

CAPITAL NATURAL Y BIENESTAR SOCIAL DE LA COMUNIDAD YAQUI



Jose Alfredo Arreola Lizárraga
Jaime Garatuza Payán
Enrico A. Yépez Gonzalez
Agustín Robles Morúa



CAPITAL NATURAL Y BIENESTAR SOCIAL DE LA COMUNIDAD YAQUI

Coordinadores

Jose Alfredo arreola Lizárraga

Jaime Garatuza Payán

Enrico Arturo Yépez González

Agustín Robles Morúa

Gestión editorial

Oficina de Publicaciones

Diseño de portada

Lorenia Guadalupe Félix Esquer



ITSON

Instituto Tecnológico de Sonora

5 de Febrero, 818 sur, Colonia Centro, C.P. 85000

Ciudad Obregón, Sonora, México

Teléfono: (644) 410-90-00, E-mail: rectoria@itson.mx

Web: www.itson.mx

Capital Natural y Bienestar Social de la Comunidad Yaqui

ISBN: 978-607-609-204-0

Primera edición 2019.

Se permite la reproducción total o parcial de la presente obra, así como su comunicación pública, divulgación o transmisión, mediante cualquier sistema o método, electrónico o mecánico [incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información], siempre y cuando esto sea sin fines de lucro y con la condición que se señale la fuente.

INDICE

Sección I. Capital Natural y bienestar social de la Comunidad Yaqui

| | | |
|-----|---|-----|
| 1.1 | El territorio Yaqui | 6 |
| 1.2 | La variabilidad espacial y temporal del clima en las Comunidades Yaquis | 12 |
| 1.3 | Hidrología del territorio Yaqui | 31 |
| 1.4 | Geología del territorio Yaqui | 45 |
| 1.5 | Descripción oceanográfica de la zona costera del territorio Yaqui | 69 |
| 1.6 | Vegetación y flora: capital natural y riqueza cultural | 86 |
| 1.7 | Ecosistemas costeros: condición y tendencia ambiental del complejo lagunar Guásimas- Lobos | 106 |
| 1.8 | Abastecimiento y calidad del agua superficial y subterránea | 135 |

SECCIÓN II. Actividades Productivas

| | | |
|-----|--|-----|
| 2.1 | Desarrollo de la Agricultura en la Tribu Yaqui | 162 |
| 2.2 | Potencial ostrícola | 185 |
| 2.3 | Potencial acuícola: un desafío para el desarrollo social y sostenible de las Comunidades Yaquis | 208 |
| 2.4 | La Comunidad Yaqui y su importancia en la producción pesquera | 233 |
| 2.5 | El mezquite en las Comunidades Yaquis del Sur de Sonora | 261 |

SECCIÓN III. Bienestar social, aspectos ambientales y de salud pública

| | | |
|-----|---|-----|
| 3.1 | Biomasa de fitoplancton y macroalgas como indicadores biológicos de impacto ambiental de las aguas residuales vertidas en Bahía de Lobos | 281 |
| 3.2 | Sistemas alternativos para el tratamiento de aguas residuales en Comunidades Yaquis | 309 |
| 3.3 | Pótam, Comunidad Yaqui del Sur de Sonora, México: ¿justicia ambiental por exposición a contaminantes? | 338 |
| 3.4 | Contexto y estrategia para el desarrollo económico y social de la Tribu Yaqui | 366 |

Prólogo

El trabajo presentado aquí surgió con la intención de compilar en un solo sitio información acerca de la comunidad Yaqui, tratando de conjuntar los esfuerzos de muchos investigadores, de diferentes disciplinas, que han trabajado o intervenido en la comunidad y el territorio Yaqui.

El libro está dividido en tres secciones. En la primera sección se aborda lo relacionado a la parte física o Capital Natural, donde se describe los aspectos físicos del territorio (clima, hidrología, geología, flora y fauna, costas y abastecimiento de agua). Estos aspectos son importantes como información básica para el desarrollo de actividades productivas (temática de la segunda sección). El lector encontrará en esta sección información que le permita comprender porque ha sido tan importante para los yaquis la defensa de su territorio y sus recursos naturales, entre los que destaca el agua, que ha sido un elemento esencial en la historia de la tribu yaqui. Se presenta también información acerca de la variabilidad espacial y temporal de distintos elementos que podrán permitir entender y predecir algunos impactos del cambio climático para, finalmente, poder incrementar la resiliencia y adaptación.

