

## LA EVOLUCIÓN DEL USO DE FOSA SÉPTICA+WETLAND PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE GUASAVE, SINALOA, MÉXICO Y SU IMPORTANCIA PARA LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DE LOCALIDADES RURALES

### EVOLUTION OF THE USE OF SEPTIC TANK+CONSTRUCTED WETLAND FOR WASTEWATER TREATMENT IN THE MUNICIPALITY OF GUASAVE, SINALOA, MEXICO AND ITS VERY IMPORTANT ROLE IN THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF RURAL COMMUNITIES

Ivette Renée **Hansen-Rodríguez**<sup>1</sup>; Rosa María **Longoria-Espinoza**<sup>2</sup>; Gabriela **Mantilla-Morales**<sup>3</sup>; Fridzia **Izaguirre-Díaz de León**<sup>4</sup> y Ramiro **Ahumada-Cervantes**<sup>5</sup>

#### Resumen

La presión ejercida sobre el recurso hídrico enfatiza la importancia de generar un agua residual tratada factible de ser reusada en distintas actividades en las cuales no se requiera agua de primer uso y, de esta manera, liberar volúmenes que no se

tendrían disponibles, siempre bajo el cumplimiento de la normatividad vigente. Así, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son instalaciones primordiales para garantizar el desarrollo sostenible de la sociedad y la conservación, tanto del recurso como del medio ambiente.

<sup>1</sup> Candidata a Doctora en Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave. Av. Universidad s/n, Fracc. Villa Universidad, C.P. 81048, Guasave, Sin. Correo electrónico: ivrenhr@gmail.com

<sup>2</sup> Profesora Investigadora. Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave. Av. Universidad s/n, Fracc. Villa Universidad, C.P. 81048, Guasave, Sin. Correo electrónico: rosa.longoria@uadeo.mx

<sup>3</sup> Tecnóloga del Agua "B" TITULAR. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Mor. Correo electrónico: gabriela.mantilla@gmail.com

<sup>4</sup> Vicerrectora Académica. Universidad Autónoma de Occidente. Av. Gabriel Leyva No. 300 Norte, C.P. 81200, Los Mochis, Sin. Correo electrónico: fridzia.izaguirre@uadeo.mx

<sup>5</sup> Profesor Investigador. Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave. Av. Universidad s/n, Fracc. Villa Universidad, C.P. 81048, Guasave, Sin. Correo electrónico: ramiro.ahumada@uadeo.mx

En México, y especialmente en las localidades rurales, es importante que el tipo de sistema de tratamiento seleccionado sea económico, factible y sencillo de manejar. Tal es el caso del proceso conformado por fosa séptica+wetland, que se utiliza en distintas localidades rurales del municipio de Guasave, Sinaloa, México. Mediante el análisis de la información proporcionada por los inventarios nacionales de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), de 2004 a 2019, periodo de la información oficial disponible, se realizó una investigación para conocer la evolución en cuanto al número de PTAR municipales que utilizan ese sistema, así como el incremento del caudal tratado. La información indica que el número de plantas se ha incrementado de dos a 16 en localidades rurales, cuya población servida se encuentra en el intervalo de 278 a 2,012 habitantes, con un total de 17,129 personas atendidas. Referente al caudal tratado, este aumentó de 3.3 L/s en 2004 a 24.9 L/s al 2019 y de forma similar, la capacidad instalada de tratamiento se elevó de 3.9 L/s al 2004 a 31 L/s, en 2019. Aunque los datos muestran incrementos, también se observó que algunas fosas sépticas+wetland han dejado de operar durante distintos periodos, lo cual se debe evitar para preservar la calidad del agua en los cuerpos receptores de la región. En Guasave, la mayor parte de las localidades rurales carecen del tratamiento de sus aguas residuales, por lo que se debe continuar operando y manteniendo adecuadamente las instalaciones existentes, así como continuar incrementando la cobertura del tratamiento para reducir la contaminación generada, la descarga directa a cuerpos receptores y a la vez, mediante la utilización de este tipo de sistemas, encaminarse hacia la sustentabilidad; así como para el cumplimiento de los Objetivos de

Desarrollo Sostenible (ODS), como el ODS-6 Agua limpia y saneamiento.

**Palabras clave:** tanque séptico, humedal artificial, planta de tratamiento, rural, sustentable.

### Abstract

The natural water resources are under a lot of pressure which highlights the importance of wastewater being treated in a way that can be reused efficiently in different forms besides their priority use this will also allow to free volumes that otherwise would not be available and most importantly, always complying with the actual normativity in place. Hence, wastewater treatment plants (WWTP) should be considered as priority facilities to guarantee sustainable social development same for the resource as for the environment. In Mexico, especially in rural communities, is of highlight importance that the chosen water treatment system be economical, feasible and easy to operate and maintain. Such is the case for the process septic tank+constructed wetland, which is used in different rural communities at the Guasave municipality in Sinaloa, Mexico. Through the information analysis provided by the National inventories of municipal water treatment plants and wastewater treatment plants in operation of the National Water Commission of Mexico (CONAGUA), from 2004 to 2019, period of official information available, in order to know the evolution in terms of the number of municipal WWTP using this system, as well as the increase in treated flow an investigation was carried out. The information shows that the number of plants has increased from two to 16 in rural communities whose population served is in the range of 278 to 2012 inhabitants, with a total of 17129 people served. The flow rate also increased from 3.3 L/s in 2004 to 24.9 L/s in 2019 and similarly, treatment capacity rose from 3.9 L/s to 2004 to 31 L/s, in 2019. Although the numbers show

increments, it was also observed that some septic tanks+constructed wetland have ceased to operate for different periods, which should be avoided in order to preserve water quality in the region's receiving bodies. In Guasave, most rural communities lack the treatment of their wastewater, so existing facilities must continue to be properly operated and maintained, as well as continue increasing treatment coverage to reduce pollution

generated, direct discharge to receiving bodies and at the same time, through the use of this type of systems, moving towards sustainability; as well as for the fulfilment of Sustainable Development Goals (SDGs), such as SDG-6: Clean Water and Sanitation.

**Key words:** septic tank, wetland, wastewater treatment plant, rural, sustainable.

## INTRODUCCIÓN

El agua influye en la calidad de vida de los habitantes (Padrón y Cantú, 2009; CONAGUA, 2017b), para ello, debe existir de manera suficiente y con calidad apropiada. Si se combina con un buen saneamiento e higiene, permite además mejorar la salud, erradicar la pobreza, reducir el hambre, disminuir la mortalidad infantil y las enfermedades infecciosas; así como la sustentabilidad ambiental (CONAGUA, 2018b). En México, con la reforma al artículo 4º constitucional (DOF, 8 de febrero, 2012) “toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho” (DOF, 2021), se establece una base sólida para impulsar la sostenibilidad ambiental para la población en general. Además, como parte de los estados que aprobaron la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, México requiere cumplir con los 17 ODS, destacando el ODS-6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (CONAGUA, 2018b, 2019b), lo cual es fundamental para la contención de la pandemia por COVID-19 (ocasionada por el virus SARS-CoV-2), dada la importancia de incrementar el lavado de manos y aumentar las medidas de higiene en general, así como para la prevención de enfermedades de origen hídrico, como la diarrea, el cólera, la fiebre tifoidea y otras de tipo parasitario (Zamora, 2020). La salud de la población se ve beneficiada al brindarle agua potable y saneamiento, pues se evita exponerla a microorganismos patógenos (CONAGUA, 2018b).

