



El reto del abastecimiento de agua potable

Calidad del agua y su gestión



Aldo Antonio Castañeda Villanueva

Coordinador



Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de los Altos

El reto del abastecimiento de agua potable

Calidad del agua y su gestión

Aldo Antonio Castañeda Villanueva

Coordinador

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de los Altos

Coordinador:

Aldo Antonio Castañeda Villanueva

Corrección de estilo:

José de Jesús Solorio Lara y Hugo Iván Baltazar

Revisión y cuidado de la edición:

Agustín Hernández Ceja
Adriana Rodríguez Sáinz

Diseño:

Astra Ediciones SA de CV

Primera edición

Copyright © 2013

CENTRO UNIVERSITARIO DE LOS ALTOS

Carretera a Yahualica, km. 7.5

Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México

ISBN: 978-607-8193-50-9

Esta obra no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, por ningún medio conocido o por conocer, sin la autorización previa y por escrito del titular del derecho de autor.

Presentación

México se considera un país con disponibilidad de agua suficiente para cubrir las necesidades de la población, con más de 4300 m³ por habitante; pero, tal cantidad debe ajustarse por su distribución temporal y espacial, y características locales como el crecimiento urbano y suburbano, y actividades productivas que demandan cada vez de agua potable y el consecuente incremento del volumen de agua residual. En este contexto, los factores locales que más reducen la disponibilidad de agua es la contaminación de los cuerpos de agua por descargas continuas del drenaje doméstico e industrial, o durante los periodos de lluvias por los escurrimientos que se generan de los terrenos con uso agropecuario e instalaciones ganaderas.

Según la Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADES), todos los municipios de las regiones Altos sur y Altos norte de Jalisco, presentan problemas de contaminación de agua superficial, al verter aguas residuales sin tratamiento a la red fluvial y por desechos de granjas; aunque los sistemas de producción agropecuaria también se han identificado como fuentes de contaminación no puntual para los cuerpos de agua superficial. Más dramática es la situación de estos recursos hídricos contaminados de la región Alteña que están planeados para utilizarse en ciudades como Guadalajara, en Jalisco o León, en Guanajuato; las regiones Altos sur y Altos norte también reportan problemas de sobreexplotación de acuíferos, acentuados por la extracción de aguas subterráneas profundas con alto contenido de flúor, selenio y arsénico, con el consecuente efecto negativo en la salud de la población que consume esta agua.

El Cuerpo Académico (CA) N° 561 “Calidad del agua” del Centro Universitario de los Altos de la Universidad de Guadalajara, desde su formación planteó en sus metas el desarrollar el conocimiento para participar en la solución de la problemática de la sustentabilidad hídrica y así cumplir con el compromiso adquirido con la población Alteña. El CA requiere de acciones como la vinculación e intercambio de experiencias con otros investigadores, cuerpos académicos similares, e inclusive, instituciones que tienen al recurso hídrico y sus procesos de contaminación y tratamiento, como tema central de estudio.

El reto del abastecimiento de agua en México

En México, como en otros lugares del planeta, los retos para el abastecimiento del agua son fuertemente acentuados por factores como el crecimiento de la población, el incremento en la demanda, la contaminación y el impacto del cambio climático; para enfrentarlos, es necesario establecer tanto políticas como estrategias en materia de agua que estén fortalecidas con la participación comprometida y resuelta de todos los actores involucrados, por lo que es fundamental fomentar en nuestra sociedad la conciencia y el conocimiento sobre el valor y la situación real del agua. Aproximadamente 1,200 millones de personas (20% de la población mundial), vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se acercan a esta situación, otros 1,600 millones (25 % de la población mundial), se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, es decir, países en los que se carece de la infraestructura básica necesaria para transportarla desde los ríos y acuíferos. Si bien la falta de suministros de agua es un fenómeno eventualmente natural en la actualidad, también es causado por la acción del ser humano. En la actualidad, existe agua potable suficiente en el planeta para abastecer a 6,000 millones de personas; sin embargo, se encuentra distribuida de forma irregular, no se aprovecha, se contamina y su gestión en la mayoría de los casos no es la más adecuada.

Los objetivos principales del simposio, que generó el presente documento, fueron: fortalecer las líneas investigación del Cuerpo Académico N° 561 “Calidad del Agua” del Centro Universitario de los Altos (CUALTOS) de la Universidad de Guadalajara; vincular e intercambiar experiencias con investigadores de otras regiones de México que realizan investigación alrededor del tema de calidad de agua y buscar el desarrollo de proyectos de investigación conjunta.

En esta publicación, el Dr. Miguel Ángel Rangel Medina, del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, nos introduce en los orígenes del agua subterránea del acuífero del Valle del Yaqui, en el estado de Sonora, destacando que si bien el nivel freático del acuífero superior es muy somero, también es altamente vulnerable en zonas específicas, ya que se pueden presentar fenómenos de ascensión capilar del agua a la zona de aireación por una evaporación activa

proveniente del suelo, de ahí que mantenga una salinización continua. También, la geoquímica del agua permite definir que al norte del área de estudio, desde la Presa Álvaro Obregón hacia el sur, se delimita un sistema de recarga-descarga que ha quedado prácticamente aislado, el cual está compuesto por agua subterránea próxima al cauce actual del Río Yaqui. En esta zona, el flujo es inducido hacia un solo cono que forma el sistema de bombeo para el abastecimiento Guaymas-Empalme, lo que está reflejándose en la profundización del nivel freático y pérdida de gasto base, pues está minando el almacenamiento y aumentando la concentración de la salinidad del agua. La aleatoriedad de la ubicación del agua subterránea salobre definió la importancia por identificar el origen de la salinidad del valle, por lo que se analizó la geoquímica del agua con apoyo de isótopos estables y radiactivos.

La Dra. Guillermina Martínez Cisneros, del CUALTOS, aborda la importancia de la calidad del agua en la producción lechera en los Altos de Jalisco. En esta región se han detectado valores altos de pH sólidos suspendidos totales y dureza; en relación con los parámetros normados, considerando que estos parámetros afectan la calidad del agua para el consumo humano y el uso agrícola, incrementando las incidencias de enfermedades cardíacas, entre otras (Ortega- Guerrero et. al. 2002), los resultados in situ presuponen consideraciones de contaminación, debido seguramente a las descargas sin control. En referencia a las explotaciones lecheras; el agua es el nutriente de mayor importancia, no sólo como uso de bebida animal sino también con respecto al manejo de higiene de las instalaciones. El ganado lechero en lactancia demanda gran cantidad de agua (87%) en relación con su peso vivo y al nivel de producción, por lo que resulta de importancia para asegurar la salud del animal, conocer las condiciones cuantitativas de la calidad del agua de consumo y uso en dichas explotaciones pecuarias.

De igual forma se aborda cómo tratar de manera sustentable las aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales. En la propia región alteña de Jalisco, donde un servidor y el Dr. Hugo Flores, con apoyo de CUALTOS, afirmamos que los humedales artificiales son ecosistemas que pueden servir como sistemas para el tratamiento de aguas residuales domésticas ya que mediante la interacción de las raíces de algunas plantas típicas de esa región como el carrizo,

el tule y la espaldaña, y diversos microorganismos, la materia orgánica es digerida, disminuyendo de manera considerable la contaminación presente en el agua. En la actualidad se está desarrollando un humedal artificial para dar tratamiento a las aguas residuales provenientes de los servicios sanitarios de las instalaciones del CUALTOS. El agua tratada se reutilizará en el riego de áreas verdes, disminuyendo así tanto el consumo del agua del acuífero como de energía eléctrica; este sistema servirá como modelo reproducible para poblaciones rurales e instituciones de la región.

La Dra. María Eugenia González Ávila, del Colegio de la Frontera Norte, junto con Elizabeth Olmos-Martínez, del Departamento de Biología Marina y Pesquerías, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), nos presentan los avances y limitantes en la gestión de la calidad del agua en el noreste del país México, analizando varias ciudades fronterizas y su peculiar problemática, a fin de propiciar un incremento en la eficiencia de los Organismos Operadores(OO) en materia de potabilización de agua. Recomiendan que se propicien políticas públicas que consideren como alternativas nuevas formas de participación privada y pública que permitan la inversión en infraestructura, capacitación y formas organizacionales de los OO, donde se considere la participación ciudadana como un insumo importante para la toma de decisiones. Además, es indispensable que el servicio de agua potable no sea afectado por los cambios gubernamentales, a fin de evitar la pérdida de capital humano, recursos económicos y decremento en la calidad del agua y del servicio. Asimismo, destacan la importancia de buscar nuevas maneras de reestructurar los servicios de agua en beneficio de los usuarios y del medio ambiente, de tal forma que si un OO funciona como una empresa y busca como fin ser eficiente, deberá cumplir con estándares de calidad operativa, de cobro y pago, así como una buena comunicación con sus consumidores. Esto se verá reflejado en cobros justos, en donde las poblaciones vulnerables, es decir, los de menores recursos sean los menos afectados.

Por su parte, la Dra. Angélica Villarruel López, del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI) de la Universidad de Guadalajara, nos presenta la caracterización de los contaminantes en el agua de la Subcuenca del Ahogado, así como una evaluación de

su efecto en la salud de la población y algunas propuestas de biorremediación. La Subcuenca del Ahogado comprende los municipios de Tlaquepaque, Tonalá, El Salto, Zapopan, Juanacatlán y Tlajomulco de Zúñiga, los cuales forman parte de la Zona Metropolitana de Guadalajara, en el Estado de Jalisco. Esta zona se encuentra entre las 4 más contaminadas del país. Por lo anterior, se hace prioritario conocer y caracterizar los contaminantes que se encuentran en los cuerpos de agua de esta Subcuenca y evaluar su efecto en la salud de la población. El objetivo general de este trabajo de investigación señala la identificación de los principales indicadores de deterioro ambiental y de riesgo en la salud en la Subcuenca del Ahogado. De los resultados parciales que se presentan y la valoración de éstos, de acuerdo al cumplimiento de la normatividad aplicable, así como de diseños estadísticos e índices de calidad, de los parámetros fisicoquímicos y la presencia de metales pesados, se tiene la confirmación de la existencia de un importante deterioro ambiental en los cuerpos de agua superficiales con mayor presión antrópica en dicha Subcuenca.

Finalmente, para la ciudad de San Luis Potosí, el Dr. Jaime Martínez García de la Facultad de Economía, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, presenta los estudios sobre el subdesarrollo institucional y el manejo de los recursos naturales. Expone que por la forma como se dan las relaciones entre grupos de interés (niveles de ingreso) y el distanciamiento de la mayoría de la población de los procesos de toma de decisiones, así como en su implementación, la estructura administrativa de las entidades responsables del manejo sustentable del agua presenta deficiencias; primero en su integración y después en su imposibilidad de alcanzar los objetivos en forma eficaz, eficiente y equitativa, esta forma de operación también afecta su desempeño financiero y viabilidad futura. Se asume además que el Organismo Operador Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (INTERAPAS) cobra un servicio que no provee, por lo que al comprar agua embotellada el consumidor-ciudadano-contribuyente está realizando un pago doble. Como se desprende por lo expuesto, la calidad de vida de la población —generaciones presentes y futuras— depende de observar las medidas que permitan alcanzar un manejo sustentable del agua, por ello es necesario conservar la sustentabilidad de este recurso; las acciones de INTERAPAS deben orientarse a su

preservación, a través de los instrumentos y políticas adecuadas. Entre éstas se encuentra el mejoramiento de la red, la promoción de una cultura del agua y el establecimiento de un nuevo esquema tarifario que favorezca el uso eficiente del recurso e impida su desperdicio, además de la recuperación de los costos de funcionamiento del organismo, tales como el administrativo y de infraestructura. Reconstruir estas instituciones para el manejo de recursos ambientales puede ser la pauta inicial para hacerlo en todo el orden social.

M. C. Aldo Antonio Castañeda Villanueva

Hidrogeoquímica de la salinidad y origen del agua subterránea en el acuífero Valle del Yaqui, Sonora, México

*Miguel Rangel Medina
Rogelio Monrreal Saavedra
Ismael Minjarez Sosa*

Introducción

La cuenca Río Yaqui es la más importante dentro del estado de Sonora. Cuenta con una extensión total de 73,609 km², ocupando el 29.98% del territorio estatal. Queda comprendida dentro de la región hidrológica RH9 Sonora sur de CONAGUA. La corriente más importante es el Río Yaqui, el cual presenta un volumen medio anual escurrido de alrededor de 2,800 hectómetros cúbicos (hm³), los mayores gastos se presentan con las lluvias de verano en un área de captación de 70,845 km² que abarca gran parte del Estado de Sonora, una porción del vecino Estado de Chihuahua y una pequeña parte de Arizona, en los Estados Unidos de Norteamérica. Este río drena la cuenca desde elevaciones de 3,000 msnm y ya sin un gasto apreciable; desemboca en el Estero de Santo Domingo, en el Golfo de California. La cuenca tiene precipitación promedio que varía de 1,800 mm en la parte alta, a 200mm en parte media y baja. El río es controlado por un sistema de tres presas que almacenan un promedio de 7,200 Mm³ y se considera que su escurrimiento termina en la presa más baja, Álvaro Obregón. El acuífero del Valle del Yaqui se encuentra ubicado en la parte baja de la cuenca (Figura 1).

En la parte baja de la cuenca, el Valle del Río Yaqui es una de las zonas de producción agrícola más importantes del país, con hasta 270,000 hectáreas de área cultivable, como área de estudio queda comprendida en el polígono que muestra la figura 1. Esta llanura aluvial costera, abarca parcialmente los municipios de Cajeme, Bacum, Guaymas y San Ignacio Río Muerto.

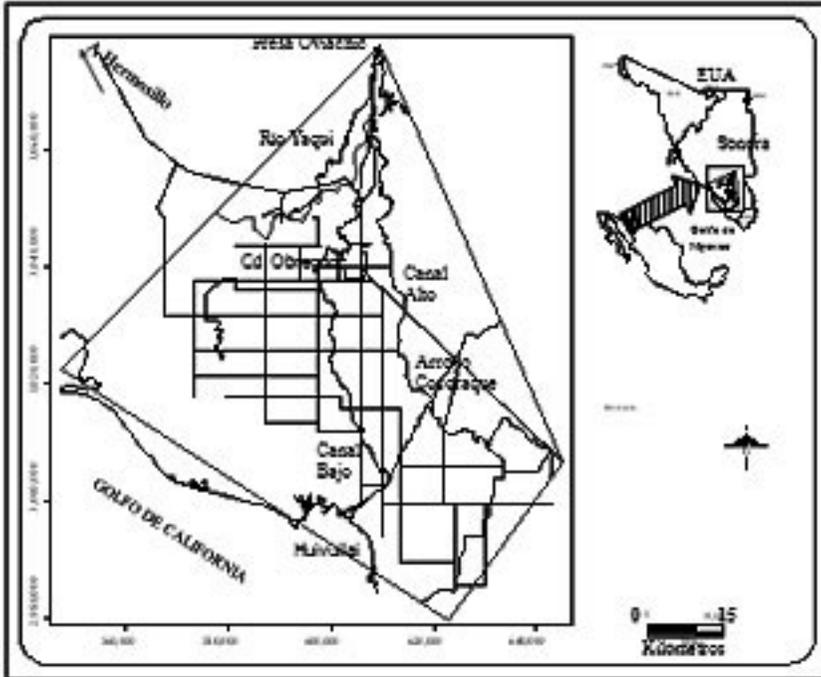


Figura1. Localización del área de estudio.

Planteamiento del problema

Entre las poblaciones más importantes dentro del valle están Cd. Obregón y Esperanza, así como poblaciones menores y diversos núcleos ejidales. Esta población rural usa una gran cantidad de pozos domésticos y fosas sépticas que se han incrementado en los últimos años para alcanzar más de 1200 alumbramientos de agua subterránea en la región. Sin embargo, además del incremento en cantidad de uso, la calidad ha mostrado amplias variaciones de degradación física, química y bacteriológica en diversas zonas del valle. Lo anterior sumado a la condición hidrogeológica de acuífero costero, con niveles freáticos someros, litología fluvio-aluvial y paleodeltáica de textura heterogénea y alta recarga vertical proveniente de drenes, canales y retornos de riego, que colaboran como el principal aporte para la re-

carga al subsuelo, que si bien son una muestra de la baja eficiencia del uso del agua, también le otorgan el riesgo potencial de contaminación del agua subterránea.

Dentro del mismo distrito, el Arroyo Cocoraque con su acuífero Villa Juárez forma parte operativa del distrito de riego 041, es una corriente intermitente que nace en el municipio de Rosario, con una cuenca de captación pequeña, de poco más de 1800 km². Entra a la planicie costera cruzando la carretera internacional a la altura del poblado Fundición, entre Cd. Obregón y Navojoa, separando los Valles del Yaqui y del Mayo. Cruza el distrito para desembocar en la Bahía del Tóbari, frente a la Isla Huivulai. A lo largo de su recorrido posee un gran número de diques y obras de contención, los cuales afectan de manera sensible su escurrimiento. Dentro del distrito de riego es usado como dren. Aparte del Cocoraque, existen otros arroyos pequeños de carácter eventual, la mayoría de los cuales funcionan como vasos de contención. Desde la presa Álvaro Obregón (El Oviachic) nace una extensa red de más de 2685 km de canales de riego primarios y secundarios revestidos y no revestidos estos últimos representan la extensión más importante para la recarga vertical (85.83%) y de esta forma la *red hidroagrícola* es el factor más importante en el esquema hidrogeoquímico como recarga inducida. Adicionalmente el Valle del Río Yaqui cuenta con drenes de aguas residuales integrados al sistema. La eficiencia media del riego es de 64.5 %, con una media total de 2726.43 hm³/año, de los cuales se utilizan para riego 1,772.18 hm³/año y 954.18 hm³/año *se pierden por evaporación, evapotranspiración e infiltración*, por un lado, son el aporte principal de la recarga, y también generan una grave contaminación por salinización de suelos y agua, dados los altos niveles freáticos que se generan.

Objetivo

Establecer el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico subterráneo (ambiente hidrogeológico y régimen del agua subterránea), con base en esto determinar sus orígenes, calidad y movimiento.

Metas específicas

- a) Identificar la recarga natural y el flujo subterráneo proveniente de otras cuencas.
- b) Evaluar la infiltración, recarga inducida como retorno de riego, intrusión de agua marina así como las salidas que se presenten en el sistema acuífero como bombeo, flujo subterráneo, flujo base, evapotranspiración y descarga al mar si es que existe, así como el área drenada o cambio de almacenamiento.

Metodología

Con la idealización de un *Modelo Conceptual de Funcionamiento Hidrodinámico* del acuífero se representó el funcionamiento hidrodinámico del sistema de agua subterránea (Figura 2). El modelo debe ser capaz de representar las características y procesos reales (fenomenología), de tal forma que describa lo mejor posible las condiciones observadas durante el desarrollo de las etapas previas del presente estudio hidrogeoquímico y sus interpretaciones. Esta representación incluye, entre otros aspectos relevantes, los elementos atmosféricos del ciclo, la geometría espacial del sistema, definición de las unidades hidroestratigráficas y su cuantificación, distribución de cargas hidráulicas y esquema de dirección de flujo, así como componentes verticales importantes.

El método de trabajo toma como base la ecuación propuesta en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 (Comisión Nacional del Agua, 2000), “Conservación del Recurso Agua” que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Los parámetros que se incluyen en esta ecuación son: 1) volúmenes de entrada o salida de flujo subterráneo, 2) volumen de bombeo, 3) evapotranspiración, 4) cambio de almacenamiento, 5) recarga vertical, 6) coeficiente de almacenamiento, etcétera. Las componentes de la ecuación son: $Entradas - Salidas = +/- Cambio en el volumen de almacenamiento$. En las *entradas horizontales* se incluyen por flujo subterráneo, y las zonas de aportación superficial que se originan en el cauce del Río Yaqui, Arroyo Cocoraque y la red de canales de riego. Se consideraron las componentes de evaporación

de niveles freáticos someros (<10m), evapotranspiración y descargas por flujo subterráneo.

De igual manera el modelo conceptual consideró la recarga natural, escurrimientos, entradas laterales de flujo subterráneo, excedencias por infiltración de aguas de riego, entrada de agua proveniente de intrusión marina, infiltración de descargas de aguas residuales así como las salidas por los diferentes factores como bombeo, evapotranspiración, flujo base, descarga hacia otras cuencas, acuíferos o hacia el mar. El diagrama de flujo de la figura 3, muestra los elementos a conocer en la calidad del agua y con la influencia espacio-temporal determinar la interrelación superficial y subterránea entre los diferentes tipos de agua del sistema y así fundamentar el origen, edad y movimiento de los flujos subterráneos, apoyándose en técnicas de hidrología isotópica. El resultado es aplicable a la extracción del volumen disponible, pues al conocer las zonas de agua moderna es posible apoyar a la sustentabilidad del acuífero al recomendar únicamente el bombeo del volumen disponible sin rebasar la renovación continua del agua subterránea en un esquema de equilibrio dinámico.

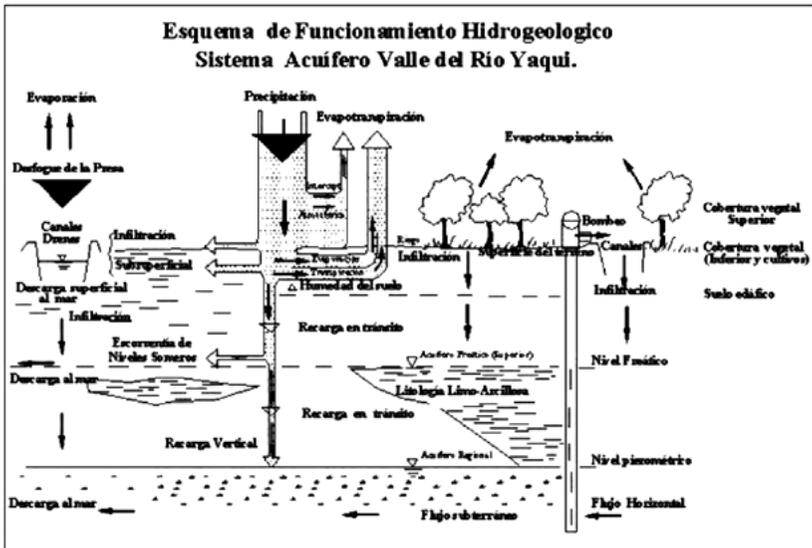


Figura 2. Modelo conceptual hidrogeológico del Sistema Acuífero Valle del Río Yaqui.

Con base en lo anterior, la capacidad de recarga hidrogeoquímica total al sistema acuífero, fue dada por la siguiente ecuación: Infiltración $Total = Imd + Ie + Irr$. Donde: Imd =Infiltración meteórica moderna, Ie =Infiltración por escurrimiento, Irr =Infiltración de retorno de riegos.

En consecuencia, el estudio hidrogeoquímico del sistema acuífero Valle del Río Yaqui involucró: 1) la definición de la infiltración directa de origen meteórico reciente; 2) la infiltración por escurrimiento y; 3) el retorno de riegos en el ciclo hidrológico corto. Como apoyo a la geoquímica del agua se realizaron ensayos isotópicos de O-18 y Deuterio analizados para el presente estudio así como existentes incluyendo Tritio, para identificar la recarga superficial directa al acuífero. De igual manera el análisis geoquímico histórico, realizado en promedio para un periodo de 40 años, que sirvió para observar el comportamiento de largo plazo y advertir heterogeneidad o equilibrio en el ciclo geoquímico del agua.

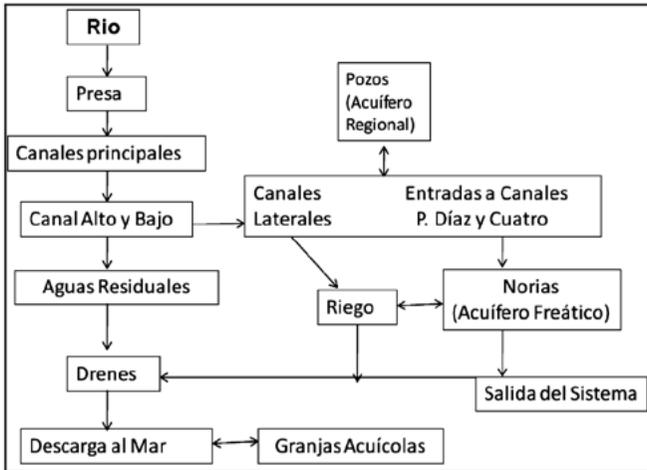


Figura 3. Esquema de funcionamiento para el ciclo geoquímico del agua en el Valle del Río Yaqui.

Hidrogeología

El área de estudio forma parte de una compleja distribución de planicies de origen fluvio-aluvial y deltaica del río Yaqui, elementos hidrogeomórficos que han definido la amplia variedad de características hidrogeológicas del área de estudio. Dentro de estas áreas están incluidos los acuíferos Río Yaqui y una porción del acuífero Cocoraque. La mayor superficie del Distrito de Riego y la actividad agrícola principal se encuentran dentro del Sistema Acuífero Río Yaqui.

Los sedimentos descritos constituyen un sistema compuesto por dos acuíferos; uno de tipo libre (freático) en la zona próxima a la superficie y por debajo de este, existe un acuífero regional de amplia extensión y de espesor y composición variable, por lo tanto, su tipo varía de libre, semiconfinado a confinado. Ambos acuíferos constituyen un sistema hidráulicamente interdependiente (Figuras 2 y 4). Dado que el nivel freático del acuífero superior es muy somero (<10m), esto lo hace altamente vulnerable en zonas específicas, puesto que en este tipo de acuíferos se pueden presentar fenómenos de ascensión capilar del agua a la zona de aireación por una evaporación activa proveniente del perfil de suelo (Willemink, 1998), y de aquí proviene su salinización del agua alcanzando profundidades de hasta 40m en el acuífero. Sin embargo, el acuífero no se extiende en todo el valle, pues se presenta sólo por áreas de diversos tamaños, dado que fue originado en forma de relleno sedimentario de zonas topográficamente bajas, por lo que presenta múltiples acuñamientos, de aquí la variedad de sus sedimentos, tanto en espesores como en textura y la amplia variación en permeabilidad vertical y horizontal.

En cambio, el acuífero regional se encuentra en todo el valle, ya sea debajo de un estrato limo arcilloso, o bien, puede encontrarse también como libre, de aquí que en general se le ha considerado como de tipo semiconfinado, puesto que en algunas localidades los estratos arcillosos actúan como su techo (Figura 2).

Los espesores del acuífero son muy variables, el espesor máximo observado en los perfiles de pozos es de 250 m. sin embargo, en ellos no se muestra que el basamento se encuentre al final del pozo. No obstante, con los estudios geofísicos realizados, así como con la descripción de perfiles de múltiples pozos del distrito, se definió su

geometría permitiendo reconocer su textura y un espesor promedio de 300 m, así como la calidad del agua que los satura (Figura 4).

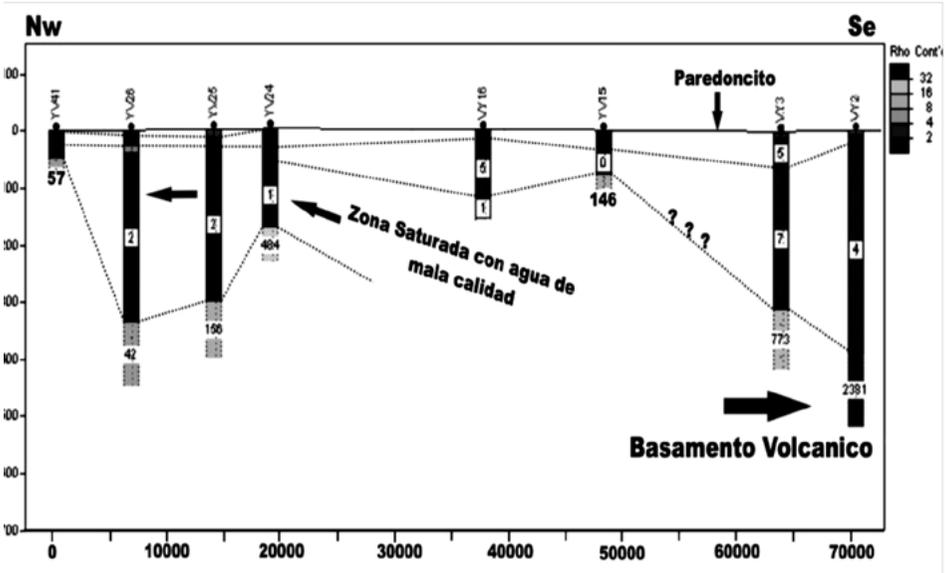


Figura 4. Correlación estratigráfica entre pozos orientados NW-SE, paralela a la línea de costa.

Los colores oscuros representan las resistividades más bajas, y corresponden con salinidades más altas.

Importancia de la Zona Vadosa

La zona vadosa que cubre al acuífero superior varía en espesores, tiene un carácter generalmente antropogénico moderno, está alterado por la agricultura, respondiendo hidráulicamente como medio anisotrópico. Su conocimiento es importante para entender el mecanismo de recarga por infiltración vertical y la vulnerabilidad a la contaminación del nivel freático (Rangel, 1997). Por lo tanto, en este estudio se analizaron los tipos y perfiles de suelos, dada la notable salinización que presenta el agua almacenada en este acuífero (Figura 5). Su

comprensión permite comparar los perfiles de suelos con otros de similares características que han sido investigados en el acuífero de Guasave, Sinaloa, utilizando la ecuación para el cálculo del tiempo de viaje advectivo (Kalinski, William, Istvan, et al, 1994), con ese método se han reportado velocidades de infiltración del orden de 0.123 m/año (Verduzco, 2002). Esto significa que a una recarga local desde los canales o drenes, o bien del retorno de riego, inclusive a un contaminante no reactivo (transporte advectivo), le tomaría de 3 a 50 años atravesar la zona vadosa para alcanzar un nivel freático somero de entre 2 y 7 metros de profundidad. Condición que se refleja en la freaticimetría del acuífero contra los ciclos estacionales.

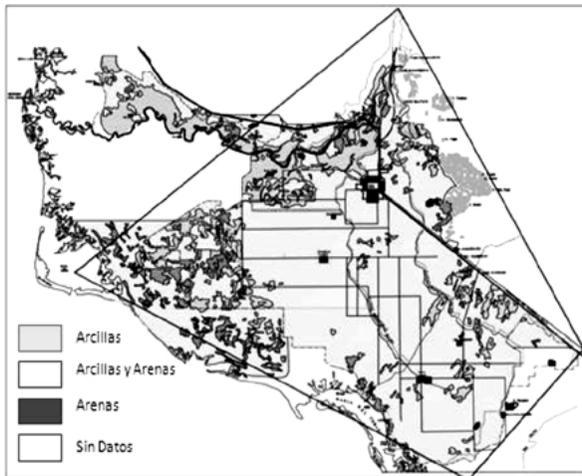


Figura 5. Tipos de suelos existentes en el Valle del Río Yaqui.

Por su parte, los suelos edáficos tienen una fuerte predominancia en los Vertisol crómico y Feozem Aplico, en segundo lugar los Solonchac ortico y Fluvisol éutrico, suelos de características de fino a grueso. Un perfil de 2.0 m, muestra los resultados del análisis de sales solubles por estrato (Tabla 1). Se aprecia que los suelos en este caso carecen de sales pero contienen exceso de sulfato de calcio sobre todo en el tercer estrato, aunque esto no es general para todos los perfiles. Por otro lado, se conjuga la presencia de análisis de fertilizantes

presentes en los suelos, los que muestran altos contenidos de Ca^{+2} con hasta 14,000 mg/L y Mg^{+} , de 45 mg/L. lo que los ubica de *extra rico a abundante*, a diferencia de $\text{Na}+\text{K}$, que varían de pobre a abundante. Así las sales presentes producto de los fertilizantes, subsisten cristalizadas en un medio semi acuoso, ya que tiene una capacidad de *retención de agua* de 30% y *agua de marchitamiento* de 5.10 %.

Hidrogeoquímica

Tomando como base la geoquímica de suelos, el monitoreo de agua se definió una vez que se determinaron las zonas más interesantes de respuesta del sistema (Figuras 5 y 6). Con este criterio, se determinó la toma de muestras de agua para análisis químicos, isótopos estables, Tritio y C-14, la que se pretendió, llenara los siguientes requisitos: a) representará todas las profundidades; b) representará todas las regiones geográficas del área de estudio –regionalización de acuíferos–; c) representará las hipotéticas zonas de recarga y descarga del acuífero regional y freático; y, d) que fueran representativas de las diferentes salinidades en aquellos que comparten interrelaciones en el área de estudio.

Prof en Mts.	0.00 – 0.18	0.18 -0.50	0.50 – 0.75	0.75 – 1.10	1.10 – 2.00
Na_2CO_3	0.03	0.01	0.01	0.04	0.03
NaCl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Na_2SO_4	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01
CaSO_4	0.10	2.01	8.94	6.88	1372
CaCO_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 1. Análisis de sales solubles en un perfil típico de suelos en el Valle del Yaqui.

La cobertura del muestreo de agua subterránea y superficial fue de 182 muestras. De ellas fueron 145 de pozos y 8 de norias. Para el de agua superficial se tomaron 29 muestras (12 de drenes, 13 de canales y 4 superficiales, más 3 para control de calidad). Esto permitió contar con una amplia cobertura de la región de estudio, que se subdividió

en tres amplias franjas para darle representatividad a la infraestructura hidráulica.

- 1) Área Río Yaqui (MS-01...n) con cuatro sitios de muestreo;
- 2) Área Canales Alto y Bajo (MS-01...n) con trece sitios de muestreo;
- 3) Área Drenes (MS-01...n) con doce sitios de muestreo;

Discusión de Resultados

En el sistema acuífero Valle del Yaqui (acuíferos Yaqui y Cocoraque) se reconocen cuatro tipos de familias de aguas, las cuales son de mayor a menor presencia: Sódicas-Sulfatadas (Na-SO_4); Sódicas-Bicarbonatadas (Na-HCO_3); Magnésicas-Cloruradas (Mg-Cl); y Cálccicas-Cloruradas (Ca-Cl) (Figura 5). Sin embargo, existe una muy alta dinámica del flujo subterráneo debido al intercambio entre aguas superficiales y subterráneas, las cuales influyen modificando las relaciones iónicas, esta dinámica se da, ya sea por una fuente natural o antropogénica, en consecuencia se identificaron hasta 46 mezclas de tipos de agua. A pesar de que existen múltiples variantes de mezclas entre ambos canales, los pares iónicos con mayor presencia son el calcio y el magnesio, lo que favorece la dureza de las aguas.