En la segunda sección se presentan datos de las actividades productivas que se desarrollan en el territorio yaqui (agricultura, ostricultura, acuicultura, pesquería y aprovechamiento silvícola –mezquite). El lector encontrará información que describe estas actividades pero, además, información que permita obtener de ellas una producción continua y sostenible de bienes y servicios demandados por la sociedad. Se exploran dos actividades que aún tienen mucho potencial de desarrollo en el territorio yaqui: la ostricultura y la piscicultura.

La tercera sección toca aspectos de bienestar social y salud pública así como estrategias para un mejor desarrollo de la comunidad yaqui. Se exponen algunas problemáticas de impacto ambiental por descargas de aguas residuales y se proponen alternativas para su tratamiento. También se presentan información de riesgos en la salud humana por exposición a contaminantes.

Finalmente, el lector podrá entender que los marcos regulatorios en relación a los derechos indígenas son insuficientes o inexistentes, tal vez porque sigue vivo el legado del uso de la doctrina del descubrimiento justificando el que se ignore la presencia de los pueblos indígenas y sus derechos en los Estados. Este libro pretende ser un grano de arena para ayudar a que los efectos residuales esta doctrina desaparezcan y que la comunidad yaqui prospere y sea valorada, como corresponde a un pueblo que se ha mantenido en la lucha por conservar su territorio, sus recursos y sus tradiciones.

Los editores

1.8 Abastecimiento y calidad del agua superficial y subterránea

Por Lía Celina Méndez Rodríguez^{1,4}, Baudilio Acosta Vargas¹, Renato Mendoza Salgado¹, Lilia Irene Soufflé Robles², Lucas Antonio Oroz Ramos², José Alfredo Arreola Lizárraga³

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Instituto Politécnico Nacional 195. Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S. C.P. 23096

²Comisión Nacional del Agua Sonora. Comonfort y Paseo Cultura, Centro de Gobierno, Edificio México. Col. Villa de Seris, C.P. 83280, Hermosillo, Son.

³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Km. 2.35 Camino al Tular, Estero de Bacochibampo, Guaymas, Sonora. CP. 85454

⁴Email: lmendez04@cibnor.mx

Resumen

El territorio Yaqui incluye fuentes de abastecimiento de agua superficial que principalmente son empleadas para consumo humano y riego agrícola. La principal es la presa Plutarco Elías Calles, Álvaro Obregón (Oviáchic). De ella a través de la derivadora Chiculi, canales de riego, el acueducto Yaqui-Guaymas y el Rio Yaqui se distribuye el

agua para sus distintos usos. Otra fuente de agua es la subterránea, la cual es obtenida a través de pozos. El presente capítulo describe la hidrología de esta zona incluyendo la calidad del agua superficial y subterránea mediante la integración de diversos estudios realizados en la zona en un período comprendido del año 2013 al 2014. Estos estudios abarcan análisis de parámetros ambientales, físicos químicos que incluyen metales pesados y plaguicidas, así como microbiológicos. La interpretación de estos análisis fue realizada utilizando valores guía y límites permisibles nacionales e internacionales.

Introducción

El agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas. La alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas puede causar que se vuelva no apta para consumo humano, para las funciones ecológicas de los ecosistemas o para actividades agropecuarias (UNESCO 2012; Singh et al. 2014). Las aguas superficiales, como ríos, lagos y presas, pueden manifestar un incremento en las concentraciones de sustancias dañinas, por lo que se dice que están contaminadas. Entre las causas que lo provocan se encuentran descargas de aguas residuales industriales, drenes que contienen fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, la inadecuada recolección y disposición de los residuos sólidos municipales e industriales y el acelerado proceso de erosión causado por prácticas inadecuadas en las actividades agropecuarias y silvícolas. Con respecto a las aguas subterráneas, la sobreexplotación de los acuíferos es una de las causas que ocasionan su contaminación. Esto es debido a que se favorece el incremento, hasta niveles potencialmente tóxicos, de compuestos o elementos naturalmente presentes en el subsuelo (por ejemplo, flúor), así como la

