas de oxidación, configuración, diseño y operación.

### Abstract

The current population growth and the development of the industrial sector in our country generates an increase in the volume of sewage, in response, some places in Mexico simply dilute the surface water as a means to reduce pollutant loading. With the goal of minimizing the environmental impact on receiving bodies, the implementation of a complete biological treatment, which includes biological nutrient removal even in small communities, is required. If we make an analysis of the information on the use of the oxidation ditches in México, the dimensions of this kind of facilities, the number of channels used and their configuration, which were contrasted with the information of served population and the volume of sewage. In conclusion, this technology is viable to be used in the tropics of the state of Tabasco for controlling the eutrophication of water bodies of urban type.

**Keywords:** Oxidation ditches, configuration, design and operation.

Actualmente los tipos de tratamiento que reciben las aguas residuales en México se clasifican en tres niveles: *primario*, en el que los contaminantes presentes pueden ser eliminados por medio de la aplicación de procesos físicos; *secundario*, con el cual se consigue la remoción de contaminantes por actividad biológica y el *terciario*, en donde la conversión o eliminación de los contaminantes se lleva a cabo por medio de la adición de productos químicos. Dentro de los procesos de tratamiento secundario las tecnologías biológicas más empleados en México son el sistema de lodos activados y el de lagunas de oxidación (CONAGUA, 2014), el primero de ellos en su tipo convencional no elimina la concentración de nutrientes del agua residual y el segundo, lo realiza con baja eficiencia y a expensas de una mayor superficie ocupada por la planta de tratamiento.

En nuestro país la variante de lodos activos denominada <aireación extendida> es la más empleada en el estado de Jalisco, pues se usa conjuntamente con las zanjas de oxidación para el control de nutrientes en el Lago de Chapala. Esta tecnología alcanza entre el 90-98 % de eficiencia en remoción de  $DBO_5$  y suele remover entre el 70 y el 90 % del fósforo y el nitrógeno presente en el agua residual doméstica (Baars, 1962).

Las zanjas de oxidación son un proceso muy usado en Estados Unidos de Norteamérica y Europa debido a que además de ser fácil de operar, ofrecen altos niveles de desempeño a bajo costo y una remoción de carga orgánica óptima. Por ejemplo, en Estados Unidos se han construido más de 9,200 zanjas (EPA, 1999) y en España existen cerca de 564 de este tipo de instalaciones operando algunas de ellas desde 1978. Estas zanjas se consideran como una alternativa viable para remoción biológica de nutrientes en condiciones templadas, pero está demostrado que el proceso de nitrificación y des-nitrificación es más eficiente a temperaturas superiores a los 20 °C. Con ello y dadas las características socioeconómicas y demográficas de la entidad, este tipo de tecnologías de depuración de agua residual pueden aprovecharse para poner en marcha sistemas que garanticen: economía, altos niveles de desempeño y que brinden la posibilidad de cumplir en el futuro con una normatividad ambiental más estricta.

Dado que a nivel internacional, las normas que regulan los límites máximos permisibles de descarga de contaminantes a las aguas superficiales se han vuelto más estrictas, particularmente con respecto a las concentraciones permisibles de nitrógeno total presente en los efluentes, se hace más atractivo el sistema de zanjas de oxidación, ya que han probado generar efluentes muy estables y altas tasas de eficiencia en la remoción de compuestos nitrogenados aún en condiciones templadas de operación.

Por lo anterior, en la presente contribución se revisa la información disponible sobre el uso de las zanjas de oxidación en la república mexicana, sus configuraciones más comunes, el caudal de diseño y la población servida; con el fin de obtener elementos técnicos confiables para su aplicación en el control de la carga de nutrientes vertida desde la cuenca de drenaje de las lagunas urbanas de la ciudad de Villahermosa.

«Las zanjas de oxidación ofrecen altos niveles de desempeño a bajo costo y una remoción de carga orgánica óptima»



**Fotografía 1.** Zanja de oxidación de Villa Estación Chontalpa, (Huimanguillo, Tabasco).

### Las primeras zanjas de oxidación

En el inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación (CONAGUA, 2014) se reporta que en México se cuenta con 2,337 plantas de tratamiento para agua residual doméstica y entre los procesos de depuración más empleados destacan: los humedales artificiales (71), las fosas sépticas (101), los reactores anaerobios de flujo ascendente (137), el proceso de lodos activados (709) y las lagunas de estabilización (718).