A lo largo de las zonas por donde se da el trazo de los canales alto y bajo, predominan las aguas de tipo Bicarbonatado, tanto sódicas como cálccicas y mixtas, prácticamente siguiendo su línea. Como es de esperarse, los pozos próximos a estos canales reciben aporte superficial del agua del río Yaqui que circula por el sistema hidráulico, esta interrelación es clara en norias y pozos de hasta 100 m. de profundidad.

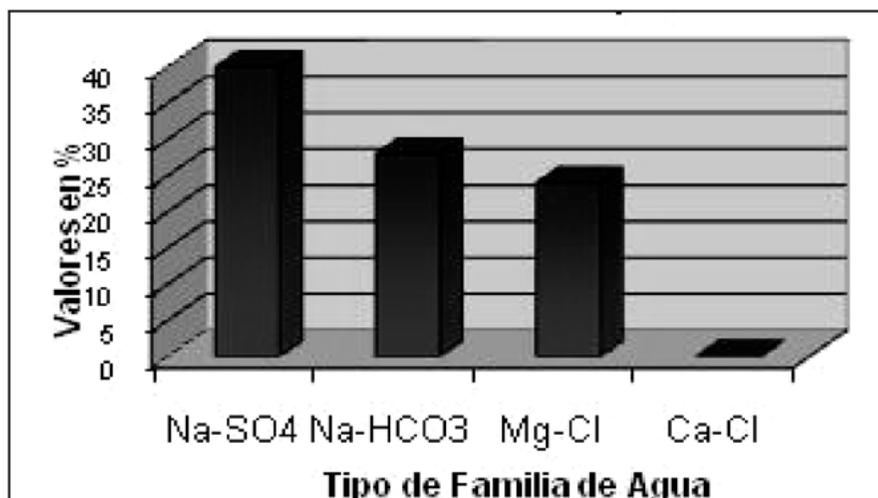


Figura 6. Distribución proporcional de familias hidrogeoquímicas en el área del Distrito de Riego 041.

Como es de esperarse, los pozos próximos a estos canales reciben aporte superficial del agua del río Yaqui que circula por el sistema hidráulico, cuyo predominio como se mencionó, es de Na-SO₄, esta interrelación se apreció clara en norias y pozos de hasta 100 m. de profundidad, gracias al trazado del tritio. De igual manera, se observó que el propio sistema hidroagrícola se encarga de distribuir a todo lo largo de su extensión y en forma rápida, los cationes de calcio con su par iónico Sulfato, ambos producto de la aplicación de fertilizantes. Lo anterior es favorecido por el predominio de arenas finas a limosas que a su vez favorecen la infiltración del agua superficial al subsuelo. Sin embargo, donde la hidroestratigrafía que alcanza profundidades mayores a 150 m. con granulometría más fina, tales como arcillas limosas genera familias de aguas de mezcla con variantes a cloruradas sódicas y magnésicas, en este caso específico, debido al alto intercambio iónico de las arcillas donde el calcio es substituido por sodio y aluminio provenientes de la montmorillonita principalmente.

Un criterio representativo para la interpretación de la calidad del agua, en función de la medición de la CE, es el establecido por la APHA (1995), que clasificó la calidad del agua de acuerdo con los criterios siguientes:

- | | | |
|-------------------|----------|--------------|
| a) 100-2000 | μ/cm | agua dulce |
| b) 2000-5000 | μ/cm | agua salobre |
| c) 5000-45,000 | μ/cm | agua de mar |
| d) 45,000-100,000 | μ/cm | salmuera |

En la figura 7 se aprecia la distribución que la conductividad eléctrica (CE) entre 2000 y 5000 $\mu S/cm$ (agua salobre) es la más ampliamente distribuida. Valores mayores de 5000 $\mu S/cm$ (agua de mar) se observan en 7 pozos, todos cercanos a la línea de costa. La CE mayor es de 21,400 $\mu S/cm$, y se relaciona con las granjas acuícolas ubicadas en esa área. El agua dulce, menor a 2000 $\mu S/cm$ se puede ubicar claramente en las zonas de recarga potencial esto es, sobre el cauce del Río Yaqui, tanto del actual como del antiguo y al norte del cauce del arroyo Cocoraque.

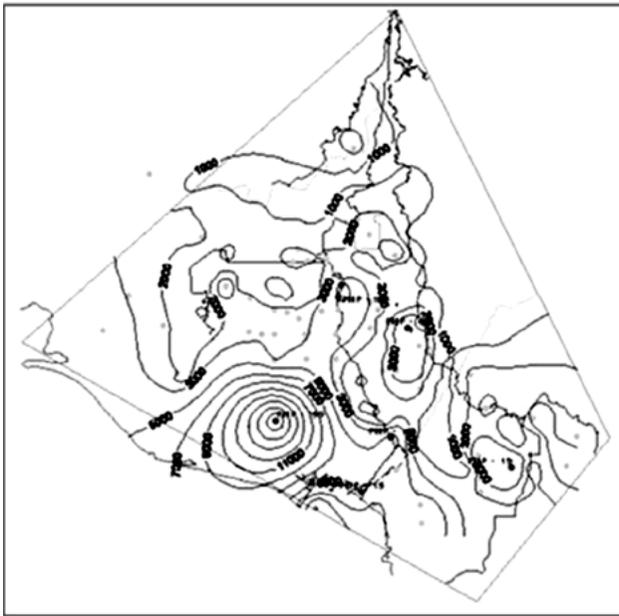


Figura 7. Distribución espacial de la Conductividad Eléctrica en $\mu S/cm$ del Valle del Yaqui. La variación es entre 1000 y 22,000.

La figura 8 muestra la calidad del agua subterránea expresada en términos de la distribución de los tres niveles principales de calidad;

agua dulce, salobre y salina, según el criterio citado. En ella se aprecia más fácilmente la degradación salina alcanzada por el agua subterránea en el área de estudio, esta se asume como producto de la profundización de la contaminación de los suelos salinos. El mecanismo es por el efecto del bombeo, cuando los niveles dinámicos de pozos profundos se interfieren con los niveles freáticos someros cercanos, este arrastre de sales se identificó en hasta 40m de profundidad.

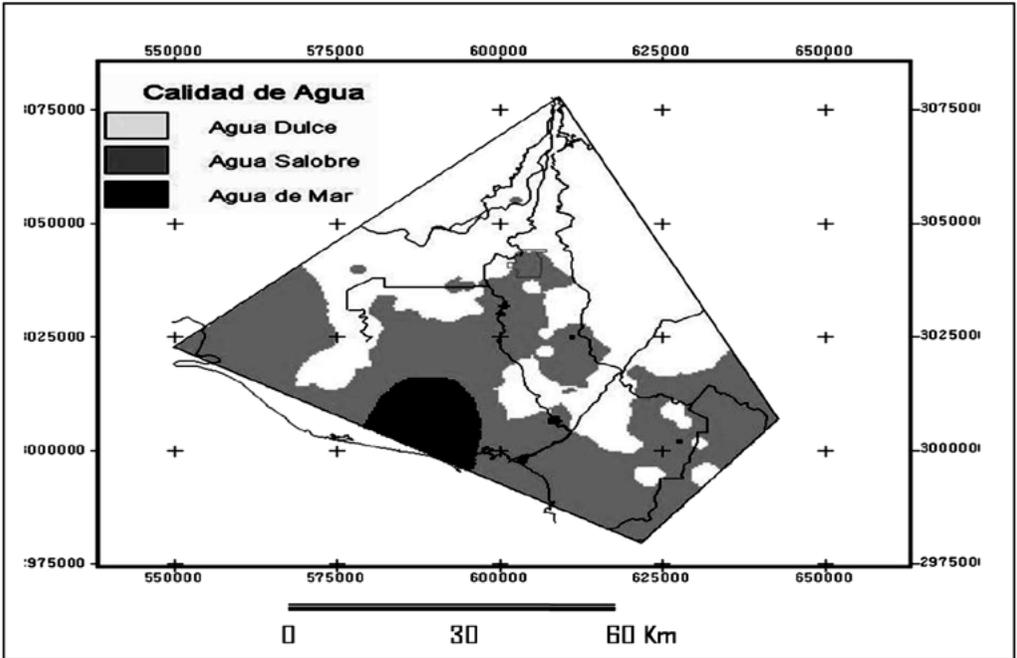


Figura 8. Distribución de la calidad del agua en términos de CE ($\mu\text{mbos/cm}$).

La figura 9 muestra la composición isotópica de agua en el Valle del Río Yaqui, las concentraciones de agua de pozos ubicados próximos al arroyo Cocoraque, se agrupan en un intervalo estrecho por lo que muestran que tienen como origen predominante al Río Yaqui, esto ya sea por flujo subterráneo, por el sistema de riego en el primero, o únicamente por canales en el segundo. Su promedio típico se agrupa en valores de $\delta\text{D} = -41$ o/oo y $\delta^{18}\text{O} = -5.75$ o/oo, esto confirma la importancia de la recarga proveniente de la infiltración de los canales, del sistema hidráulico y del retorno de riego (Figura 9).

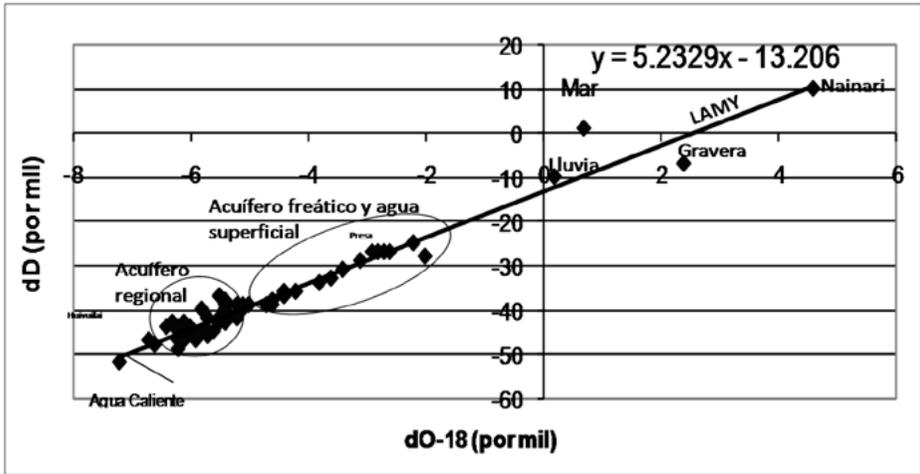


Figura 9. Composición isotópica de los tipos de agua existentes en el Valle del Yaqui, Son., con relación a la línea de agua meteórica del Yaqui (LAMY).

Por lo tanto, para el agua subterránea se identifican cuatro tipos de origen:

1. Agua moderna de reciente infiltración e influidas por las variaciones estacionales del riego;
2. Agua premoderna de origen meteórico y circulación de flujo regional, con edades relativas de C-14 que varían entre 1920 años (área Buaysiacobe) y 1940 años (área Bacame) en el acuífero Villa Juárez, y 1930 años (Javier Mina) acuífero Valle del Yaqui;
3. Agua premoderna de circulación regional con mezcla de agua moderna con edades relativas de 8,200 años (área del módulo 06) en el Yaqui y 3,410 años (módulo 06) en el Cocoraque y;
4. Agua premoderna de circulación regional profunda, y edad relativa de 24,340 años (Isla Huivuilai).

Conclusiones

Dado que el nivel freático del acuífero superior es muy somero, es altamente vulnerable en zonas específicas, ya que se pueden presentar fenómenos de ascensión capilar del agua a la zona de aireación por una evaporación activa proveniente del suelo, de aquí que mantenga una salinización activa. El tránsito del agua de recarga vertical fluye lentamente mientras se infiltra, ya sea desde el acuífero superior, directamente de las superficies de riego, de los canales, de los drenes no revestidos o bien, puede quedar atrapada por largos periodos de tiempo a diferentes profundidades en este substratum.

La geoquímica del agua permite definir que al norte del área de estudio, desde la Presa Álvaro Obregón hacia el sur, se delimita un sistema de recarga-descarga que ha quedado prácticamente aislado o detenido su flujo, está compuesto por agua subterránea próxima al cauce actual del Río Yaqui (derivaciones del subváveo). En esta zona el flujo está siendo inducido hacia un sólo cono que forma el sistema de bombeo para el abastecimiento Guaymas-Empalme, lo que está reflejándose igualmente en la profundización del nivel freático y pérdida de gasto base, porque está minando el almacenamiento y aumentando la concentración de la salinidad del agua.

Bibliografía

- Comisión Nacional del Agua. (2000). Proyecto de Norma PROY-NOM-011-CAN-2000, *Conservación del recurso agua que establece la especificaciones y método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*.
- Willemink, J. (1988). Estimating natural recharge of groundwater by moisture accounting and convolution, Institute for Groundwater Studies. I. Simmers (ed.), *Estimation of Natural Groundwater Recharge*. D. Reidel Pub. Co., South Africa.
- Kalinski, R.J., William E. Kelly, Istvan Bogardi, Richard L. Ehrman and Paul, D. Yamamoto. (1994). Correlation between DRASTIC Vulnerabilities and incidents VOC contamination of Municipal wells in Nebraska, Vol. 32, no. 1, *Ground Water*, January-February.
- Verduzco, H. M. (2002). *Estudio de la calidad del agua subterránea y vulnerabilidad a la contaminación del área de Tamazula, Guasave, Sinaloa, México*: Tesis de grado Maestría, CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa.
- Rangel, M.M. (1997). *Hidrogeología ambiental aplicada a los sistemas acuíferos La Colorada y Mátape-Empalme: Implicaciones sobre la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea*, tesis, Universidad de Sonora.
- American Public Health Association (APHA). (1995). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 19th ed., New York.

La calidad del agua y su importancia en la producción lechera

M. Guillermina Martínez Cisneros

Erika Alvarado Loza

Introducción

En este siglo XXI la humanidad encara la creciente demanda de alimentos, pero manteniendo la sustentabilidad de los recursos naturales, pues en los próximos 40 ó 50 años se espera se duplique la demanda de alimentos, el crecimiento de la población, el urbanismo y el incremento de los ingresos per cápita (Freeman et al., 2005). Tal desarrollo debe fundamentarse en el manejo adecuado a los recursos naturales por dos factores ya evidentes: los efectos negativos del uso de la tierra más allá de su potencial sustentable y la escasez del recurso tierra per cápita (Richters, 1995). Cuando ocurre sobreexplotación de la tierra, la degradación de los recursos naturales se puede percibir en dos formas: en el sitio y fuera del sitio (Dregne, 1995).

El daño en el sitio impacta al productor agropecuario reduciendo el rendimiento del cultivo o ganado, o incrementando el costo por el uso extra de insumos como fertilizantes, plaguicidas, labranza, irrigación, entre otros. El efecto fuera del sitio se percibe con la sedimentación de canales de drenaje, embalses de presas, eutrofización de cuerpos de agua superficial, contaminación de aguas subterráneas, entre otras. Este impacto se refleja en la calidad del agua a escala nacional, donde el 58.44% de las estaciones que miden la contaminación en las doce regiones hidrológicas de México presentan la condición más común como “agua contaminada” (SEMARNAP-CNA, 2006). A escala local también se ha identificado este problema, como en la cuenca el Jihuite, en Tepatitlán, Jalisco (Flores et al., 2007). El origen de tal contaminación son los sistemas de producción que operan en las áreas de drenaje, aportando grandes cantidades de nutrimentos y agroquímicos, que tienen como destino los cuerpos de agua superfi-

cial. Este tipo de contaminación se denomina como contaminación no puntual.

La contaminación por fuentes no puntuales resulta de actividades realizadas en la explotación de tierras, tales como la producción de cultivos y generalmente, aguas que penetran en la superficie del terreno como el escurrimiento. Las descargas no puntuales son intermitentes y ocurren debido a eventos meteorológicos (Loehr, 1984), por lo que no pueden ser identificadas a un solo origen de descarga, lo que crea los problemas tanto de identificación como de evaluación del impacto potencial de la fuente no puntual de contaminación (Deliman y Leigh, 1990).

Sharpley *et al.* (1999) mencionaron que desde finales de 1960, las fuentes puntuales de contaminación de agua han sido reducidas debido a la relativa facilidad de identificación y control. Aún así, los problemas de calidad de agua se mantienen, pero ahora la atención está dirigida hacia a contribución de fuentes no puntuales por el daño que ocasionan a la calidad de agua, problema que se puede visualizar de manera precisa por la muerte de 6% de peces, ocurrido en Estados Unidos. De este valor el 4.4% se atribuye a los insecticidas, 0.1% a fertilizantes y 1.5% a los desechos de estiércoles (Loehr, 1984). En muchas partes de México, se desconoce la situación que guardan los desechos agropecuarios con la calidad del agua.

Williams *et al.* (1995) mencionaron que los estudios de campo para agroquímicos en el escurrimiento han seguido tradicionalmente uno de tres diseños basados en la extensión del área de drenaje. Uno de los diseños involucra parcelas de prueba de poca extensión del orden de decenas de metros cuadrados. Este diseño se ha utilizado extensivamente para evaluar el escurrimiento y erosión potencial de suelos específicos y pendiente del terreno. La atención en este diseño ha aumentado, para evaluar el escurrimiento con nutrimentos y plaguicidas, y definir las mejores prácticas de manejo para calidad del agua y control de la erosión. El segundo diseño involucra áreas de drenaje más grandes de 1 a 10 ha; es común utilizarla enlazada con estanques de granjas, cuando se requiere someter un plaguicida a registro. El tercer diseño se utiliza cuando se requiere monitorear la calidad de agua ambiental, enfatizando la toma de muestras al azar de grandes reservorios de agua, del orden de cientos de kilómetros cuadrados.

Las razones anteriormente expuestas manifiestan la necesidad de monitorear a través del tiempo la calidad del agua del embalse de la presa La Carreta, pues la experiencia en otras embalses ha mostrado una gran dinámica en la calidad del agua (Ramírez et al., 1996), la cual por ser una fuente de agua potable para habitantes de Tepatitlán, Jalisco, requiere conocerse como es la variación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del agua, ya que observaciones eventuales de este vital líquido en la citada presa, se perciben malos olores, presencia de sedimentos y presencia de algas, que permite deducir una hipótesis de calidad de agua, no apta para consumo humano.

Objetivo general

Evaluar la dinámica de las características físicoquímicas de la calidad del agua de la presa La Carreta, en el municipio de Tepatitlán de Morelos Jalisco.

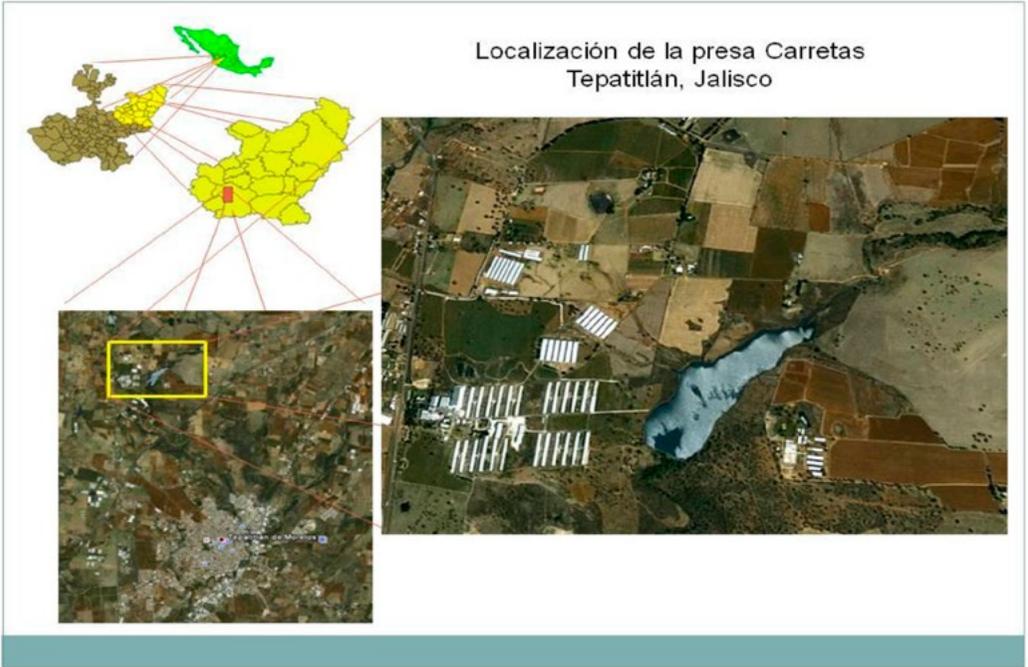
Objetivos específicos

- * Calibración de métodos de análisis físicoquímicos para calidad de agua según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”.
- * Monitoreo de la calidad del agua en la presa “Las Carretas”.
- * Análisis in situ del agua de la presa “Las Carretas”.

Materiales y método

El área de estudio

El proyecto se realiza en la presa del predio denominado “el durazno” o “las carretas” ubicado en el km 9.5 carretera Tepatitlán – Yahualica.



Métodos y frecuencia de muestreo

El muestreo se realiza mensualmente, con muestras por duplicado de cada punto. Esto se basó en dos estrategias; uno, en la parte superficial del acceso al dren de los canales del escurrimiento y otro muestreo, en el perfil en la cortina de la presa in situ a una profundidad de cada metro desde la superficie al fondo. Con el equipo Hydrolab DS5X, (compra con apoyo de PROMEP), los parámetros son: Temperatura, pH, NH_4 , NO_3 , Cl^- , Oxígeno Disuelto (LDO), potencial de oxidación reducción, concentración total de gases disueltos.



Toma de la muestra de agua para el laboratorio

Se tomaron muestra en cinco puntos en la presa. Uno en la cortina, en la mitad del embalse y en el extremo superior, dren de agave, de granja y de la línea eléctrica para análisis microbiológicos y fisicoquímicos de sólidos totales, volátiles y dureza.





● Puntos de muestreo

Métodos de laboratorio para evaluar están generándose por los parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

Métodos y frecuencia de muestreo utilizado

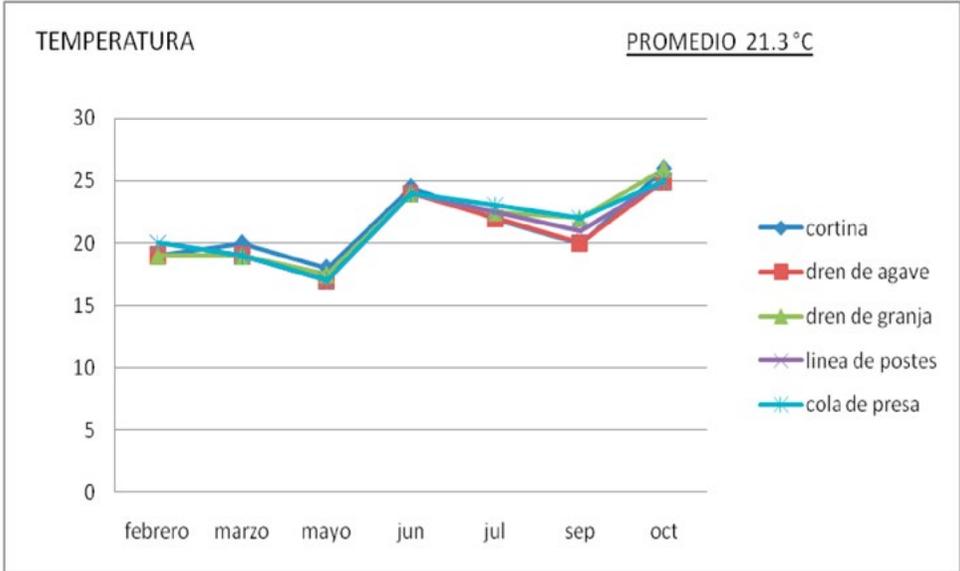
- a) Se tomaron las muestras de agua en la presa, y se llevaron de inmediato al laboratorio, colocando las muestras en digestión o se congelaron por un tiempo no mayor de 48 horas. Realizando los análisis en el laboratorio del Centro Universitario de los Altos de la Universidad de Guadalajara.



Resultados

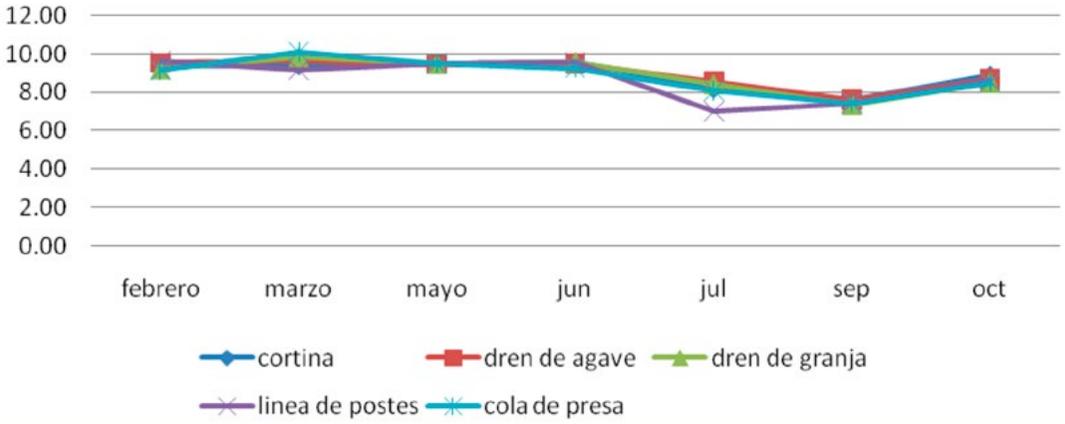
Con respecto al objetivo específico sobre la calibración de métodos de análisis fisicoquímicos para calidad de agua, según la norma oficial mexicana nom-127-ssa1-1994, “salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”. Se implementó en el laboratorio de análisis fisicoquímicos las pruebas analíticas de: temperatura, pH, sólidos totales, sólidos volátiles totales y dureza (gráficas), se compró materiales para la determinación del DBO5 y se está probando y revisando la técnica.

Gráficas e interpretación



La temperatura juega un papel importante ambiental para la producción de vida en el agua, el comportamiento de este parámetro expone temperaturas regulares ambientales constantes y características de la zona. Aunque se debe considerar que el aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Acrecienta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. Se observa en los resultados un ligero aumento de temperatura, esto inclusive considerando la baja de temperatura ambiente.

pH promedio 8.9

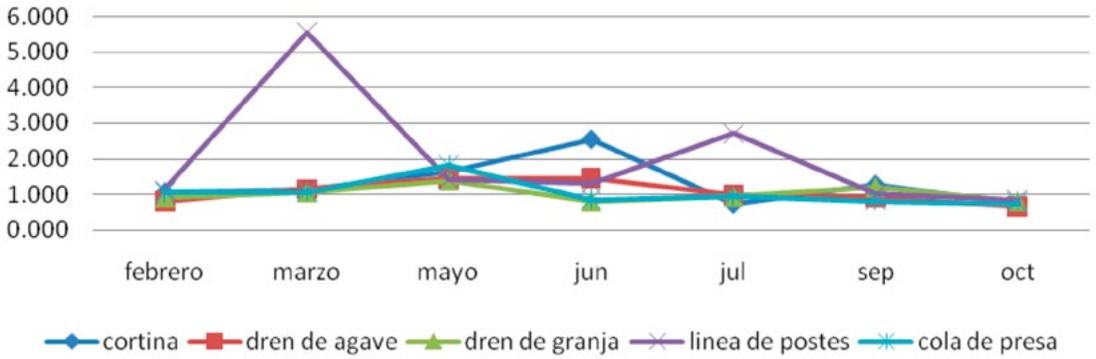


Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO_2 disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO_2 formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.

Las aguas contaminadas con vertidos minerales o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH es de gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua. La NOM 127 nos menciona de un pH de 6.5 a 8.5. Nosotros podemos observar en los resultados un pH alcalino comúnmente en el agua de la presa, lo que nos indica posible contaminación principalmente de minerales.

SÓLIDOS TOTALES

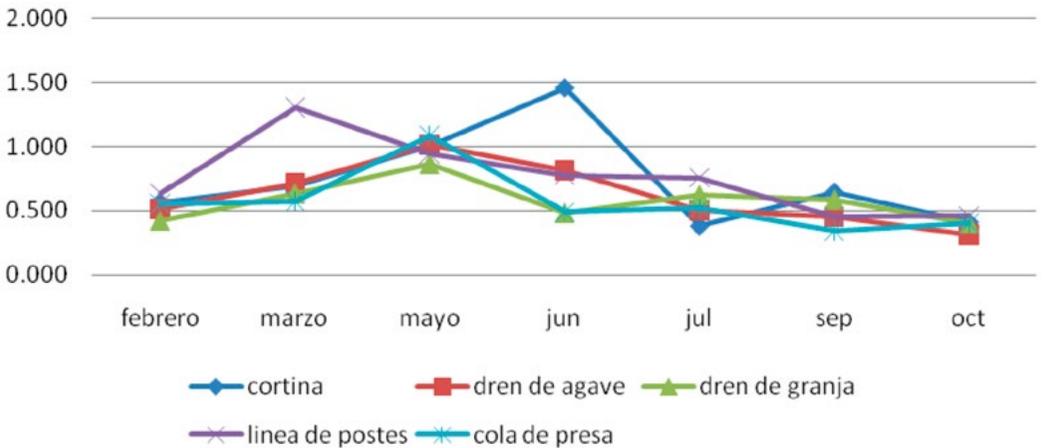
PROMEDIO 1.276 mg/L



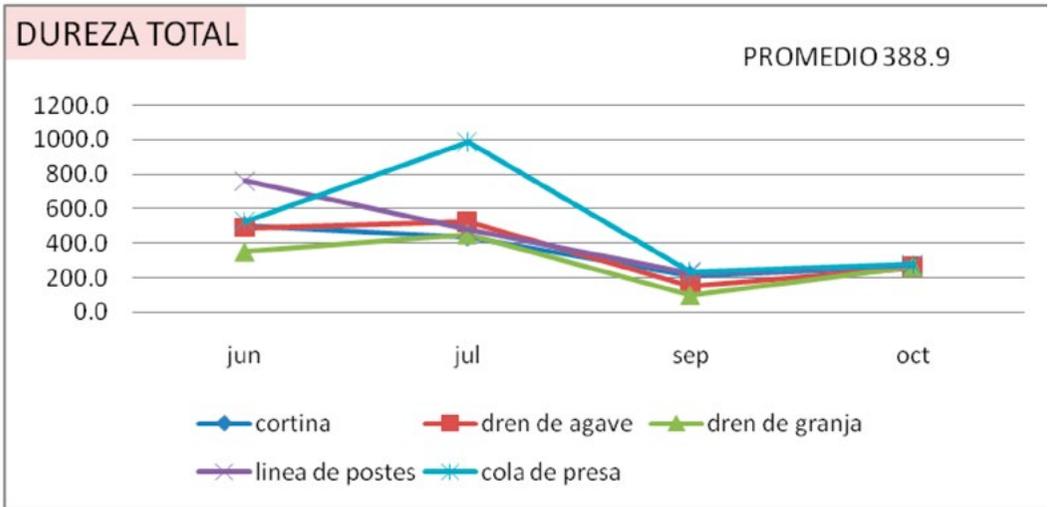
Todos los contaminantes del agua, con excepción de los gases disueltos, contribuyen a la “carga de sólidos”. Pueden ser de naturaleza orgánica y/o inorgánica. Proviene de las diferentes descargas, domésticas, de campo e industriales. Localizamos en nuestros resultados especialmente en marzo una gran descarga de sólidos orgánicos.

SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

PROMEDIO 0.651 mg/L



El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica. Esta se oxida formando el gas carbónico y agua que se volatilizan. Sin embargo, la interpretación no es exacta, puesto que la pérdida de peso incluye también otras pérdidas, debido a descomposición o volatilización de ciertas sales minerales como por ejemplo las sales de amonio o carbonato de magnesio. Considerando nuestros resultados, se observa valores altos y variables, por lo tanto genera conocimientos de las altas descargas de sólidos orgánicos.