intrusión salina en sitios cercanos a la costa. Otros factores asociados con la disminución de la calidad de del agua subterránea es la disposición de residuos (aguas residuales en sistemas privados y municipales, residuos sólidos en basureros, depósitos de lodos, depósitos de residuos agrícolas, salinos de la industria petrolera, de la industria minera, entre otros) o no directamente relacionado con emisión de residuos (accidentes, algunas actividades agrícolas, minería, deshielo de carreteras, lluvia ácida, construcción y mantenimiento inadecuado de edificios, sal en caminos y carreteras). Sin embargo, el término “calidad del agua” es relativo dado que también depende el uso al que se le destine (UNESCO, 2012). Este aspecto debe considerarse al seleccionar la normatividad que se consultará en estudios de esta naturaleza.

La salud humana y de los ecosistemas de las que depende el desarrollo socioeconómico de una región, están influenciadas en gran medida por la calidad del agua. Por lo tanto, es importante conservar los beneficios de los bienes y servicios de los ecosistemas donde también debe considerarse el tratamiento del agua residual.

Territorio Yaqui

En el Estado de Sonora habita la comunidad indígena Yaqui en un territorio establecido mediante decreto presidencial el 30 de septiembre de 1940. Esta ubicado al suroeste del Estado de Sonora entre los paralelos 27°17' y 28°19' de latitud norte y entre los meridianos -110°31' y -109°51' de longitud oeste. Abarca 5,368 km² con una densidad de población actual de 8.9 hab/km². La precipitación media es de 346.8 mm (Luna-Escalante, 2007) (Fig.1).

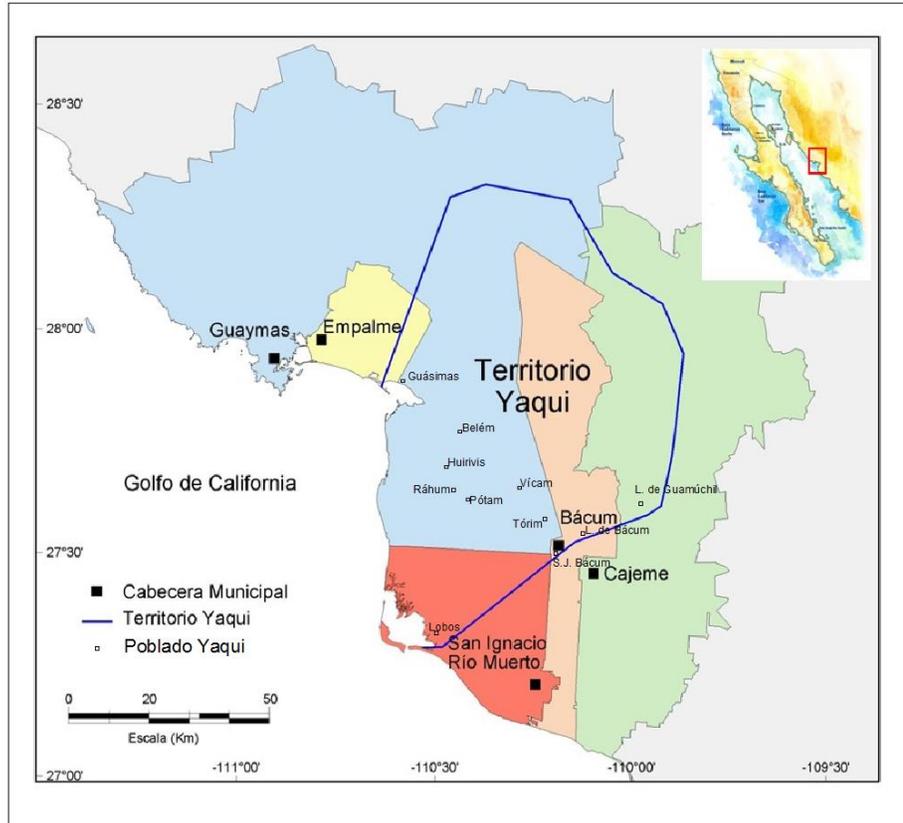


Figura 1. Territorio Yaqui y sus principales asentamientos humanos.