Las zanjas de oxidación, aunque representan solo el 2.3 % de todas las plantas de tratamiento para agua residual doméstica del país que emplean la tecnología de lodos activos, son una alternativa eficiente para el tratamiento avanzado del agua residual doméstica urbana y municipal en la mayor parte del mundo.

Este tipo de tecnología de depuración fue patentada por A. Pasveer en 1953 y desde esa fecha se empezó a usar en países desarrollados como un sistema de gran interés para el saneamiento, dado su potencial para la remoción de nutrientes (Pasveer, 1963; Stein, 1991). En algunos países en vías de desarrollo las zanjas de oxidación tienen gran importancia debido a su fácil manejo y por representar una tecnología aerobia que alcanza elevada eficiencia para la eliminación de nutrientes, en China por ejemplo, Qiu *et al.* (2010) reportan 680 zanjas construidas en siete provincias de dicho país, quince veces más que las construidas en todo el territorio nacional.

En la última década se han realizado las primeras investigaciones sobre la viabilidad del uso de zanjas de oxidación en México, así Rojas (2012) hace una revisión de las propiedades y ventajas técnicas y económicas más importantes de esta tecnología para la remoción de carga doméstica y de nutrientes.

Conocer cómo funcionan y en qué condiciones operan las zanjas de oxidación en México y en Tabasco es de gran importancia para el desarrollo del tratamiento de agua residual, ya que actualmente en la república mexicana existen pocas plantas con dicha tecnología y éstas se han construido principalmente en entidades del centro del país, como es el caso de Jalisco donde se emplea conjuntamente con la aireación prolongada, las lagunas de oxidación y los humedales artificiales para el control de la eutrofización en embalses, lagos y lagunas urbanas (CONAGUA, 2014).

Por otra parte, en una zanja de oxidación, como en el caso de la aireación extendida no utiliza tanques de sedimentación primaria, lo cual permite reducir el espacio ocupado por la planta de tratamiento y en sus canales se emplea generalmente rotores o cepillos sub-superficiales para la aireación del reactor biológico (EPA, 1999), parecidos a los que fueron primeramente utilizados por Haworth en 1916 en Inglaterra y por Kessener en 1925 en Holanda. El primer prototipo de zanja de oxidación desarrollado por Pasveer en 1953, dos años después se escaló a condiciones reales de operación en 1956 en la localidad de Voorschoten, Holanda, para dar servicio a 600 habitantes y en ese mismo año se construye en Nittenan, el primer zanjón de oxidación alemán (Romero Rojas, 1999).

La aplicación de este tipo de zanjas quedó limitado por muchos años a localidades de 10,000 habitantes, pero actualmente existen grandes zanjas de oxidación construidas alrededor del mundo incluyendo México (CONAGUA, 2014) con caudales superiores a los 1,000 L/s y una población servida de más de 400,000 habitantes, en estos casos no solamente se aumenta el número de canales, su área y forma seccional, sino también lo hace su profundidad, la cual en estas condiciones de diseño funcional suele alcanzar hasta 5.5 m.

### Procedimiento

El procedimiento de nuestra investigación puede ser descrito de la siguiente manera:

- 1) revisión de literatura;
- 2) inventario histórico de las zanjas de oxidación operando en México;
- 3) acopio de foto-mapas de cada planta;

- 4) clasificación del tipo de planta empleada en cada entidad donde se utiliza este tipo de tecnologías;
- 5) estimación del polígono ocupado por cada Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARD);
- 6) análisis de su población servida; y
- 7) verificación del estado funcional y de los caudales de operación para cada planta de tratamiento.

La determinación de los polígonos ocupados en cada PTARD fue realizado con el uso del software AUTOCAD-MAP© 2015. La población servida obtenida del censo INEGI 2010 y permitieron definir los caudales de diseño y fueron comparados con los de operación de cada planta provenientes de los inventarios de Plantas de Tratamiento de Agua Residual Municipal de la CONAGUA para el período 2000-2014; los valores de dotación de agua potable per cápita utilizados en este análisis comparativo fueron los correspondientes a las condiciones climáticas imperantes en cada entidad en donde se localizaron zanjas de oxidación.