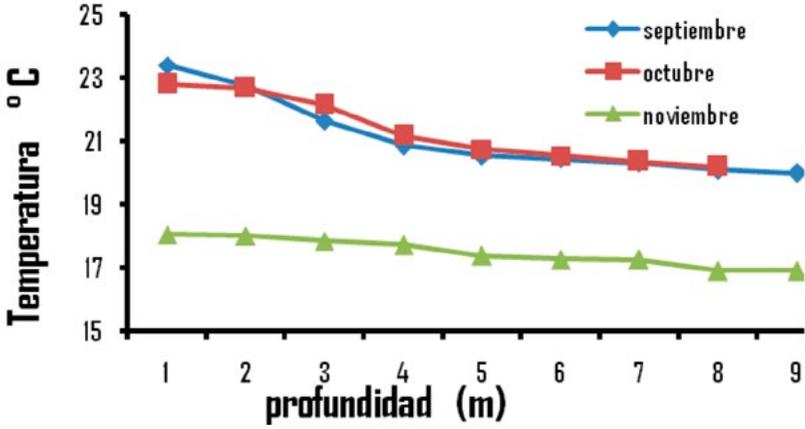


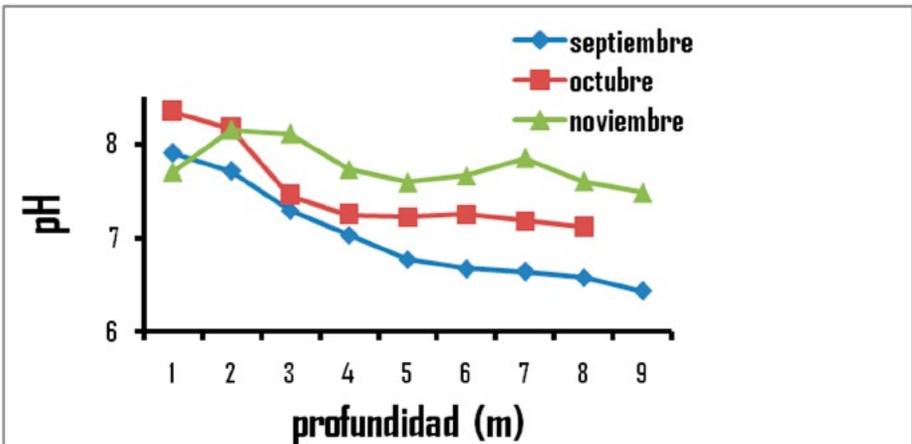
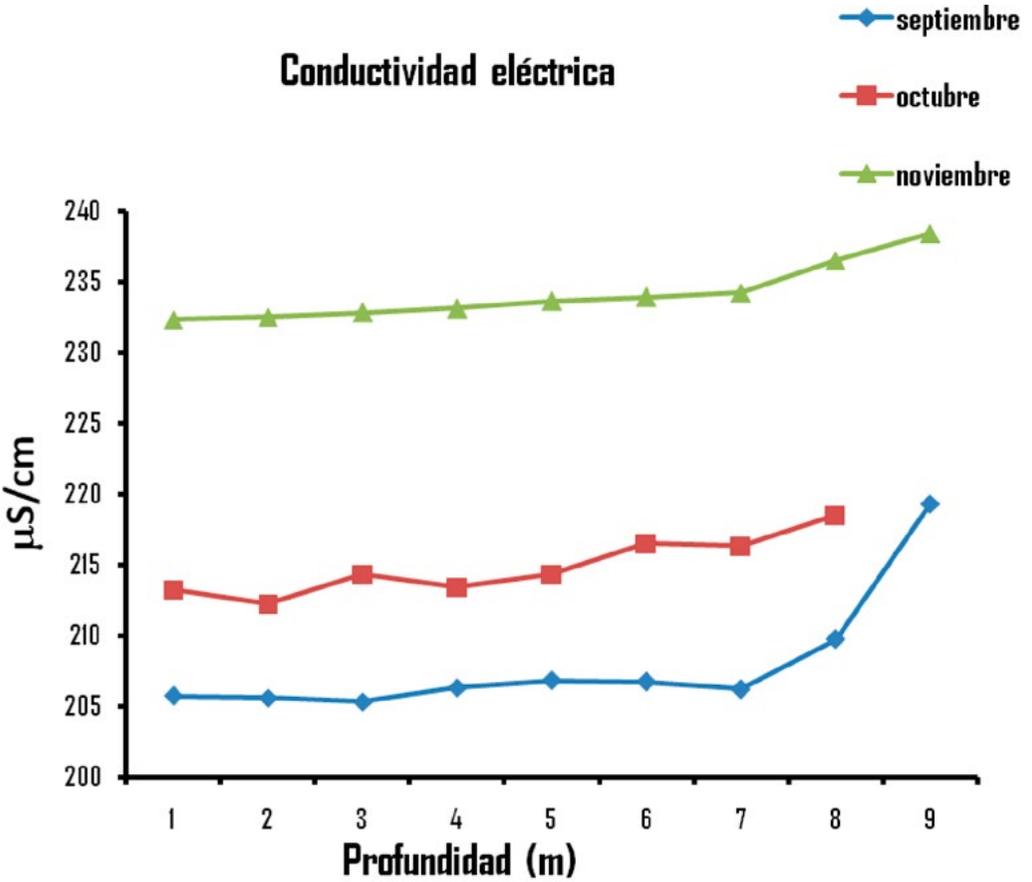
Mide la presencia de cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} , y en menor cantidad Fe^{+2} y Mn^{+2} y otros alcalinotérreos. El contenido de estas sales, determina la “dureza” del agua. Los resultados nos reportan datos variables, con los cuales observamos la constante de contaminantes al agua. Aunque estas sales disueltas en el agua no constituyen un factor de peligro para la salud humana, presentan serios inconvenientes en los procesos de limpieza, ya que se combinan con el jabón formando sales insolubles que impiden la formación de espuma y lo que es más importante, disminuyen la disponibilidad del jabón, aspecto fundamental en los procesos de lavado. Son perjudiciales también, las instalaciones industriales que requieren el uso de calderas, ya que al calentar o hervir este tipo de agua se producen costras de carbonato de calcio CaCO_3 .

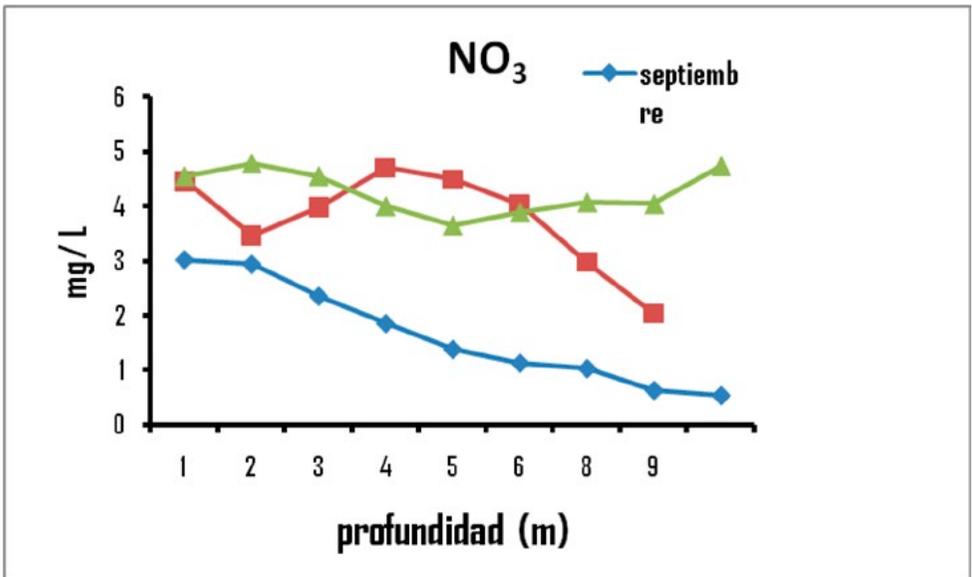
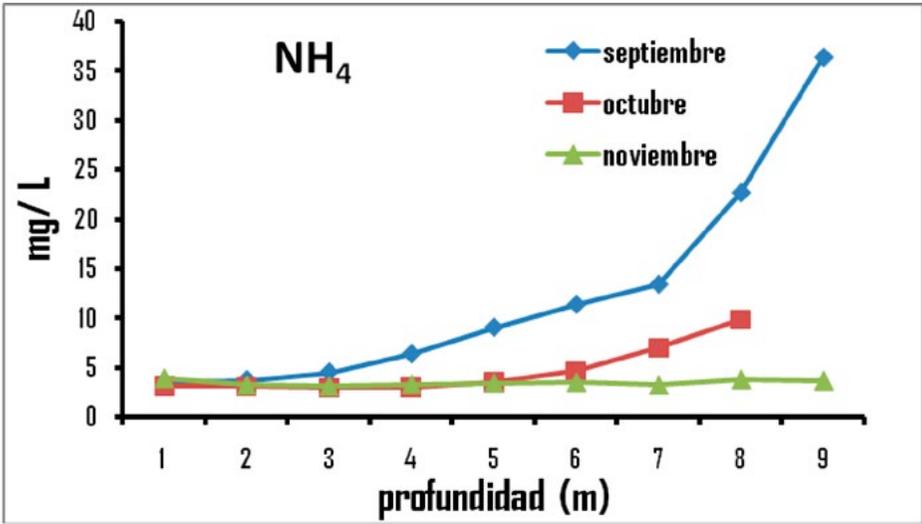
Acerca del monitoreo de la calidad del agua y análisis *in situ* del agua de la presa “Las Carretas”

Obtuvimos resultados según se exponen a continuación.

Resultados fisicoquímicos *in situ*:







Conclusiones

PARÁMETRO	CARACTERIZACIÓN EN LOS TIEMPOS DE CONTROL
Temperatura	El cambio de temperatura disminuye tanto al acercarse el invierno, como en su profundidad de la presa y relaciona todos los parámetros con respecto a la dinámica del medio ambiente.
pH	Nos indicó, cambio de alcalino a ácido, variable por las características de la conductividad eléctrica, ionización del agua y el potencial oxidación-reducción, esto lo genera la biomasa de los sedimentos que se acumulan especialmente en el tiempo de aguas.
Sólidos totales	Los resultados en el embalse, con valores altos, denotan el asentamiento de sedimentos acarreados, generando descomposición observada en los datos NO_3 , NH_4 , OD y ORP.
Conductividad eléctrica	Indica un nivel constante de la ionización por sales, estos datos tienen relación directa con la dureza y sus interferencias al realizar el análisis.
OD	Nos da valores relacionados directamente con la temperatura, el OD es mayor con menor temperatura, sin embargo nos genera datos de OD bajos con respecto a la profundidad, creciendo los de NO_3 y NH_4 .
ORP	Nos da a conocer la constante variabilidad de la oxidación del agua en congruencia con los resultados del OD, pH, temperatura, en la profundidad sin posibilidad de vida de peces por la escasez de O_2 y mejorando considerablemente al finalizar el año.

Los resultados analíticos en general nos denotan valores altos de pH sólidos y dureza con respecto a los parámetros normados y consi-

derando que la alcalinidad, pH y dureza del agua pueden afectar la calidad del agua para el consumo humano y el uso agrícola, a sabiendas que cuando se encuentra en ciertas concentraciones y combinaciones, la alcalinidad, pH y dureza, pueden incrementar las incidencias de enfermedades cardíacas y otras dolencias (Ortega- Guerrero *et al.* 2002).

Los resultados in situ presuponen consideraciones de contaminación, esto mencionado desde una perspectiva analítica fisicoquímica, debido seguramente a las descargas sin control. Mismas que son de impacto en las explotaciones lecheras afectando a la calidad de la leche, mediante el uso del agua en la presa, vista como alimento para el ganado, y en el proceso de limpieza de los hatos.

Nos faltaría considerar la parte media del embalse, la cual nos generaría datos relevantes comparativos. El trabajo es arduo, pero consideremos que es la punta de flecha para dar a conocer resultados y la necesidad de concluir este interesante trabajo; el cual nos generará la iniciativa de buscar a más corto plazo estrategias de acción conjuntas, la universidad, empresarios, productores y gobierno.

Bibliografía

- Arheimer, B. and R. Lidén. (2000). *Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchments-influence of spatial and temporal variables*. J. Hydrol. 227: 140-159.
- Berrey, W.D. (1985). *Multiple regression in practice*. Beverly Hill. Sage publications.
- Deliman, P. N. and W.M. Leigh. (1990). *Assessing nonpoint pollution potential of surface waters using a Geographical Information System*. In: Watershed planning and analysis in action (Riggins, R.E., Bruce J., E., Singh R. y Rechard, P.A., Editores). American Society of Civil Engineers-Irrigation and Drainage Conference. Durango, Colorado, E.U.A.
- Dregne, H. (1995). *Land degradation control in the drylands: Establishing priorities*. in: Barakat, H. N. and Hegasy, A. K. (ed.). Reviews in ecology: Desert conservation and development. Metropole, Cairo, Egipto. p. 73-87.
- Flores López, H.E., R. Ramírez Vega y J. A. Martínez Sifuentes. (2007). "Producción agropecuaria y su impacto en el agua alteña". *La Gaceta*, Universidad de Guadalajara, lunes 9 de julio de 2007.
- Freeman, H.A., B. Shiferaw y S.M. Switon. (2005). *Assessing the impact of natural resource management interventions in agriculture: concepts, issues and challenges*. In: natural resource management in agriculture: Methods for assessing economic and environmental impacts. Cambridge, Massachusetts, USA: Shiferaw, B., Freeman, H.A. Y S.M. Switon, Editores. Cab International.
- Leonard, R.A. (1990). *Movement of pesticides into surface waters*. En: Pesticides in the soil environment H.H. Cheng, editor. SSSA-Book series no. 2. Madison, Wisconsin, E.U.A.
- Loehr, R.C. 1984. *Pollution control for agriculture*. Segunda edición. Orlando, Florida: Academic Press, Inc.
- McCool, D.K. and K.G. Renard. (1990). *Water erosion and water quality*. Adv, in Soil Sci. 13:175-185.
- Ramírez V., et al. (1996). *Estudio de la calidad del agua de la presa El Jibuite*. En: Resumen ejecutivo del proyecto "Manejo integral de la cuenca agropecuaria y forestal El Jibuite". SAGAR-INIFAP-CIPAC-CEAJAL.

- Richters, E.J. (1995). *Manejo del uso de la tierra en America Central. Aprovechamiento sostenible del recurso tierra*. San José Costa Rica: Servicio editorial II CA.
- SEMARNAP-CNA. 2006. *Índices de calidad de agua*. <http://www.semarnap.gob.mx> (Fecha de consulta: 25/01/06)
- Sharpley, A.N., et al. (1999). *Agricultural phosphorus and eutrophication*. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. ARS-149.
- Sims, J.T. y Wolf, D.C. (1994). *Poultry waste management agricultural and environmental issues*. Adv. In Agronomy, 52:1-83.
- Williams, W. M., Holden, P.W. y Zubkoff, P.L. (1995). *Integrated environmental fate studies for agricultural chemicals*. En: *Agrochemical environmental fate: state of the art*. Boca Raton, Florida, E.U.A: Leng, M.L., Leovey, E.M.K. y Zubkoff, P.L. editores. CRC Press Inc.

Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales doméstica en los altos de Jalisco

Aldo Antonio Castañeda Villanueva

Hugo E. Flores López

Antecedentes

Algunos humedales construidos al inicio por investigadores, probablemente, comenzaron sus esfuerzos basados en las observaciones de la capacidad de tratamiento evidente de humedales naturales. Existen estudios documentados que se remontan a 1912; sin embargo, estudios formales sobre humedales construidos para tratamiento de aguas residuales se iniciaron en la década del cincuenta. En el Instituto Max Planck, en Múnich, Alemania, fueron desarrollados en los años setenta y ochenta. En los noventa se vio un mayor incremento en el número de esos sistemas, como la aplicación se expandía no sólo para tratamiento de agua residual municipal, sino también para agua de tormenta, industrial y residuos agrícolas, autores como Robert Kadlec y R. L. Knight (1994), dan cuenta de una buena historia del empleo de humedales naturales, construidos para el tratamiento de aguas residuales y disposición. Los humedales habían sido usados a finales de los años noventa para disposición de aguas residuales, muchas descargas fueron a los humedales naturales, otros vieron las aguas residuales como una fuente de agua y sustancias nutritivas para restauración o creación de humedales (Benefield y Randall, 1980).

En resumen los humedales son medios semiterrestres con un elevado grado de humedad y una profusa vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial auto-depurador. Los humedales naturales pueden alcanzar gran complejidad, con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie; ocupan el espacio que hay entre los medios húmedos y los medios, generalmente,

secos que poseen características de ambos, por lo que no pueden ser clasificados categóricamente como acuáticos ni terrestres (Hammer y Bastian, 1989). Lo característico de un humedal es la presencia de agua durante períodos lo bastante prolongados como para alterar los suelos, sus microorganismos y las comunidades de flora y fauna hasta el punto de que el suelo no actúa como en los hábitat acuáticos o terrestres.

México generó 255 metros cúbicos por segundo de aguas residuales, en el 2005, de los cuales 205 se conectaron en la red de drenaje municipal (80.4%) y solamente 71.8 del total generado recibió algún tipo de tratamiento (28.2%); por otra parte, de las 1433 plantas de tratamiento en operación, el 41.3% utilizaba lagunas de estabilización como sistema de tratamiento y 23.1% utilizaban la tecnología de lodos activados. En ambos casos se requieren grandes superficies de tratamiento, se despiden olores ofensivos y son un foco de infección debido a que constituyen un medio eficiente para la proliferación de mosquitos y otros vectores de enfermedades asociados al agua contaminada. En 2002, de toda el agua que se trató en nuestro país, sólo el 25.3% se reutilizó con esta situación; lo colocó en el lugar número 106 de 122 países en cuanto a la calidad de sus aguas (CNA, 2005); por tanto, existe una gran tarea por realizar a fin de revertir el proceso de degradación que estamos causando a nuestros ecosistemas acuáticos.

Hoy en día las aguas residuales domésticas que se generan en pequeñas comunidades y en los fraccionamientos habitacionales se conducen, cuando es posible, al sistema de drenaje municipal, perdiéndose en promedio más de 210 litros por persona al día, que normalmente va a dar a los cuerpos de agua como arroyos y ríos sin tratamiento alguno, lugares donde no existe red sanitaria, normalmente se construyen pozos de absorción que reciben las aguas residuales y las conducen a los mantos freáticos, generando con el tiempo un foco potencial de contaminación para los mismos. En algunas comunidades en México se han instalado plantas de tratamiento, cuyos costos de inversión y operación aún siguen siendo elevados en comparación con la capacidad económica de dichas comunidades, convirtiéndose en poco tiempo en una carga económica para los usuarios, dado que las plantas de tratamiento convencionales requieren de una cantidad

importante de energía para su funcionamiento, personal capacitado para su mantenimiento y operación, compra regular de compuestos químicos, pago de contratos para el mantenimiento de las instalaciones y el equipo, así como manejar procesos adicionales para la remoción y tratamiento de biosólidos, además de requerir de un espacio para su instalación, alejado de las zonas de vivienda, ya que por lo general despiden olores ofensivos. Finalmente se sabe que la inversión en una planta convencional difícilmente logra amortizarse adecuadamente.

En la zona de los Altos del estado de Jalisco, en el occidente de México, el recurso hidráulico se encuentra restringido; alrededor del 80% del agua potable proviene de pozos profundos, cuyas profundidades oscilan entre los 200 y 550 metros; además, pocas poblaciones rurales cuentan con sistemas para el tratamiento de sus aguas residuales, lo que provoca riesgos sanitarios y deterioro ambiental en los ecosistemas.

Objetivo general

Conocer el efecto de un humedal artificial como sistema para el tratamiento de aguas residuales domesticas, cuantificando la variación en la concentración de contaminantes.

Objetivos específicos

- * Medir la variación en la concentración de contaminantes; presentes en aguas residuales tratadas mediante humedales artificiales, en una población rural de Los Altos de Jalisco.
- * Confrontar parámetros de calidad de agua del humedal artificial de Ojo Zarco, Municipio de Jesús María, Jalisco, con la normatividad oficial vigente (NOM-001-SEMARNAT-1996).

El valor de los humedales

El valor de un humedal es la medida de su importancia para la sociedad, las funciones de los humedales se cuantifican en diversos grados por la sociedad, ya que no hay consensos para relacionar adecuadamente los valores con las funciones. El valor de un humedal puede resultar afectado debido a circunstancias como su localización; por ejemplo, humedales inmersos en territorios urbanos pueden tener mayor importancia para la recreación y la educación que humedales en tierras no desarrolladas o alejadas de centros de población.

Es usual escuchar la frase “conservación de humedales”; pero, en muchas ocasiones, estos ecosistemas se han desarrollado masivamente en asentamientos urbanos. Las personas tienen que alimentarse, transportarse y construir sus viviendas, la forma de conservar el humedal es estudiándolo para mantener un equilibrio entre su utilización e integridad, de forma organizada, por ello, se usa el enfoque de territorio, destacando con ello los beneficios, las leyes y los problemas de la sociedad y su ambiente (CICEANA, A.C.).

Normas ecológicas en México

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a las aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos. Es de observar, de forma obligatoria para los responsables de dichas descargas, que esta norma oficial mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes (Secretaría de Economía - Normas Mexicanas).

La Norma oficial mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observar de manera obligatoria los responsables de dichas descargas,

esta norma oficial mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes (Secretaría de Economía - Normas Mexicanas).

Metodología

La metodología del muestreo que se realizó en esta investigación fue puntual sistemática aleatoria, sin repeticiones por la limitante en el recurso económico. Los análisis de laboratorio fueron patrocinados por las empresas: Previtep S.A. de C.V. de Tepatitlán de Morelos Jalisco, y ABC laboratorios de Guadalajara, Jalisco, bajo las técnicas y determinaciones incluidas en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y el manual de métodos estándar edición 2005.

Las muestras de agua fueron tomadas a la entrada y salida del humedal en el horario más crítico de generación; es decir, de las 12:00 am a las 4.00 pm, cuando se contempla el menor tiempo de retención, con la finalidad de poder evaluar las condiciones más extremas del tratamiento. El humedal lo construyó el gobierno municipal de Jesús María, Jalisco, en el año 2005, con asesoría técnica de la empresa ALMAR equipos de Tepatitlán de Morelos Jal., ésta fue la primera evaluación formal del mismo.

Características de la población

La comunidad de Ojo Zarco de Fuentes se ubica en las coordenadas 20° 43' 30.06" Latitud Norte, 102° 09' 19.33" Latitud Oeste, con una elevación de 2222 metros sobre el nivel del mar (anexo 3). En ella radican aproximadamente 800 habitantes, los que generan más de 148 m³ de aguas residuales al día. Cabe señalar que no se tiene actividad industrial, por lo que esta agua residual es de tipo doméstica.

El agua residual es descargada cerca del perímetro frontal de la cortina de la represa, donde se instaló el humedal artificial para el tratamiento de estos efluentes (ver figura 1), el terreno donde se ubica el tratamiento está formado principalmente por roca impermeable, con pendiente, aspectos que se aprovecharon para la instalación del

sistema de tratamiento.

Cuenta con las siguientes escuelas y colegios; el colegio José Clemente Orozco, que imparte educación básica (preescolar general) y es de control público (estatal) y el colegio Pedro Ogazón, que es una escuela primaria, donde se imparte educación básica (primaria general) y es de control público (federal transferido) (Localidades de México, 2009).

El humedal se encuentra en las coordenadas 20° 43' 11.27" latitud Norte, 102° 09' 12.78" latitud Oeste, con una elevación de 2204 metros sobre el nivel del mar.

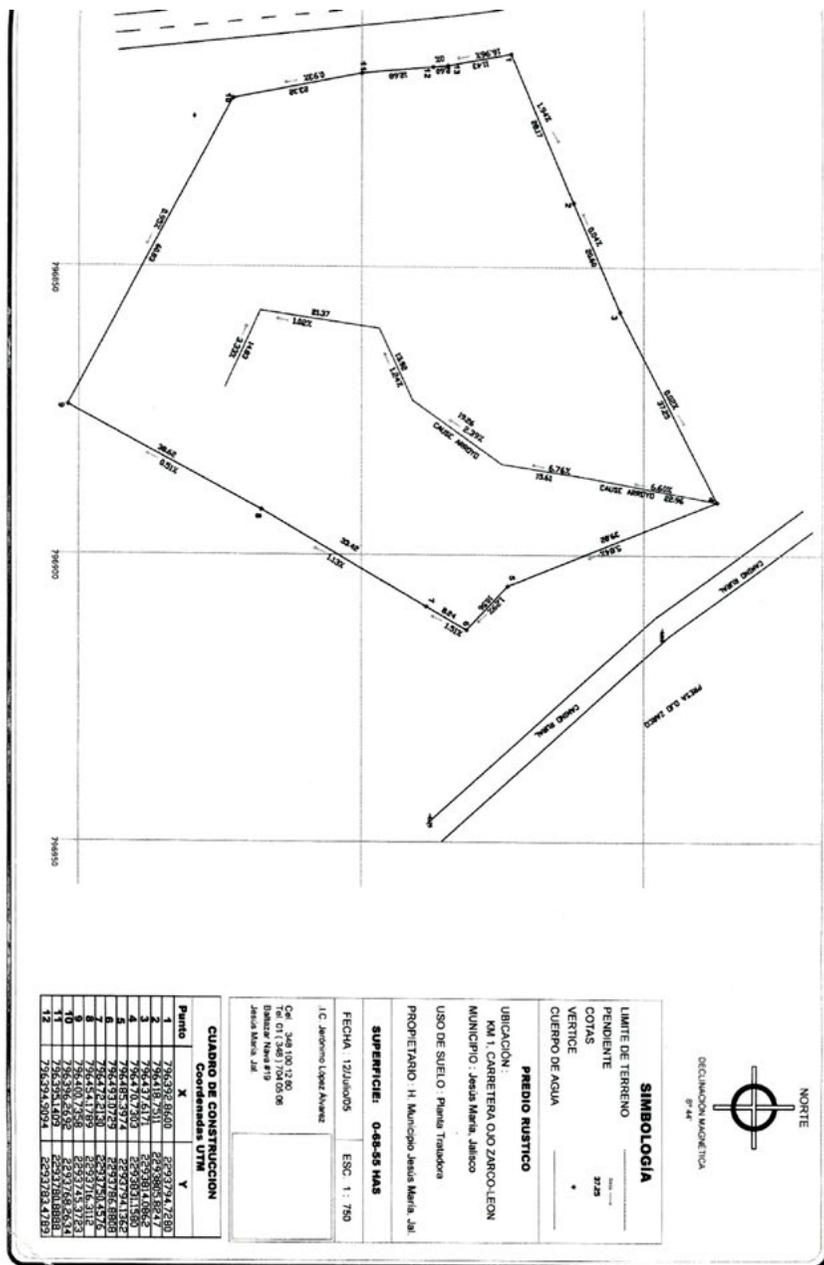


Figura 2. Croquis de la localización de humedal artificial en Ojo Zarco, Jal.

Bases para el diseño del humedal

En la tabla 3 se concentran los principales parámetros utilizados para el diseño y construcción del humedal artificial.

Parámetro	Cantidad
Número de habitantes	800
Generación promedio	160 m ³ /día
Tipo de efluente	Domestico
Capacidad humedal	498.28 m ³
Gasto máximo	111 l/m
Tiempo de retención minino	3.1 días

Tabla 3. Parámetros Básicos para el diseño del humedal de Ojo Zarco Municipio de Jesús María, Jal.

Descripción del sistema de tratamiento

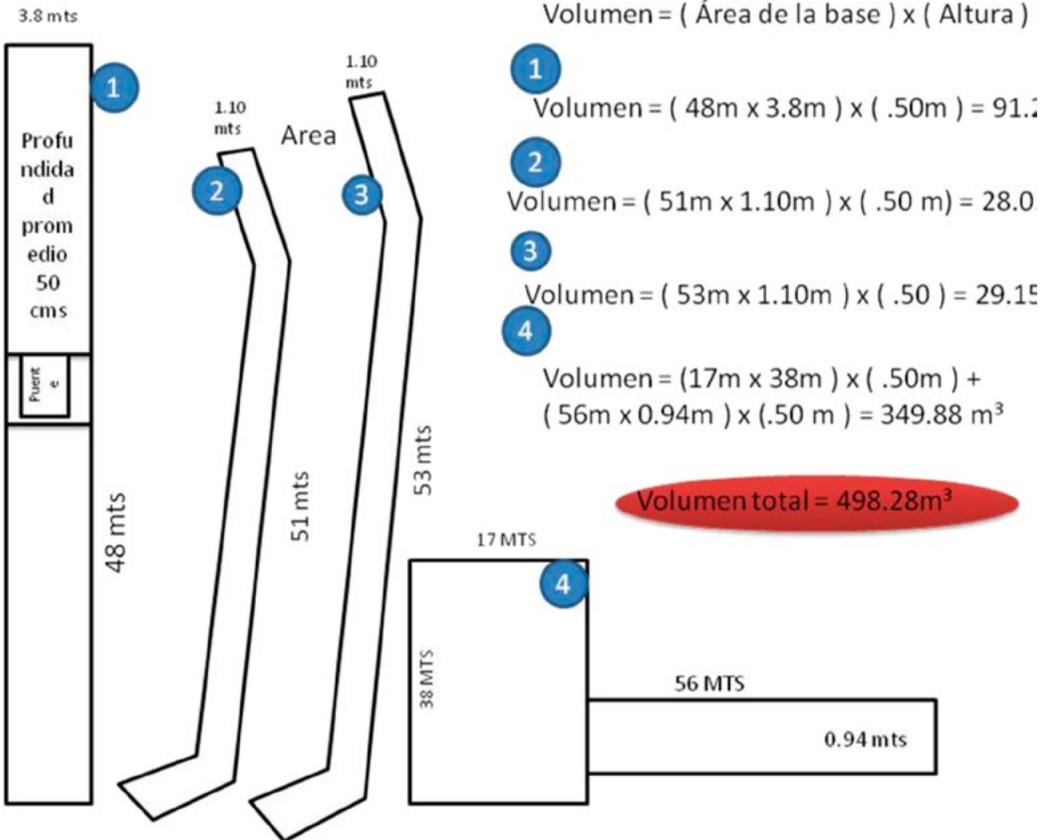
El agua residual generada en la población es recolectada mediante los sistemas de alcantarillado y conducida al colector principal el cual transporta estos efluentes por gravedad al sistema de tratamiento, este se inicia con el desarenador que consiste básicamente en una estructura de mampostería de 2 metros de ancho por 4 metros de longitud y un altura efectiva de liquido de 1.5 metros, este se encuentra cerrado y retiene tanto sustancias ligeras como aceites y grasas así como cuerpos extraños y pesados como piedras, plásticos y metales., posteriormente el agua es transportada mediante una tubería de 12 pulgadas de diámetro a la entrada del humedal; este es de flujo mixto, es decir que una parte opera con flujo superficial y otra con flujo subsuperficial, se encuentra formado por 4 secciones principales (tabla 4):

- 1) Canal distribuidor/sedimentador (flujo superficial).
- 2) Primera terraza (flujo subsuperficial).
- 3) Segunda terraza (flujo subsuperficial).
- 4) Estanque de tule y canal de salida (flujo mixto).

Zona del humedal	Descripción	Tipos de plantas	Capacidad (m3)
1	Canal de distribución y sedimentación	Salvineceas Jacintos comunes	91.2
2	Primer terraza	Irisceas (gladiolues communis)	28.05
3	Segunda terraza	Irisceas (gladiolues communis)	29.15
4	Estanque y canal de salida	Tifáceas (thypa o tule), totoras, espaldañas	349.88

Tabla 4. Tipos de plantas del humedal de Ojo Zarco Municipio de Jesús María, Jal.

Diagrama de flujo



Consideraciones generales

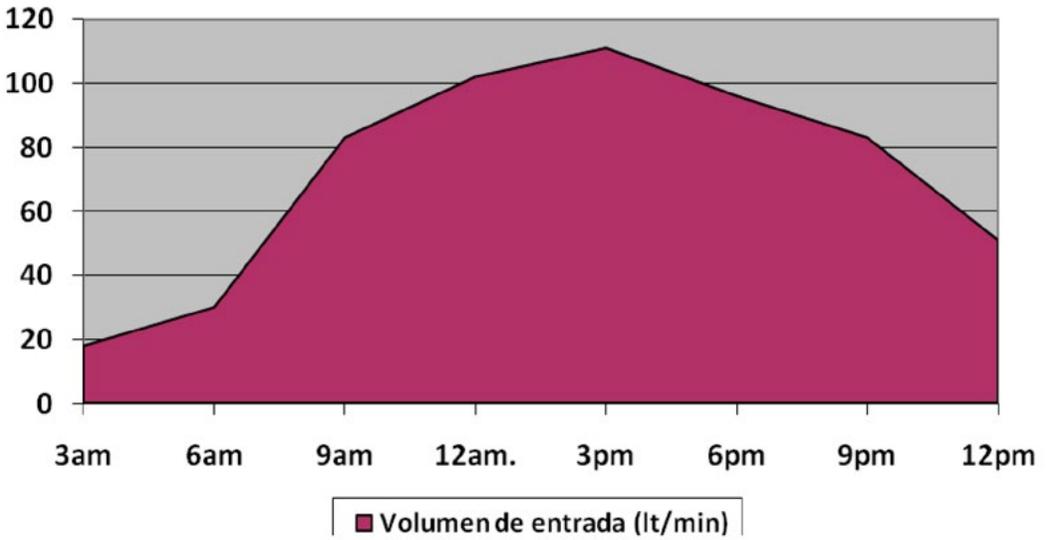
Observando el perfil del los volúmenes de agua que entran al humedal en un día normal de operación, y destacando que el máximo caudal es de las 8:00 am a las 3:00 pm, lo que implica menores tiempos de retención, se optó por tomar las muestras dentro de este horario, para evaluar así, los parámetros de tratamiento en las condiciones más críticas del proceso, por tanto se fijó tomar todas las muestras de agua entre las 2:00 pm y la 4:00 pm (tabla 5).

Resultados

Durante los meses de marzo, abril, mayo y junio del año 2009, se tomaron muestras tanto del agua que entra al sistema de tratamiento como del agua que sale, evaluando los siguientes parámetros; pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5), Grasas y aceites, Organismos coliformes fecales y Nitrógeno Kendall total(Nt), además, para caracterizar el perfil del volumen de generación de agua residual de la población de Ojo Zarco, se midió el caudal que entra la humedal cada 3 horas hasta completar las 24 horas de un día típico, los resultados se muestran tanto en la tabla 11 como en la gráfica 1.