La comunidad Yaqui se compone de varios asentamientos distribuidos en cinco municipios del sur de Sonora cuya población total se aproxima a 47,600 habitantes. La actividad fundamental de su economía es la agricultura comercial, principalmente de granos como el trigo, maíz y cártamo, así como de hortalizas, que se siembran en una superficie con alrededor de 20,000 hectáreas (INEGI, 2010; Arreola-Lizárraga et al. 2014).

Hidrología

El territorio Yaqui se encuentra dentro en la región hidrológica RH-9 (Sonora Sur) donde el Río Mátape y Río Yaqui tienen influencia. De estas dos, la Cuenca Río Yaqui, es la

más relevante debido a su extensión (29.98% del territorio estatal). Sobre el cauce del río Yaqui se localizan las presas Plutarco Elías Calles, Álvaro Obregón y Lázaro Cárdenas. Entre ellas, destaca la presa Álvaro Obregón (Oviáchic) por ser la de mayor almacenamiento en la zona. Esta presa tiene una capacidad de 3000 hm³. De ella se extrae agua para zonas de riego en el distrito Valle del Yaqui y también se utiliza para la generación de energía (CONAGUA, 2009a). La presa Álvaro Obregón distribuye el agua mediante dos presas derivadoras. Una de ellas canaliza el agua al Distrito de Riego 041 (Valle del Yaqui) y la otra (El Chículi) irriga el Distrito 018 (Colonias Yaquis). El promedio anual aportado al sistema de presas del Río Yaqui es de 3,400 hm³, de los cuales 250 hm³ son destinados al distrito de 018 del territorio Yaqui (información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Noroeste). El uso principal es agrícola y en menor escala es doméstico, industrial y pecuario. El agua que retorna de los riegos agrícolas es conducida a través del dren colector “El Pescado” cuyo destino final es la laguna costera Algodones. El Dren Colector No. 2 del Valle del Yaqui, que transporta agua residual agrícola y urbana, desemboca en la laguna Lobos. En la cuenca baja del Río Yaqui, las actividades agropecuarias y los asentamientos humanos se han desarrollado con una dependencia fundamental del agua del Río Yaqui captada en la presa Álvaro Obregón (El Oviáchic). La cuenca baja del Río Yaqui puede dividirse en dos zonas particulares: (1) el Valle del Yaqui que representa el Distrito de Riego 040 con ~ 220,000 Ha, ~ 350,000 hab., y recibe el 92 % del agua de la presa, y (2) la planicie deltaica dentro de los linderos del territorio Yaqui donde se ubica el Distrito de Riego 018 con ~ 20,000 ha, ~ 47,600 hab. de la comunidad Yaqui y recibe el 8 % del agua de la presa.

Gran parte del embalse de la presa Álvaro Obregón se encuentra en el acuífero Cumuripa. Al margen de esta presa, existen aprovechamientos que presentan una profundidad al nivel estático que varía entre 6 y 13 m, siendo en general somera. Debido a esto y aunado a la baja extracción, es que este acuífero es considerado en condiciones de equilibrio (CONAGUA, 2009b).

Al norte de la presa Álvaro Obregón desemboca el Río Agua Caliente. La infraestructura hidráulica de este acuífero consiste principalmente de obras de captación de agua subterránea, preferentemente pozos y en menor proporción norias, así como un manantial. El volumen de extracción de agua subterránea es incipiente, siendo los niveles de profundidad al nivel estático observados en la zona, del orden de 30 a 50 m. De manera general, los niveles en la porción este del valle son más profundos que los ubicados en la zona oeste. La parte topográficamente más baja del acuífero se encuentra en las cercanías del poblado Agua Caliente, donde se tienen los niveles piezométricos más someros (menores a 10 m). En esta zona se localiza un manantial perenne aprovechado por la comunidad Yaqui. Las norias y pozos se utilizan principalmente en uso pecuario y doméstico. Parte de las aguas de la presa son aprovechadas por los distritos de riego No. 18 Vícam y No. 41 Río Yaqui, ubicados hacia la costa del Estado de Sonora. El agua residual doméstica de la población más grande (Vícam) se vierte a dren colector agrícola (Arreola-Lizárraga et al. 2014).