Con dicha información se elaboraron tablas de concentrado de datos técnicos y de ingeniería, que nos permitieron identificar las condiciones de la operación de las zanjas de oxidación en México, comparar con otros procesos su costo de construcción, operación mantenimiento, así como conocer su potencial para su aplicación generalizada para el control de la eutrofización en el estado de Tabasco.

## Resultados

En México es difícil precisar en qué año fue construida la primera zanja de oxidación, sin embargo dado que en un inventario de 1988, se presenta el primer registro de este tipo de tecnología, es posible establecer que la primera posiblemente fue construida entre 1984 y 1986.

Para el inventario en este trabajo se identificaron 32 plantas de tratamiento de agua residual operando con zanjas de oxidación, construidas en 11 estados de la república mexicana cuyo concentrado y distribución geográfica se presenta en el cuadro 1.

Las zanjas de oxidación en México desde menos 6 L/s de agua residual hasta un vertido residual máximo de 1,360 L/s, en las que se presenta un número de hasta seis canales y el espacio ocupado por la PTARD es también variable, pero denota ventajas sobre las lagunas o pantanos artificiales que generalmente requieren mayor extensión de terreno. Por ejemplo, la zanja de oxidación que se localiza en Nuevo Laredo, Tamaulipas, trata un caudal de 1,360 L/s para una población de 384,033 habitantes y ocupa un área construida de 13.9 ha, y si se le compara con un sistema de pantanos artificiales

*«Conocer cómo funcionan y en qué condiciones operan las zanjas de oxidación en México y en Tabasco es de gran importancia para el desarrollo del tratamiento de agua residual, permite reducir el espacio ocupado por la planta de tratamiento»*

para una población de solo 30,000 habitantes y 80 L/s de agua residual a tratar, este tipo de proceso natural requeriría un área aproximada de entre seis y siete hectáreas.

Por su parte, en Tabasco actualmente se cuenta con un sistema tipo zanja de oxidación, provista de un solo canal mismo que presenta sección trapezoidal, con pared isla y ángulos de inclinación de 45 °C. Esta pequeña zanja que se localiza en Villa Estación Chontalpa de Huimanguillo (fotografía 1), fue construida en 1994 y actualmente su operación y evaluación están a cargo de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS).

En el cuadro 2 se presentan los tipos de configuración utilizados en las diferentes zanjas de oxidación inventariadas para el país. De ese modo, se puede señalar que la configuración más común es el uso de uno y dos canales de aireación, en esta condición de operación resultaron también más abundantes los canales con pared isla y de sección trapezoidal (con 45° de inclinación en ambas paredes centrales) y los canales de tipo vertical y sin pared isla, que deben tener 90° de inclinación en ambas paredes centrales del canal de aireación (fotografía 2, imagen 1).



Zanja con pared isla (Creel, Chihuahua).



Zanja doble canal sin pared isla (El Campanario, Querétaro).



Zanja tipo carrusel (Piedras Negras, Coahuila).



Zanja en «U» (Tenancingo, Estado de México).

**Fotografía 2.** Tipos de zanjas de oxidación en la república mexicana).

Para el caso de la configuración de canales tipo carousel y en «U» éstos son comunes para zanjas de oxidación con caudales elevados y en los cuales para lograr un tiempo de residencia hidráulico entre 24 y 38 h, que es el recomendable para que se realice la des-nitrificación, se requiere una profundidad del canal superior a los 3 m.

Ha sido probado en diversas investigaciones que el proceso de nitrificación y des-nitrificación suele ser más eficiente a temperaturas superiores a los 26 °C (Cao *et al.*, 2008), lo que convierte a las zanjas de oxidación en una tecnología eficiente para reducción de nitrógeno y de fósforo en condiciones cálidas, además de que pueden ser construidos para servir a localidades con un rango amplio de población y a bajo costo de construcción, operación y mantenimiento.