### Tratamiento de aguas residuales

Se generan aguas residuales en todas las actividades que usen agua, esto se remarca en el informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017 y, a mayor demanda de agua, mayor volumen de aguas residuales generadas (WWAP, 2017). La Ley de Aguas Nacionales (LAN) las

define como “aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas” (CONAGUA, 2014b; DOF, 2016). El tratamiento de las aguas residuales fue necesario a partir de que se excedió la autopurificación de los cuerpos receptores (CONAGUA, 2019b).

En el artículo 115 constitucional, fracción III, inciso A, se establece que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales (DOF, 2020). Esto lo remarca la ley de agua potable y alcantarillado del estado de Sinaloa en su artículo 12 (Periódico Oficial El Estado de Sinaloa, 2018). Específicamente, es a la Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guasave (JUMAPAG), organismo público descentralizado de la administración municipal, a quien le corresponde brindar estos servicios en el municipio de Guasave (JUMAPAG, 2021b).

En México, en los últimos años ha habido un incremento considerable en el tratamiento del agua residual. A finales de 2019, el tratamiento de agua residual municipal alcanzó el 65.7% del agua colectada a nivel nacional (CONAGUA, 2019a). Sin embargo, comparado con el 94.4% de cobertura de agua potable y 91.4% de cobertura de alcantarillado arrojados por la encuesta intercensal INEGI 2017 (citado en CONAGUA, 2019b), el tratamiento resulta insuficiente y el porcentaje es muy inferior a las coberturas antes mencionadas. Además, un factor importante que complica el dotar de estos servicios a la población es la dispersión territorial (CONAGUA, 2019b) y, en muchos casos, la topografía accidentada de gran parte de la República Mexicana.

Acorde a los datos presentados en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), la cobertura de agua potable reportada por JUMAPAG para el municipio de Guasave al 2016, año más reciente disponible, es de 92.24%; mientras que para la cobertura de alcantarillado es de 74.84% para el mismo año (PIGOO, 2021).

## **Tratamiento de aguas residuales en el municipio de Guasave, Sinaloa, México**

En este municipio, el 62% del total de la población se ubica en 18 localidades mayores de 2,500 habitantes y el resto, en 434 localidades rurales (JUMAPAG, 2021a), que son aquellas con menos de 2,500 habitantes (CONAGUA, 2016c). El total de localidades rurales consideradas por JUMAPAG difiere de las 836

localidades referidas por el INEGI, pero este instituto considera en su listado varias localidades de incluso un sólo habitante (SEDESOL, 2013a).

La JUMAPAG presta el servicio de agua potable a 154 comunidades rurales (35.5% del total). En este contexto, solamente el 3.7% del total de las localidades rurales del municipio cuentan con un sistema de tratamiento centralizado, lo cual representa el 10% de las poblaciones rurales atendidas por la junta.

En las localidades rurales atendidas por la JUMAPAG que cuentan con planta de tratamiento, el sistema utilizado corresponde al denominado fosa séptica+wetland y consiste en una fosa séptica cuyo efluente se envía a un humedal artificial para continuar con el tratamiento, y posteriormente ser descargado al cuerpo receptor, que en todos los casos corresponde a un dren agrícola, tal y como se observa en la *Tabla 1*. En el inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, diciembre 2019 (CONAGUA, 2019a) se indica que el 100% del agua tratada tiene un reúso indirecto ambiental, esto es, se considera al medio ambiente como el usuario final del agua recuperada con fines de favorecer la sustentabilidad ambiental de la región.

Las fosas o tanques sépticos están formados por un tanque rectangular o circular, el cual funciona como pretratamiento, de manera que se requiere un tratamiento posterior (CONAGUA, 2016c); mientras que los humedales artificiales (wetland) son un sistema de tratamiento natural, donde la degradación de la contaminación se da por mecanismos y procesos naturales, sin la adición de reactivos químicos ni el uso de energía externa. El agua residual pasa a través del estanque que contiene plantas macrófitas para que se lleve a cabo el tratamiento (CONAGUA, 2016b, 2016c).

### **Sustentabilidad ambiental en plantas de tratamiento**

García (2018) propone indicadores ambientales aplicables a las plantas de tratamiento de aguas residuales orientadas al sector rural, asociados al consumo energético, los reactivos químicos necesarios para llevar a cabo el tratamiento, al área total ocupada por la planta, los lodos generados y la calidad del agua residual tratada obtenida. Estos indicadores permiten establecer la sustentabilidad de un sistema de tratamiento, pero se requiere de información confiable.

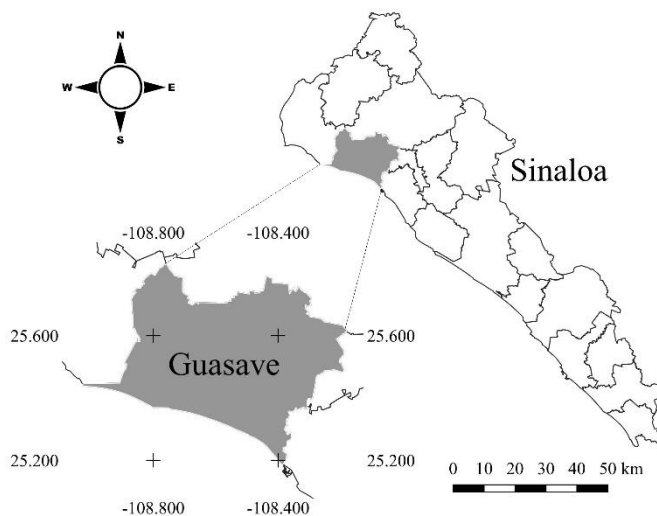
La presente investigación tiene como objetivo conocer la evolución que se ha tenido en el municipio de Guasave, Sin., con respecto al número de PTAR municipales para tratar las aguas residuales generadas en localidades rurales; así como el incremento en el caudal tratado durante el periodo de 2004-2019, para enfatizar su importancia hacia la sustentabilidad ambiental de esa región. Durante

la búsqueda de información, no se encontraron proyectos y/o investigaciones previas similares a lo que se presenta en este documento.

## MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

### Área de estudio

El municipio de Guasave se encuentra ubicado entre los paralelos 25°11' y 25°50' de latitud norte; los meridianos 108°10' y 109°02' de longitud oeste (*Figura 1*). Colinda al norte con los municipios de Ahome y Sinaloa; al este con los municipios de Sinaloa, Salvador Alvarado y Angostura; al sur con el municipio de Angostura y el Golfo de California; al oeste con el Golfo de California y el municipio de Ahome. Ocupa el 4.86% de la superficie estatal (INEGI, 2009; SEDESOL, 2013b). Su población total es de 289,370 habitantes (INEGI, 2020). Se conoce como el corazón agrícola de México, tanto por la variedad de cultivos sembrados como por la superficie dedicada a la agricultura, que es la principal actividad económica en la región (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2012; JUMAPAG, 2021a). CONAGUA (2018a), menciona que el estado de Sinaloa presenta un grado de presión alto sobre el recurso hídrico.