Hora de medición	Caudal (lt/min)	Tiempo de retención en Hrs. (días)
6 am	30	276.8(11.5)
9am	83	100(4.17)
12am	102	81.4 (3.4)
3pm	111	74.8(3.1)
6pm	96	86.5(3.6)
9pm	83	100(4.17)
12pm	51	162.8(6.78)
3am	18	461.4(19.2)

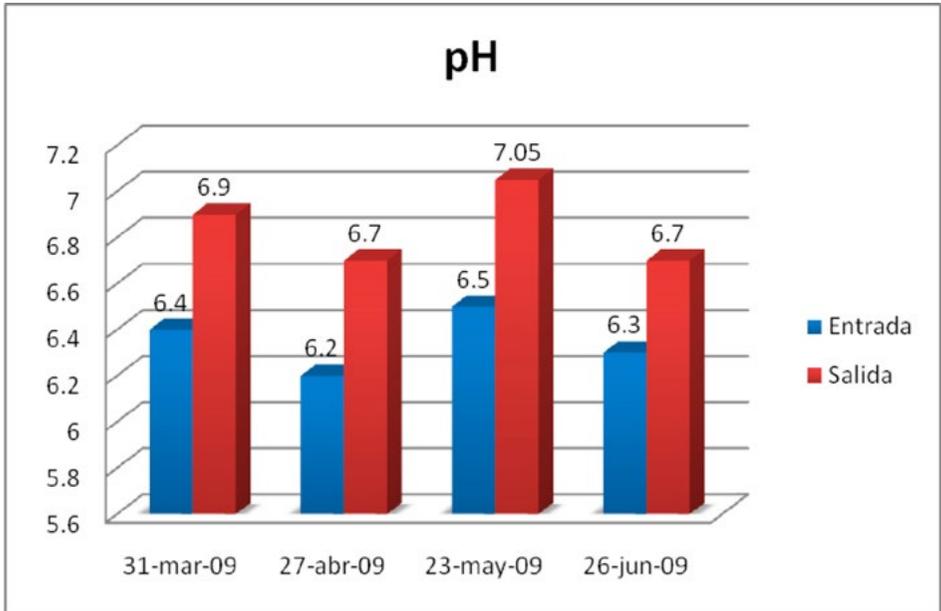
Tabla5. Estimación los caudales y tiempo de retención.



Gráfica 1. Perfil de generación de aguas residuales que entran al humedal

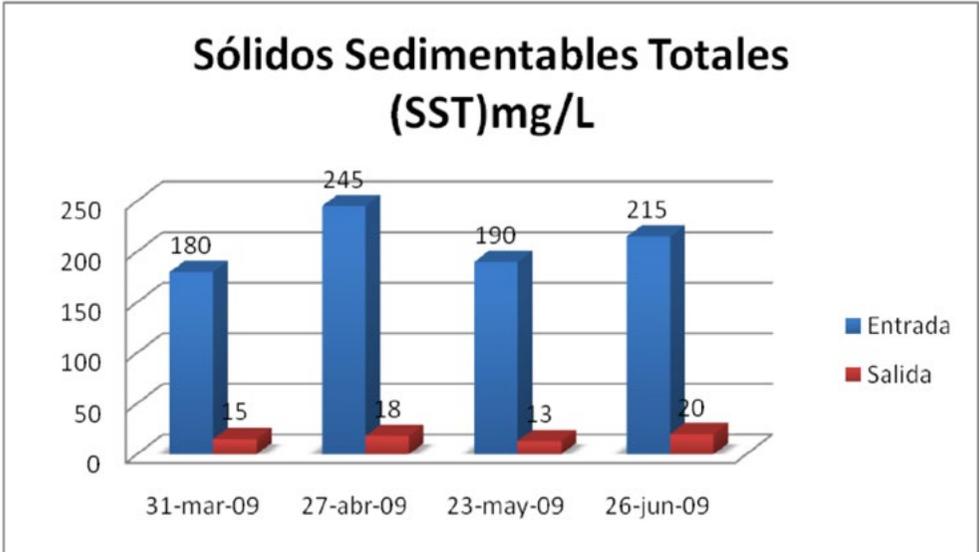
Como se puede apreciar en la información anterior la mayor entrada de agua residual al humedal es de 111 litro por minuto, lo que genera que el tiempo de retención mínimo sea de casi 75 horas (un poco más de 3 días), es decir que aproximadamente el 30% del agua generada permanece en el humedal un mínimo de 75 horas, otro 30% permanece aproximadamente 100 horas y el restante 40% permanece 160 horas, obteniendo un tiempo de retención ponderado de casi 117 horas (4.85 días).

En la gráfica 2, se puede apreciar como el pH del agua se incrementa independientemente del mes en que se evaluó, en un promedio del 7.6%, debido principalmente a la alcalinidad de los procesos biológicos que se desarrollan en el humedal, ayudando a la neutralización del agua.



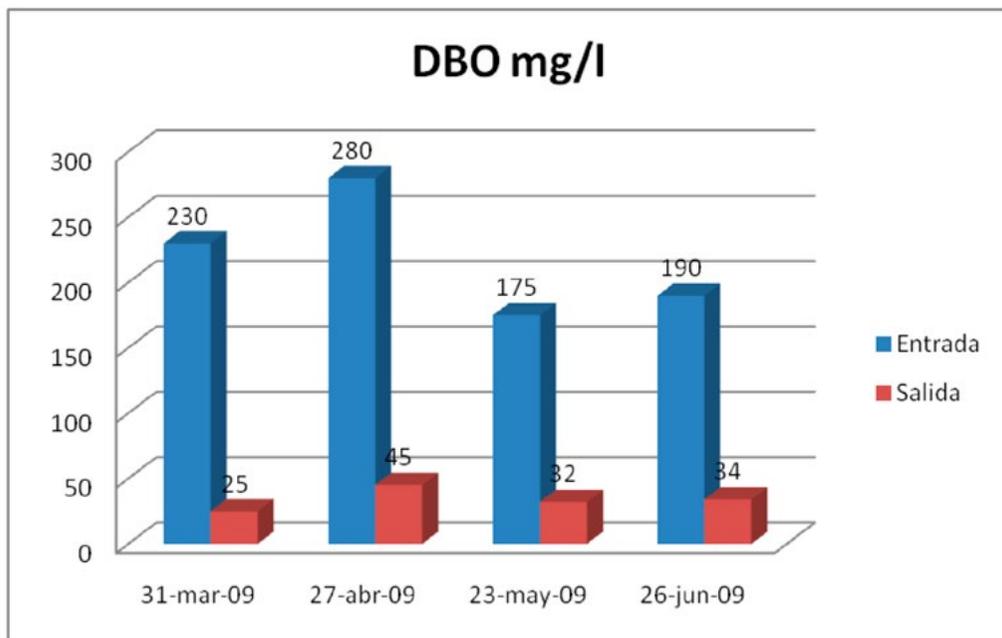
Gráfica 2. Comportamiento del pH en el Humedal

El comportamiento de los sólidos suspendidos totales (SST), se puede observar que disminuyen hasta un 93.16% en el mes de mayo, por la acción del humedal.



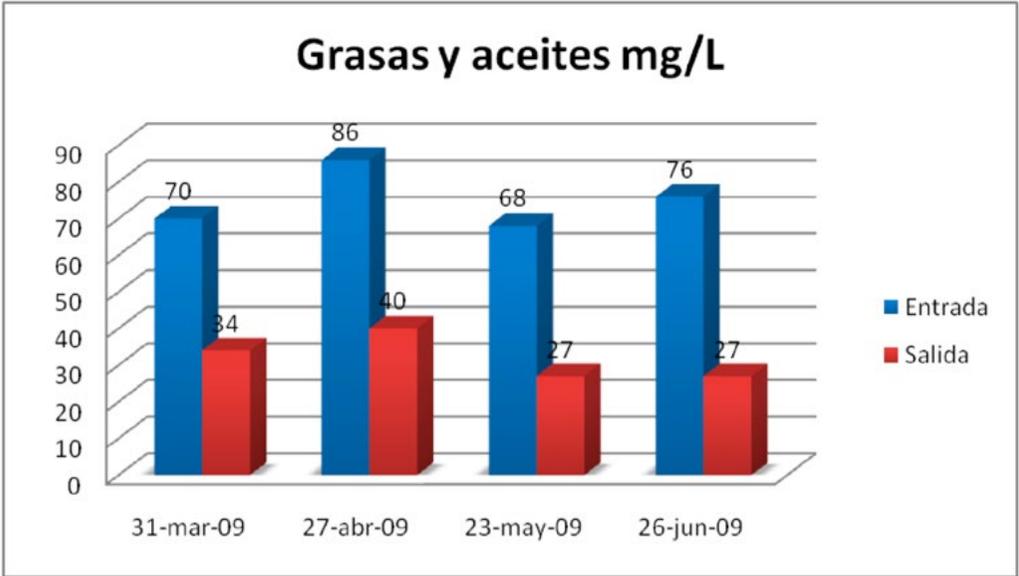
Gráfica 3. Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales en el humedal

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se redujo hasta el 89.1 % en el mes de abril, cabe hacer notar que en todas las pruebas del agua de salida, este parametro permaneció dentro de las normas oficiales correspondientes: NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.



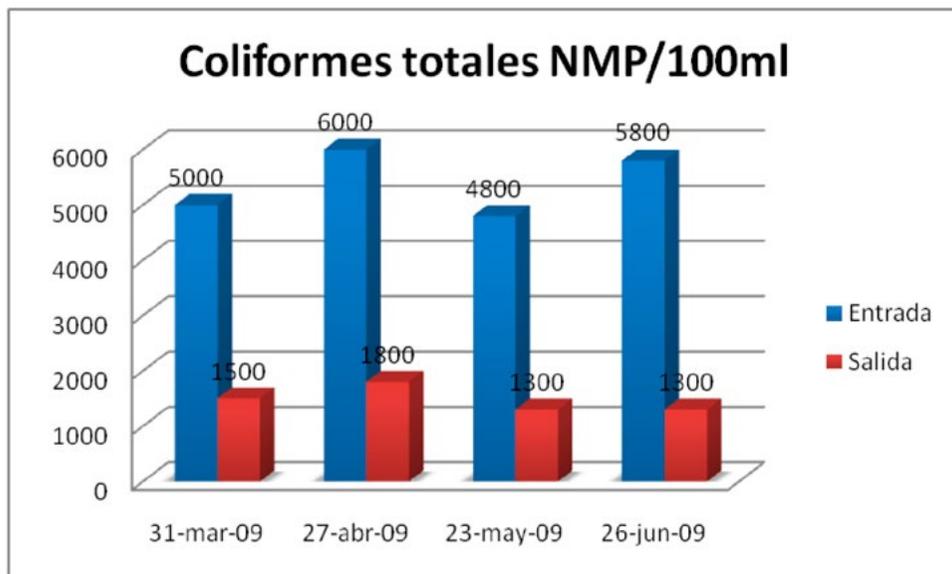
Gráfica 4. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Las grasas y aceites del agua que salen del humedal, presentan valores por encima del parámetro permitido por las normas, sin embargo se registran reducciones de hasta el 64,47 % a la salida del humedal, lo que pudiera deberse a falta de mantenimiento del sistema de pre-tratamiento.



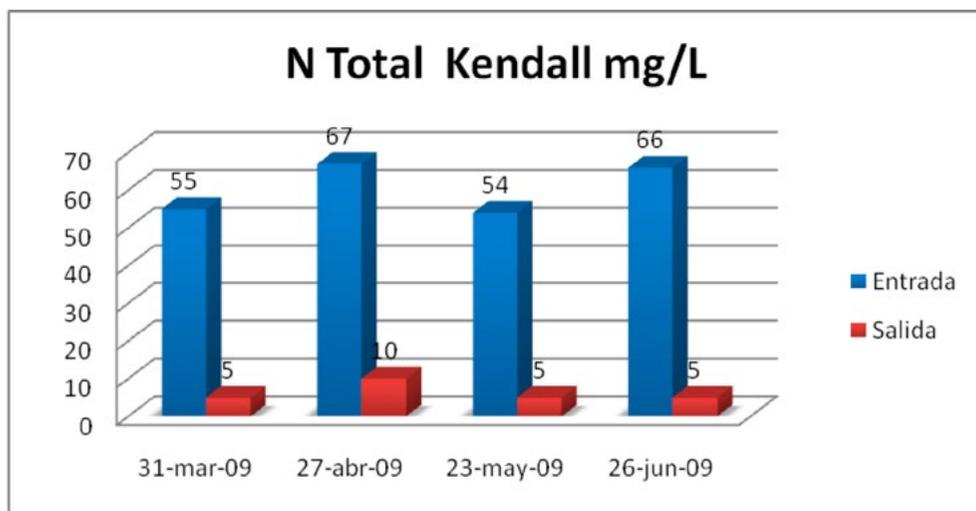
Gráfica 5. Comportamiento de las Grasa y aceites

La cantidad de organismos coliformes fecales se reducen significativamente, aunque el promedio a la salida es de 1475 como NMP en 100 ml., este valor excede el referido en la norma (máximo 1000 NMP/100ml), por lo que se evidencia la necesidad de implementar sistema adicionales de desinfección.



Gráfica 6. Concentración de organismos Coliformes totales

El nitrógeno total sufre reducciones de hasta un 92.42%, lo que se explica por la necesidad metabólica de las plantas de este nutriente, en todos los casos el agua de salida del humedal se encuentra dentro de la norma.



Gráfica 7. Nitrógeno total por el método Kendall

Conclusiones

Las aguas residuales tratadas, mediante el humedal artificial de la población de Ojo Zarco, Jalisco presentan disminuciones de contaminantes importantes, tales son los casos de los Sólidos Suspendidos Totales (hasta el 93.16%), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (hasta el 89.1%), los organismo coliformes fecales, las Grasas y aceites (64.47%), y el Nitrógeno total (92.42%), sin embargo en algunos casos estas reducción no son suficientes para cumplir con la normatividad oficial vigente en materia de descarga de aguas residuales a bienes nacionales como ríos y arroyos, considerando tanto el tiempo de retención ponderado de 4.85 días como la temperatura promedio en los meses que se realizó la evaluación (10 y 28°C), podemos asumir que es necesario incrementar el tiempo de retención para mejorar la disminución de los parámetros críticos fuera de norma, principalmente la DBO, en el caso de las grasas y aceites resulta evidente que se mejoraría su retención al aplicar un programa periódico y permanente de limpieza al sistema de pre-tratamiento ya que este se observó saturado y en malas condiciones operativas.

En referencia a los organismos coliformes fecales, se puede apreciar en una muestra de agua que se tomó sobre el cauce del arroyo a aproximadamente 150 metros de la salida del humedal, el número de organismos era de 450 NMP/100ml, debido principalmente a la interacción de los rayos solares y la aireación natural, por lo que resulta conveniente implementar un sistema para el control de microorganismos ya sea de manera natural o bien mediante la adición de agentes oxidantes como el hipoclorito de sodio, lo que garantizaría el cumplimiento con las normas e inclusive la posibilidad de poder reutilizar el agua tratada en el riego de cultivos forrajeros de la región.

En general se cumplió la meta de conocer el efecto del humedal artificial como sistema para el tratamiento de aguas residuales domesticas, ya que se midió la variación en la concentración de los principales contaminantes contemplados en la normatividad vigente, confrontando sus límites máximos permisibles, resultando que aunque los contaminantes evaluados disminuyeron considerablemente sus valores, aún no cumplen la norma NOM-001-SEMARNAT.1996.

Sin embargo se pudo observar que los humedales artificiales cons-

truidos con plantas acuáticas típicas de la región de Los Altos de Jalisco, son capaces de disminuir la concentración de contaminantes presentes en aguas residuales domesticas.

Por otra parte, como este estudio se realizó entre los meses de marzo a junio, resulta evidente la necesidad de completar la evaluación con la toma de mas muestras en épocas del año menos cálidas, ya que la actividad metabólica tanto de las plantas como de los microorganismos presentes en el humedal se reduce, es de esperar de que existan variaciones en la calidad del agua tratada en estas condiciones.

Anexo 1. Fotos del humedal artificial en Ojo Zarco, Jalisco.



Bibliografía

- Benefield, l.d. & c.w. Randall (1980). *Biological process desing for wastewater treatment*. Pretice -hall, inc. Englewood cliffs, n.j.
- Centro virtual de información del agua.(n.d.). Retrieved November 1, 2008, from 2. <http://www.agua.org.mx/content>
- CICEANA, A.C *Centro de información y comunicación ambiental de norte América, A.C.* Fecha de revisión: 11 de Octubre del 2008.
- Comisiona Nacional del Agua (CNA, 2005), *Estadísticas de tratamiento de aguas residuales en el territorio nacional*.
http://www.conagua.gob.mx/indice/estadisticas/agua_residual.htm
- CONANP. *Comisión nacional de áreas naturales protegidas (n.d.)*. Retrieved October 11, 2008, from <http://www.conanp.gob.mx/humedales.html>
- Depuración con humedales construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Universidad Politécnica de Cataluña. Autores: Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández
- Hammer, d.a. & r. K. Bastian (1989). «wetlands ecosystems: natural water purifiers», chapter 2 in *constructed wetland for wastewater treatment*, ed by d.a. Hammer, lewis publishers, chelsea, mi
- IMP, Instituto Mexicano del Petroleo. (1992). *Tratamiento de aguas naturales para diverso usos*, . D.F. México: Manual.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (n.d.). Retrieved October 21, 2009, from. http://www.inegi.org.mx/lib/olap/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=10261
- Kadlec, r. H., Bastiacens, w., & Urban, d. (1993). *Hidrological design of free water surface treatment wetlands*. Chelsea. M: Lewis Publishers.
- Knight, robert l. (1994). *Treatment wetlands data base now available*. Water environment & technology. V ol. 6, 2: 31-33 for water quality treatment, u.s. Environmental protection agency, risk reduction environmental laboratory; cincinnati, oh.
- Localidades de México*. (n.d.). Retrieved October 3, 2009, from <http://mexico.pueblosamerica.com/c/jose-clemente-oro-zco-99>
- Medio Ambiente y Ecología Social* - EcoPortal.net. (n.d.). Retrieved July 1, 2008, from <http://www.ecoportal.net/content/view/full/75115>
- Nalco, c. c. (1992). *Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicacio-*

- nes. Mexico, mx: Mc graw- hill.
- PEMEX, R. (1993). Técnicas de laboratorio: *Plantas de tratamiento biológico de agua residual urbana y de refinería, y tratamiento colateral cal-carbonato*. Salamanca, Guanajuato. Mexico: Manual.
- Secretaría de Economía - Normas Mexicanas. (n.d.). Retrieved December 1, 2008, from <http://www.economia-noms.gob.mx/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales . (n.d.). Retrieved October 11, 2008, from http://www.semarnat.gob.mx/educacionambiental/programas/pages/programa_humedales.aspx
- Tecnun: Universidad de Navarra: (n.d.). Retrieved November 1, 2008, from <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/11cagu/110conag.htm>
- Waste magazine, revista de naturaleza, ciencia, medio ambiente y divulgación científica. (n.d.). Retrieved December 4, 2008, from <http://waste.ideal.es/humedalartificial>

Avances y limitantes en la gestión de la calidad del agua del noreste de México

*María Eugenia González Ávila
Elizabeth Olmos-Martínez*

Resumen

El presente trabajo evalúa de manera cualitativa y cuantitativa las actividades de gestión, condiciones y calidad de agua que producen cuatro OO de las ciudades: Acuña (Coahuila), Reynosa, Nuevo Laredo y Matamoros (Tamaulipas), al tiempo que se identificaron mejores prácticas, se propusieron medidas para incrementar su eficiencia en términos de gestión, y se detectaron los limitantes y avances que ha tenido en el proceso.

Los resultados indican que los OO estudiados, aun cuando cumplen con parte de la normatividad en materia de calidad de agua, no necesariamente lo hacen de manera eficiente ni cumpliendo con todos los parámetros que establece la NOM-127-SSA1-1994. Esto debido entre otras cosas a la deficiente infraestructura, personal poco capacitado, falta de material y equipo de laboratorio, así como los cambios gubernamentales a los que se tienen que enfrentar los OO cada tres en caso de alcaldes y cada seis en el caso de gobernadores. Así, los resultados obtenidos indican que: el SIMAS de Acuña, aun cuando cumple con los estándares de calidad, sobre al contar con una fuente de abastecimiento de agua de buena calidad como es la Presa La Amistad, lo cual facilita en proceso de tratamiento y se suma con algunas buenas prácticas de gestión internas del OO. Todo esto les han permitido subsanar las deficiencias en materia de infraestructura, presupuesto y actividades secundarias que se detectan en el Índice de Gestión que reporta CNA.

Lo anterior, nos sucede igual con la COMAPA-Nuevo Laredo, COMPA-Reynosa y JAD de Matamoros, quien aun cuando tratan de cumplir con el mínimo de parámetros de calidad de agua, la proble-

mática aguda que presentan en cuanto a falta de inversión en mantenimiento, infraestructura caduca y descordinación en la gestión interna del OO, aunado a los cambios gubernamentales, falta de participación ciudadana, deficiencia cobros e inversión, y por ende en inversión en la propia infraestructura de los OO. Lo cual les ha ilimitado incrementar su eficiencia en materia de gestión de la calidad de agua; esto aun cuando se ha dado esfuerzo individuales y grupales para subsanar algunos de estos problemas.

Por todo lo anterior, es importante que los OO de esta región del país consideren tener una visión como empresa, con inversión económica a largo plazo sea publica o privada, donde su programa de cultura del agua sea una les permita concientización de los ciudadanos no sólo en cuanto al pago del servicio, sino también en un consumo responsable y protección de su recurso hídrico. Además es importante, que el servicio del agua sea vea como un derecho de la ciudadanía y no como un estandarte político para que se pueda planear una política hídrica eficiente y de calidad no solo en el noreste de México sino también en el resto del país.

Introducción

El término de agua potable se refiere al agua para uso y consumo humano requiere ser tratada por un Organismo Operador (OO) mediante Plantas Potabilizadoras (PP) y personal capacitado, equipo y material para laboratorio adecuado para este fin. Sin embargo esto también requiere una adecuada coordinación entre sus distintos departamentos a fin de cumplir con los estándares sanitarios nacionales e internacionales que marca la Comisión Nacional del Agua (CNA), Secretaria de Salud (SSA) y de manera indirecta la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Las mencionadas actividades de coordinación y acciones que realiza un OO para brindar agua potable en condiciones apropiadas para consumo humano, se considera como gestión de la calidad del agua, las acciones que deben contribuir directa e indirectamente a alcanzar las metas establecidas en cada uno de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), y aun cuando esta más estrechamente vincula-

da al Objetivo 7 (ONU, 2012) que se enfoca a los aspectos ambientales también esta dirigido a dotar de agua potable a la población. Dicha actividad de dotación o mejor dicho de gestionar la calidad del agua esta dirigida hacia los OO que son los que tratan y distribuyen este recurso vital para la población.

En nuestro país, los mencionados OO pueden nombrarse de distintas maneras sea: sistemas de agua, direcciones, comisiones, juntas locales, departamentos, comités, etcétera, esto acorde con la estructura orgánica de cada estado y país. Por ejemplo en México, los OO se les conocen como COMAPA (Comisión Municipal Agua Potable y Alcantarillado); SIMAS (Sistemas Municipales de Agua y Saneamiento), OOMAPA (Organismo Operador Municipal de Agua Potable y Alcantarillado), Junta de Agua y Drenaje (JAD) u otra denominación dependiendo de la región de nuestro país o la forma en que este conformados administrativamente.

Algunos de los problemas medulares a los que se han enfrentado los OO mexicanos durante su gestión en la potabilización del agua, tal como lo mencionan Barkin (2006), Ibáñez (2009), Contreras (2008) y Rodríguez (2007), es que cuentan con administraciones improvisadas, personal con poca experiencia técnica, y una deficiente capacitación para ocupar el puesto, aunado a que las administraciones establecen puestos transitorios que están en función de los cambios gubernamentales. Además, de existir poca voluntad por parte de gobierno local y estatal de establecer políticas de agua a largo plazo. Todo esto, se agudiza con la falta de cultura de pago por parte de los usuarios, y una serie de problemas más de índole político, que técnico (Barkin, 2006).

Ante lo descrito, se realizó una evaluación y análisis de acciones en materia de gestión en la calidad del agua potable realizadas por cuatro los OO en el noreste de México, cuya fuente de abastecimiento es el Rio Bravo. Asimismo se identificaron las buenas prácticas individuales o grupales que se presentaban dentro del OO, lo cual permitió por un lado proponer medidas para mejorar el servicio de agua y por otro identificar las limitantes y avances que han tendido durante su actividad diaria las personas que trabaja en esto OO.

Es importante mencionar que parte de trabajo fue realizado en el proyecto “Gestión Local y Financiera del Agua para Uso Urbano en la Frontera Noreste México- Estados Unidos, apoyado por el Ban-

co de Desarrollo de América del Norte (NADB, 2008 y González, 2011) y posteriormente se complementó con otros estudios de caso de la región.

El desarrollo del trabajo, se presenta en siete apartados, el primero comprende una breve descripción del marco histórico de los OO, seguido de la metodología aplicada mientras que en el tercer punto se presentan las características geográficas y demográficas del área de estudio (ciudades Acuña, en Coahuila y Nuevo Laredo; Reynosa, y Matamoros en Tamaulipas). En tanto que en el apartado cuatro se describe las características técnicas de las Plantas Potabilizadoras (PP), estructura administrativa y regulaciones legales en materia de agua potable que debe seguir los OO.

En el punto cinco, se presentan los resultados y discusión de la evaluación cualitativa y cuantitativa de la infraestructura, niveles de profesionalización y parámetros físicoquímicos del agua proporcionada por los OO y se detectó las acciones de gestión que realiza el personal. Mientras que en el apartado seis se describen los avances y limitaciones identificadas dentro de los OO estudiados para así proponen algunas medidas para mejorar su eficiencia.

Finalmente, en el séptimo punto, se concluye acerca de la importancia de establecer una correcta gestión en materia de la calidad del agua, que puede complementar al Índice de gestión que reportan la CNA.

Marco histórico de los organismos operadores estudiados

COMAPA Nuevo Laredo

En 1926, se concluyó la construcción de la primer PP en Nuevo Laredo con una capacidad de 100 l/s y proveía del servicio a una población de 15 mil habitantes aproximadamente (COMAPA-Nuevo Laredo, 2012). Para 1939, se duplicó la capacidad de la PP a 200 l/s y posteriormente en 1951 se incrementó nuevamente su capacidad a 300 l/s. Sin embargo, el problema de lodos y las limitantes de espacio para los tanques de sedimentación continuaron. Al tiempo, que se iba incrementando la población (COMAPA-Nuevo Laredo, 2012).

Tiempo, mas tarde en 1954, el problema de partículas suspendidas se incremento llegando hasta 70,000 ppm, lo cual provoco una reducción en la capacidad de la PP y el incremento de costos operativos (COMAPA-Nuevo Laredo, 2012). Es hasta 1957, cuando se considera la construcción de una nueva PP que se inauguró en 1996, la cual actualmente se enfrenta a serios problemas por la falta de inversión en infraestructura, equipo y sobre todo a nuevas descargas que están llegando al Rio Bravo, que es su fuente de abastecimiento principal (COMAPA-Nuevo Laredo, 2012).

JAD Matamoros

La Junta de Agua y Drenaje (JAD) de la ciudad de Matamoros se aprobó por el Congreso en los años 40's y después de pagar la hipoteca al Banco Nacional Hipotecario y de Obras Públicas (BANO-BRAS), entraría en servicio en 1948. Sin embargo, dicho banco al no tener contemplado presupuesto para ampliación de redes o servicios de mantenimiento, daría pie a que distintos sectores de la ciudad integraran un patronato en pro de mejorar y liberar de la deuda al JAD. Así, tras una serie de vicisitudes administrativas, en 1949 el congreso nombro oficialmente al JAD como una institución autónoma, con facultades para administrar la captación y suministro del líquido a la ciudad de Matamoros, que hasta la fecha continua trabajando, con el apoyo de los diversos sectores, organismos y la propia ciudadanía (JAD, 2012). Sin embargo actualmente se enfrenta a serio retraso en cuanto a modernización, inversión en infraestructura y mantenimiento, además de un servicio que fluctúa de la eficiencia a la ineficiencia en cuanto al suministro y calidad del agua que brinda a sus usuarios.

SIMA Acuña

El Sistema Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Ciudad Acuña (SIMAS) funciona desde hace mas de 30 años suministrando agua a través de la planta potabilizadora "Río Bravo", siendo hasta la fecha su principal fuente de abastecimiento. La PP se localiza sobre la ri-

bera y margen derecha del río Bravo al norte del arroyo las Vacas en la intersección de las calles Mariano Matamoros y 16 de Septiembre. Aun cuando, no existe documento que avale la capacidad total de la planta, se indica por parte de personal del SIMAS que su diseño original fue hecho para 240 l/s, y se ratifica en el proyecto de agua potable elaborado en 1978, la desaparecida Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) y se establecen dos módulos de proceso de 120 l/s. Para el año 2001, la capacidad de la PP quedo rebasada, teniendo que duplicarse prácticamente el caudal que pasa a través de ella, siendo éste de aproximadamente 450 l/s como gasto medio anual, lo que ha provocado que la eficiencia se vea disminuida, excediendo ya las normas de la SSA, en cuanto calidad de agua. Lo anterior se ha visto mejorando, siendo que al construirse la presa La Amistad cambió las características del agua considerablemente, a darse asentamientos de los sólidos en la presa y servir ésta como un sedimentador para el agua del Río Bravo (Plan Municipal de Desarrollo, 2003-2005).

Posteriormente en 2007, debido al incremento población se requirió construir una nueva PP denominada La Amistad con apoyo de COCEF, por lo cual ahora el municipio cuenta con dos PP (Acuña y La Amistad), que tratan un total de 11,616,747 m³ de agua (NAD-BANK, 2008).

COMAPA Reynosa

En 1952 inicia propiamente sus actividades la denominada Junta de Agua y Drenaje de Reynosa y se realizar la primeras obras de alcantarillado del primer cuadro de la ciudad que descargarían a la laguna La escondida (COMPA-Reynosa, 2012). Posteriormente en 1964, entra en operación la PP denominada Loma Linda, de diseño alemán con una capacidad inicial de 570 l/s, cuya longitud de red era de 116,200 m. La mencionada PP a lo largo de su vida útil ha tenido tres ampliaciones, una en 1972 con 825 l/s, después en 1980 se incremento a 1000 l/s y en 1990 llegaría a ser a 1500 l/s; que es la capacidad actual de la planta. Además, el OO ha recibido dos premios: la “Certificación federal de agua potable para consumo humano “en

1980 y 1992. Esto resulta paradójico cuando en el estudio realizado en 2008 (NADBAN) pudimos constatar las condiciones de trabajo son muy deficientes y quizás dichos premios se deben principalmente a los procesos de gestión que realizan un grupo de personas dentro de la PP, mas que la eficiencia del propio OO en brindar el servicio (COMAPA-Reynosa, 2012).

Material y método

El trabajo se dividió en dos etapas:

- a) Trabajo de campo-gabinete, consistió en dos visitas a las ciudades en estudio, en donde se realizaron entrevistas con el personal de Sistemas Municipal Agua de Acuña (SIMAS) en Coahuila y Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (COMAPA) de los Municipios de Nuevo Laredo, Reynosa y la Junta de Agua y Drenaje (JAD) de Matamoros en Tamaulipas, en donde se en visitaron sus PP. Además se consultó información del Consejo Nacional de Población (CONAPO); Comisión Nacional del Agua (CNA); Secretaría de Salud y Asistencia (SSA); Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

La información y visita a las PP permitió evaluar cualitativamente y cuantitativamente la infraestructura y condiciones de trabajo, así como el nivel de capacitación del personal, cumplimiento de la normatividad en materia de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua potable tratada en cada ciudad en cuestión.

- b) Trabajo de gabinete, comprendió la sistematización de la información e identificación de las buenas prácticas realizadas por OO y PP, así como el análisis de la información de parámetro de agua potable facilitados por los OO mexicanos del año 2002 al 2007.

Área de estudio

Clima

En México, presenta una gran variación de climáticas hacia el norte que va de un clima muy seco hasta templado subhúmedo, que en el caso de Coahuila y Nuevo León es muy seco, y en Tamaulipas predomina el clima seco y templado subhúmedo. A excepción, de una porción equivalente a menos del 3% de la franja fronteriza (en su extremo noreste) el clima predominante es subhúmedo, aunque en términos generales la frontera norte en un 96% tiene climas secos (estepario) y muy secos (desértico), los cuales se presentan casi homogéneamente a lo largo de dicha frontera (INE-SEMARNAP, 1998).

El clima en la porción septentrional de la cuenca del Río Bravo es generalmente caliente y árido, volviéndose más tropical en la parte sur. La precipitación media anual en el área de Acuña de 460 mm; en Nuevo Laredo 510 mm y en Matamoros de 650 mm (CILA, 1994).

Fisiografía

Una de las principales fuentes de abastecimiento de las ciudades fronterizas es el Río Bravo que se divide en tres tramos diferentes, basados en sus características geológicas, fisiográficas, climáticas y bióticas (CILA, 1994). Donde el primer tramo (superior) se extiende desde la frontera de Nuevo México hasta La Linda, situándose dentro de la provincia biótica de Chihuahua; el segundo tramo (intermedio) se extiende desde La Linda hasta el sur de ciudad Acuña y ciudad Del Río, situándose en una zona de transición entre tres provincias bióticas que son la Chihuahuense al oeste, la Balconiana al este y la Tamaulipeca al sur. Este último tramo (bajo) se extiende hasta el Golfo de México, y abarca la provincia biótica Tamaulipeca (CILA, 1994), en estos dos últimos tramos se ubican las ciudades en estudio, Figura 1.



Figura 1. Ubicación de las ciudades en estudio Fuente: González et al, 2011

Hidrología

El río Bravo nace en las montañas de San Juan, al sur de Colorado; fluye hacia el sur a través de Nuevo México y entra al territorio del estado de Texas aproximadamente a 32 km al noroeste del área de Cd. Juárez/El Paso, y a partir de este punto se convierte en la línea divisoria internacional entre México y los EE. UU. La longitud del río es de 3,059 km. y el área total de la cuenca, aproximadamente 230,327 km² de territorio están ubicados en los Estados Unidos de Norteamérica y 226,177km², en México (Bravo *et al*, 2005).

Los principales embalses tributarios al Río Bravo son: *Elephant Butte*, Nuevo México, y las presas Internacional llamada La Amistad y la Internacional Falcón, éstas dos últimas se ubican entre los estados de Coahuila y Tamaulipas, (CILA, 1994). Además, existen otras fuentes de abastecimiento como el Río San Juan y ríos secundarios.

Crecimiento poblacional

Los centros urbanos a lo largo de la frontera han crecido significativamente en los últimos 46 años, debido en parte al programa de maquiladoras iniciado en 1965, el cual proporcionó incentivos económicos a plantas de ensamble extranjeras (en su mayoría de propiedad estadounidense) ubicadas en la región fronteriza. La tasa de desarrollo industrial se incrementó a raíz del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), (Frontera, 2020).