Con el presente inventario sobre las zanjas de oxidación queda demostrada la importancia que reviste conocer el funcionamiento de las zanjas en la república mexicana, además dicha información tecnológica es de gran utilidad para validar sus condiciones de diseño, sus costos de operación y mantenimiento.

Dado que la mayor parte de las zanjas en México y en el mundo han sido diseñadas para remover la carga externa de nutrientes en lagos y embalses fuertemente eutrofizados, de lo cual el estado de Jalisco es un claro ejemplo respecto al Lago de Chapala, sobre el que vierten sus aguas residuales tratadas la mayor cantidad de zanjas de oxidación construidas en el país, se denota que dicha tecnología de remoción de contaminantes se puede emplear en el estado de Tabasco para sanear las aguas hiper-eutróficas de cualquiera de las lagunas urbanas presentes en la ciudad de Villahermosa.

La reducción de nitrógeno en un efluente de agua residual tratada no solo permite controlar la eutroficación de los cuerpos receptores, también mejora la eficiencia de la desinfección por cloración química y puede reducir adicionalmente la formación de cloraminas en el agua residual tratada. Lo anterior se debe a que el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) produce cloraminas al reaccionar con el ácido hipocloroso, que es el agente químico más usado en procesos de desinfección en plantas para agua residual doméstica.

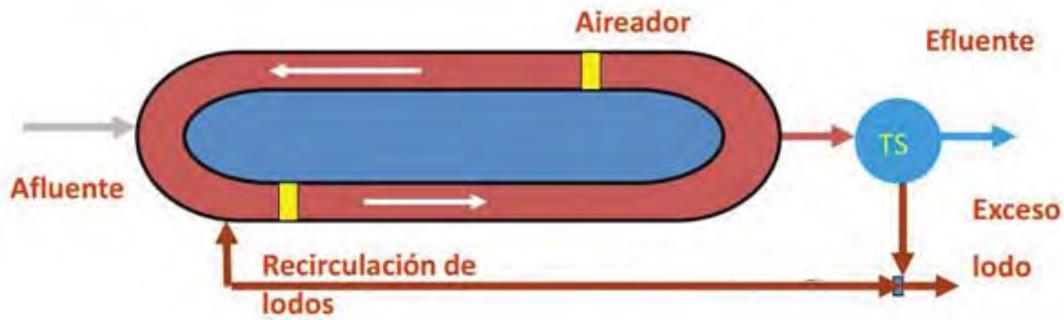


Imagen 1. Configuración de zanja de oxidación más utilizada en la república mexicana.

Martínez & Rodríguez (2016). Kuxulkab', XXII(42): 33-41

El costo comparativo de la construcción, operación y mantenimiento de zanjas de oxidación y plantas que usan un proceso convencional de lodos activados se presenta en el cuadro 3. De ese modo, es fácil advertir que este tipo de tecnologías son generalmente más baratas que un proceso de lodos activos convencional, además de que el fango activado convencional al carecer de zonas anóxicas no presenta la capacidad para la remoción de nutrientes.

Si se les compara con otras tecnologías usadas para la remoción biológica de nutrientes, como es el caso de lagunas airadas o de estabilización y los filtros percoladores (cuadro 4), una zanja de oxidación para 250,000 habitantes no tiene gran diferencia en cuanto a costos de capital y dado que requiere mayor gasto energético ocupa el mayor costo anual de operación. Sin embargo, requieren un menor espacio para la planta de tratamiento, lo cual tiene importancia en áreas fuertemente urbanizadas como la ciudad de Villahermosa donde el costo del terreno urbano es elevado.

**La importancia de las zanjas de oxidación.** A partir de la información obtenida se puede enlistar las siguientes conclusiones:

1) Queda plenamente demostrada la viabilidad técnica de las zanjas de oxidación para el tratamiento de agua residual doméstica y el control de la eutroficación de ecosistemas acuáticos urbanos, lo cual es particularmente importante en las condiciones del trópico húmedo tabasqueño.

2) Aunque representan solo el 4.51 % de las plantas de tratamiento con fangos activados que actualmente operan en el país, la eficiencia de remoción para

$DBO_5$  generalmente es superior al 95 % y reducen la producción de cloraminas en el efluente tratado, pues pueden eliminar el nitrógeno presente en el agua residual doméstica.