**Figura 1.** Ubicación geográfica del municipio de Guasave, en el estado de Sinaloa, México.

**Fuente:** Elaboración propia.

## Métodos y técnicas

El trabajo es una investigación cualitativa, tipo exploratoria, basado en lo descrito por Hernández, *et. al.* (2014), respecto al tratamiento de aguas residuales en localidades rurales, mediante el uso del sistema combinado de fosa séptica+wetland. Por otra parte, usando el método de investigación documental, se realizó una recopilación de información en fuentes oficiales, específicamente en los inventarios nacionales de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación durante el periodo de 2004 a 2019 (16 inventarios en total). Esta información se obtuvo directamente del portal web de la CONAGUA, dentro del rubro de publicaciones, pues los inventarios presentan la información de las plantas registradas ante la CONAGUA y constituyen el único documento oficial a nivel nacional que actualiza anualmente la información básica de los sistemas de tratamiento que operan y, permiten contrastar los cambios generados por acciones de rehabilitación y ampliación, así como los sistemas que salen de operación, indicando el nombre de la localidad a la cual el sistema presta servicio, municipio y nombre de la PTAR, proceso usado, capacidad instalada, caudal tratado y cuerpo receptor o reúso de las aguas residuales tratadas. Asimismo, se realizó una solicitud de información a la

JUMAPAG mediante la Plataforma Nacional de Transparencia (PNT), con el folio No. 01179019 y mediante la respuesta proporcionada se obtuvieron las coordenadas geográficas de la ubicación de cada una de las PTAR y la población servida por ellas, ya que esta información no se incluye en los inventarios. Por lo descrito anteriormente, este trabajo presenta el enfoque de investigación retrospectiva.

Al analizar la información contenida en los inventarios se observó que en el municipio solamente se utilizan dos tipos de sistemas de tratamiento: Lagunas de estabilización y fosa séptica+wetland, siendo este último el único sistema usado en las localidades rurales, las cuales, como ya se mencionó previamente, son aquellas con menos de 2,500 habitantes.

Por tanto, debido a que esta investigación se enfoca en localidades rurales, se seleccionaron solamente aquellas plantas de tratamiento que cumplieran con dos condiciones: a) que utilizaran fosa séptica+wetland para el tratamiento de sus aguas residuales y, b) que la población servida por la planta fuera menor o igual a 2,500 habitantes.

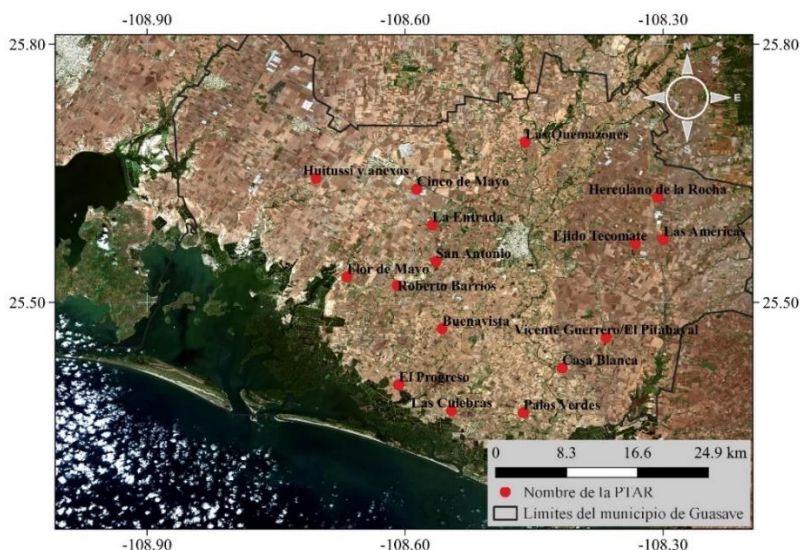
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los sistemas de tratamiento que más se usan en localidades rurales, se encuentran los humedales artificiales precedidos de fosa séptica (Zurita-Martínez, Castellanos-Hernández y Rodríguez-Sahagún, 2011), lo cual coincide con el proceso seleccionado por el municipio de Guasave, Sin. para el tratamiento de las aguas residuales en localidades rurales. Los resultados del análisis realizado a los inventarios y a la información obtenida a través de la PNT se presentan en la *Tabla 1*, *Figura 2* y *Figura 3*.

Acorde a la revisión en los inventarios, en 2004 solamente se registraban dos PTAR tipo wetland denominadas Huitussi y anexos y San Rafael (CONAGUA, 2005a), las cuales al siguiente año aparecen como fosa séptica+wetland; además de que se agregaron las plantas denominadas La Entrada y Vicente Guerrero/El Pitahayal (CONAGUA, 2005b). En 2006 se incluyen en el listado Herculano de la Rocha y Roberto Barrios (CONAGUA, 2007). Al 2007, acorde con la CONAGUA (2008) se incrementa el número de instalaciones, con la planta Cinco de Mayo y, al 2008, Palos Verdes (CONAGUA, 2009a) y se mantiene el número igual para 2009 (CONAGUA, 2009b). Al año 2010, se aumentan los sistemas Las Américas y Buenavista (CONAGUA, 2010); mientras que al 2011 se agregan cinco plantas más: Casa Blanca, Las Culebras, Flor de Mayo, El Progreso y San



Antonio (CONAGUA, 2011), número que se mantuvo constante en 2012 (CONAGUA, 2012). En 2013, se incluye Ejido Tecomate y las Quemazones, pero ya no aparecen las plantas Huitussi y anexos, San Rafael, La Entrada y Herculano de la Rocha, con un registro de 13 plantas en total (CONAGUA, 2013). Dicho número se mantuvo constante para el año siguiente (CONAGUA, 2014a). En 2015, nuevamente se agrega Herculano de la Rocha, alcanzando 14 plantas de tratamiento (CONAGUA, 2015). En 2016, aparecen nuevamente Huitussi y anexos y La Entrada, llegando a 16 plantas de tratamiento (CONAGUA, 2016a), número que se mantuvo hasta 2019, siendo este el inventario más actualizado hasta el momento (CONAGUA, 2017a, 2018c y 2019a).