Entre las ciudades fronterizas que mayor crecimiento han tenido están las ciudades de Reynosa, Nuevo Laredo y Matamoros, y en el caso de Acuña su crecimiento ha sido menor (Figura 2). Sin embargo, el punto débil del proceso de crecimiento poblacional en estos municipios ha sido que la infraestructura de los servicios urbanos ambientales necesarios para facilitar el comercio en la frontera, al tiempo que se incrementa la calidad de vida de las poblaciones (Balarezo *et al*, 2008).

En el caso específico del municipio de Reynosa, su población se incrementará rápidamente según las proyecciones de la CONAPO para el 2030 (Figura 2), lo cual no necesariamente implicará una mejora en los servicios públicos y la calidad de agua que se les brinda a los usuarios, además que deberán enfrentar una crisis en cuanto a calidad y cantidad de sus fuentes de abastecimiento que es el Río Bravo, así como a la alta presión de sus recursos naturales y la creciente urbanización e industrialización de municipio (Balarezo *et al*, 2008).

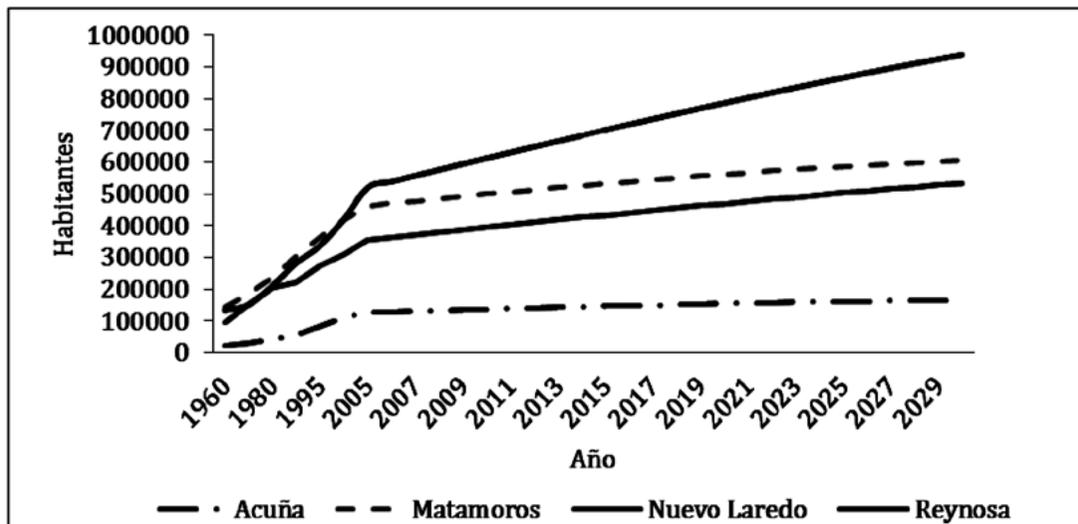


Figura 2. Crecimiento demográfico de las ciudades en estudio (1960-2030).
Fuente: elaborado a partir de información de CONAPO, 2012.

Estructura administrativa, regulaciones y características de las plantas potabilizadoras

Administración

La estructura administrativa de los cuatro OO esta conformada como se muestra en la Figura 3, donde a partir de que la CNA transfirió a los municipios la obligación de prestar los servicios de agua potable y solventar los gastos de sus OO, es cuando los municipios presentan una serie de problemas como la falta de recursos económicos suficientes para solventar gastos de reactivos, inversión en laboratorios, pago de empleados, dar mantenimiento a las PP y mucho menos renovar a la infraestructura existente o construir nuevas plantas. Tal como lo indica Barkin (2006), esto debido a deficiencias en cobro y pago, por lo cual los OO operan con ganancias medias negativas, 0.17 pesos/m³, lo que implica que los OO no recuperan sus costos por

suministro de agua, lo cual sucede en el 65 % de los estados del país (Guerrero et al, 2008).

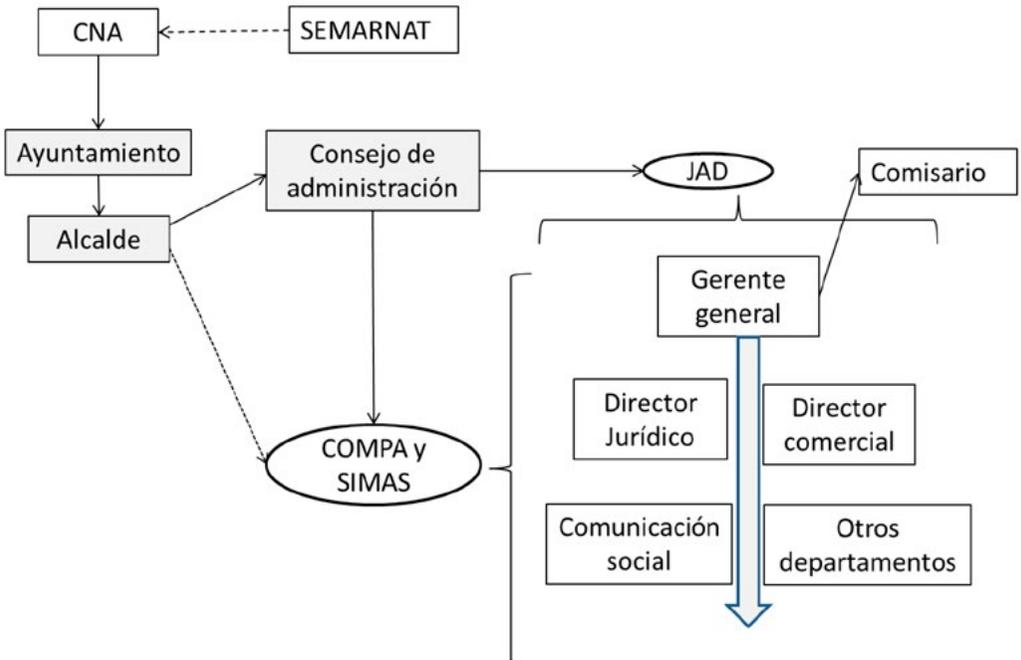


Figura 3. Esquema general de la administración de los cuatro OO estudiados.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de COMAPAs, SIMAS y JAD. Así como CNA y SEMARNAT, 2012.

Uno de los problemas que contribuyen a la poca eficiencia en productividad y calidad del agua se da por la centralización del servicio de agua por parte de la CNA, quien es el encargado de la planificación, explotación y supervisión del sistema hídrico nacional, además de realizar las acciones de gestión en la modernización, aunque el manejo del servicio este a cargo de los estados y municipios.

Lo anterior resulta paradójico, si se considera los problemas son locales deberían resolverse a nivel municipio, siendo que esto se encuentran ante la alternativa de cumplir una legislación y normatividad antes la CNA pero están limitados en decisiones básicas como la par-

participación privado en el tratamiento, cobro y disposición de residuos provenientes de PP u otras acciones. A lo que suma la cultura del no pago, falta de conciencia entre la población para el cuidado y ahorro del agua, y por supuesto una nula participación social en las decisiones en cuanto a tarifas, tratamiento y la propia calidad del servicio de agua potable. Todo esto en conjunto ha contribuido a que los gobiernos municipales sean poco eficientes tanto en cobros como cobranza, pasando por el propio servicio y hasta contar con personal adecuado al puesto dentro del OO.

En lo que se refiere a la administración interna de un OO, esta puede ser simple o compleja dependiendo del número de usuarios que se tenga que atender, mientras que a nivel del encargado de PP por ley y reglamento interno, debe ser un Ingeniero en cualquiera de sus áreas y el resto del personal puede variar en el puesto y tipo de actividad a realizar. En el caso específico de la potabilización de agua en todos los casos los encargados pertenecen al área de ingeniería/ciencias químico-biológicas, en tanto que el resto del personal puede tener profesiones o formación variada, donde incluso el puesto, y tipo de actividades dependen de la filiación sindical.

Regulaciones

El uso y manejo del agua en México, está regido por el Artículo 27 de la Constitución, que señala que las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional son propiedad de la nación. En el párrafo quinto, se indica el concepto de aguas nacionales (mares territoriales, lagunas, lagos, ríos y sus afluentes, etc.) (Ley de Aguas Nacionales, 2008), mientras en el Capítulo III, se define las competencias de la Comisión Nacional del Agua (CNA). En tanto que el Artículo 9, se hace referencia a que la CNA, es quien realizar la gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la administración, regulación, control y protección del dominio público hídrico. Además de fungir como la autoridad en materia de la cantidad y de la calidad de las aguas y gestión en el territorio nacional. Además la CNA, tiene las funciones de reglamentar las actividades hídricas del país, fomentar y apoyar los servicios públicos urbanos y rurales de agua potable,

alcantarillado, saneamiento, recirculación, así como reúso en el territorio nacional, para lo cual se coordinará con los gobiernos estatales, y esto a su vez estos con los municipales (Ley de Aguas Nacionales, 2008). Adicionalmente la CNA, tiene la competencia de establece las NOM-CNA que se refirieren a los aspectos técnicos e infraestructura, así como su conservación en el ambiente, en donde por cierto la injerencia de la SEMARNAT no tiene una competencia directa con el uso y protección del recurso hídrico.

Otras regulaciones aplicables al agua potable además de las establecidas por CNA, gobiernos estatales y municipales, son las normas establecidas por la Secretaria de Salud (SSA) que hacen referencia sobre todo al abastecimiento, consumo y calidad de agua que se brinda a la población. Dichas normas, reglamentan los límites permisibles en cuanto a las características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas que debe cumplir el agua potable, a fin de asegurar y preservar la calidad de ésta en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

Características de las Plantas Potabilizadoras

En ciudad Acuña, el OO es el Sistema Municipal de Agua Potable y Saneamiento (SIMAS) que brinda los servicios de agua y drenaje, teniendo un registro de 37,529 usuarios de los cuales 35,963 están registrados como usuarios domésticos; 1,491 comercial y 75 industrial (SIMAS, 2008). La ciudad cuenta con dos plantas potabilizadoras que trataban 11,616,747 m³ de agua potable, en el año 2007.

En tanto que en la ciudad de Nuevo Laredo, el OO es una empresa descentralizada denominada Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (COMAPA) de Nuevo Laredo, en el año 2007, que registraba a un total de 107,609 usuarios domésticos, es decir, 88.8% usuarios; Nuevo Laredo al igual que Acuña cuenta con dos plantas potabilizadoras: la Planta Centro y la Planta Sur Oriente (COMAPA 2008).

En el caso de la ciudad de Reynosa, el OO encargado de ofrecer los servicios de agua y drenaje es la Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (COMAPA), que tiene una red de distribución

de 950,010 m, cubriendo el 90 % de la mancha urbana y 10% restante se le suministraba agua potable a través de hidrantes y carros cisterna; en el 2008.

En lo que se refiere al JAD-Matamoros cuenta con cuatro PP para dar servicio a municipio de Matamoros. Las plantas se identifican como Planta Potabilizadora No. 1, la Planta Potabilizadora No.2, la Planta Paquete No. 1 y Planta Paquete No. 2. La capacidad total de diseño de las cuatro plantas es de 2,200 l/s.

Todas las plantas utilizan un proceso de tratamiento convencional, que incluyen floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Además las dos primeras plantas (Planta 1 y 2) están equipadas con filtros a gravedad de medio dual, y las dos siguientes usan filtros a presión. En el proceso, se agrega polímero y cloro en puntos estratégicos como coagulante y desinfectante respectivamente

El proceso de potabilización que se realiza en las PP en las ciudades estudiadas (Acuña, Nuevo Laredo, Matamoros y Reynosa) como se menciono, es de clarificación convencional o clarificación completa, es decir, la remoción de contaminantes específicos, tales como hierro, manganeso y arsénico, entre otros, para lo cual se induce a las partículas a sedimentarse o flocular mediante la aplicación de productos químicos o proceso físicos, facilitando así la eliminación de las partículas y microorganismos patógenos (COMAPA, SIMAS, 2008 y JAD, 2012). Este tipo de tratamiento resulta el más común en México y sobre todo en el norte del país, dado por el los costos, altas turbiedad y microorganismos del agua proveniente del Rio Bravo. El tren de potabilización se integra con adición y mezcla rápida de reactivos químicos, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, lo cual a su vez implica un tiempos mas cortos que permite brindar agua potable a las poblaciones a un costo relativamente bajo y en un tiempo rápido (Cuadro 1).

Estado	Cobertura del servicio	Municipio	Nombre de la PP	Tratamiento	Capacidad Instalada (l/s)
Coahuila	Municipal	Acuña	Cd. Acuña	Clarificación convencional (CC)	400
			La Amistad	CC	500
Tamaulipas	Municipal	Nuevo Laredo	Centro	CC	2,000
		Reynosa	Loma Linda, Planta #1	CC	1,500
	Municipal		Benito Juárez, Planta #3	CC	750
	Municipal	Matamoros	Planta Potabilizadora #1	CC	1,000

Cuadro 1. Características de las plantas potabilizadas visitadas

Fuente: elaborado a partir de información, JAD, 2012, y González, 2011a

4. Resultados y discusión

Evaluación cualitativa de infraestructura

La evaluación de las condiciones de infraestructura se muestra en el Cuadro 2, donde la ciudad de Acuña, presenta las mejores condiciones en infraestructura y prestación de servicio, lo cual se debe que la PP, es una obra de reciente, en la que se ha invertido en mantenimiento y remozamiento, aunado a que cuenta con una fuente de abastecimiento (presa de La Amistad) que permite una sedimentación natural de partículas, lo que facilita el tratamiento.

Por otro lado, las ciudades de Nuevo Laredo, Matamoros y Reynosa, las condiciones de infraestructura fueron deficientes, siendo el caso extremo la PP-Reynosa, donde por la poca o casi nula inversión

en mantenimiento y la deficiencia se nota en los edificios abandonados y el equipo obsoleto que tiene. Aunado a esos se presenta la gran cantidad de partículas y contaminantes (Linares, 2004), que lleva el último tramo del Río Bravo antes de llegar al Golfo de México, así como un flujo variable del agua durante ciertos periodos del año.

Algo semejante a lo anterior sucede con JAD-Matamoros, que a lo largo de su historia como OO ha tenido serios problemas con la cantidad de sólidos suspendidos que contiene el agua del Río Bravo (JAD, 2012); lo cual ha complicado la potabilización del agua además de los flujos variables que tiene el río a lo largo del año. Actualmente aun cuando se logró controlar este problema, se enfrentan a una condición de infraestructura caduca, falta de inversión en infraestructura y mantenimiento, aunado al desinterés por modernizar el equipo por parte de las autoridades competentes. Además, de una falta de comunicación entre los departamentos del OO, falta de un manual operativo en algunos casos y la deficiente atención al programa de cultura del agua, el cual había realizado una actividad muy loable hace algunos años (González *et al*, 2011).

Entidad	Tamaulipas			Coahuila
	Matamoros	Reynosa*	Nuevo Laredo*	Acuña*
Condiciones generales de la PP	2	1	2	3
Condiciones de infraestructura PP	1	1	1	3
Mantenimiento y reparaciones	1	1	1	3
Condiciones de los laboratorios de análisis de agua	2	1	2	2
Condiciones físicas de las áreas o departamentos dentro de la PP	2	1	2	3
Personal por área de trabajo	2	1	2	3
Condiciones de seguridad laboral	2	2	2	2
Capacitación personal operador	2	2	2	3
Intercambio de información entre los departamentos de PP	1	2	2	3
Cuenta con un manual de operaciones (aspectos técnicos, normativos, seguridad laboral, perfil del operador, etc.)	n/d	2	n/d	n/d
Monitoreo de los procesos por medios computarizados	n/d	n/d	n/d	3
Estado de la red primaria	1	1	2	3
Cuentan con un programa de cultura del agua**	2	1	3	1

Donde 1= Deficiente; 2= Regular; 3 =Bueno; 4 = Muy bueno y n/d no disponible

Cuadro 2. Evaluación cualitativa de plantas potabilizadoras en ciudades fronterizas

Fuente: Elaboración a partir de González (2011a) González, et al (2011b)** y Arzáluz et al (2011)**.*

A nivel de capacidad instalada y el caudal que potabilizan, en el caso de las PP de Matamoros una de ellas trabaja actualmente al 63% de su capacidad instalada mientras que la PP que recibe agua de la presa La Amistad trabaja al 80% (CNA, 2009). Mientras que las PP No. 1 de Reynosa trabaja al 80% y la PP No. 2 al 71% , y en el caso

de la PP de Nuevo Laredo se encontraba trabajando al 68% de su capacidad instalada, aunado a que la antigüedad de las PP están en la mayoría de los casos en estudio al final de su ciclo de vida útil, que es de 30 años en promedio, lo además poner en riesgo no sólo la calidad de agua tratada sino también la seguridad del personal.

Nivel educativo y capacitación

Un factor importante en la potabilización de agua y por ende en la calidad del agua es sin duda la capacitación y funciones del personal, lo cual facilita el trabajo dentro del OO y la propia PP; que en los casos estudiados se cumple en cuanto al reglamento interno, que indica que el Gerente General, debe contar con una carrera relacionada con ingeniería, lo cual se cumple en todos los casos. En tanto, que en el caso del resto del personal no necesariamente es así, siendo que no se especifica el perfil que debe tener un empleado para ejercer algún puesto o actividad dentro del OO, solo se considera los años de experiencia laboral y en el mejor de los casos algún tipo de capacitación teórica o empírica, situación que no se favorece con los despidos al darse un cambio gubernamental (estatal o municipal). Todo esto, ha propiciado que el sector encargado de la potabilización de agua en ésta región del país, tenga serias deficiencias en capacitación y profesionalización de su personal, por lo cual se cuenta en algunos casos con autoridades improvisadas y sin conocimiento del sector e incluso se ha tenido que recontractar a personal de administraciones anteriores cuando no se logra estabilizar los procesos de las PP, tal como sucedió en JAD-Matamoros, (Cuadro 3).

Un caso que sobresalió entre los OO fue la situación del SIMAS-Acuña, donde el gerente contaba con una ingeniería en sistemas computacionales, lo cual se aprovechó para implantar y desarrollar un software, que les permitió automatizar y visualizar los procesos de potabilización. Al tiempo, que optimizaron recursos humanos al aplicar estrategias como: capacitación en puestos administrativos clave y reasignación del personal en otras actividades como la atención a fugas, reparaciones, limpieza o remozamiento dentro del OO, todo ello a fin de incrementar y mejorar el servicio de agua.

Otro caso es el JAD, en donde la reconstrucción del personal que tenía conocimientos de la PP al haber trabajado con anterioridad en el OO, ha permitido mantener estabilizar los procesos dentro de la planta y mantener una calidad de agua aceptable. Sin embargo, aun cuando tienen limitantes como es la inversión en modernización y mantenimiento e incluso en la compra de algunos reactivos (polímeros) necesarios para la potabilización del agua.

Los dos caso restantes (COMAPAs) sus gerentes cumplían con el nivel de ingeniería que establece el reglamento, los puestos y actividades se asigna dependiendo de la antigüedad del trabajador o por asignación del gobierno o gerente en turno, sin que exista un requerimiento académico y/o perfil adecuado para ocupar dicho puesto.

Ciudad	Puesto	Nivel educativo
*SIMAS-Acuña	Gerente general	Universidad (Ingeniería en sistemas)
	Subgerente área técnica	Universidad (Ingeniería)
	Subgerente área saneamiento	Universidad (Ingeniería)
	Subgerente construcción	Universidad (Ingeniería civil)
*COMAPA-Nuevo Laredo	Gerente general	Universidad (Ingeniería)
	Gerente técnico	Universidad (Ingeniería)
	Jefe de Calidad Agua	Universidad (Químico Fármaco Biólogo)
	Encargado de Laboratorio de Agua Potable	Universidad (Químico Fármaco Biólogo)
	Encargado de normatividad	Preparatoria (Técnico)
	Jefe de operación de PP	Universidad (Ingeniería)
	Operadores A, B, C, D	secundaria y/o preparatoria
	Operador de bombas	Primaria
**JAD-Matamoros	Gerente general	Universidad (Ingeniería)
	Gerente técnico	Universidad (Ingeniero Químico)
*COMAPA-Reynosa	Gerente general	Universidad (Ingeniería metalúrgica)
	Subgerente área saneamiento	Universidad (Ingeniería Química)
	Jefe de Calidad Agua	Universidad (Ingeniería Química)
	Operador D y C	Preparatoria y Secundaria
	Operador de bombas	Primaria

Cuadro 3. Nivel educativo y puestos del personal de los OO estudiados

*Elaboración propia a partir de información de COMAPA Reynosa y Nuevo Laredo 2009 y SIMAS, 2009; **JAD Matamoros, 2012 y *González (2011^a)*

Parámetros físico-químicos evaluados en la PP

En lo referente a la calidad del agua potable se evaluó a partir del promedio de los datos físico químicos facilitados por los OO, del período 2002 al 2007, tomando como límites máximos y mínimos los estándares mexicanos. Sin embargo debido a la falta de sistematización y cambios administrativos no se pudo contar con una base de datos lo suficientemente representativa que permitiera elaborar gráficas o tablas completas sobre los parámetros medidos de todos los OO en estudio. Aun con ello, se puede mencionar que de manera general los cuatro casos estudiados cumplen por lo menos con siete parámetros básicos que son: turbiedad, pH, alcalinidad total, dureza total (calcio (Ca) y magnesio (Mg); sólidos disueltos totales; cloruros (Cl₃), y cloruro residual (Cl).

En casos específicos de la PP de Reynosa (Loma Linda) y la PP de Nuevo Laredo (Centro), aun cuando ambas plantas cumplen con los límites NOM-127-SSA1-1994, en cuanto a pH, turbiedad, cloruro (Cl₃), calcio (Ca), magnesio (Mg) y cloro residual (Cl), el resto de los parámetros se presentan como datos incompletos y en algunos casos no reportados.

En tanto la PP-Acuña, los parámetros medidos se encuentran dentro de la norma y un factor que los favorece en el tratamiento y resultados es la fuente de abastecimiento de agua (Presa La Amistad), la cual presenta valores aceptables de calidad, reflejado en parámetros como pH, total de sólidos disueltos, turbiedad y dureza total. Mientras que el JAD-Matamoros aun cuando en los últimos dos años ha cumplido con la NOM-127-SSA1 (información proporcionada por el gerente técnico del JAD), han tenido problemas de calidad y cantidad de agua que brindaban a la población, tal como lo reportaron Le Duc (2011).

Así, la falta de sistematización de información (parámetros) reportados por los cuatro OO y la disparidad en cuanto a la información que reporta cada uno de estos organismos ante CNA y SSA, dificultó realizar un análisis comparativo y significativo para determinar quien cumplía o incumplía con la NOM-127-SSA1-1994, en material de agua potable.

Índice de gestión reportado ante la CNA

Lo antes mencionado se ve reflejado de alguna manera en los indicadores de gestión que reporta CNA de los OO aquí estudiados. En donde, la mayoría de ellos se encuentran en una situación deplorable, siendo la PP de Reynosa, la que presenta una situación deplorable, no sólo por la falta de información y las condiciones deficientes en la propia planta, recursos humanos y otras situaciones ya descritas, sino en aspectos como bajos niveles de estandarización en cuanto a micro mediciones, eficiencia física y cobranza y pago del agua, lo cual repercute en que el OO no tenga los recursos necesarios para para invertir en la propia PP (CNA, 2009).

En el caso de la PP de Acuña, la cual también no reporta información suficiente de sus parámetros fisicoquímicos medidos también presentar deficiencia comercial, altos consumos y poca rehabilitación en tuberías y tomas (CNA, 2009). En lo que se refiere al JAD de Matamoros y su PP, según lo indicado por el director técnico (Ing. Jesús Francisco Martínez Hernández) se cumple al menos con siete parámetros y el resto no los determinan. Aunque también no reportar información ante CNA, y en la que reportan presentan deficiencias en cuanto a micro y macro mediciones, lo cual dificulta el cobro y por ende no tienen recursos suficientes para invertir en redes, tubería y la propia PP. Algo semejante sucede con COMPA-Nuevo Laredo, que aun cuando reporta un mayor número de indicadores de gestión en comparación con el resto de los OO, sus condiciones de infraestructura son deficientes y presentan un alto número de reclamaciones por parte de los usuarios y emplean demasiados trabajadores en reparar tuberías (Cuadro 4).

Estado	Tamauli pas			Coa huila
	Matamoros	Nuevo Laredo	Reynosa	Acuña
Tomas con servicio continuo (%)	100.0	97.6	100.0	94.3
Redes e instalaciones (%)	n/d	98.7	n/d	89.3
Padrón de usuarios (%)	98.7	97.6	n/d	94.3
Macromedición (%)	57.1	91.7	n/d	88.9
Micromedición (%)	1.6	63.2	63.0	64.3
Volumen tratado (%)	n/d	87.5	n/d	n/d
Reclamaciones (Por cada mil tomas)	n/d	224.3	145.1	n/d
Usuarios con pago a tiempo (%)	30.7	45.7	30.5	n/d
Costos entre volumen producido (\$/m ³)	1.9	5.0	3.5	4.1
Empleados por cada mil tomas (Núm.)	4.5	6.4	6.4	3.5
Empleados dedicados al control de fugas (Trabajadores/fuga)	6.0	13.6	8.6	n/d
Dotación (l/h/d)	230.3	341.1	263.3	267.6
Eficiencia física 1 (%)	84.0	n/d	54.2	76.9
Eficiencia comercial (%)	75.7	88.2	74.1	51.1
Eficiencia de cobro (%)	83.5	93.3	72.7	n/d
Rehabilitación de tubería (%)	n/d	0.1	n/d	0.4
Rehabilitación de tomas domiciliarias (%)	n/d	0.3	n/d	0.2
Consumo (l/h/d)	193.8	n/d	147.7	204.3
Horas con servicio en zonas de tandeo (%)	n/d	n/d	n/d	37.0
Usuarios abastecidos con pipas (%)	1.0	n/d	n/d	n/d
Cobertura de agua potable (%)	94.6	97.6	95.3	91.4
Relación de trabajo (%)	116.6	97.1	96.5	91.4
Relación inversión-PIB (%)	0.1	0.2	0.3	0.6
Eficiencia global (%)	60.2	53.0	48.8	39.2
Relación costo - tarifa	21.4	19.6	n/d	0.8
Pérdidas por toma (m ³ /toma)	81.7	n/d	117.6	82.6
Pérdidas por longitud de red (m ³ / km)	21587.5	n/d	n/d	7516.4
Cobertura de alcantarillado reportada (%)	91.0	91.4	79.3	84.0
Eficiencia física 2 (%)	72.5	60.3	65.6	81.0

Cuadro 4. Indicadores promedio de Gestión de los Organismos Operadores en estudio (2002-2010)

Fuente: elaborado a partir de PIGOO 2010. PIB (Productor interno bruto)

Avances: buenas prácticas identificadas

- Se detectó que efectivamente existen esfuerzos grupales (trabajadores, químicos y personal encargados de la PPs) e incluso individuales, en mejorar el servicio y la calidad del agua, aun cuando en el caso de que la PP tenga deficiencias en infraestructura, equipo de laboratorio, falta de reactivos y material.
- Existen acciones y propuesta por parte de uno de los OO para adaptar y desarrollar un sistema de monitoreo computarizado, lo cual ha facilitado el seguimiento y supervisión de los procesos operativos que se realizan en la planta. Además de una buena disposición por parte del personal técnico para realizar mantenimiento preventivo y correctivo de la PP, a fin de mejorar el servicio.
- Existen intervenciones propositivas por parte del personal que labora en las PP para adecuar y modernizar sus condiciones de trabajo, a fin de mejorar la calidad del agua y el servicio que prestan a la población. Además que hay disposición del personal de la PP para capacitarse en aspectos técnicos y teóricos que les permitan ser eficientes.
- En la mayoría de los casos hay una actitud de compromiso por parte del personal operativo para brindar un agua de buena calidad a la ciudadanía.
- Existe interés por el cumplimiento con la normatividad vigente y modernización del equipo considerando el estatus financiero de la ciudad.

Limitantes

- * Existen condiciones deficientes en infraestructura, equipo de laboratorio, falta de reactivos y material que en algunos casos es un problema crónico.

- * Algunos OO presentan una mala coordinación y conocimiento entre áreas/ departamentos que impide el desempeño de ciertas actividades de manera eficiente.
- * En algunos casos se prefiere sacrificar la calidad del agua para disminuir los costos de tratamiento, lo cual resulta un tratamiento deficiente del agua.
- * Los cambios gubernamentales a nivel municipal y estatal llevan a la pérdida de capital humano capacitado al darse cambios o despidos personales.
- * No existen planes a largo y mediano plazo para construcción de nuevas PP y tampoco para remodelación de las mismas.
- * Existe falta de capacitación continua del personal, así como de inspección de la eficiencia operativa en que trabajan los OO y en específico en los departamentos encargados de la potabilización.
- * Falta de apoyo en programas de cultura del agua y concientización del buen uso del agua, como una herramienta fundamental que evite la pérdida del agua, que genere un pago justo e incentive la conservación del recurso hídrico en la región por parte de autoridades y usuarios finales.

Medidas generales para incrementar la gestión técnica de la calidad del agua

- * Es importante establecer un sistema de capacitación y certificación nacional de los operadores, y trabajadores de los OO, que permita contar con una licencia profesional que facilite que personal pueda laborar en otros OO del país.
- * Es indispensable definir el puesto y contratar personal calificado de acuerdo dichos perfiles en cada PP, para lo cual deberán presentar un examen de capacidades o ser evaluado por un comité establecido por el OO.

- * Se recomienda contar con un formato de reporte homogenizado (administrativo, técnico y operativo) entre los OO, que facilite el intercambio de información entre ellos, así como un sistema de captura de estos vía Internet, al tiempo que sea accesible para el público en general, lo cual permitirá conocer la calidad de agua a detalle para futuras investigaciones sobre el tema de agua potable.
- * Es importante concertar reuniones periódicas entre el personal de las PP para el intercambio de ideas y posibles soluciones ante ciertas problemáticas del sector e incrementar la calidad del servicio de agua potable.
- * Todos los operadores y trabajadores debe estar informados sobre la normatividad a cumplir por el OO en materia de agua potable a nivel regional.
- * Se deben desarrollar planes a mediano y largo plazo en cuanto a la inversión para el construcción de nuevas PP, su mantenimiento preventivo, correctivo y en general la mejora de las plantas.
- * Es importante que los OO cuente con un departamento específico con personal capacitado para impartir, desarrollar y evaluar periódicamente programas de educación ambiental con énfasis en la cultura del agua, a fin de detectar si la población ahorra, conserva y protege el agua que se les brinda, pero sobre todo crear conciencia de la importancia del buen uso y cuidado del vital líquido.
- * Propiciar formas eficientes el proceso de atención y queja de los consumidores, así como hacer un seguimiento de los resultados que da esta atención y respuesta al usuario.
- * Cada vez que hay un cambio gubernamental el encargado del OO deberá entregar de manera obligatoria una serie de documentos y equipo que permita a la siguiente administración no tener que sacrificar la calidad del agua en tanto que adquiere el conocimiento del PP y del propio OO.

Conclusión

A fin de propiciar un incremento en la eficiencia de OO en materia de potabilización de agua, es necesario que se propicie políticas públicas en donde se considere como alternativa nuevas formas de participación privada y pública que permitan la inversión en infraestructura, capacitación y formas organizacionales de los OO, donde se considere la participación ciudadana como un insumo importante para la toma de decisiones. Además es indispensable que el servicio de agua potable no sea afectado por los cambios gubernamentales, a fin de evitar la pérdida de capital humano, recursos económicos y decremento en la calidad del agua y del servicio.

Así mismo es importante buscar nuevas maneras de reestructurar los servicios de agua en beneficio de los usuarios y del medio ambiente. Siendo que si un OO funciona como una empresa y busca como fin ser eficiencia deberá cumplir con estándares de calidad operativa, de cobro y pago, así como una buena comunicación con sus consumidores que se vera reflejado en cobros justos, en donde las poblaciones vulnerables, es decir, los pobres sean los menos afectados.

Bibliografía

- Aguilar B. I. (2007) *La importancia de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado: 80 años de la COMAPA*. El Colegio de la Frontera Norte. Consultado el 29 de enero de 2009. http://recunor.org/portal/files/productos/Articulos/AguilarBenitez03_07paraweb.pdf.
- Arzaluz S.M.S. Y González A.M.E. (2011). *Modelos de gestión y programa de cultura del Agua en seis organismos operadores del agua del noreste de México*. *Administración & Desarrollo*, vol. 39, núm. 54, jul./dic. 201.
- Barkin B. (2006). *La gestión del agua urbana en México*. Editorial Universidad de Guadalajara, 157, 297 p.
- Balarezo T. y Ramírez A., (2008). *Crecimiento en el suministro de servicios urbanos ambientales a comunidades fronterizas del Norte de México (1995-2005)*. Apoyado por la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. [Consultada el 12 de marzo de 2012].
- Contreras H. (2008). *Organismos Operadores de Agua en México, Situación y Estrategias de Mejora*. Revista cabecera municipal. No. 154. http://www.cabeceramunicipal.com/Externos/Nota_Personal.asp?id_Articulo=154 [Consultada el 12 de noviembre de 2008].
- Comisión Nacional del Agua, CNA, (2009). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación*. http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CGgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.conagua.gob.mx%2FCONAGUA07%2FNoticias%2Finventario%2520nacional%2520de%2520plantas%2520municipales%25202009.pdf&ei=_fS7T6TEMaqMsALvmo2LDA&usq=AFQjCNFEON_47H4LrcpXdAGHN-7vTCVrfA. [Consultada el 22 de mayo del 2012].
- Comision Nacional de Población, CONAPO, (2012). *De la población de México 2005-2050* 2012. http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234 [Consultada el 12 de mayo de 2012].
- Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, COCEF, (2008^a). *Mejoras al Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Nuevo Laredo, Tamaulipas*. http://www.cocef.org/aproyectos/ExcomNuevoLaredo2004_07esp.pdf. [Consultado el 14 mayo de 2008].

- Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, COCEF, (2008b). *Proyecto Integral de Saneamiento de Ciudad Reynosa, Tamaulipas*. http://www.cocef.org/aproyectos/Reynosa_Spanish.pdf [Consultado el 14 mayo de 2008].
- Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Reynosa, COMAPA-Reynosa, (2008). -Historia. <http://www.comapareynosa.gob.mx/>. [Consultada en abril 12 marzo de 2008].
- Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Reynosa, COMAPA-Reynosa, (2008) -Infraestructura. <http://www.comapareynosa.gob.mx/infraestructura2.html>. [Consultada en abril 12 marzo de 2008].
- Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Nuevo Laredo, COMAPA-Nuevo Laredo, (2008). <http://www.comapanuevolaredo.gob.mx/>. [Consultada el 12 de abril 2008].
- Consejo Nacional de Población, CONAPO, (2008). *Proyecciones de la población de México 2005-2050 por Entidad*. <http://www.conapo.gob.mx/00cifras/5.htm> [Consultado el 04 mayo de 2008].
- Desarrollo Económico de Acuña, A.C. (2009). *Agua potable y alcantarillado*. <http://www.investinacuna-delrio.com/nuestra-ciudad/servicios/agua.htm>. [Consultado el 22 mayo de 2008].
- Flynn S. y Boudouris K. (2002). *La democratización de la regulación y la gobernanza del agua en Estados Unidos*. Consultado en noviembre de 2008 en: www.tni.org/sites/www.tni.org/archives/books/aguaus.pdf
- Frontera 2020: Programa ambiental México Estados Unidos. www.semarnat.gob.mx. [Consultado el 13 de mayo de 2012].
- González A.M.E. (2011^a). *La calidad del agua potable en tres ciudades del noreste de México*. En *Los servicios del agua en el norte de México: gestión, manejo financiero ya spectos ambientales*. Aguilar B. Edit. COLEF-COLSON. 293-324 pp.
- González A.M.E. González Ávila y Arzaluz S. M., (2011b). *El Programa de Cultura del Agua en el noreste de México. ¿Concepto utilitario, herramienta sustentable o requisito administrativo?* Región y Sociedad, vol. XXIII, núm. 51, mayo-agosto, 2011, pp. 123-160
- Elbáñez E, (2009). *México busca una mayor eficiencia en la gestión de los organismos de agua*. *Aqua Viae*. <http://www.agua.org.mx/content/view/5758/279/>. [Consultado el 13 de noviembre de 2008].

- Instituto Nacional de Ecología y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (1998), Reporte del estado ambiental y de los recursos naturales en la Frontera Norte de México. 25-35 p.
- Junta de Agua y Drenaje de Matamoros, (2012). *Breve historia de la constitución de junta de aguas y drenaje de cd. Matamoros*. Consultada el 12 de marzo de 2012 en: <http://www.jad.com.mx/historia.aspx>
- Guerrero G. R. H. R.; Yúnez N. A. y Medellín A. J. (2008). *El agua en México. Consecuencias de las políticas de intervención en el sector*. Edit. Fondo de cultura económica. 107-114 pp.
- Le Duc (2011). Se quejan de mala calidad del agua, la JAD investigan. En: intrabecc.cocef.org/programs/.../seqjandemalaclddeaguala-jadins.pdf. [Consultado el 14 de mayo del 2012].
- Linares, M. (2004). *La sequía en la cuenca del Río Bravo: principio de política*. Gaceta Ecologica. Enero-marzo, No. 070 INE, D.F. 57-66 pp.
- Ley de Aguas Nacionales. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf> [Consultado el 10 de enero de 2009].
- North America Develop Bank, NADB, (2008). *Gestión Local y Financiera del Agua para Uso Urbano en la Frontera Noreste México-Estados Unidos* http://www.nadbank.org/publications/main_span.asp [Consultado el 10 de abril de 2010].
- Normas Oficiales Mexicanas, NOM, (2008). En: <http://www.conagua.gob.mx/conagua/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=14cad3d1-b540-45b7-b9f0-24e708a0eab5%7C%20%20%20%20Normas%20Oficiales%20Mexicanas%7C0%7C0%7C16%7C0%7C0?Consultados el 17 de abril 2008?>
- NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, en <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html> [Consultado el 22 de octubre del 2009].
- Organización de Naciones Unidas, ONU, (2012). Década para la acción 'El agua, fuente de vida: Calidad del agua. <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml> [Consultados el 17 de mayo del 2012].
- Plan Municipal de Desarrollo de Acuña, 2003-2005. SIMAS. Consultado el 22 de enero del 2008 en:
- Periódico Oficial. (2000), Plan Municipal del Municipio de Nue-

- vo Laredo, Tamaulipas. Publicado el sábado 1 de abril del 2000, Anexo al P.O. No. 27. En: <http://po.tamaulipas.gob.mx/periodicos/2000/0400/pdf/cxxv-27-010400F-Anexo.pdf>. [Consultado el 10 de enero de 2009].
- Periódico Oficial (2008). AVISO de consulta pública de los proyectos de normas mexicanas PROY-NMX-AA-147-SCFI-2008, PROY-NMX-AA-148-SCFI-2008, PROY-NMX-AA-149/1-SCFI-2008 y PROY-NMX-AA-149/2-SCFI-2008. http://diariooficial.segob.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5059107 [Consultada el 15 de enero de 2009].
- Plan Municipal de Desarrollo se la ciudad de Acuña. 2003 2005. En: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/COAHUILA/Municipios/Acuna/ACUPla1.pdf>. [Consultado el 10 de enero de 2009].
- Secretaria de Salud, SSA (2008). Normas en materia de agua potable. <http://bibliotecas.salud.gob.mx/cgi-bin/library?e=q-00000-00---0nomssa--00-1--0-10-0---0---0---0prompt-10-DC%2cTX%2cDR%2cDS--4--nom%2f127+ssa%2c%2c%2c-----0-11--11-es-50---20-about-%5bnom%2f127+%5d%3aDC+%5bssa%5d%3aDC+-01-3-1-00-11-1-0utfZz-8-00&a=q&r=1&hs=1&fq=0&fqv=agua+potable,,,&fqf=DC,TX,DR,DS.> [Consultada el 10 de abril de 2008].
- Sistema Municipal de Agua y Saneamiento de Acuña, SIMA (2008). Capítulo 4: Situación del subsector agua potable. <http://www.ceascoahuila.gob.mx/> [Consultado el 10 de enero de 2008].

Investigación y caracterización de los contaminantes en el agua de la subcuenca el ahogado, evaluación de su efecto en la salud de la población y propuestas de sistemas de biorremediación

Angélica Villarruel López

Eire Reynaga-Delgado

Felipe Ascencio Valle

Ricardo Rodríguez Estrella

Sergio Gómez-Salazar

La Subcuenca el Ahogado está conformada por los municipios de Tlaquepaque, Tonalá, El Salto, Zapopan, Juanacatlán y Tlajomulco de Zúñiga, los cuales forman parte de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Esta zona se encuentra entre las 4 más contaminadas del país. Por lo anterior, se hace prioritario conocer y caracterizar los contaminantes que se encuentran en los cuerpos de agua de esta subcuenca y evaluar su efecto en la salud de la población. El objetivo general de este trabajo de investigación señala la identificación de los principales indicadores del deterioro ambiental y el riesgo en la salud en la Subcuenca el Ahogado. Los resultados parciales que se presentan y la valoración de estos de acuerdo al cumplimiento de la normatividad aplicable, así como de diseños estadísticos e índices de calidad, de los parámetros fisicoquímicos y la presencia de metales pesados, se tiene la confirmación de la existencia de un importante deterioro ambiental en los cuerpos de agua superficiales con mayor presión antrópica en la Subcuenca el Ahogado.

Antecedentes

La Subcuenca del Ahogado comprende una superficie aproximada de 520 km², distribuida entre los municipios de Tlaquepaque, Tonalá, El Salto, Zapopan, Juanacatlán y Tlajomulco de Zúñiga, los cuales forman parte de la Zona Metropolitana de Guadalajara dentro de la Región 12 (Centro) del Estado de Jalisco. La Subcuenca, pertenece a

la región hidrológica Lerma-Santiago y a la cuenca hidrológica RH12-E Santiago-Guadalajara [1].

La zona comprendida por los municipios de Tlaquepaque, Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán y el Salto, se encuentra entre las 4 más contaminadas del país, y estos municipios son los que principalmente vierten sus aguas residuales desde Las Pintas hasta la Presa El Ahogado.

El Ahogado es la presa más afectada por la contaminación en el Estado de Jalisco. El agua almacenada en esta presa fue destinada de acuerdo a los planes originales para riego agrícola, pero en la actualidad recibe aguas contaminadas por descargas de agua doméstica e industriales. Alrededor de esta presa existen más de diez parques y zonas industriales.

Los giros más importantes de estas industrias son la química-farmacéutica, alimentos y bebidas, minerales no metálicos, metalmecánica y electrónica. Mientras algunas de las industrias mayores cuentan con plantas de tratamiento, la mayoría no somete sus aguas residuales a ningún tratamiento y, aún en los casos donde existen plantas de tratamiento, estudios indican que los efluentes siguen sin cumplir la normatividad aplicable.

Los parámetros químicos y microbiológicos en las aguas superficiales pueden estar presentes de forma natural o ser introducidos por el hombre alterando las concentraciones naturales debido a las actividades industriales, agrícolas o a los desechos urbanos y domésticos, afectando la biodiversidad acuática. Se considera que la principal causa de contaminación de aguas superficiales es la excesiva actividad humana en los alrededores de los embalses [2,3].

Dado que el agua es el solvente universal, tiene la habilidad de disolver numerosos compuestos químicos y llevar consigo una gran cantidad de impurezas capaces de perjudicar la salud humana, si estas exceden los límites establecidos como permisibles. Además bajo ciertas condiciones ambientales, algunos contaminantes como los metales pesados pueden acumularse hasta llegar a una concentración tóxica capaz de causar daños ecológicos [4,5].

La irrigación con agua no tratada o con afluentes industriales ha sido mencionada como la mayor causa de acumulación de metales pesados en vegetales. Ciertos metales en las plantas son esenciales

como nutrientes, pero cuando las plantas se desarrollan en un ambiente contaminado pueden acumular estos metales en grandes cantidades causando un serio riesgo para la salud humana y los mamíferos, si estos llegan a ser consumidos [6].

Introducción

La transmisión de enfermedades asociadas a la contaminación del agua se explica a partir de la exposición directa de los humanos al agua y a los alimentos contaminados por esta, de manera directa o indirectamente. Es por eso que los procesos naturales relacionados con la circulación del agua en las cuencas hidrológicas adquieren importancia epidemiológica y deben considerarse en los procesos metodológicos de zonificación del riesgo de morbilidad. Las enfermedades microbiológicas transmitidas por el agua incluyen, entre otras, Fiebre Tifoidea, Cólera, Disentería bacilar, Disentería amebiana, Legionelosis, Cryptosporidiasis, Gastroenteritis y Helmintiasis.

La contaminación fecal representa la mayor fuente de patógenos en aguas superficiales, aguas recreacionales, agua para cría de moluscos [7] y este tipo de contaminación depende de varios factores, entre ellos la disposición de residuos, sistemas de tratamiento de aguas, tratamiento de agua de lluvia y de forma potencial, del clima y la temperatura [8]. La presencia de agentes patógenos en aguas superficiales es un problema persistente a lo que a salud pública se refiere. La organización mundial de la salud estima que las enfermedades diarreicas relacionadas con el agua involucran alrededor de 1.8 millones de decesos por año, especialmente en países en vías de desarrollo [9].

Sin embargo, las enfermedades transmitidas por el agua no involucran solamente a las bacterias patógenas de origen fecal. En años recientes los protozoarios han reemplazado a las bacterias patógenas como agentes primarios de enfermedades transmisibles por el agua. En particular *Cryptosporidium* y *Giardia duodenalis* ha cobrado mayor importancia dado que los ooquistes de estos protozoarios pueden sobrevivir en el ambiente por mucho tiempo, inclusive sobreviven a los procesos de desinfección y no son removidos eficazmente en los tratamientos convencionales de potabilización del agua [10, 11].

Existe una necesidad creciente de información referente a los riesgos en la salud asociados a la sanidad y escases de agua, particularmente en los países subdesarrollados. Una de las vías que generan información; tocante a lo anterior son los indicadores de salud ambiental. Dos de los indicadores más ampliamente utilizados son los referentes a la infraestructura de agua potable y alcantarillado en proporción en una localidad o población, así como la calidad de agua [12, 13, 14, 15]. Por lo anterior, se hace prioritario conocer y caracterizar los contaminantes que se encuentran en los cuerpos de agua de la Subcuenca del Ahogado y evaluar su efecto en la salud de la población.

En este trabajo se utilizó un diseño estadístico de componentes principales para los estudios de presencia de contaminantes y calidad microbiológica del agua. El análisis de componentes principales es una técnica que reduce un conjunto de datos a un número de componentes principales los cuales mantienen la mayoría de la varianza dentro de los datos originales en un orden en el cual es posible identificar patrones entre las variables. Este tipo de análisis ha sido extensivamente usado en calidad de suelos y en estudios de contaminación [16]. Por otra parte, la calidad de agua entendida como usos probables de esta, fue calculada mediante la aplicación del software desarrollado por la Canadian Council of Ministers of the Environment.

Material y métodos

1. Zona de Estudio

La Subcuenca del Ahogado constituye una planicie aproximada de 520 km², que alberga el valle denominado Toluquilla, dentro de la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, en la Región Hidrológica del Lerma-Santiago. Queda comprendida entre los 103° 11' de longitud oeste y los 20° 31' de latitud Norte. En esta Subcuenca se ubican 5 de los ocho municipios que conforman la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG): Tlaquepaque, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Tonalá y la parte sur de Zapopan (figura 1).



Figura. 1: Ubicación geográfica de la Subcuenca del Ahogado

Se seleccionaron los sitios de muestreo basados en las zonas de mayor actividad antropogénica, debido a su posible función de proveedora de sustancias contaminantes y a la posible susceptibilidad de la población para establecer contacto con estas aguas vertidas. De esta forma, se tienen los siguientes puntos de muestreo (Figura 2):

1. Canal de las Pintas en Tlajomulco de Zúñiga.
2. Arroyo Seco en Tlajomulco de Zúñiga.
3. Presa las Pintas en Santa Cruz del Valle, Tlaquepaque.
4. Inicio del Canal de la Colorada en Santa Cruz del Valle, Tlaquepaque.
5. Porción del Canal la Colorada a un lado del aeropuerto, El Salto.
6. Canal el Ahogado, salida de la presa homónima en El Salto.

El muestreo se llevó a cabo siguiendo los lineamientos para la evaluación de la calidad del agua publicados en los Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales (IMTA – CONAGUA).

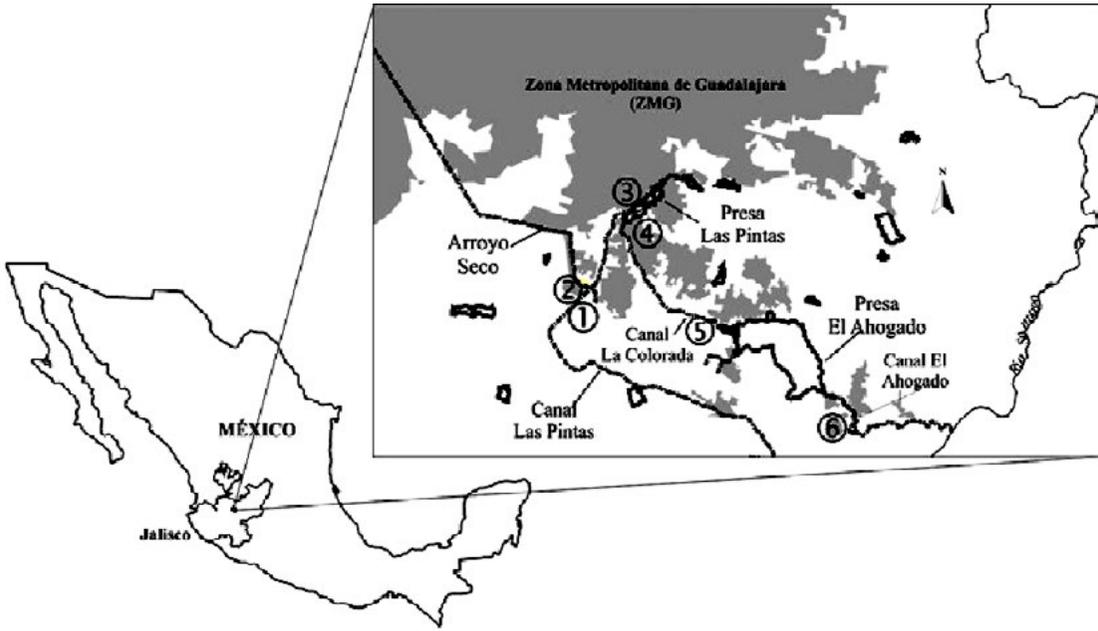


Fig. 2: Cuerpos de agua y puntos de muestreo en la Subcuenca del Ahogado

2. Calidad Microbiológica del Agua

2.1 Indicadores

Se recolectaron 800 ml de muestra de agua tomada directamente con el recipiente colector. Esta muestra se procesó para Calidad Microbiológica siguiendo las especificaciones establecidos en la NMX-AA-042-1987 [17], que establece los lineamientos para la Determinación del Número Más Probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (Termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva.

La presencia de *E. coli* ha sido corroborada mediante su cultivo en medios sólidos selectivos y diferenciales, pruebas bioquímicas presuntivas y confirmada su identificación mediante galerías API20E® (BioMerieux, FR). La lectura del código numérico se efectuó con el sistema informático APIWEB® (BioMerieux).

2.2 Patógenos

El monitoreo ambiental de las bacterias patógenas *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio* y *Aeromonas*, constó de la aplicación del hisopo de Moore [18]. El tiempo de contacto del hisopo fue de 1 h, una vez recuperado se colocó dentro de una bolsa de polietileno estéril y se trasladó a 4 °C en termohielera con hielos para su inmediato procesamiento. En total se recuperaron tres hisopos por cada cuerpo de agua muestreado.

Para la recuperación del género *Salmonella*, el hisopo recolectado se enriqueció con 200 ml de Caldo Lactosado (BBL® Becton Dickison) y se incubó a 35°C por 24 horas. Mediante dos gotas biconvexas se inocularon los caldos selectivos de Selenito y Tetatrimonio (BBL® Becton Dickison). Al caldo tetatrimonio se le añadieron 0.1 ml por cada 10 ml de una solución yodo – yodurada para aumentar su selectividad. Las condiciones de incubación fueron de 42.5 °C por 24 h en baño María (Thermo Electron Corporation, Water Bath Precision, Chicago IL). Posterior a la incubación, se sembraron de cada caldo los medios en placa de Agar Verde Brillante (AVB), Agar Salmonella – Shigella (ASS), Agar MacConkey y Agar Sulfito de Bismuto (ASB) (BBL® Becton Dickison). Las colonias sospechosas se sometieron a pruebas bioquímicas presuntivas y se confirmó la presencia del patógeno mediante galerías API20E.

La recuperación del género *Shigella* consistió en el enriquecimiento del hisopo con 200 ml de Caldo para Gram Negativos (Caldo GN Hanja BBL® Becton Dickison) y se incubó a 35°C por 24 horas. Del hisopo enriquecido se inocularon los medios de Agar Verde Brillante (AVB), Agar Salmonella – Shigella (ASS) y Agar MacConkey (BBL® Becton Dickison). Las colonias sospechosas se sometieron a pruebas bioquímicas presuntivas y se confirmó la presencia del patógeno mediante galerías API20E.

Para la recuperación de *Vibrio* y *Aeromonas* se enriqueció el hisopo con 200 ml de Agua Peptonada Alcalina al 1%, pH final 9.2 (Peptona de Caseína, BBL® Becton Dickison), con NaCl al 5% (Fermont, MX), y se incubó a 35°C por 24 horas. Del hisopo enriquecido se inocularon los medios de Agar Tiosulfato Citrato Bilis Sacarosa (TCBS, BBL® Becton Dickison) y Agar Almidón (BBL® Becton Dickison) con Ampicilina 1% (Bristol – Myers Squibb, MX). Las colonias sospechosas se sometieron a pruebas bioquímicas presuntivas de catalasa, oxidasa y amilasa. Se confirmó la presencia de los patógenos mediante galerías API20E.

Para la recuperación de las bacterias del género *Legionella* se tomaron 100 ml de muestra usada para calidad microbiológica; esta fue tratada con ácido (H_2SO_4 0.02N) para eliminar la biota acompañante. Se procedió a la inoculación del medio BCYE (BBL® Becton Dickison) suplementado con L- *Cisteína* (Sigma-Aldrich Chemical Co., St. Louis, MO; USA) y el suplemento GVPN (*Legionella* GVPN Selective Supplement, Oxoid LTD. Hampshire, ENG). La incubación se realizó en atmósfera entre 5% y 10% de CO_2 por 15 días.

Pseudomonas fue procesada directamente. Del frasco que contenía la muestra para calidad microbiológica se tomaron dos gotas biconvexas y se inocularon en Agar MacConkey y Agar Cetrimida Base (CBB, BBL® Becton Dickison) con Glicerina al 5% (Hycel, MX). La elevada selectividad de este medio de cultivo permite la identificación presuntiva inmediata de *Pseudomonas*. Las colonias características pigmentadas en agar cetrimida fueron transferidas a TSB para posteriormente ser procesadas en galerías API20E (BioMerieux, FR), para su identificación final.

2.3 Calidad Parasitológica del agua

Las muestras se recolectaron en recipientes de polietileno con capacidad de 4.5 litros y fueron transportadas en termohilera y almacenadas en refrigeración a 4°C hasta su posterior análisis en el laboratorio. Las técnicas de identificación utilizadas para este estudio son las que se emplean de rutina para exámenes parasitológicos ya que permiten que las formas parasitarias larvianas no pasen inadvertidas cuando es-

tán presentes en escaso número [19], tales técnicas son: (1) montaje directo, (2) flotación-sedimentación y (3) concentración formol-éter. Previo a la identificación parasitológica, las muestras de agua se dejaron sedimentar mínimo por 24 h y máximo una semana a 4°C en refrigeración; posteriormente, se desechó el líquido sobrenadante obteniéndose un volumen aproximado de 100 ml de sedimento. Los montajes se observaron con objetivos de 10 y 40× utilizando un microscopio Leica (Leica CME, Buffalo N.Y.).

El montaje directo consistió en la colocación de una gota del sedimento y una gota de lugol (Hycel, MX). Las dos últimas técnicas se describen a continuación: técnica de flotación – sedimentación: se transfirieron alícuotas de 5 ml de la suspensión- sedimento a tubos de ensaye, se homogenizó la muestra con solución salina fisiológica y se centrifugaron a 349 g por 3 minutos en una centrífuga SOL – BAT (SOL - BAT, J-600 MX.). Este procedimiento se repitió hasta la obtención de un sobrenadante claro. Al sedimento resultante se adicionaron 3 ml de sulfato de zinc al 33.3% (Aldrich Chemical Co., St. Louis, MO) y se centrifugó a 349 g por 3 minutos. El sedimento obtenido al final se diluyó con agua destilada hasta el reborde. Se tomó el reborde y se realizó el montaje con una gota de lugol.

Técnica de concentración formol – Éter: Se transfirieron alícuotas sin filtrar de la suspensión a un tubo de ensaye y se centrifugaron a 349g por 3 minutos. Se recuperó el sedimento y se le agregó formol al 10% (Sigma-Aldrich Chemical Co.) dejándose reposar por 5 minutos. Se agregaron 3 ml de éter etílico (Fermont, Monterrey MX), y se mezcló el tubo vigorosamente. Se procedió a centrifugar a 349 g rpm por 3 minutos. Se recuperó el sedimento y este se mezcló con una gota de lugol para su posterior montaje.

Para la investigación de *Cryptosporidium*, se tomó una gota del sedimento de las muestras procesadas para análisis parasitológico, la cual se fijó con calor. Posteriormente los montajes fijados se tiñeron siguiendo la técnica de coloración alcohol – ácido según Ziehl – Neelsen (Hycel, MX).

2.4 Calidad ambiental del agua

Las muestras fueron del tipo simple y las determinaciones instantáneas. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos que reflejan la calidad del agua establecidos en la normatividad mexicana vigente [20]. Para la determinación de metales totales se recolectaron muestras en un frasco de polietileno de 1 L previamente lavado con HNO_3 al 15% (Fermont, Monterrey; MX), acidificando la muestra con HNO_3 concentrado hasta $\text{pH} < 2$ y se conservaron en refrigeración a 4 °C hasta su análisis. Las muestras fueron sometidas a un proceso de digestión ácida en horno de microondas (Milestone microwabe SrL ITA), siguiendo el método 3051 de la US – EPA (US – EPA, 1994).

Se colocaron en cada vaso de digestión 5 mL de HNO_3 y 45 mL de muestra, utilizando para la transferencia pipetas volumétricas. Cada muestra se procesó por triplicado. La detección de metales totales se llevó a cabo en un espectrómetro de absorción atómica con flama de acetileno (Contra AA AnalytikJena, GER), utilizando como blanco HNO_3 1% en agua desionizada (HYCEL, MX). Se realizó una lectura de cada replica de los productos de digestión.

La calibración se llevó a cabo previo a cada lectura, utilizándose estándares para cobre, cromo, níquel, zinc, manganeso, fierro, plomo y cadmio (SpectroPure St. Louis, MO) de 1000 ppm. No se realizó dilución del estándar. Las lecturas se llevaron a cabo al obtenerse mínimo un coeficiente de regresión de $r = 0.98$. Los metales para el análisis en este proyecto se seleccionaron de acuerdo a su asociación con procesos toxicológicos en el humano como el cadmio, cromo y plomo, así como los involucrados en la degradación de aguas superficiales tales como zinc, fierro, cobre, níquel y manganeso.

Para la determinación de la calidad del agua en la Subcuenca del Ahogado, se utilizó el software del Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCMEWQI), basado en el British Columbia Water Quality Index. Las categorías descriptivas se agrupan en 5 rangos adimensionales como se describen a continuación:

Excelente (CCMEWQI = 95 – 100): La calidad de agua está protegida con una virtual ausencia de amenazas para su uso, su condición es muy cercana a un cuerpo de agua natural sin presión contaminante.

Buena (CCMEWQI = 80 – 94): La calidad del agua está protegida solamente por amenazas de menor importancia, las condiciones raramente salen de los niveles de naturalidad o deseables.

Aceptable (CCMEWQI = 65 – 79): La calidad del agua está medianamente protegida pero presenta amenazas con frecuencia. Este tipo de agua puede deteriorarse rápidamente y suele alejarse de las condiciones de naturalidad.

Marginal (CCMEWQI = 45 – 64): La calidad del agua no está protegida, tiene amenazas constantes y se deteriora con facilidad. Este tipo de agua está alejada de los niveles de naturalidad.

Pobre (CCMEWQI = 0 – 44): La calidad del agua está completamente amenazada, el agua está deteriorada y sus condiciones salen totalmente de los niveles naturales o deseables.

En este proyecto, el CCMEWQI se utilizó para la inclusión de los metales pesados totales presentes en los cuerpos de agua muestreados. Lo anterior, por la carencia de límites máximos permisibles de referencia para cuerpos de agua superficiales.

2.5 Epidemiología Ambiental

Las características del diseño son las siguientes:

- > Tipo de estudio: observacional, transversal, analítico
- > Universo del estudio: Subcuenca del Ahogado
- > Localidades seleccionadas bajo el criterio de mayor presión antropogénica: Santa Cruz del Valle en el Municipio de Tlajomulco de Zúñiga, San José del Castillo en el Municipio de El Salto y Las Pintas de Arriba en Tlaquepaque.
- > Tipos de muestra: 5 ml de sangre con anticoagulante EDTA y 8 ml de sangre con anticoagulante Heparina. Tres muestras (entre 50 y 100 gr) seriadas de heces (mínimo dos días, máximo cinco días entre una muestra y otra).
- > Casos: 20 Individuos bajo los criterios de inclusión de cada localidad seleccionada.
- > Controles: 20 individuos no residentes de la Subcuenca del Ahogado.
- > Criterios de inclusión: residencia mínima de diez años en la localidad, edad de entre 10 y 20 años, sexo indistinto, no fumadores y

habitar a un máximo de 1000 metros de cuerpos de agua residual. La inclusión de los individuos será supervisada y aprobada por los tutores en sujetos menores de edad. Criterios de exclusión: Los candidatos no susceptibles a los criterios de inclusión.

> Diseño estadístico: Análisis Multivariado.

> Los análisis realizados constaron de: Análisis Coprológico General, Análisis Coproparasitoscópico seriado y Biometría Hemática completa con fórmula blanca.

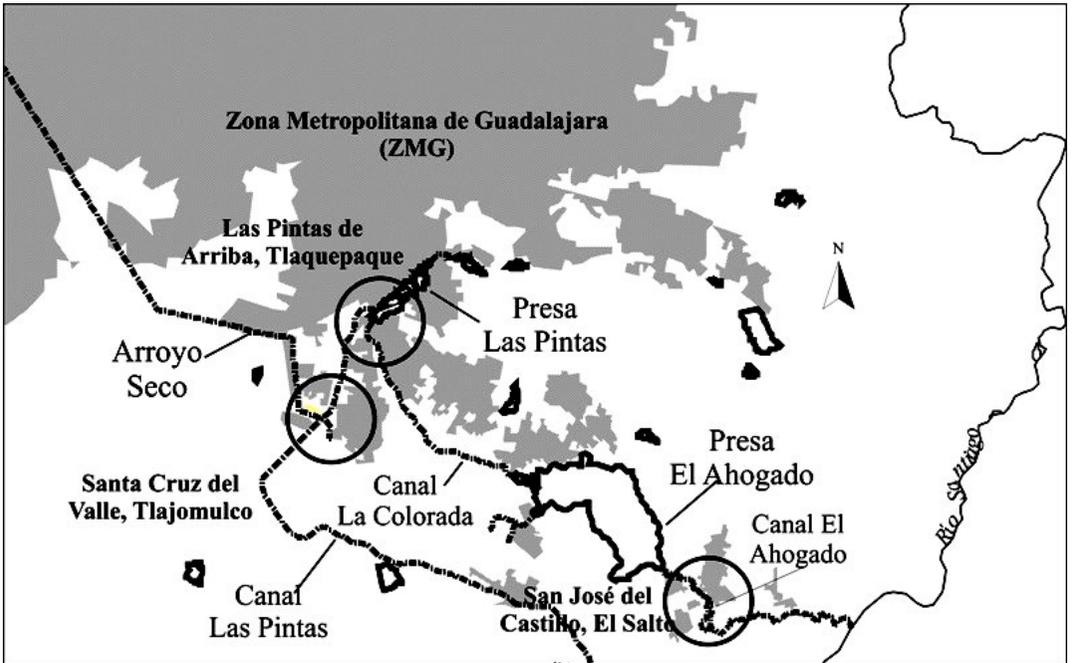


Fig. 3: Poblaciones seleccionadas para el estudio epidemiológico ambiental.

2.5.1 Análisis Coprológico General

Se recolectó una muestra aproximada de 100 gr de heces de cada paciente y se tomaron de 2-3 gr para realizar una suspensión en 10 ml de solución salina fisiológica estéril, la cual se utilizó para el procesamiento de coprocultivo directo e indirecto.

2.5.1.1 Coprocultivo Directo

Tomando dos gotas biconvexas de la suspensión realizada en solución salina fisiológica estéril, se inocularon los siguientes agares: macconkey, agar verde brillante, agar sulfito de bismuto, agar salmonella – shigella, agar cetrimida y agar XLD. Los medios se incubaron a 35°C por 24 horas, excepto los agares de sulfito de bismuto y cetrimida, los cuales se incubaron por 48 h. El crecimiento característico presuntivo de patógenos tales como Salmonella, Shigella, Pseudomonas y E. coli en los medios en placa, fueron sometidos a pruebas bioquímicas presuntivas y su confirmación se llevó a cabo en galerías API20E.

2.5.1.2 Coprocultivo Indirecto

Tomando dos gotas biconvexas de la suspensión de heces, se procedió al enriquecimiento con tubos de caldo lactosado para Salmonella, tubos de caldo GN para Shigella y tubos de agua peptonada alcalina para Vibrio y Aeromonas. Posterior al enriquecimiento se siguió el mismo proceso explicado en la recuperación de patógenos para las muestras de agua. Cabe señalar que los patógenos del género Legionella no fueron procesadas para este tipo de muestras, ya que esta bacteria no es recuperable de heces humanas.

2.5.2 Coproparasitoscópico seriado

Las muestras de heces recolectadas con diferencia mínima de un día y máxima de tres días, se procesaron de inmediato de acuerdo a las técnicas de identificación que se emplean de rutina para exámenes parasitológicos. Para cada coproparasitoscópico se realizaron tres réplicas de cada técnica. El procedimiento realizado es el mismo que para las muestras de agua, excepto que la muestra no es el sedimento obtenido, en este caso, se utilizó un gramo de materia fecal.

Para la investigación de Cryptosporidium, se tomó una gota de la suspensión realizada para el montaje directo y se fijó con calor. Posteriormente los montajes fijados se tiñeron siguiendo la técnica de coloración alcohol – ácido según Ziehl – Nelsen.

2.5.3 Biometría Hemática y Fórmula Blanca

Los 5 ml de sangre con EDTA como anticoagulante se transportaron en termohielera con hielo en cubos y fueron procesados inmediatamente al llegar al laboratorio. De la muestra de sangre con EDTA se realizó un frotis y se tiñó con la coloración según Wright (Hycel, MX). Las observaciones se realizaron en un microscopio Leica, usando el objetivo de inmersión. El conteo de células blancas fue manual, utilizando un contador tipo “piano” con teclas para cada glóbulo blanco.

El resto de la sangre, se procesó en el equipo Coulter Ac.T (Coulter Corporation Miami, FL; USA), en donde se evaluaron los siguientes parámetros: WBC (Cuenta Leucocitaria), RBC (Cuenta eritrocitaria), HGB (Hemoglobina), HCT (Hematocrito), MCV (Volumen corpuscular medio), MCH (Concentración corpuscular de hemoglobina), MCHC (Concentración media corpuscular de hemoglobina), PLT (Plaquetas). Los valores de referencia fueron tomados de los utilizados en el Laboratorio de Análisis Clínicos y Bacteriológicos de Servicio Social del Centro Universitario de Ciencias Exactas de la Universidad de Guadalajara.