3) La configuración usada con mayor frecuencia es de uno o dos canales provistos generalmente con pared isla, en los cuales el ángulo de las paredes centrales suele tener 45° de inclinación y tienen forma trapezoidal en la sección transversal del canal.

4) El costo de construcción, operación y mantenimiento es competitivo respecto al proceso de lodos activados convencionales, como también con el de otros procesos usados en la remoción biológica de nutrientes.

5) Puede reducir considerablemente el costo del terreno que ocupará la planta, dado que requiere menor dimensión que la requerida para lagunas de estabilización o humedales artificiales, lo cual hace rentable dicha tecnología en localidades urbanas, donde el costo del terreno suele ser elevado.

**Cuadro 1.** Zanjas de oxidación en México.

Estado	Municipio	Localidad	Población	Caudal Lps	Área de la PTAR m <sup>2</sup>	No. de Canales
B. California	Ensenada	El Naranja	466,814	500	48,581.89	2
B. California	Ensenada	El Sauzal	519,813	120	2,510	2
B. California	Playa Rosarito	Playa Rosarito Norte	90,668	70	20,600	2
B. California	Tijuana	La Morita	1,559.683	254	62,582.35	2
B. California	Playa Rosarito Puerto Nuevo	Puerto Nuevo (Vista Marina)	172	6	4,380.09	1
Coahuila	Piedras negras	Piedras Negras	152,802	360	22,307.56	2
Coahuila	Creel	Bocoyna	28,776	11	8,557.04	1
Coahuila	Saltillo	Saltillo (Club de Golf)	725,123	50	11,431.28	1
Guanajuato	Guanajuato	Guanajuato	171,709	140	13,762.76	2
Jalisco	Valle de Guadalupe	Valle de Guadalupe	4,178	18	4,861.26	1
Jalisco	Chapala	Chapala	19,311	80	13,290.77	2
Jalisco	San Antonio	Tlayacapan	3,351	32	7,611.25	2
Jalisco	San Cristóbal Zapotitlán	San Cristóbal Zapotitlán	1,918	4	2,064.447	1
Jalisco	Ixtlahuaca de los Membrillos	Ixtlahuaca de los Membrillos	1,925	16	12,239.97	1
Jalisco	La Barca	La Barca	32,134	80	8,178.85	3
Jalisco	San Juan Tecamatlán	San Juan Tecamatlán	1,741	3.5	2,200.85	1
Jalisco	Jocotepec	Jocotepec	15,639	66	19,067.56	2
Jalisco	Juanacatlán	Juanacatlán	15,639	40	7,222.72	2
Jalisco	Ocotlán	Ocotlán	75,942	190	39,832.03	1
Jalisco	Poncitlán	Mezcala	3,896	8	2,150.69	1
Jalisco	Jamay	Jamay	15,498	40	13,226.95	2
Jalisco	San Pedro	San pedro Itzican	4,478	6	2,260	1
Jalisco	Puerto Vallarta	Puerto Vallarta (SEAPAL II)	151,432	1,125	42,836.71	2
Edo. de México	Tenancingo	Tenancingo de degollado	90,931	50	7,783.07	1
Edo. de México	Atzacmulco	Atzacmulco	93,718	220	37,795.55	2
Edo. de México	Jocotitlán	Jocotitlán	6,204	30	8,870.15	1
Michoacán	Pátzcuaro	Pátzcuaro I (Las Garzas)	55,298	20	7,545.09	2
Nuevo León	San Pedro García García	García García (Club Campestre)	125,978	50	8,952.16	1
Querétaro	Querétaro	Fraccionamiento El Campanario	801,940	45	23,052.4	2
Tabasco	Huimanguillo	Estación Chontalpa	6,800	16	6,979	1
Tamaulipas	Nuevo Laredo	Nuevo Laredo	384,033	1,360	139,300.63	6
Veracruz	Veracruz	Laguna Real	8,950	25	27,028.23	2

**Cuadro 2.** Configuración de las zanjas de oxidación en México.

Configuración/No. de PTARD	Un Canal	2 Canales	3 Canales	6 Canales	Total
Canal con pared isla y 45°	7 (1.5)	2 (1.5)			9
Canal sin pared Isla y 90°	5 (2.8)	6 (2.8)	1 (3.2)		12
Tipo carrusel		1 (3.5)			1
Configuración en «U»	1 (3.5)	5 (3.5)	1 (4.0)	1 (5.5)	8
Dos tipos de configuración		2			2
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>32</b>

Entre paréntesis la profundidad (m) de cada canal.