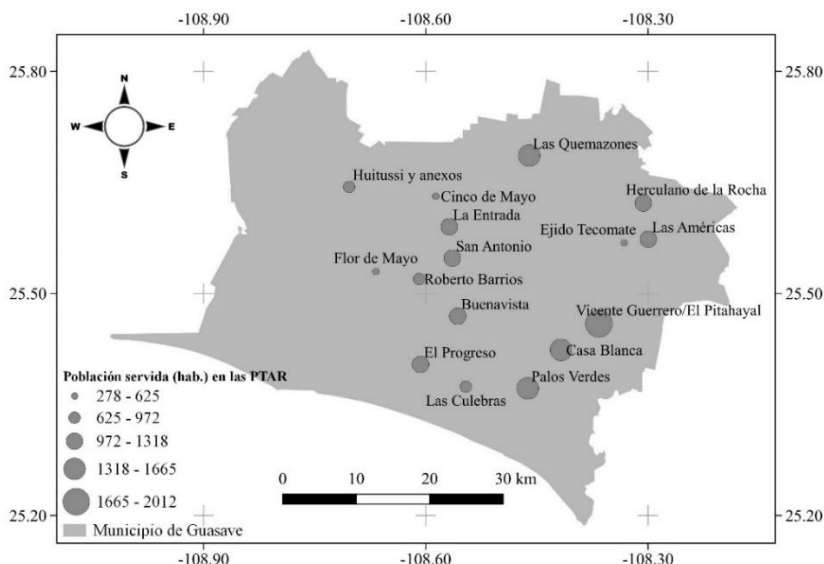


**Figura 2.** Localización de las 16 PTAR con fosa séptica+wetland para el tratamiento de las aguas residuales generadas en localidades rurales.

**Fuente:** Elaboración propia, con información proporcionada por JUMAPAG como respuesta a la solicitud ante la PNT (2019) y mediante una imagen sentinel-2B del 05 de octubre de 2020, composición RGB.

En la *Tabla 1* se muestran las coordenadas geográficas de las 17 plantas con este tipo de sistema de tratamiento e incluye la población servida por cada planta. En el último inventario disponible se incluyen 16 plantas (sin la PTAR San Rafael), las cuales se ubicaron sobre una imagen multiespectral sentinel-2B del área de estudio y procesada en QGIS, versión 3.16.3 (*Figura 2*). Por otra parte,

los intervalos de la población servida se presentan en la *Figura 3*, con un total de 17,129 habitantes atendidos al 2019. El primer intervalo se integra por tres plantas que brindan servicio al 6.7% del total de la población servida; el segundo, se integra también por tres plantas y atiende al 15.4% del total; el tercer intervalo con seis plantas sirve al 41.5% del total; el cuarto, con tres plantas atiende al 24.7% del total y en el último intervalo, con una planta de tratamiento atiende al 11.7% del total.

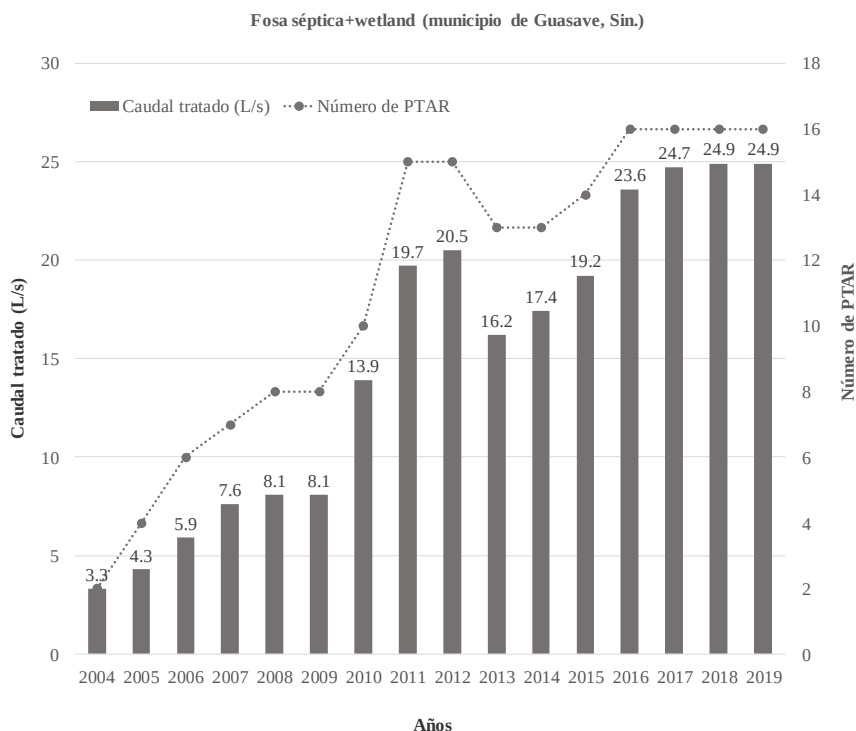


**Figura 3.** Población servida por las plantas de tratamiento de agua residual con fosa séptica+wetland.

**Fuente:** Elaboración propia, con información proporcionada por JUMAPAG como respuesta a la solicitud ante la PNT (2019).

La capacidad instalada y la evolución del caudal tratado, año por año, se muestra en la *Tabla 2*. Se observa un aumento considerable del caudal de tratamiento, pasando de 3.3 L/s en 2004 a 24.9 L/s en 2019 (*Figura 4*), esto es, actualmente el 12.88% del total del agua residual tratada en el municipio de Guasave utiliza este tipo de sistema de tratamiento (CONAGUA, 2019a). También la capacidad instalada ha crecido de 3.9 L/s en 2004 a 31.0 L/s en 2019. Dicho de otra forma, al 2019, las plantas de tratamiento que usan el sistema combinado de fosa séptica+wetland cuentan con una capacidad instalada de 30

L/s y tratan 24.9 L/s, esto es, que de manera general se encuentran al 80% de su capacidad.



**Figura 4.** Evolución de la fosa séptica+wetland (caudal tratado y número de plantas) en el municipio de Guasave, Sin., de 2004 a 2019.

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de CONAGUA (2005a, 2005b, 2007, 2008, 2009a, 2009b, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014a, 2015, 2016a, 2017a, 2018c y 2019a).

Cuando no se tienen plantas de tratamiento suficientes, una opción consiste en enviar las aguas residuales generadas en una localidad hacia otra que si cuente con sistema de tratamiento en operación. Sin embargo, para ello es necesario que el sistema tenga la capacidad instalada suficiente para tratar el agua de ambas localidades (considerando también las proyecciones en el crecimiento de la población en ambas y, por tanto, la aportación a las aguas residuales por tratar en esta instalación) y que, al analizar el costo asociado a la conducción del agua residual de la primera a la segunda localidad, sea una opción económica, técnica y socialmente viable.