Resultados

Se han desarrollado hasta ahora dos campañas de muestreo. La primera (Campaña No. 1) se realizó durante el temporal de lluvias de 2008 (junio –julio). En esta campaña se muestrearon seis sitios. La campaña No. 2 realizada durante el estiaje de 2009 (abril), resultó más completa, incluyendo parámetros de DBO5, DQO, OD y metales, además de los realizados en la campaña No. 1. Sin embargo, en esta temporada no fue muestreado el Arroyo Seco, ya que su razón de existir esta dado por el temporal de lluvias. Los resultados de calidad microbiológica y bacterias patógenas recuperadas de los diferentes cuerpos de agua muestreados se exponen en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1: Calidad Microbiológica del Agua como Número Más Probable (NMP/mL), campañas 1 y 2.

Análisis NMP/mL	Arroyo Seco	Canal Pintas		Presas Pintas		Canal Colorada		Canal Colorada aeropuerto		Canal Ahogado	
	CP1	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Coliformes Totales	2800	360 0	> 110	15	24	150	21	28	> 110 00	150	> 110 0
Coliformes Fecales	2800	360 0	110	46	9.3	15	21	7	150 0	7	110 0
<i>E. coli</i>	15	3.6	110	4	9.3	9	21	7	150 0	7	110 0

CP1: Campaña de muestreo No. 1; CP2: Campaña de muestreo No. 2

Tomando en cuenta la normatividad, los cuerpos de agua que sobrepasan el límite máximo permisible tanto para descargas en agua y bienes nacionales como para descargas vertidas a suelo, son el Arroyo Seco (2800 NMP/mL) y Canal Las Pintas (3600 NMP/mL) en la campaña de muestreo realizada en el temporal de lluvias de 2008. En la campaña de estiaje de 2009 el Canal La Colorada en su tramo del

aeropuerto (1500 NMP/mL) y el Canal el Ahogado (1100 NMP/mL) exceden el límite máximo permisible.

Tabla 2: Bacterias recuperadas ambas campañas de muestreo.

Patógeno	Arroyo	Canal		Presa		Canal		Canal		Canal	
	Seco	Pintas	Pintas	Pintas	Pintas	Colorada	Colorada	Colorada	Colorada	Ahogado	Ahogado
	CP1	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
<i>Salmonella</i>	+								+		
<i>Shigella</i>		+									
<i>Vibrio</i>					+		+	+	+		+
<i>Aeromonas</i>								+			
<i>Pseudomonas</i>			+	+	+						

El patógeno que se encontró con mayor frecuencia fue el *Vibrio spp.* con un 37%, seguido de *Pseudomonas* con un 27%, *Salmonella* en un 18%, y con una frecuencia del 9% se presentaron los patógenos *Shigella* y *Aeromonas*.

El análisis de componentes principales (ACP) realizado con el software Statgraphics Centurion XV arrojó los siguientes resultados: se obtuvo un número reducido de combinaciones lineales de los 6 patógenos que expliquen la mayor variabilidad. Para este caso, 3 componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales a 1. El conjunto ellos explican el 86% de la variabilidad de los datos originales.

El componente principal uno (CP1) explica el 43.5% de la variabilidad, en orden decreciente está constituido por: *Vibrio*, *Salmonella* y *Aeromonas*, mientras que la *E. coli* ejercen un efecto inverso al aumentar la variabilidad de CP1. El componente principal dos (CP2), explica el 23.6% de la variabilidad, en donde se encuentra *Salmonella* y el componente principal 3 (CP3) explica el 18.7% de variabilidad, siendo el patógeno *Pseudomonas* quien lo integra.

El análisis parasitológico del agua mostró larvas de uncinarias en las muestras provenientes de los sitios Canal las Pintas, Presa las Pintas y Canal La Colorada. El 100% de las muestras positivas para uncinaria, se obtuvieron mediante el montaje directo de la suspensión del fondo del recipiente. De ellas, el 60% se recuperó mediante

la técnica de concentración formol – éter y el 40% por la técnica de flotación – sedimentación.

Respecto a otro tipo de helmintos y huevecillos, sólo fue posible identificar huevecillos de *Ascaris lumbricoides* en el agua del Canal las Pintas durante la campaña de muestreo No.1. En el análisis microscópico de muestras por montaje directo se observaban hasta dos huevecillos por campo con el objetivo de 40×. Algunos de estos huevecillos ya se encontraban eclosionados. *S.stercoraris* se asiló de todos los cuerpos muestreados durante la campaña 1 y 2.

De las muestras recolectadas en la campaña de muestreo No. 1, se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: Nitrógeno total (TNK) que representa la suma del Nitrógeno orgánico y el Nitrógeno amoniacal, Fósforo total (PT), temperatura (T°), pH, acidez/alcalinidad (como HCO₃), materia flotante (MF), sólidos sedimentables (Ssed) y sólidos suspendidos totales (SST). De las muestras recolectadas en la campaña de muestreo No. 2, se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: TNK, PT, T°, pH, acidez/alcalinidad , MF, Ssed, SST, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Oxígeno Disuelto (OD). En la Tabla 3 se muestran los parámetros que se encuentran fuera de los límites máximos permisibles en la normatividad mexicana, para ambas campañas de muestreo.

Tabla 3: Parámetros contaminantes fuera de los límites máximos permisibles establecidos en NOM-001-SEMARNAT-1996

Cuerpos de agua	CP1	CP2
Arroyo Seco	TKN, T°, PT,	
Canal Pintas	PT	PT, MF, DBO ₅
Presa Pintas	PT, MF, Ssed	PT, MF, SST, DBO ₅
Canal Colorada	TKN, PT, MF	PT, MF, SST, DBO ₅
Canal Colorada (aeropuerto)	pH, PT, MF, Ssed	TKN, PT, MF, SST, DBO ₅
Canal Ahogado	TKN, pH, PT, MF	PT, MF, SST

En el análisis de componentes principales, en la campaña de muestreo No. 1 se obtuvo un número reducido de combinaciones lineales de 6 variables, las cuales fueron: Acidez / Alcalinidad, TKN, PT, SST, pH y T°. En el análisis realizado dos componentes se extrajeron puesto que estos dos componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1.0. En conjunto, estos dos componentes explican el 85.6% de la variabilidad de los datos originales.

El componente principal uno (CP-1) explica el 58.7% de la variabilidad, constituidos por las variables en orden decreciente la acidez/alcalinidad, PT y T°, mientras que los SST ejercen un efecto inverso. El componente principal dos (CP-2), explica el 26.9% de la variabilidad, donde el pH y el TKN son las principales variables.

El análisis de componentes principales de la campaña No. 2, en el primer análisis (ACP-2A) dos componentes se extrajeron puesto que estos dos componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1.0. En conjunto, estos dos componentes explican el 90.48% de la variabilidad de los datos originales. El componente principal uno (CP-1) explica el 63.7% de la variabilidad, y está formado por la acidez/alcalinidad, TKN y PT. El componente principal dos (CP2), explica el 26.7% de la variabilidad, constituido por pH y SST. En el segundo análisis (ACP-2B) se obtuvo un número reducido de combinaciones lineales de cinco variables, las cuales fueron: Acidez / Alcalinidad, DBO, DQO, TKN y PT. En el análisis realizado, dos componentes se extrajeron puesto que estos dos componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1.0. Sin embargo el total de la variabilidad recaía en un solo componente, por lo que se aceptó un rango de flexibilidad de 0.5 para analizar un componente más. En conjunto, estos dos componentes explican el 97.6% de la variabilidad de los datos originales. El componente principal uno (CP-1) explica el 78.5% de la variabilidad, formado en orden decreciente por DQO, acidez/alcalinidad, TKN y PT. El componente principal dos (CP-2), explica el 19% de la variabilidad, en donde se encuentra que la DBO es la principal variable.

Se determinaron los metales cobre, cromo, níquel, zinc, manganeso, hierro, plomo y cadmio únicamente en la campaña de muestreo No. 2, y excepto en el Arroyo Seco el cual se encontraba sin agua (Tabla 4). De acuerdo a la normatividad mexicana, el metal cromo se

encuentra por arriba de los límites máximos permisibles de descarga a cuerpo receptor (LMP = 0.5 – 1.5 mg L-1) en la Presa Pintas, Canal la Colorada y Canal El Ahogado.

Tabla 4: Cuantificación de metales en los diferentes cuerpos de agua muestreados en la campaña realizada durante el estiaje de 2009 (Nd = No detectado)

Análisis (mg L ⁻¹)	Arroyo Seco	Canal Pintas	Presa las Pintas	Canal Colorada	Canal Colorada aeropuerto	Canal Ahogado
Pb	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Ni	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Cr	Nd	0.198	1.080	0.163	1.709	1.232
Fe	Nd	Nd	0.443	0.075	1.485	2.886
Cu	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Al	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Zn	Nd	0.133	0.124	0.121	0.474	0.368
Mn	Nd	Nd	Nd	Nd	0.281	0.315

El software CCEMWQI selecciona los parámetros que ejercen mayor peso para los diferentes usos. En el caso de la campaña No. 2 en la que se incluyó en el software los metales cuantificados, el índice priorizó la presencia de estos para determinar la calidad. Se utilizaron los valores de referencia de la Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), incluidos en el CCEMWQI.

De acuerdo a estos valores, el cromo se encuentra por arriba de los límites en todos los cuerpos de agua muestreados en la campaña No. 2. Así mismo el fierro está fuera de los valores de referencia en la Presa las Pintas, Canal la Colorada (aeropuerto) y Canal El Ahogado. El manganeso presenta concentraciones fuera de los valores de referencia únicamente en La Colorada tramo del aeropuerto y Canal El Ahogado. Se resumen los resultados del CCEMWQI en la Tabla 5.

Tabla 5: Calidad de agua para 5 cuerpos de agua de la Subcuenca del Abogado.

Cuerpo de agua	Uso general	Potabilización	Vida acuática	Irrigación	Ganadería
Canal Pintas	Pobre	Marginal	Pobre	Pobre	Marginal
Presa Pintas	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
Canal Colorada	Pobre	Aceptable	Pobre	Pobre	Marginal
Canal Colorada (aeropuerto)	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
Canal Ahogado	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre

En el estudio epidemiológico ambiental, se realizó la primera campaña epidemiológica en la población de Santa Cruz del Valle, en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, así como la campaña en el grupo control y parcialmente en la población de las Pintas de Arriba, en Tlaquepaque.

La fórmula roja de la biometría hemática en los voluntarios no presentó valores por arriba de los valores de referencia, sin embargo, un voluntario arrojó un valor de hemoglobina de 7 gr/dl, este voluntario habita en Santa Cruz del Valle. El grupo control y los voluntarios de Las Pintas de arriba, no mostraron ningún valor fuera de rango.

La fórmula blanca mostró valores por arriba de la cuenta celular blanca normal encontrándose las siguientes frecuencias: el 45 % de los voluntarios presentó eosinofilia, siendo mayormente marcada en un voluntario que además presentó *Enterobius vermicularis*. El 33% mostró basofilia, 11% neutrofilia y 11% segmentados en Santa Cruz del Valle. En las Pintas de Arriba, el 50% de los voluntarios analizados presentaron linfocitosis. El resto de los parámetros de la fórmula blanca se encuentran dentro de los valores de referencia. El grupo control no mostró ningún valor fuera de rango.

El análisis del coprocultivo en general arrojó buenos resultados. La frecuencia de patógenos intestinales o enterobacterias fue muy limitada. En la población de Santa Cruz del Valle se aisló *Salmonella spp.* solamente de un paciente, sin embargo, se aislaron otro tipo

de patógenos capaces de desarrollar virulencia en pacientes inmunocomprometidos. Tales microorganismos fueron *Klebsiella pneumoniae*, *Providencia rettgeri*, *Proteus mirabilis* y *Ochrobactrum anthropi*. Las bacterias anteriormente mencionadas se encontraron también en la población de las Pintas de Arriba. Respecto al grupo control, la bacteria que se aisló con mayor frecuencia fue *E.coli* y *Pseudomonas spp.*

Respecto al análisis Coproparasitoscópico en los voluntarios de Santa Cruz del Valle, se obtuvo que el 74% presentó por lo menos un tipo de parásito comensal. La distribución de comensales fue del 23% para *Entamoeba coli*, 24% para *Endolimax nana*, 26% para *Entamoeba hartmanni* y 1% para *Iodamoeba butschlii*. Los parásitos patógenos se distribuyeron en un 14% para *Blastocystis hominis*, 9% para *Entamoeba histolytica* y 1% para *Giardia duodenalis*. El helminto *Enterobius vermicularis* presentó una frecuencia del 2%. En los voluntarios de las Pintas de Arriba se obtuvo que el 85% mostró por lo menos un tipo de parásito comensal. La distribución de comensales fue del 22% para *Entamoeba hartmanni*, *Endolimax nana* y *Entamoeba coli* respectivamente. 19% *Blastocystis hominis*. El 11% perteneció al patógeno *Entamoeba histolytica* y *Giardia duodenalis* se presentó en un 4%. No se encontraron ni huevecillos ni larvas de *helminos*.

En el grupo control se encontró que el 95% mostró por lo menos un tipo de parásito comensal. La distribución de comensales fue del 38% para *Entamoeba hartmanni*. 19% respectivamente para *Entamoeba coli*, *Endolimax nana* y *Blastocystis hominis*. El 5% perteneció al patógeno *Entamoeba histolytica*.

Discusión

Los datos derivados de los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y parasitológicos revelaron variaciones considerables de un sitio a otro. Aunque estas variaciones inciden sobre la calidad de agua, en general esta calidad fue mala para todos los cuerpos de agua muestreados.

Calidad microbiológica del agua, patógenos y análisis parasitológico

La calidad microbiológica del agua está dada por los microorganismos indicadores de contaminación fecal. Los coliformes fecales y los huevos de helminto por su sola presencia indican que ocurrió contaminación y que pueden encontrarse otros microorganismos patógenos en el agua, tales como *Salmonella* y *Shigella* [21].

El índice coliforme, el principal indicador de contaminación fecal, mostró valores por arriba del límite máximo permisible (LMP) en Arroyo Seco (2,800 NMP/mL) y Canal las Pintas (3,600 NMP/mL) durante la campaña No.1, en estos cuerpos de agua de obtuvieron además las más elevadas temperaturas en agua. Durante el verano suelen presentarse altas temperaturas en el ambiente acompañadas de fuertes lluvias, por lo que se drenan los desechos de humanos y animales hacia los cuerpos de agua, esto explica que la cuenta de coliformes fecales resulte más alta [22]. En la campaña No. 2 los cuerpos de agua que presentaron LMP fuera de rango fueron El Canal la Colorada, en el tramo del aeropuerto (1,500 NMP/mL) y El Canal El Ahogado (1,100 NMP/mL), en estos vasos la temperatura fue mayor a los 24°C.

El estudio de *E.coli* presuntiva durante la campaña No. 1 arrojó valores inferiores (entre 3.6 y 15 NMP/mL) que durante la campaña No. 2 (de 9.3 hasta 1,100 NMP), y en ambas campañas, la bacteria fue confirmada. Durante esta campaña se aislaron con más frecuencia predominantemente bacterias del género *Vibrio spp.* y *Pseudomonas aeruginosa*.

En la campaña No. 1 en lluvias, se logró la recuperación de los enteropatógenos *Salmonella* y *Shigella* del Arroyo Seco y Canal las Pintas, respectivamente. Durante el temporal de lluvias, donde ocurren frecuentemente las inundaciones es característico encontrar en los sitios de muestreo una gran cantidad de materia flotante, principalmente residuos tipo urbano (RTU). Los residuos urbanos pueden ser otra fuente de patógenos entéricos [23].

Mediante el análisis de componentes principales (ACP) se observó que *Vibrio*, *Salmonella* y *Aeromonas* explicaban el 86% de la variabilidad, siendo estos los patógenos que ejercían mayor presión por

contaminación ambiental en los cuerpos de agua, y que además, *E. coli* ejerce un efecto inverso. Por lo que puede manifestarse por los resultados del ACP realizado simultáneamente para las dos campañas de muestreo, que las bacterias patógenas se encuentran en mayor número cuando *E. coli* arroja cuantificaciones menores (menos de 15 NMP/mL) como en la campaña No. 1, que cuando se encuentra en cantidades elevadas como en la campaña No. 2 en la cual se encontraron bacterias oportunistas, mayoritariamente.

En el análisis parasitológico realizado en las muestras de agua no se recuperaron protozoarios de importancia sanitaria, sin embargo fue posible la recuperación de huevecillos de *Ascaris lumbricoides* del Canal las Pintas durante la campaña No. 1. *Ascaris lumbricoides* es uno de los helmintos que con mayor frecuencia se encuentra en el agua residual [24]. La cuantificación de huevecillos fue elevada, obteniéndose 1600H/mL. Fue frecuente el hallazgo de *S. stercoraris* en todos los cuerpos de agua y en todas las campañas.

En los cuerpos de agua ubicados en los municipios de Tlajomulco (Canal las Pintas) y Tlaquepaque (Presas las Pintas y Canal la Colorada), durante ambas campañas fue posible la recuperación de larvas de uncinarias en el estado larvario rabditoide (L2) y filariforme ó infectivo (L3). El método de recuperación de parásitos más efectivo para la observación de estos nematodos fue el de montaje directo, seguido de la técnica de concentración formol – éter. En este estudio fue posible encontrar larvas L3 en agua. La presencia de estas larvas en su forma L3 sugiere que la materia particulada flotante puede actuar como un sustrato para la evolución a este estadio larvario. La uncinariasis predomina en regiones tropicales siendo Brasil, Paraguay, Guatemala y Colombia países endémicos [25]. Las uncinarias son nematodos característicos de zonas tropicales, suelos muy húmedos y temperaturas elevadas, condiciones climáticas no características de la Subcuenca del Ahogado.

Análisis Físicoquímicos

En general se observaron bajas temperaturas en el agua durante la campaña de muestreo No. 1, excepto el Arroyo Seco que mostró va-

lores de 26.5°C, siendo el más alto en esta etapa. Durante la campaña No. 2 las temperaturas fueron superiores a los 24°C, teniendo un máximo de 26.5 °C en la Presa las Pintas. La temperatura relativamente alta en la presa puede atribuirse el hecho de que el agua en estos embalses tienen poco movimiento, la presa está expuesta a la luz solar. La temperatura está estrechamente interrelacionada con el oxígeno disuelto y la DBO y por consiguiente con la diversidad de especies acuáticas ya que las bacterias y microorganismos se desarrollan rápidamente en aguas calientes.

Los valores de pH pueden caracterizar a un agua como corrosiva o incrustante. Es conocido que las aguas que presentan valores de pH (6.0) se atribuyen a la captación de estos cuerpos de agua residual proveniente de la escorrentía de agricultura y de aguas domésticas [26]. En términos generales, los problemas de corrosión o incrustación de las aguas se deben principalmente a la concentración de anhídrido carbónico libre (CO_2), aunque también pueden intervenir otros elementos como la dureza, el oxígeno disuelto, alcalinidad, ácidos húmicos, ácido sulfhídrico, sales y microorganismos [27].

La alcalinidad es causada por las sales de bicarbonato (HCO_3) disueltas y tienen un pH de aproximadamente 8.2 a 8.4. Contribuyen en forma importante a la alcalinidad los carbonatos y fosfatos, además las muestras que contienen iones oxidables o hidrolizables como: hierro (ferroso y férrico), aluminio y manganeso en concentraciones altas, causan desviaciones en los puntos finales [28].

En este estudio, todos los sitios mostraron valores en la relación de acidez / alcalinidad como HCO_3 mayores de 400 mg L-1 durante la campaña No. 2, sin embargo, en la campaña No. 1 se observaron variación que van desde las 108 mg L-1 en la Presa las Pintas, hasta 819 mg L-1 en Arroyo Seco. En la campaña No. 1 los valores de pH fueron en general altos (7.5 – 8.5), los valores más elevados en el Arroyo Seco deben su razón a la elevada concentración de fósforo Total (22.128 mg L-1) contaminante que contribuyen a la alcalinización. Otro factor importante para la alcalinidad en este cuerpo de agua puede ser atribuido a la captación de agua residual de las industrias ubicadas de la zona donde se alojan empresas con diferentes giros industriales tales como la química (CydSA), electromecánica (Sanmina SCI) y alimentos (AGyDSA). Los valores de acidez

/alcalinidad (como HCO_3) para todos los cuerpos muestreados en la campaña No. 1 resultaron por arriba de los LMP marcados en la NOM- ECOL-001-1996.

Los valores de pH en la campaña No. 2 oscilaron entre 7 y 7.5, estos valores fueron ligeramente más ácidos que los encontrados en la campaña No. 1, sería de esperarse una acidificación por el agua de lluvia durante la campaña 1, sin embargo, no se presentaron pH ácidos. Además, durante las temporadas de lluvia la deposición de la materia orgánica en el agua de escorrentía y la descomposición parcial de la materia orgánica por hongos y bacterias pueden producir ácidos orgánicos capaces de reducir el pH [29]. Es importante hacer notar que en los cuerpos de agua del Canal la Colorada tramo aeropuerto y Canal El Ahogado se encontraron los metales manganeso y fierro, los cuales contribuyeron a una elevada alcalinidad como HCO_3 , lo cual no se vio reflejado en los valores de pH de 7.5 para ambos cuerpos. Los valores de acidez /alcalinidad (como HCO_3) para todos los cuerpos muestreados en la campaña No. 2 resultaron por arriba de los límites establecidos en la NOM- ECOL-001-1996.

Los sólidos en el agua se definen como cualquier residuo que permanece a la evaporación y secado a 103°C . Los sólidos totales no mostraron valores por arriba del LMP de la normatividad mexicana durante la campaña No. 1. Sin embargo, en la campaña No.2, los valores oscilaron entre los 644 mg L-1 (Canal la Colorada) hasta los 5244 mg L-1 (Presa las Pintas).

La cantidad de sólidos depende en gran medida del efecto de las inundaciones, escorrentías, descargas de efluentes e infiltraciones, así como de la precipitación de la sobrepoblación microalgal [30]. La Presa las Pintas suele desbordarse durante las lluvias, además, en esta zona conocida como “Las Pintas de Arriba” es común que el sistema de drenaje precario se encuentre tapado por la gran cantidad de residuos tipo urbano, lo cual empeora las condiciones de inundación.

Por lo anterior se presenta un estado en el cual la presa arrastra sólidos del suelo y recibe además agua de drenaje con basura. Cuando esto sucede la presa es desazolvada hacia el Canal la Colorada provocando el aumento en los sólidos totales también en este cuerpo de agua. Los sólidos sedimentables expresan la medida aproximada de lodo que se obtendrá en la decantación primaria de agua residual.

Los valores de sólidos sedimentables encontrados en los diferentes cuerpos de agua, por lo general estuvieron dentro de los LMP, sin embargo el agua de la Presa las Pintas (1.2 mg L^{-1}) y Canal la Colorada tramo aeropuerto (1.2 mg L^{-1}), presentaron valores elevados durante la campaña No.1. Estos cuerpos de agua también mostraron materia flotante abundante (de 1 a 50 cm) consistiendo principalmente en residuos tipo urbano (RTU).

Las aguas naturales, residuales o no residuales tratadas con altos contenidos de sólidos sedimentables no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias o las plantas potabilizadoras [31]. Durante el temporal de lluvias, únicamente el Canal El Ahogado mostró valores de sólidos sedimentables por arriba del LMP (1.5 mg L^{-1}). Las abundantes lluvias del temporal provocan la disminución de los sólidos sedimentables, sin embargo dado el arrastre de RTU por los efectos de inundaciones y drenajes obstruidos, durante esta campaña se observó materia flotante de RTU en todos los cuerpos de agua analizados. Respecto a los sólidos totales, durante la campaña No. 2 se observaron valores por arriba de los LMP en Canal la Colorada en sus dos tramos y en Canal El Ahogado. Mientras menor sea la concentración de sólidos totales, mejor será la calidad del agua [32].

La presencia en el agua de compuestos nutrientes como el Fósforo y el Nitrógeno pueden deberse tanto de forma natural como por la actividad humana. Algunas fuentes humanas de estos nutrientes son el agua industrial, agua doméstica, escorrentía de agricultura, granjas y de origen urbano [33].

La composición del Nitrógeno encontrado en el agua, también denominado como nitrógeno kjeldahl (TKN), es la suma del nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico [34]. El nitrógeno amoniacal se clasifica como una sustancia consumidora de oxígeno ya que puede ser oxidado por las bacterias aerobias. El nitrógeno es el segundo contaminante después del fósforo causante de los procesos de eutrofización. El TKN superó los LMP establecidos en la normatividad mexicana en Arroyo Seco (62.61 mg L^{-1}), Canal la Colorada (16.91 mg L^{-1}) y Canal El Ahogado (16.57 mg L^{-1}) durante la campaña No. 1 realizada en el temporal de lluvias. El Canal la Colorada (44.29 mg L^{-1}) en el tramo del aeropuerto y el Canal El Ahogado (57.45 mg L^{-1}), durante la campaña de muestreo realizada en el estiaje (campaña No.2).

Los valores más bajos de TKN se encontraron durante el temporal de lluvias, ya que el volumen de agua captado por los cuerpos de agua es mayor provocando un efecto de dilución de contaminantes, mientras que en el estiaje se encontraron los valores más elevados, y en cuerpos de agua tales como Canal la Colorada que recibe agua residual del aeropuerto y de pequeñas granjas ubicadas antes de la carretera hacia el Salto, y canal El Ahogado, que recibe agua tratada y no tratada del corredor industrial del Salto.

La presencia del fósforo en forma de fosfatos en una de las principales causas de eutrofización en los cuerpos de agua. El fósforo aparece en la naturaleza en forma de fosfatos y esos suelen disolverse y combinarse con partículas en suspensión y contribuir a la turbidez del agua. Todos los cuerpos de agua muestreados tanto en la campaña No. 1 y 2, arrojaron valores por arriba del LMP de la normatividad mexicana. Los valores más bajos se observaron en la Presa las Pintas (6.68 mg L⁻¹ en estiaje y 5.59 mg L⁻¹ en lluvias). Un estudio realizado en Sidney, Australia mediante el método análisis de flujo, reveló que hasta el 80% del fósforo es aportado por detergentes y alimentos [35]. Las elevadas cantidades de fósforo encontrados en todos los cuerpos de agua manifiestan el claro vertido de agua residual del tipo doméstico.

La materia orgánica en el agua es susceptible a ser oxidada y transformada en compuestos más simples por acción de las bacterias. Si hay oxígeno molecular disuelto en el agua, es consumido por las bacterias aerobias. La cantidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua, depende de la temperatura, la turbulencia en la superficie, la presión atmosférica y la cantidad de aire circundante [36]. Cantidades inferiores de 3 mg L⁻¹ de OD interfieren con la vida acuática (por ejemplo la eclosión de los huevos de peces). En los cuerpos de agua muestreados durante la campaña No.2 y en la única en la que se determinó este parámetro, los resultados fueron inferiores a los 1 mg L⁻¹ para todos los sitios. En el estiaje, la elevación de la temperatura del agua, así como el poco caudal mostrado por los cuerpos analizados, influyó para la obtención de niveles tan bajos de OD.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) excedió los límites máximos permisibles de la normatividad mexicana en todos los sitios muestreados. El valor más bajo de DBO5 fue cuantificado en Canal

la Colorada (33.66 mg L^{-1}) y el valor más elevado en Canal las Pintas (50 mg L^{-1}). Respecto a la demanda química de oxígeno (DQO), los valores obtenidos fueron desde 52 mg L^{-1} en Presa las Pintas, hasta los 565 mg L^{-1} en Canal la Colorada en su tramo del aeropuerto.

La relación DQO:DBO más adecuada para efectos de biodegradabilidad se observó en Canal las Pintas (1.32:1), Presa las Pintas (1:1.08) y Canal la Colorada (2.17:1). La aceptable relación de biodegradabilidad de estos cuerpos de agua, puede deberse a que en Canal las Pintas y Presa las Pintas transportan y almacenan agua proveniente del Lago de Chapala, y los tributarios que descargan a estos sitios son en su mayoría del tipo doméstico. En el Canal la Colorada, tramo del aeropuerto y el Canal El Ahogado la relación DQO:DBO fue de 12.84:1 y 11.17:1, lo cual indica que la materia oxidable presente en estos cuerpos de agua es menos apta para ser consumida por los microorganismos.

En el tratamiento estadístico de los datos fisicoquímicos, se utilizó el análisis de componentes principales (ACP), donde el primer factor que se obtuvo explicó el mayor porcentaje de la variabilidad. Los parámetros ingresados en este primer análisis fueron: acidez / alcalinidad, TKN, Fósforo total, sólidos totales, pH y temperatura. En la matriz generada para la campaña No. 1, dos componentes explicaron el 86% de la variabilidad. El primer componente (58.7%) muestra que las variables que ejercen mayor efecto ambiental en los cuerpos de agua de la subcuenca son la acidez / alcalinidad (como HCO_3^-), el fósforo total y la temperatura, mientras que los sólidos ejercen un efecto inverso. El segundo componente (26.9%) muestra que el pH y el TKN son las variables que más afectan las condiciones ambientales del agua. La acidez / alcalinidad no se encuentra dentro de los contaminantes básicos contemplados en la normatividad mexicana, sin embargo se cuantificaron valores muy elevados, por otro lado, el fósforo total se encontró por arriba de los LMP en todos los cuerpos de agua de la subcuenca y el TNK supero estos límites en tres cuerpos de agua.

Respecto a la campaña No. 2, se generaron dos matrices. En la primera (ACP-2A) se ingresaron los mismos parámetros contemplados en la campaña de muestreo No. 1, excepto la temperatura (ya que mostró pocas variaciones de un cuerpo de agua a otro y además en esta temporada únicamente se muestrearon 5 embalses) y en la

segunda (ACP-2B) se utilizaron los siguientes parámetros: acidez/alcalinidad, DBO₅, DQO, TKN y fósforo total. En el primer análisis, el 90% de la variabilidad fue explicada por dos componentes. El primero explica el 63.7% en el que la acidez/alcalinidad, el TKN y fósforo total ejercen la mayor presión ambiental. En el segundo componente (26.7%) el pH y los sólidos totales son los parámetros que afecta las condiciones ambientales.

En el segundo análisis (ACP2B), dos componentes explican el 97.6 % de la variabilidad. El primero de ellos (78.5 %) cuenta con las variables de DQO, acidez / alcalinidad, TKN y fósforo total, mientras que el segundo (19%) muestra a al DBO5 como la principal variable que afecta ambientalmente a los cuerpos de agua.

El parámetro de acidez / alcalinidad, que caracteriza el agua como corrosiva o incrustante, es en todos los casos la variable que mayor efecto ambiental tiene, seguido del TKN y fósforo, nutrientes responsables de los procesos de eutrofización.

Índice de calidad de agua

Un índice de calidad de agua o ICA, es un modelo unificado para detectar patrones y tendencias de contaminación [37]. La evaluación de la calidad de agua puede ser definida como el análisis físico, químico y biológico en comparación con la calidad natural del agua y expresando forma simple estos parámetros complejos.

Solamente se ingresaron los datos de la campaña realizada durante el estiaje, ya que se contaba con más datos fisicoquímicos así como la cuantificación de metales totales. El software utilizado (CCEMWQI) priorizó la presencia de los metales en los diferentes cuerpos de agua para determinar su calidad y sus potenciales usos. El índice evalúa la presencia de contaminantes en cuerpos de agua superficial, como lagos, ríos o presas. Su aplicación respecto a las descargas de agua se encuentra limitada, dados los cambios espaciales por vertidos agua residual en los embalses [38]. Se sometieron los datos de 5 cuerpos de agua, Arroyo Seco, no se ingresó ya que su razón de ser obedece al temporal de lluvias.

Para agua de uso general, el valor más bajo se encontró en el Canal la Colorada (tramo del aeropuerto) y el Canal El Ahogado, arrojando un puntaje de “11” para ambos. Estos mismos cuerpos de agua obtuvieron valores de “13” para usos de acuacultura, así como valores de “30” para irrigación. Se concluye, que en la Subcuenca El Ahogado, los cuerpos de agua con más baja calidad son el Canal la Colorada, tramo aeropuerto y Canal El Ahogado. Estos dos vasos se encuentran ubicados en zonas donde existe un gran desarrollo industrial y una creciente presión antrópica. Por otro lado, el Canal las Pintas mostró un valor alto en el uso de potabilización (“60”), en este canal no se encontraron metales pesados fuera de los límites permisibles.

El índice empleado, utiliza los límites máximos establecidos en los Canadian Environment Quality Guidelines. Debido a las diferencias que existen entre los cuerpos de agua de diversas zonas, sería necesario utilizar directrices y límites para cada región es específico [39]. Sin embargo, en México aún se están desarrollando estas directrices referentes a los límites máximos, ya que actualmente sólo existen para descargas a cuerpos de agua. Por lo que el empleo de índices de calidad, como el CCEMWQI resulta una herramienta útil que proporciona de forma resumida los datos complejos derivados del análisis del agua, datos que mediante un valor numérico no dimensional, pueden ser entendidos fácilmente por el público en general y los encargados de la gestión del agua [40].

Metales

La importancia de la determinación de la concentración de metales traza en muestras de agua natural es cada vez mayor para los estudios de monitoreo de contaminación en el ambiente. El comportamiento de los metales pesados y su solubilidad en el agua está fuertemente influenciada por las condiciones del ambiente, especialmente cambios en las condiciones de pH, potencial redox, fuerza iónica y salinidad, entre otras [41, 42]. Los metales analizados en la subcuenca incluyeron a los asociados a la toxicidad humana como el cadmio, cromo y plomo, así como los involucrados en la degradación de aguas superficiales tales como zinc, aluminio, fierro, cobre, níquel y manganeso.