**Cuadro 3.** Costos de construcción y operación de zanjas de oxidación y un proceso de lodos activos convencional (miles de dólares americanos «USD»).

Costos de construcción						
Capacidad (mgd)		0.1	0.5	1.0	5.0	10.1
Zanjas de oxidación		195	-	600	-	3,350
Lodos Activados Convencional		-	-	1,045	2,645	4,138
Costos de operación						
Zanja de oxidación	Normal	22.1	-	62.4	-	446.6
	Nitrificación	22.6	-	63.5	-	467.5
Lodos Activados Convencional	Normal	-	-	80.9	187.7	308.1
	Nitrificación	-	-	102.9	245.4	416.9

Fuente: A Comparison of Oxidation Ditch Plants to Competing processes for Secondary and Advanced Treatment of Municipal Wastes. US Environmental Protection Agency, 1977.

**Cuadro 4.** Costo comparativo de sistemas de tratamiento de aguas residuales (costo en millones de USD de 2000 a 25 años con una tasa de descuento del 12 % para una población de 250,000 habitantes).

Sistema	Costo de capital	Costo anual de operación	Ingreso por la venta de efluente para irrigación	Valor presente
Laguna de estabilización	5.68	0.21	0.73	5.16
Lagunas aireadas	6.98	1.28	0.73	7.53
Zanjas de oxidación	4.80	1.49	0.43	5.86
Filtros biológicos	7.77	0.86	0.43	8.20

Fuente: Waste Stabilisation Ponds, Miguel Peña Varón, IRC 2004.

## Referencias

**Baars, J.K.** (1962). The use of oxidation ditches for treatment of sewage from small communities. *Bull. Org. mond. Santé*, 26(34): 465-474

**Cao, Y.S.; Wan, Y.L.; Ang, C.M. & Kandiah S.R.** (2008). *Biological nitrogen removal activated sludge process in warm climates* (p. 152). United Kingdom: IWA Publishing.

**CONAGUA (Comisión Nacional del Agua).** (2014). *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento: sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales y lodos producidos* (p. 308). Coyoacán, México D.F.

**EPA (Environmental Protection Agency).** (1999). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: zanjas de oxidación*. Washington D.C., USA.

**Pasveer, A.** 1963. Development in activated sludge in the Netherland. In: W.W. Eckenfelder & J. Mc Cabe (Eds.) *Advances in biological waste treatment* (pp. 219-297). N.Y.: Mc Millan.

**Romero Rojas, J.A. (1999).** *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización* (p. 281). Escuela colombiana de Ingeniería.

**Qiu, Y.; Han-chang, S. & Miao, H.** (2010). Nitrogen and phosphorous removal in municipal wastewater treatment plants in China: a review. *International Journal of Chemical Engineering*, 1(2): 121-132

**Rojas Suazo, H.O.** (2012). *El Sistema de zanjas de oxidación como una alternativa de tratamiento biológico en México* (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

**Stein, F.** (1991). Investigation of oxidation ditch: performance in treatment of domestic wastewater (p. 34). United State of America: AWARE Environmental Inc.





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

DACBiol



**EDIFICIO DR. ANDRÉS RESÉNDEZ MEDINA:** *antes Centro de Investigación en Biología y Biotecnología Tropical.*  
División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
Villahermosa, Tabasco; México.

*Fotografía de Rafael Sánchez Gutiérrez*



### KUXULKAB'

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

+52 (993) 358 1500, 354 4308 ext. 6415  
✉ kuxulkab@ujat.mx • kuxulkab@outlook.com  
🌐 www.revistas.ujat.mx

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