**Tabla 1. Coordenadas geográficas, población servida y cuerpo receptor de las fosas sépticas+wetland en las localidades rurales**

| N°             | Nombre de la PTAR             | Longitud         | Latitud        | Pob. servida (hab.) | Cuerpo receptor            |
|----------------|-------------------------------|------------------|----------------|---------------------|----------------------------|
| 1              | Huitussi y anexos             | -108°42'12.50" O | 25°38'38.80" N | 920                 | Dren Navobampo             |
| 2              | San Rafael*                   | -108°17'59.50" O | 25°28'43.80" N | 1351                | Arroyo San Rafael          |
| 3              | La Entrada                    | -108°34'05.60" O | 25°35'24.40" N | 982                 | Dren San Carlos            |
| 4              | Vicente Guerrero/El Pitahayal | -108°21'58.30" O | 25°27'32.90" N | 2012                | Dren agrícola              |
| 5              | Herculano de la Rocha         | -108°18'18.76" O | 25°37'05.02" N | 1228                | Dren Colector Maquipo      |
| 6              | Roberto Barrios               | -108°36'32.40" O | 25°31'10.73" N | 966                 | Dren San Antonio           |
| 7              | Cinco de Mayo                 | -108°35'19.39" O | 25°37'39.64" N | 540                 | Dren 15                    |
| 8              | Palos Verdes                  | -108°27'44.50" O | 25°22'18.40" N | 1500                | Dren Palos Verdes          |
| 9              | Las Américas                  | -108°17'58.50" O | 25°34'24.30" N | 1180                | Dren Colector Maquipo      |
| 10             | Buenavista                    | -108°33'21.53" O | 25°27'47.59" N | 1282                | Dren Colector 27+1000      |
| 11             | Casa Blanca                   | -108°24'0.82" O  | 25°25'35.09" N | 1417                | Dren Colector Burrión      |
| 12             | Las Culebras                  | -108°32'44.93" O | 25°22'27.01" N | 746                 | Dren 900                   |
| 13             | Flor de Mayo                  | -108°40'02.54" O | 25°31'47.18" N | 327                 | Dren Bacahuiria Oriente    |
| 14             | El Progreso                   | -108°36'25.70" O | 25°24'15.00" N | 1137                | Dren 25+1000               |
| 15             | San Antonio                   | -108°33'50.98" O | 25°32'51.98" N | 1295                | Dren San Carlos            |
| 16             | Ejido Tecomate                | -108°19'56.20" O | 25°34'06.40" N | 278                 | Dren Colector El Gato      |
| 17             | Las Quemazones                | -108°27'37.40" O | 25°41'10.80" N | 1319                | Dren Colector Arroyo Viejo |
| TOTAL 16 PTAR* |                               |                  |                | 17129               |                            |

Nota. \*PTAR San Rafael no aparece en el inventario de 2019, por lo que no se considera esta población servida para determinar el total

**Fuente:** Elaboración propia con datos de CONAGUA (2012 y 2019a) y proporcionada por JUMAPAG en respuesta a la solicitud ante la PNT (2019).

**Tabla 2. Capacidad instalada y evolución del caudal tratado (L/s) por fosa séptica+wetland en localidades rurales del municipio de Guasave, Sin.**

| Año  |                   | PTAR* |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Total |
|------|-------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
|      |                   | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  |       |
| 2004 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 3.9   |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.3   | 2.0 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 3.3   |
| 2005 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 | 1.8 | 3.6 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 9.3   |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.3   | 2.0 | 0.8 | 0.2 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 4.3   |
| 2006 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 12.3  |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.3   | 2.0 | 0.8 | 0.2 | 1.0 | 0.6 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 5.9   |
| 2007 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 13.3  |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.3   | 2.0 | 0.8 | 1.3 | 1.0 | 0.6 | 0.6 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 7.6   |
| 2008 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 15.7  |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.3   | 2.0 | 0.8 | 1.3 | 1.0 | 0.6 | 0.6 | 0.5 |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 8.1   |
| 2009 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 15.7  |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.3   | 2.0 | 0.8 | 1.3 | 1.0 | 0.6 | 0.6 | 0.5 |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 8.1   |
| 2010 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 |     |     |     |     |     |     |     | 20.5  |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.3   | 2.1 | 1.0 | 1.9 | 1.2 | 0.8 | 0.6 | 1.3 | 1.9 | 1.8 |     |     |     |     |     |     |     | 13.9  |
| 2011 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 |     |     | 29.6  |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.3   | 2.1 | 1.0 | 1.9 | 1.2 | 0.8 | 0.6 | 1.3 | 1.9 | 1.8 | 2.1 | 0.7 | 0.5 | 1.9 | 0.6 |     |     | 19.7  |
| 2012 | Q <sub>inst</sub> | 1.6   | 2.3 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 |     |     | 29.6  |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.4   | 2.1 | 1.1 | 2.1 | 1.3 | 0.8 | 0.7 | 1.5 | 1.9 | 1.8 | 2.1 | 0.7 | 0.5 | 1.9 | 0.6 |     |     | 20.5  |
| 2013 | Q <sub>inst</sub> |       |     |     | 3.6 |     | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 | 0.6 | 3.1 | 25.7  |
|      | Q <sub>trat</sub> |       |     |     | 2.1 |     | 0.8 | 0.7 | 1.5 | 1.9 | 1.8 | 2.1 | 0.7 | 0.5 | 1.9 | 0.6 | 0.6 | 1.0 | 16.2  |
| 2014 | Q <sub>inst</sub> |       |     |     | 3.6 |     | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 | 0.6 | 3.1 | 25.7  |

|      |                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2015 | Q <sub>trat</sub> |     |     | 2.5 |     | 0.8 | 0.7 | 1.7 | 1.9 | 1.8 | 2.1 | 0.7 | 0.5 | 1.9 | 0.7 | 0.6 | 1.5 | 17.4 |
|      | Q <sub>inst</sub> |     |     | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 | 0.6 | 3.1 | 27.6 |
| 2016 | Q <sub>trat</sub> |     |     | 2.5 | 1.4 | 0.8 | 0.7 | 1.7 | 1.9 | 1.8 | 2.1 | 0.7 | 0.5 | 1.9 | 0.7 | 0.6 | 1.9 | 19.2 |
|      | Q <sub>inst</sub> | 1.6 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 | 0.6 | 3.1 | 31.0 |
| 2017 | Q <sub>trat</sub> | 1.5 | 1.5 | 2.9 | 1.6 | 0.8 | 0.7 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 2.1 | 0.9 | 0.5 | 2.1 | 0.8 | 0.6 | 2.0 | 23.6 |
|      | Q <sub>inst</sub> | 1.6 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 | 0.6 | 3.1 | 31.0 |
| 2018 | Q <sub>trat</sub> | 1.5 | 1.6 | 3.0 | 1.7 | 0.9 | 0.9 | 2.2 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 1.1 | 0.5 | 1.4 | 0.9 | 0.6 | 2.3 | 24.7 |
|      | Q <sub>inst</sub> | 1.6 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 | 0.6 | 3.1 | 31.0 |
| 2019 | Q <sub>trat</sub> | 1.5 | 1.6 | 3.2 | 1.7 | 0.9 | 0.9 | 2.2 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 1.1 | 0.5 | 1.4 | 0.9 | 0.6 | 2.3 | 24.9 |
|      | Q <sub>inst</sub> | 1.6 | 1.8 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 1.4 | 0.7 | 3.2 | 1.2 | 0.6 | 3.1 | 31.0 |
|      | Q <sub>trat</sub> | 1.5 | 1.6 | 3.2 | 1.7 | 0.9 | 0.9 | 2.2 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 1.1 | 0.5 | 1.4 | 0.9 | 0.6 | 2.3 | 24.9 |

Nota 1. \* 1-Huitussi y anexos; 2-San Rafael; 3-La Entrada; 4-Vicente Guerrero/El Pitahayal; 5-Herculano de la Rocha; 6-Roberto Barrios; 7-Cinco de Mayo; 8-Palos Verdes; 9-Las Américas; 10-Buenavista; 11-Casa Blanca; 12-Las Culebras; 13-Flor de Mayo; 14-El Progreso; 15-San Antonio; 16-Ejido Tecomate y 17-Las Quemazones

Nota 2. Q<sub>inst</sub>-Capacidad instalada (en L/s); Q<sub>trat</sub>-Caudal tratado (en L/s)

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de CONAGUA (2005a, 2005b, 2007, 2008, 2009a, 2009b, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014a, 2015, 2016a, 2017a, 2018c y 2019a).