Únicamente el cromo se encontró por arriba de los LMP de la normatividad mexicana, encontrándose concentraciones de 1.709 mg L⁻¹ en el Canal la Colorada (tramo aeropuerto) y 1.232 mg L⁻¹ en el Canal El Ahogado. Los efluentes industriales que contienen cromo son descargados por industrias químicas, de construcción de maquinarias e instrumentos, de radio electrónica, curtiembres, efluentes de torres refrigerantes de estaciones generadoras de energía eléctrica, entre otras [43]. Este tipo de giros industriales se pueden encontrar en los municipios de Tlajomulco y el Salto, lugares en donde se ubican el Canal la Colorada en el aeropuerto y Canal El Ahogado, al sur del corredor industrial.

Epidemiología ambiental

La epidemiología ambiental se define como “la evaluación del impacto en la salud humana de la exposición a agentes químicos, físicos o biológicos que se encuentran en el ambiente” [44]. Sin embargo la epidemiología ambiental no correlaciona un factor de riesgo con el efecto en la salud ya que este tipo de estudio es descriptivo, y se emplean datos de poblaciones para comparar frecuencias de enfermedades entre grupos diferentes.

Aunque la relación de la anemia con estados infecciosos sigue siendo incierta [46], en este estudio se realizó la biometría hemática (BH) a los voluntarios seleccionados para la evaluación de su estado nutricional. En general, no se observaron valores por debajo de los parámetros de referencia utilizados. Sin embargo, se observó un claro estado anémico (Hemoglobina: 7gr/dL) en tan sólo un paciente en la población de Santa Cruz del Valle en Tlajomulco de Zúñiga.

Un claro indicador de infecciones por parásitos puede encontrarse en la fórmula blanca. Le eosinofilia es la respuesta inmunológica característica de la presencia de helmintos en seres humanos [46]. En la población de Santa Cruz del Valle, se encontró que el 45% de la población presentaba eosinofilia, y los basófilos se presentaron con una frecuencia de 33%. En la población de Las Pintas de Arriba únicamente se observó linfocitosis y el grupo control mostró únicamente un sólo voluntario con eosinofilia. La población de Santa Cruz fue

en la que se presentó con mayor frecuencia los casos de parasitosis.

En el estudio Coproparasitoscópico seriado realizado en la población de Santa Cruz del Valle, se encontró que el 74% de la población presentó por lo menos algún tipo de parásito comensal. Entre estos comensales se encuentra *Entamoeba hartmanni* protozooario del cual aún se discute su comensalismo, ya que ha sido asociado a disentería e incluso con casos de artritis reactiva [47]. La frecuencia de *Entamoeba hartmanni* en la población de Santa Cruz fue del 26%. Los coprológicos seriados realizados parcialmente a la población de Las Pintas de Arriba mostraron un 85% de parásitos comensales y en el grupo control se observó un 95% de comensales. Comparando la presencia de protozoarios comensales es evidente que el grupo control donde los voluntarios no pertenecen a la Subcuenca del Ahogado, es predominante.

Los protozoarios con mayor frecuencia encontrados en el agua residual y asociados a enfermedades intestinales son *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis* (*Giardia duodenalis*) y *Cryptosporidium parvum*. La frecuencia de *Entamoeba histolytica* en Santa Cruz del Valle fue del 9%, siendo más alta en la población de Las Pintas de Arriba con una frecuencia del 11%, y presente en un 5% en el grupo control. *Giardia duodenalis* mostró frecuencias del 4% en Las Pintas de Arriba, 1% en Santa Cruz del Valle y ausente en el grupo control. Las frecuencias de protozoarios patógenos transmisibles por el agua fueron mayores en las poblaciones del estudio epidemiológico ambiental que para el grupo control ubicado fuera de la Subcuenca del Ahogado.

Son muy pocos los estudios epidemiológicos que se han centrado en la salud de la población circundante en sitios de descargas y donde el agua residual es susceptible de utilizarse para riego [48]. En este estudio, solamente se recuperó el helminto *Enterobius vermicularis* con una frecuencia del 2% en la población de Santa Cruz del Valle.

El análisis del coprocultivo en general arrojó buenos resultados. La frecuencia de patógenos intestinales o enterobacterias fue muy limitada. En la población de Santa Cruz del Valle se aisló *Salmonella* spp. únicamente de un paciente, sin embargo se aislaron otro tipo de patógenos capaces de desarrollar virulencia en pacientes inmunocomprometidos. Tales microorganismos fueron *Klebsiella pneumoniae*,

Providencia rettgeri, *Proteus mirabilis* y *Ochrobactrum anthropi*. Las bacterias anteriormente mencionadas se encontraron también en la población de Las Pintas de Arriba. Respecto al grupo control, la bacteria que se aisló con mayor frecuencia fue *E.coli* y *Pseudomonas spp.*

Bibliografía

- [1] Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Jalisco (SEMADES). (1997) *Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Jalisco “Marco Físico”*. Web. <http://semades.jalisco.gob.mx/moet/>. Fecha de consulta: 20 de febrero de (2008).
- [2] Sardiñas Peña, O. et al “Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao” Cotorro, Cuba: Hig. Sanid. Ambient. Vol. 6, pp. 202 – 206.
- [3] Akaishi, F. et al (2006) “Surface water quality and information about surrounding Inle Lake in Myanmar”. *Limnology*. Vol. 7, pp. 57 – 62.
- [4] Rim Rukeh, A.; Ikhifa G., O. y Okokoyo P., A. (2007) *Physico Chemical characteristics of some waters used for drinking and domestic purposes in the Niger Delta, Nigeria*. *Environ Monit Assess*. Vol. 128, pp. 475 – 482-
- [5] Altun, O.; Türker Sacan, M. y Erdem A.K. (2008) “Water quality and heavy metal monitoring in water and sediment samples of the Küçükçekmece Lagoon, Turkey”. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 151, pp. 345 – 362.
- [6] Gupta, N.; Khan, D. K. y Santra, S. C. (2009) “An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater – irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India.” *Bull Environ Contam Toxicol*. Vol. 80, pp. 115 – 118.
- [7] Alexander L., M.; “Heaven A.; Tennat A.; Morris R. Symptomatology of children in contact with sea water contaminated with sewage.” *Journal of Epidemiology and Community Health*. Vol. 46, No. 4, pp. 304 – 344 (1992).
- [8] Lipp E., K. et al (2001) “The effects of seasonal variability and weather on microbial fecal pollution and enteric pathogens in a subtropical estuary.” *Estuaries*. Vol. 24, No. 2, pp. 266 – 276.
- [9] Yan, T. y Sadowsky M., J. (2007) “Determining sources of fecal bacteria in waterways.” *Environ Monit Assess*. Vol. 129, pp. 97 – 106.
- [10] Briancesco, R. y Bonadonna, L. (2005) “An Italian study on *Cryptosporidium* and *Giardia* in wastewater, fresh water and treated

- water.” Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 104, pp. 445 – 457.
- [11] Rose J., B. (2006) *Identification and characterization of biological risk for water*. G. Dura et al. (eds.). Management of Intentional and Accidental Water Pollution. pp. 85 – 101.
- [12] Mazari Hiriart, M. et al (2000) “J. J. Microbiological groundwater quality and health indicators in Mexico city.” Urban Ecosystems. Vol. 4, pp. 91 – 103.
- [13] WHO/UNICEF (2004) *Joint monitoring programme, water supply and sanitation monitoring report*. World Health Organization/United Nations International Childrens Emergency Fund. New York. Web. http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2004/en/. Fecha de consulta 03 de noviembre de 2008.
- [14] Murray C., J. (1994) “The global burden of disease in 1990: summary, result, sensitivity analysis and future directions.” Bull. World Health Organization. Vol. 72 pp. 495 – 509.
- [15] Ezcurra, E. y Mazari Hiriart, M. (1996) “Are megacities viable? A cautionary tale from Mexico City.” Environment. Vol. 38, pp. 6 – 35.
- [16] Filiklscen, C. (2007) “Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey.” Environ Monit Assess. Vol. 144, pp. 269 – 276.
- [17] DOF (Diario Oficial de la Federación) (1987) NMX-AA-042-1987 Determinación del Número Más Probable (NMP) de Coliformes Totales, Coliformes Fecales (Termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva.
- [18] DOF (Diario Oficial de la Federación) (1994) NOM-016-SSA2-1994, para la vigilancia, prevención, control, manejo y tratamiento del cólera.
- [19] Navone G., T. et al. (2005) “Estudio comparativo de recuperación de formas parasitarias por tres diferentes métodos de enriquecimiento coproparasitológico”. Parasitol. Latinoam. Vol. 60 No.3, pp. 178 – 181.
- [20] DOF (Diario Oficial de la Federación) (1996) Norma Oficial Mexicana: NOM 001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

- [21] Arce Velázquez A. L.; Calderón Mólgora C.G.; Tomasini Ortíz A.C. Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales IMTA-CONAGUA. 1 – 33. Web. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fundamentos_Tecnicos.pdf (2000). Accedido el día 18 de enero de 2008.
- [22] Zamxaka, M.; Pironcheva, G. y Muyima N., Y.O. (2004) “Microbiological and physico-chemical assessment of the quality of domestic water sources in selected rural communities of the Eastern Cape Province, South Africa.” *Water SA*. Vol. 3 No. 3, pp. 333. Web. <http://www.wrc.org.za>. Fecha de consulta 01 de enero de 2009.
- [23] Gerardi M., H. y Zimmerman M., C. (2004) “Part III: Viruses, bacteria and fungi.” *Wastewater Pathogens; A practical guide to wastewater pathogens*. San Francisco, CA. Wiley, pp. 59.
- [24] Kettani, S. y Azzouzi, M. (2006) “Prevalence of helminths in a rural population using wastewater for agricultural purposes at Settat (Morocco).” *Santé*. Vol.16, No. 4, pp. 245.
- [25] Hotez P., J. et al (2008) “The Neglected Tropical Diseases of Latin America and Caribbean: A review of Disease Burden and Distribution and a Roadmap for Control and Elimination”. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. Vol. 2, No. 9, pp. 1 – 5.
- [26] Gupta D., Sunita y Saharan J., P (2009) “Physiochemical Analysis of Ground Water of Selected Area of Kaithal City (Haryana) India.” *Researcher*. Vol 1. No. 2 Web. <http://www.sciencepub.net>. Fecha de consulta 14 de marzo de 2009.
- [27] Rodier, J. (1998) “Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar.” *Análisis de las aguas*. Ediciones Omega S.A. México. pp. 121-130.
- [28] DOF (Diario Oficial de la Federación). (2001) NMX-AA-036-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Acidez y Alcalinidad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.
- [29] Adefemi O., S.; Asaolu S., S. y Olaofe, O. (2007) “Assessment of the Physico Chemical Status of Water Samples from Major Dams in Ekiti State, Nigeria.” *Pakistan Journal of Nutrition*. Vol. 6, No. 6, pp. 657-659.
- [30] Nduka J., K.; Orisakwe O., E. y Obi Ezenweke, L. (2008) “Some physicochemical parameters of potable water supply in Warri, Ni-

- ger Delta area of Nigeria”. Scientific Research and Essay Vol. 3, No. 11, pp. 547 – 551.
- [31] DOF (Diario Oficial de la Federación) (2000) NMX-AA-004-SCFI-2000. Determinación de Sólidos Sedimentables en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.
- [32] Álvarez, A. (2006) Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. Phytón. Vol. 75. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185156572006000100007&script=sci_arttext&tlng=en. Fecha de consulta 05 de febrero de 2009.
- [33] Eliassen, R. y Tchobanoglous, G. (1969) “Removal of nitrogen and phosphorus from waste water”. Environ. Sci. Technol., Vol. 3, No. 6, pp. 536.
- [34] Tchobanoglous, G. *et al* (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th edition. McGraw-Hill. United States. pp. 668.
- [35] Tangsubkul, N.; Moore, S. y Waite, T. D. (2004) *Incorporating phosphorus management considerations into wastewater management practice*. Environmental Science & Policy. Vol. 8, No. 1, pp. 1 – 7.
- [36] DOF (Diario Oficial de la Federación). (2001) NMX-AA-012-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Oxígeno Disuelto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba.
- [37] Gutiérrez L., R.; Quintana, R.; Rubio, H.; Ortega, J. y Pinedo, C. (2007) “Índice de calidad del agua en la cuenca baja del Río San Pedro, Chihuahua, México.” Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Vol. 4, No. 2, pp. 109 – 112.
- [38] Rosemond S.D.; Duro D.C.; Dubé M. (2008) “Comparative analysis of regional water quality in Canada using the Water Quality Index.” Environmental Monitoring and Assessment. Web. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez>. Fecha de consulta 01 de agosto de 2008.
- [39] Amir Ali, Khan; et al (2005) “Application of CCME procedures for deriving site-specific water quality guidelines for the CCME water quality index.” Water quality research journal of Canada. Vol. 40, No. 4, pp. 448 – 456.
- [40] Lumb, A.; Halliwell, D. y Tribeni, S. (2006) “Application of CCME Water Quality Index to Monitor Water Quality: A Case

- Study of the Mackenzie River Basin, Canada” Environmental Monitoring and Assessment. Vol.113, pp. 411. DOI: 10.1007/s10661-005-9092-6.
- [41] Hernández G., Y. et al (2008) “Evaluación de la contaminación por metales pesados y arsénico en sedimento en embalses del estado de Chihuahua,” México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Vol. 4, No. 2, pp. 89 – 94.
- [42] Gómez Álvarez, A. (2004) “Metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante 1997 y 1999.” Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 20, No. 1, pp. 5 – 12.
- [43] Otiniano García, M.; Tuesta Collantes, L. y Robles Castillo H. (2007) “Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas* sp. y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*.” Rev. Med. Vallejana. Vol. 4, No. 1, pp. 32 – 42.
- [44] Red de Epidemiología Ambiental de América Latina y el Caribe (2007) REDEPIAMBIENTE. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambienta-Epidemiología. Web. www.cepis.org.pe/bvsea/e/RedEpiAmbiente/intro.html (2007) Fecha de consulta 17 de enero de 2009.
- [45] Levy, A. et al (2005) “Anemia as a risk factor for infectious diseases in infants and toddlers: Results from a prospective study”. European Journal of Epidemiology. Vol. 20, No. 3, pp. 277 – 29.
- [46] Hunter M., M.; Wang, A. y Mccay D., M. (2007). “Helminth Infection Enhances Disease in a Murine TH2 Model of Colitis.” Gastroenterology. Vol. 132, No. 4, pp. 1320.
- [47] Schirmer, M. et al (1998) “Entamoeba hartmanni: a new causative agent in the pathogenesis of reactive arthritis?” Rheumatology International. Vol. 18, No. 1, pp. 37.
- [48] Lamghari F, Z. y Assobhei, O. (2005) “Impact of urban effluents on intestinal helminth infections in the wastewater discharge zone of the city of El Jadida, Morocco.” Management of Environmental Quality: An International Journal. Vol.16, No. 1, pp 1 – 6.

Subdesarrollo institucional y manejo de los recursos naturales: el agua en la ciudad de San Luis Potosí

Jaime Martínez García
Facultad de Economía

La historia de la humanidad y su evolución va atada a su capacidad de asombro ante los fenómenos y recursos de la naturaleza, y al uso de éstos para satisfacer sus necesidades a través de la generación del conocimiento y su posterior sistematización como ciencia. Con el paso del tiempo, la población humana ha ido crecido y con ella la explotación y depredación de esos recursos naturales, por la creencia prevaleciente en la mayoría de las culturas de que el ser humano es el amo o el rey de la creación, y cuanto hay en ella le fue otorgado para que lo utilice.

En su adopción y aplicación extrema, esta visión antropocéntrica es la causa del estado actual de nuestro planeta; problemas como el cambio climático, el abatimiento de la capa de ozono, la contaminación de los mares, ríos y suelos, la reducción de la producción alimentaria y el agotamiento de los recursos naturales, eran impensables hace algunos años y, de continuar esta tendencia, la humanidad puede prever lo que le espera para el futuro.

Esos aspectos son parte de una compleja problemática ambiental, y por lo mismo expresan lo que Marcur Olson llama “acción colectiva”. La población mundial contribuye a acrecentar la magnitud del problema, porque en lo individual todos queremos tener y disfrutar un medio ambiente limpio, pero sin asumir y costear la parte que corresponde a cada quien.

Uno de los principales recursos es el agua; su demanda es originada por los siguientes factores: es uno de los componentes básicos de los organismos vivos, y su presencia determina el surgimiento y evolución de las sociedades humanas, dado que la mayoría de las actividades —agricultura, industria, y otras— y los componentes de su bienestar —salud, nutrición, etcétera— están relacionados con su disponibilidad en suficiencia y calidad.

Lo anterior contrasta con una oferta muy limitada de este recurso: más de 70% de la superficie terrestre lo ocupan los océanos, estos almacenan 97.1% del total del agua del planeta, que no es apta para nuestro consumo. 2.81% restante es potable, y de este 2.24% está (o estaba) atrapada en los casquetes polares y glaciares y sólo 0.57% en ríos, lagos y mantos acuíferos, aproximadamente. Con esta pequeña cantidad que constantemente se degrada por contaminación y agotamiento, deben satisfacerse las necesidades de 6 mil 200 millones de personas que integramos la creciente población humana y que compartimos el 25% de la superficie terrestre.

De acuerdo con el Banco Mundial y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, las dos causas más importantes de esta problemática son el crecimiento poblacional y la desmesurada producción para satisfacer sus necesidades; de ahí puede presumirse que el ambiental es en esencia un problema económico, originado en la actividad depredadora del ser humano. Al analizar estos hechos, resulta obvia la necesidad de contar con un acervo de políticas e instrumentos que sean eficientes, eficaces y permitan a la humanidad conservar este recurso para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras, y las de los seres vivos que comparten con nosotros el planeta, como lo señala el concepto de sustentabilidad de la Organización de las Naciones Unidas.

Para manejar los recursos ambientales de acuerdo con el principio de sustentabilidad, se han desarrollado elementos en el seno de la ciencia económica. En este trabajo explicaremos los resultados de un estudio realizado en nuestra institución, sobre la manera en que esta sociedad a través de sus mecanismos de asignación —gobierno y mercado— y los instrumentos disponibles son integrados entre sí, y con las políticas públicas en este sector, para proveer de agua potable a la población del área metropolitana de San Luis Potosí.

Los sistemas de asignación de los recursos sociales

La definición más aceptada de economía es “Ciencia que estudia la asignación de recursos escasos entre necesidades ilimitadas”. Seguramente esta acepción nunca había sido más cierta que ahora, con

la urgencia que plantea administrar los pocos recursos naturales; en el contexto de la problemática ambiental y con la exigencia de preservarlos. Para asignar apropiadamente los recursos ambientales de la sociedad entre sus miembros, surgió como rama la economía ambiental y de los recursos naturales, y con ella —para el manejo del agotamiento y el deterioro ambiental— un conjunto de instrumentos y políticas que son agrupados en dos sistemas o mecanismos: el gobierno y el mercado.

En el primero, los instrumentos son administrados por el gobierno, que los aglutina como normas, leyes y estándares, con sanciones para quienes que no cumplan con ellos. En la literatura especializada, a este conjunto se otorga el nombre de comando y control (CC). En el segundo, los instrumentos son asignados por la sociedad al mecanismo de mercado para su administración, lo que se conoce como MBIs y se realiza a través de la interacción de los actores o agentes que en él confluyen, y lo ejercen manifestando su interés y utilidad continuamente.

Para explicar la manera de cómo actúan ambos sistemas en la consecución de sus objetivos, deben fijarse criterios de referencia, que en el caso de cualquier política pública son la eficiencia, la eficacia y la equidad. En relación a una gestión económica, “eficiente” se define como aquella acción que permite obtener el máximo beneficio al menor costo; “eficaz” la que logra el mayor número de objetivos para el que fue diseñada, y “equitativa” aquella acción cuyo impacto permite que la mayoría de la sociedad mejore su condición de vida. Considerando además su condición de recursos naturales, se contemplan adicionalmente tres criterios: la sustentabilidad, o permanencia intergeneracional de un recurso; el principio de internalización, o Polluters Pays Principle (PPP) o “el que contamina paga” —quien utilice o deprecie un recurso lo solvente por hacerlo—, y finalmente el principio precautorio -que su utilización considere no realizar una acción a menos que sus consecuencias sean controladas y no caigan en la incertidumbre derivada de su manejo, incluyendo su degradación, contaminación y agotamiento-.

El caso del agua potable en la ciudad de San Luis Potosí.

La escasez y distribución del agua potable ha sido un problema característico de la zona metropolitana de San Luis Potosí. A princi-

pios del siglo XX, la disponibilidad de agua en la red de distribución dependía de la captación de la Presa de San José y posteriormente de la de El Peaje. Aumentó la población en el área, pero no la infraestructura hidráulica y sanitaria, y la actual presenta problemas de obstrucción y fugas, dada la carencia de recursos y los materiales con que fue construida.

Conforme evolucionan la sociedad y el Estado mexicano, lo hace también la administración pública federal y estatal. El servicio es provisto primero por la Junta Estatal de Agua Potable, después por el Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (Siapas) y finalmente por el Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (Interapas), en el extremo de lo que se ha dado en llamar ‘devolución’ del poder al nivel local de gobierno. Esto es debido a que, también en esta área del manejo de los recursos hidráulicos, se incorporan elementos derivados de los compromisos adquiridos por el gobierno mexicano en foros internacionales.

Por ejemplo, en la Agenda 21 de la Cumbre de la Tierra de Río de 1992, surgió como principio que el manejo de los problemas ambientales globales debe ser integral y realizarse primeramente a un nivel local; y en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Ambiente de Dublín de 1992, se establecieron cuatro principios para su manejo, que a su vez fueron adoptados por las instituciones para el empleo de los recursos hidráulicos en nuestro país. Estos principios son:

- * El agua es esencial para la vida y el desarrollo, es finita y vulnerable.
- * Su manejo debe ser participativo e incluyente.
- * La mujer como sexo juega un papel central en su provisión, manejo y protección.
- * El agua tiene un valor económico en todos sus usos, y por ello debe ser reconocido como un bien económico.

Incorporar los principios mencionados en el manejo institucional del agua supone un cambio cualitativo y cuantitativo no sólo en el gobierno y el mercado como sistemas de asignación, sino también en la cultura política y en el seno de la sociedad, porque son formas que afectan el diseño de instrumentos y políticas, y su implementación debe considerar los límites que estos presentan. En el caso del gobierno a través de la provisión directa del servicio o de empresas paraestatales, la primera restricción es la manera como se manifiesta la

relación entre gobernante-administrador público, respecto al ciudadano-contribuyente: Si los mecanismos de control y rendición de cuentas del primero sobre el segundo son débiles, la relación se vuelve laxa y aquél actúa conforme a sus intereses o los del grupo que representa, sesga la entidad bajo su cargo de los objetivos de eficiencia, eficacia y equidad y afecta los objetivos de sustentabilidad, internalización y precautorio.

En relación al mecanismo de mercado, su labor puede ser limitada por las siguientes condiciones: la tendencia de los oferentes a convertirse en monopolios; las externalidades, que significa recibir un beneficio o incurrir en un costo sin pagar por él; las políticas proteccionistas del gobierno hacia un sector en particular, y finalmente el subdesarrollo institucional en que el mercado no cuenta con instituciones que regulen su correcto funcionamiento.

Una vez establecidos estos principios, se buscó identificar su inclusión y puesta en práctica en el contexto y la estructura del Interapas, a través de un estudio basado en el método de valoración contingente. Para este propósito se aplicaron 420 encuestas en hogares de 23 colonias del área metropolitana de San Luis Potosí, clasificadas de acuerdo con su nivel de ingreso, en salarios mínimos, de conformidad con la base de datos del Sistema para la Consulta de Información Censal (Scince) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Los resultados de esta investigación mostraron varios aspectos relevantes: en cuanto al Interapas, presenta dificultades para cumplir con su obligación legal de proporcionar agua potable a la población, a lo que ésta ha reaccionado con escepticismo, sobre todo en lo relacionado con su manejo financiero. A lo largo de su existencia, se han otorgado considerables descuentos a grupos específicos de la población o relacionados con ciertas actividades económicas, lo que afecta sensiblemente su viabilidad financiera y recuperación de costos, en contradicción con los principios 1, 2 y 4 de Dublín.

Estos hallazgos se extienden también a los aspectos relacionados con el diseño organizacional de la entidad, que de acuerdo con esos mismos principios debería ser consensual, incluyente y participativo: se detectó que en la conformación de este organismo y de otros que tienen que ver con el manejo sustentable del agua, como el Comité

Técnico de Aguas Subterráneas (Cotas), 85.79% de la gente desconocía cómo fueron integrados y quiénes son sus integrantes, mientras que 94.01% no sabía siquiera que existiera la obligación legal de convocar a la población para su integración.

La forma actual de conducir este proceso no es privativa de algún estrato de ingreso específico, por el contrario, esta exclusión existe aún para los habitantes ubicados en el nivel de mayor ingreso. Este hecho sugiere además que la presencia en el control de Interapas y los otros organismos es privativa de ciertos sectores o grupos de interés económicos más que de alguna clase social. La causa de este hecho puede estribar en la aplicación del artículo 32 del reglamento de Interapas que faculta a los integrantes de la Junta de Gobierno del organismo para nombrar en forma directa —sin consulta— a quienes fungirán como representantes de algún sector, con lo que queda abierta la puerta a su conformación discrecional, que es precisamente el obstáculo que identifica la literatura especializada para una operación efectiva, eficiente y equitativa por parte del gobierno, o sus entes, en la provisión de este servicio.

De esa operación deficiente se deriva otro tipo de problemas cuando la mayoría ocurren en el área metropolitana como: las fugas en la red, el tandeo y la ausencia de agua en la toma domiciliaria se presentó frecuentemente en los sectores de ingresos más bajos. Otros hallazgos de esta investigación se relacionan con la calidad del agua provista por Interapas, que es altamente cuestionada: en este sentido, 92% de la población la considera no apta para el consumo humano, y en el caso del agua para beber, sólo 14% ingiere agua de la red de Interapas y el resto opta por el consumo de agua embotellada. La falta de cumplimiento de las normas de calidad ha sido ratificada por el resultado de los análisis practicados por diversas instituciones públicas y privadas.

La insolvencia de Interapas como proveedor del servicio de agua potable da pauta a su prestación obligada por el mecanismo de mercado, que en el caso de San Luis Potosí se distribuye embotellada en una amplia gama de marcas, presentaciones y precios; predomina el embase de 19 litros en material plástico laxon y la botella de PET de 1.5 litros.

De acuerdo con nuestro estudio se detectó que todas las marcas han tenido en los últimos siete años un crecimiento positivo, con la aparición de nuevas y la consolidación de las existentes. Los sectores de mayor ingreso consumen marcas cuyo precio por garrafón oscila entre los 16 y 25 pesos, mientras que los sectores de menor ingreso consumen las osciladas entre 8 y 14, además del agua que venden en los sitios de llenado, que es usada indistintamente. Los anteriores son precios vigentes en marzo de 2008. La curva de demanda presenta una relación positiva entre precio y cantidad, ya que se expresa en esta la disponibilidad de pagar y la ubicación del excedente del consumidor. Esta función muestra una asignación eficiente y eficaz del recurso; sin embargo, en el rubro de equidad, 14% de la población es excluida por el mecanismo de mercado por lo que, con el consumo obligado del agua provista por el organismo operador, está expuesta tanto a contraer enfermedades gastrointestinales cuanto a sufrir otros efectos negativos en su salud y de acuerdo con su edad, en su proceso de desarrollo, lo que deberá establecerse por un estudio de naturaleza epidemiológica.

Resultados de este trabajo

1. Por la forma como se dan las relaciones entre grupos de interés y niveles de ingreso y en el distanciamiento de la mayoría de la población de los procesos de toma de decisiones y su implementación, la estructura administrativa de las entidades responsables del manejo sustentable del agua presenta deficiencias, primero en su integración y después en su imposibilidad de alcanzar los objetivos en forma eficaz, eficiente y equitativa. Esta forma de operación también afecta su desempeño financiero y viabilidad futura.
2. En el caso del mercado, logra la asignación del recurso de manera eficiente y eficaz, pero excluye a los sectores de menor ingreso, lo que se considera inequitativo. De quedar excluido Interapas de esta obligación, los recursos no erogados podrían destinarse a crear un programa de provisión del recurso para este sector de la población, con el que se otorgarían subsidios mediante bonos o certificados canjeables por agua potable embotellada.

3. Se asume además que Interapas cobra un servicio que no provee, por lo que al comprar agua embotellada el consumidor-ciudadano-contribuyente está realizando un pago doble. Las implicaciones legales y sociales de este hecho están fuera del alcance de este artículo. Como se desprende por lo expuesto, la calidad de vida de la población —generaciones presentes y futuras— depende de observar las medidas que permitan alcanzar un manejo sustentable del agua. Para lograr esto, se sugieren las siguientes acciones:

Es necesario conservar la sustentabilidad de este recurso. Las acciones de Interapas deben orientarse a su preservación, a través de los instrumentos y políticas adecuadas. Entre estas se encuentra el mejoramiento de la red, la promoción de una cultura del agua y el establecimiento de un nuevo esquema tarifario que favorezca el uso eficiente del recurso e impida su desperdicio, además de la recuperación de los costos de funcionamiento del organismo, tales como el administrativo y de infraestructura.

Incluir de inmediato mecanismos que permitan alcanzar plenamente un enfoque participativo en el manejo del recurso hidráulico, para su mejor aprovechamiento; que este sea distribuido de manera equitativa y también que permita detectar los problemas que se generan en el nivel local, que como se ha observado en este estudio, la percepción generalizada es de exclusión de las mayorías, es decir que éstas no forman parte en la toma de decisiones y formulación de políticas que los afectan respecto al manejo del recurso.

En el mismo sentido es necesario que el organismo realice el efectivo cumplimiento de la obligación legal derivada de la constitución política de proveer a la sociedad de este recurso con los estándares de calidad y cantidad requeridos por la población que, como se ha demostrado, no son adecuados para el consumo humano de acuerdo con lo establecido por la normatividad oficial. De otra manera, el mercado puede seguir prestando el servicio de manera eficiente y eficaz, pero es necesario instaurar medidas que también permitan hacerlo de manera equitativa. La obligación del Estado y sus instituciones —incluidas las relacionadas con el manejo sustentable del agua en San Luis Potosí— es preservar el bienestar presente y futuro de la población, en especial la de sus miembros más vulnerables.

Como se desprende de este trabajo, esta obligación no se cumple actualmente y tampoco tres de los cuatro Principios de Dublín ni los tres requeridos por toda política ambiental. Reconstruir estas instituciones para el manejo de recursos ambientales puede ser la pauta inicial para hacerlo en todo el orden social. Igualmente, de no actuar en forma inmediata, no debe sorprendernos que el agua en nuestra ciudad no sólo pierda su calidad hasta el grado de volverse inutilizable, sino que se agotará irremediablemente.

Bibliografía

- Anglian, Water (2006) *Drinking Water Quality Report*, Huntingdon, Cambridgeshire: AWG.
- Anglian, Water (2007a) *Annual Report and Accounts*, Huntingdon, Cambridgeshire: AWG.
- Anglian, Water (2007b) *Corporate Responsibility Report*, Huntingdon, Cambridgeshire: AWG.
- Anglian, Water (2008) *Draft Business Plan 2010-2015*, Huntingdon, Cambridgeshire: AWG.
- Ayres, C. E. (1962) *The Theory of Economic Progress*, New York: Schocken Books.
- California Urban Water Conservation Council (2004) *Minutes of the Steering Committee: CUWC Sacramento*, Metropolitan Water District for Southern California.
- Comisión Nacional del Agua (2003) *Estadísticas del Agua en México*, México, D.F. CONAGUA/SEMARNAT.
- European Commission (2002) *Water Framework Directive*, Brussels, Office for Official Publications of the European Communities.
- H. Congreso del estado de San Luis Potosí (2003) *Reporte de auditoría practicada al Interapas*, San Luis Potosí: Gobierno del Estado de San Luis Potosí.
- Hofstede, G (2001) *Culture Consequences*, Thousand Oaks, Sage Publications.
- Khan, M. H. And Jomo, K. S. (2000) *Introduction in Khan, M. H. And Jomo, K. S. (Eds.) rents, Rent-Seeking and Economic Development*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Krueger, A.O. (1974) *The Political economy of the Rent-Seeking Society*, *American Economic Review*, 64:291-294.
- LADWP (2006) *Water Quality Report 2006*, Los Angeles: LADWP.
- LADWP (2008) *Los Angeles Water Conservation Plan*, Los Angeles: LADWP.
- LADWP (2005) *Urban Water Management Plan 2005-2006*, Los Angeles: LADWP.
- Le Grand, J. Propper, C. And Robinson, R. (1992) *The Economics of Social Problems*, London: McMillan Press.
- Leibenstein, H (1978) *General X-efficiency Theory and Economic Develop-*

- ment, New York: Oxford University Press.
- Liberatore, A (2002) *The Integration of Sustainable Development Objectives into EU Policy-making*, in Barker, S et al (eds) *The Politics of Sustainable Development*, London: Routledge.
- Mather, A. S. and Chapman, K (1995) *Environmental Resources*, Essex, Addison Wesley Longman Limited.
- North, D. (1991) *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, New York: Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (1997) *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Rothstein, B (1998) *Political institutions: An Overview in Goodin, R and Klingeman, H-D (eds) A New Handbook of Political Science*, Oxford: Oxford University Press.
- OECD (2003) *Environmental Performance Review: Water*, Paris, OECD.
- Ofwat (2007) *OfWat Forwrd Programme 2007-2010*, Birmingham, OfWat.
- Scott, W. R. (2001) *Institutions and Organizations*, Thousand Oaks, Sage Publications.
- UNESCO-WWAP (2003) *Water for People, Water for Life: The United Nations World Water Development Report*, Barcelona: Berhahn Books.
- WCED (1987) *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*, Oxford: Oxford University Press.
- Weber, M (1996) *Economía y Sociedad*, Fondo de Cultura Económica, México.
- World Bank (1992) *World Development Report 1992: Development and the Environment*, Washington, D.C. Oxford University Press.
- World Health Organization (1994) *Operation and Maintenance of Urban Water Supply Systems*. Geneva: World Health Organization.