Esto es importante, puesto que podría ser incluso más económica la instalación de un nuevo sistema de tratamiento *in situ*. Sin embargo, acorde a la *Tabla 2*, se observa que al 2019, 14 PTAR están trabajando al 70% o más de su capacidad instalada, una planta ya está al 100% de su capacidad y solamente la PTAR El Progreso, trabaja al 44% de su capacidad, pero esta planta aparece en los inventarios en 2011, por lo que es posible su incremento en el caudal de tratamiento. En esta misma tabla se observa que, al iniciar sus operaciones, las plantas de tratamiento comienzan tratando caudales más pequeños y, con el paso de los años, estos caudales se incrementan hasta alcanzar la capacidad instalada.

Acorde con información de CONAGUA (2019a) del total de plantas que utilizan este sistema de tratamiento a nivel nacional (117 PTAR), 108 se encuentran ubicadas en el estado de Sinaloa (92% del total Nacional), seguidas por Tlaxcala (con tres instalaciones), Colima, Jalisco, Michoacán y Puebla (con sólo una planta, cada uno) e Hidalgo con dos sistemas instalados.

Al priorizar el uso de este sistema de tratamiento sobre los sistemas mecanizados en localidades rurales, se reducen los costos de operación y mantenimiento, si se considera la adición de reactivos químicos, el consumo energético y la contratación de personal especializado, que requieren estos últimos. La instalación de un wetland requiere de una mayor superficie de terreno que los sistemas mecanizados, lo cual resulta mucho más factible de conseguir en las localidades rurales. Este hecho ha permitido continuar con el incremento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales en aquellas localidades que presentan menos de 2,500 habitantes y con ello, disminuir la descarga directa de las aguas residuales a los cuerpos receptores, con la consecuente protección del medio ambiente y su sustentabilidad. Aunque la combinación de fosa séptica+wetland es un sistema que requiere de menores costos para la operación y mantenimiento, es necesario que el organismo operador realice, de manera periódica, la limpieza del pretratamiento, el retiro de los lodos primarios de las fosas; así como la poda de las macrófitas utilizadas en los wetland, para que estos sistemas continúen trabajando apropiadamente.

El informe de actualización de 2017 y línea base de los ODS reporta que, al 2015 a nivel mundial, 2,300 millones de personas carecen incluso de un servicio básico de saneamiento y 892 millones continúan practicando la defecación al aire libre. En su anexo 4 estimaciones nacionales de saneamiento, indica que México presenta un incremento al 2015 respecto a 2000, en la proporción de la población rural que usa instalaciones mejoradas de saneamiento, llegando a 16% en aguas residuales tratadas y a 31% en conexiones al alcantarillado (OMS-UNICEF, 2017). El tratamiento de las aguas residuales municipales es un indicador de desarrollo de los países. En la actualidad, el aumento de la

población, el cambio climático global, el estrés hídrico, la pérdida de la calidad de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos y la pandemia que estamos enfrentando por COVID-19, enfatiza la importancia de contar con agua limpia y saneamiento en todos los hogares. Tal y como lo mencionan Piza De la Hoz y Pérez (2019), el tratamiento del agua residual es vital cuando se habla de salud humana, pues un manejo inadecuado puede ser fuente de diseminación de enfermedades. La Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México, A.C. (ANEAS), reporta que, previo a la crisis sanitaria por COVID-19, los organismos operadores ya afrontaban problemas como la reducción en el presupuesto para inversiones, la atención al saneamiento y el mantenimiento y reposición de infraestructura, entre otros más, y que durante la pandemia, la problemática se intensificó pues la población requiere mayor cantidad de agua (30-40%) pero su recaudación disminuyó hasta en un 50% (ANEAS, 2020). Tales situaciones dificultan a los organismos operadores ampliar las coberturas del tratamiento, especialmente en localidades rurales, en pro del cumplimiento del ODS-6 de cara al 2030. Se acepta de facto el derecho humano al agua y al saneamiento, lo que representa la obligación de los municipios a trabajar para disminuir las carencias de recolección y el tratamiento de las aguas residuales en aras de la sustentabilidad ambiental. El aumento de consumo de agua potable y, por ende, el aumento de aguas residuales municipales obliga a los tres niveles de gobierno y a la población en general, a tener mayor responsabilidad con respecto a las políticas de salud pública y ambiental y con la calidad de vida de la población. En este contexto, es importante enfatizar que las aguas residuales, tanto de origen urbano como rural, deben ser tratadas para eliminar los contaminantes que tienen el potencial de causar enfermedades a la población y alterar la calidad de los cuerpos receptores, con la consecuente degradación del mismo, y a su vez, favorecer la posibilidad de reusar las aguas residuales tratadas en diversas actividades humanas que no requieran agua de primer uso. Las localidades rurales no están libres de generar las aguas residuales, por lo que es indispensable someterlas a tratamiento para la descarga del efluente tratado sin generar daños al cuerpo receptor y, por ende, al ambiente en general. Sin embargo, en ocasiones, por distintos factores, como la dispersión de las viviendas y localidades, o por los pocos habitantes presentes en las mismas, se vuelve complicado para los organismos operadores el incrementar el número de sistemas centralizados para el tratamiento.



## CONCLUSIONES

El municipio de Guasave, Sinaloa, utiliza un sistema adecuado a las características de las localidades rurales, buscando reducir el impacto ambiental por la descarga directa del agua residual cruda. Esto es, la fosa séptica+wetland es un sistema de tratamiento que aporta hacia la sustentabilidad ambiental y en 15 años, se ha incrementado su número hasta 16 PTAR (más una que a 2019 no está activa en el inventario más actualizado), en localidades que están en el intervalo de 278 a 2,012 habitantes, con un total de población servida de 17,129 habitantes. En el municipio ha aumentado la capacidad instalada y el volumen de agua tratada, pero es importante garantizar su adecuada operación y mantenimiento para optimizar su funcionamiento, sin que se vea afectada la calidad del efluente tratado. Si bien es cierto que estos sistemas requieren una operación y mantenimiento más simple que el de plantas mecanizadas, eso no significa que jamás tengan que revisarse. Se requieren acciones tales como la limpieza del pretratamiento, el retiro de los lodos de las fosas, la poda sistemática de las plantas que conforman el humedal para evitar el envejecimiento del sistema y con ello, la disminución de la eficiencia de tratamiento; así como la eliminación de cortocircuitos hidráulicos, para garantizar la descarga de un efluente que cumpla con la normatividad vigente. Es importante mencionar que el diseño de estos sistemas se realiza tomando en cuenta factores como el clima, el nivel cultural de la comunidad y la capacidad económica del municipio, por lo que son adecuados y sostenibles en comunidades rurales o de bajos ingresos. Sin embargo, aún falta mucho por hacer puesto que los datos reportan 434 localidades rurales en total en el municipio.

Se han realizado múltiples esfuerzos para instalar un mayor número de PTAR en localidades rurales del municipio, pero se requiere continuar con esta labor hasta lograr que todos los habitantes tengan acceso este servicio, en función de cada localidad y condiciones existentes, pues se evita que la población entre en contacto directo con heces fecales o agua contaminada por las mismas, lo que podría conducir a problemas de salud pública. En estos tiempos de pandemia por COVID-19, se requiere aún más contar con instalaciones para el tratamiento; además de los compromisos adquiridos en el marco del cumplimiento del ODS-6 al 2030. El servicio de agua potable y saneamiento es prioritario durante esta pandemia para disminuir la propagación del virus causante de COVID-19, así como de los agentes patógenos contenidos en el agua residual, causantes de enfermedades de origen hídrico, de no ser tratada en forma adecuada.

La difusión entre la población de los beneficios que brinda el tratamiento de las aguas residuales crudas coadyuva en mejorar el funcionamiento de los

sistemas de tratamiento, al informar sobre la importancia de sólo descargar agua residual al drenaje y con ello optimizar la vida útil de las instalaciones. El uso de humedales artificiales favorece la integración de los sistemas de tratamiento al entorno natural donde se encuentran, lo cual no ocurre al utilizar sistemas mecanizados. Es importante conocer las tecnologías que se basan en procesos naturales para el tratamiento de aguas residuales y crear la cultura de reúso con una perspectiva sustentable en la población.

## LITERATURA CITADA

- ANEAS.2020. Retos de los organismos operadores ante el Covid-19. *Agua y saneamiento*. 18(87), 8-10.
- Armenta-Bojórquez, A.D.; Cervantes-Medina, C.; Galaviz-Lara, J.A.; Camacho-Báez, J.R.; Mundo-Ocampo, M. & García-Gutiérrez, C. 2012. Impacto de la fertilización nitrogenada en agua para consumo humano en el municipio de Guasave Sinaloa, México. *Ra Ximhai*, 8(3), 11-16.
- CONAGUA. 2005a. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2004*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133325/Inventario\\_2004.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133325/Inventario_2004.pdf)
- CONAGUA. 2005b. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre de 2005*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133324/Inventario\\_2005.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133324/Inventario_2005.pdf)
- CONAGUA. 2007. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre de 2006*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133326/Inventario\\_2006.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133326/Inventario_2006.pdf)
- CONAGUA. 2008. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre de 2007*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133327/Inventario\\_2007.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133327/Inventario_2007.pdf)

- CONAGUA. 2009a. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre de 2008.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133328/Inventario\\_2008.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133328/Inventario_2008.pdf)
- CONAGUA. 2009b. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre de 2009.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133329/Inventario\\_2009.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133329/Inventario_2009.pdf)
- CONAGUA. 2010. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre de 2010.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133330/Inventario\\_2010.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133330/Inventario_2010.pdf)
- CONAGUA. 2011. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre de 2011.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/109008/Inventario\\_2011.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/109008/Inventario_2011.pdf)
- CONAGUA. 2012. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2012.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108925/Inventario\\_2012.compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108925/Inventario_2012.compressed.pdf)
- CONAGUA. 2013. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2013.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108922/Inventario\\_2013.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108922/Inventario_2013.pdf)
- CONAGUA. 2014a. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2014.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108923/Inventario\\_2014.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108923/Inventario_2014.pdf)
- CONAGUA. 2014b. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105137/Ley\\_Aguas\\_Nacionales.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105137/Ley_Aguas_Nacionales.pdf)
- CONAGUA. 2015. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación.*

- Diciembre 2015. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197610/Inventario\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197610/Inventario_2015.pdf)
- CONAGUA. 2016a. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2016.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/563373/INVENTARIO\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/563373/INVENTARIO_2016.pdf)
- CONAGUA. 2016b. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Humedales artificiales.* Recuperado de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro30.pdf>
- CONAGUA. 2016c. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Zonas rurales, periurbanas y desarrollos ecoturísticos.* Recuperado de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro31.pdf>
- CONAGUA. 2017a. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2017.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/563374/INVENTARIO\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/563374/INVENTARIO_2017.pdf)
- CONAGUA. 2017b. *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Edición 2017.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/614336/DSAPAS\\_2017\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/614336/DSAPAS_2017_.pdf)
- CONAGUA. 2018a. *Atlas del agua en México, Edición 2018.* Recuperado de [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/AAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/AAM_2018.pdf)
- CONAGUA. 2018b. *Estadísticas del agua en México, Edición 2018.* Recuperado de [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)
- CONAGUA. 2018c. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2018.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/563375/Inventario\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/563375/Inventario_2018.pdf)

- CONAGUA. 2019a. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2019.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611037/Inventario\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611037/Inventario_2019.pdf)
- CONAGUA. 2019b. *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Edición 2019.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554702/DSAPAS\\_1-20.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554702/DSAPAS_1-20.pdf)
- DOF. 2016. *Ley de Aguas Nacionales.* Diario Oficial de la Federación. 24 de marzo de 2016. Recuperado el 27 de enero de 2021 de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_240316.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf)
- DOF. 2020. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.* Diario Oficial de la Federación. 24 de diciembre de 2020. Recuperado el 03 de febrero de 2021 de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1\\_241220.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_241220.pdf)
- DOF. 2021. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.* Diario Oficial de la Federación. 14 de febrero de 2021. Recuperado el 14 de febrero de 2021 de [http://www3.diputados.gob.mx/camara/001\\_diputados/012\\_comisionados/01\\_ordinarias/002\\_agua\\_potable\\_y\\_saneamiento/13\\_marco\\_juridico/01\\_constitucion\\_politica\\_de\\_los\\_estados\\_unidos\\_mexicanos](http://www3.diputados.gob.mx/camara/001_diputados/012_comisionados/01_ordinarias/002_agua_potable_y_saneamiento/13_marco_juridico/01_constitucion_politica_de_los_estados_unidos_mexicanos)
- García Toscano, J.A. 2018. *Propuesta metodológica de indicadores de evaluación de sustentabilidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas orientados al sector rural.* (Tesis Ingeniero ambiental). Escuela Politécnica Nacional, Quito. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19075/1/CD-8476.pdf>
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. 2014. *Metodología de la investigación.* México: McGraw-Hill.
- INEGI. 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Guasave, Sinaloa. Clave geoestadística 25011.* Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/25/25011.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/25/25011.pdf)
- INEGI. 2020. *Censo de población y vivienda 2020. Guasave, Sinaloa.* Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

- JUMAPAG. 2021a. *Antecedentes históricos*. Recuperado el 05 de enero de 2021 de <https://www.jumapag.gob.mx/sitio/index.php/ubicacion-geografica/antecedentes-historicos>
- JUMAPAG. 2021b. *Misión*. Recuperado el 05 de enero de 2021 de <https://www.jumapag.gob.mx/sitio/index.php/ubicacion-geografica/mision-vision>
- OMS-UNICEF. 2017. *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: Informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS [Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines]*. Ginebra.
- Padrón Cruz, A.C. y Cantú Martínez, P.C. 2009. El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables. *CULCYT*, 31(6). 15-25.
- Periódico Oficial El Estado de Sinaloa. 2018. *Ley de agua potable y alcantarillado del estado de Sinaloa*. No. 119. 26 de septiembre de 2018. Recuperado el 01 de febrero de 2021 de [https://gaceta.congresosinaloa.gob.mx:3001/pdfs/leyes/Ley\\_13.pdf](https://gaceta.congresosinaloa.gob.mx:3001/pdfs/leyes/Ley_13.pdf)
- PIGOO. 2021. *Resultado de indicadores*. Recuperado de <http://www.pigoo.gob.mx>
- Piza De la Hoz, J.J. y Pérez Vidal, A. 2019. *Manejo de excretas y aguas residuales en comunidades rurales, Efectos en la salud pública*. (Monografía de Especialización en el control ambiental). Universidad Santiago de Cali, Colombia. <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/3430/MA-NEJO%20DE%20EXCRETAS.pdf;sequence=1>
- PNT. 2019. *Solicitud de información Folio No. 01179019 a JUMAPAG*. Plataforma Nacional de Transparencia. 22 de septiembre.
- SEDESOL. 2013a. *Catálogo de localidades. Resumen municipal*. Recuperado de <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=25&mun=011>
- SEDESOL. 2013b. *Cédulas de información municipal (SCIM). Datos Generales. Municipio de Guasave*. Recuperado de <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=25&mun=011>
- WWAP. 2017. *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París: UNESCO.

- Zamora Saenz, I. 2020. *El cuidado del agua en entornos urbanos durante la pandemia de COVID-19 (Temas de la Agenda 17)*. Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República, 8p.
- Zurita-Martínez, F., Castellanos-Hernández, O.A., y Rodríguez-Sahagún, A. 2011. El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(spe1), 139-150. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2nspe1/v2spe1a11.pdf>

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO) y al personal de la Gerencia Técnica de la JUMAPAG por el apoyo e información brindada para el desarrollo de este estudio. Asimismo, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca Doctoral proporcionada al primer autor.

## SÍNTESIS CURRICULAR

### **Ivette Renée Hansen Rodríguez**

Ingeniero civil por la Universidad de Occidente, Maestra en Ingeniería (ambiental) por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Candidata a Doctora en Sustentabilidad por la Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO). Profesora de asignatura base categoría “B” adscrita al Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología en la UAdeO, Unidad Regional Guasave. Ha sido asesora de tesis de licenciatura. Ha presentado ponencias en congresos nacionales e internacionales del área de la ingeniería y las ciencias ambientales. Ha publicado artículos en revistas arbitradas y capítulos en libro. Correo electrónico: ivrenhr@gmail.com.

### **Rosa María Longoria Espinoza**

Licenciatura en Ingeniería Bioquímica, Especialidad en alimentos por el Instituto Tecnológico de Culiacán, Maestra en Recursos naturales y medio ambiente por el Instituto Politécnico Nacional, Doctora en Biotecnología por la Universidad de Occidente. Profesora investigadora de tiempo completo adscrita

al Departamento Académico de Ciencias Biológicas en la UAdeO, Unidad Regional Guasave. Cuenta con una trayectoria de 24 años como docente en la misma y Reconocimiento Perfil PRODEP. Integrante del núcleo académico básico de profesores del Doctorado en Sustentabilidad (PNPC del CONACYT). Participa como profesor investigador externo de la Maestría en fitopatología y medio ambiente, con sede en la Unidad Regional Los Mochis. Integrante del cuerpo académico “Fitopatología” (UDO-CA-23). Ha sido asesora de tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Correo electrónico: rosa.longoria@uadeo.mx

### **Gabriela Mantilla Morales**

Ingeniera civil y Maestra en Ingeniería ambiental por la Universidad Nacional Autónoma de México. Doctora en Ciencias y técnicas del medio ambiente por École Nationale des Ponts et Chaussées, Francia. Ha sido Subcoordinadora de tratamiento de aguas residuales en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, donde actualmente es Tecnóloga del agua "B" TITULAR. Autora de artículos sobre el reúso de aguas residuales tratadas, salud y enfermedades de origen hídrico asociado con el saneamiento, evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, evaluación de proyectos y prospectiva, costos asociados al tratamiento de las aguas residuales, emisión de GEI en infraestructura de agua potable y saneamiento, aprovechamiento de biogás y sustentabilidad, cuantificación de GEI en proyectos de agua y saneamiento, evaluación climática de proyectos de agua y saneamiento. Correo electrónico: gabriela.mantilla@gmail.com

### **Fridzia Izaguirre Díaz de León**

Licenciada en Sistemas computacionales por la Universidad de Occidente, Maestra y Doctora en Estudios organizacionales en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Iztapalapa), de la cual obtuvo la medalla al mérito universitario. Actualmente, Vicerrectora académica de la UAdeO. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I, CONACYT 2014-2017 y del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos. Investigador honorífico 2013–2016 y 2016–2019. Premio municipal a la “Mujer Guasavense 2015” en la disciplina educativa, otorgado por el Instituto Municipal de las Mujeres y el H. Ayuntamiento de Guasave, Sinaloa. Reconocimiento Perfil PROMEP Deseable de 2001-2026. Líder del cuerpo académico “Desarrollo regional y organizacional”, En consolidación, de la UAdeO. Ha sido asesora de tesis de



licenciatura, maestría y doctorado. Ha publicado una gran variedad de libros, capítulos en libros y artículos. Correo electrónico: [fridzia.izaguirre@uadeo.mx](mailto:fridzia.izaguirre@uadeo.mx)

### **Ramiro Ahumada Cervantes**

Licenciatura en Biología en la Universidad Autónoma de Sinaloa, Maestro en Manejo de ecosistemas de zonas áridas por la Universidad Autónoma de Baja California y Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Profesor de carrera tiempo completo categoría "D" adscrito al Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología en la UAdeO, Unidad Regional Guasave. Cuenta con una trayectoria de 19 años como docente en la misma y Reconocimiento Perfil PROMEP. Integrante del núcleo académico básico de profesores del Doctorado en Sustentabilidad (PNPC del CONACYT). Integrante del cuerpo académico "Manejo y preservación del medio ambiente", En consolidación. Investigador honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos (SSIT-INAPI) y candidato en el SNI-CONACYT. Ha presentado ponencias en congresos nacionales e internacionales del área de la ingeniería y las ciencias ambientales. Ha publicado varios artículos en revistas arbitradas. Sus líneas de investigación son manejo de recursos naturales y cambio climático. Correo electrónico: [ramiro.ahumada@uadeo.mx](mailto:ramiro.ahumada@uadeo.mx)