La cuenca del Río Yaqui contiene 6 subcuencas hidrológicas de las cuales solo 3 tienen influencia en el territorio Yaqui: Río Yaqui-Vícam, con una superficie de 6443.17 km²;

Presa Álvaro Obregón, con superficie de 4946.90 km² y Arroyo Sahuaral, con superficie de 1669.67 km² (CEA-CONAGUA, 2008).

La Cuenca Río Mátape, ocupa una superficie de 5.03% del Estado. Las corrientes superficiales de la cuenca del Río Mátape se almacenan en los repesos Punta de Agua y bordo de Ortíz pero los volúmenes son utilizados en el Distrito de Riego Guaymas 084. Los excedentes y otros escurrimientos menores desembocan en las lagunas costeras El Rancho y Las Guásimas, esta última forma parte del territorio Yaqui. El agua se destina a las actividades agrícolas, domésticas y pecuarias. Al igual que la cuenca anterior, ésta tiene 6 subcuencas hidrológicas de las cuales tres influyen al territorio Yaqui: Guaymas, con superficie de 723.6 km²; Chicuroso, con superficie de 497.82 km² y Tetabiate, con 589.81 km² (CEA-CONAGUA, 2008).

Con respecto a fuentes de agua subterránea, con base en los resultados del censo realizado en 2008 (CEA-CONAGUA, 2008), existe un total de 39 aprovechamientos. De ellos, 17 corresponden a norias, 21 son pozos y 1 manantial. En estado inactivo se encuentran 5 pozos y 4 norias, que corresponden al 14% de los aprovechamientos censados. El volumen de extracción conjunto se estimó en 0.406 hm³ anuales, de los cuales 0.298 hm³ (74 %) tienen uso agrícola, 0.0965 hm³ (24 %) para uso doméstico, mientras que 0.0113 hm³ (2.8%) son para uso pecuario (CONAGUA, 2010a; 2010b). En la mayor parte de las comunidades rurales incluyendo los pueblos de la comunidad Yaqui se carece de plantas de tratamiento.

Calidad del Agua

Diagnóstico de la calidad del agua superficial

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) realizó monitoreos durante el período comprendido del año 2012 al 2014 para evaluar la calidad del agua en la presa Álvaro Obregón. Entre los parámetros analizados se evaluó la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). La DBO_5 y la DQO se utilizan para la estimación de la materia orgánica en los cuerpos de agua, mientras que los SST miden todos aquellos sólidos que no se disuelven en el agua y quedan suspendidos. La DBO_5 equivale a la materia orgánica que es susceptible a descomponerse por medios biológicos, es decir, la que es biodegradable. La DQO considera la cantidad de materia orgánica presente en la muestra (biodegradable y no biodegradable), que es oxidada o degradada por medios químicos. Un aumento en la concentración de estos parámetros significa una reducción en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, afectando a los organismos y ecosistemas acuáticos. La importancia del aumento de SST es que puede ocasionar turbiedad en el agua, que disminuye el paso de luz solar a través del agua. Esto impide o reduce la actividad fotosintética de organismos acuáticos imprescindibles para la producción de oxígeno disuelto.

Con base en los SST y la DBO_5 el agua de la presa presenta de excelente a buena calidad (Figs. 2 y 3) con excepción de una muestra tomada en abril del 2013 que se encontró en el rango de aceptable para DBO_5 . Sin embargo, la DQO indicó condiciones de contaminación durante marzo del 2014 (Fig. 4). Sobre esto, considerando que la DBO_5 y el oxígeno disuelto en el agua indicaron buena calidad del agua el resto del año, se

concluyó que el incremento observado de la DQO en ese período, pudo estar asociado a un evento pulsátil y no a una condición prevaleciente.

La Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Noroeste en el año 2014, proporcionó información relacionada con análisis físico-químicos de agua de la Presa derivadora Chículi, canales de riego (km 46 canal principal, Km 74 canal principal, Canal 4P4 Tapiro), del Acueducto Yaqui-Guaymas (Loma de Guamúchil, Vícam Sur y Belem (Pitahaya)), del Río Yaqui (Chumampaco y Wichaka) y de los Drenes colectores agrícolas (Dren Colector No.2 y Dren El Pescado) que sumaron 16 muestras. Los resultados estuvieron dentro de los límites permisibles indicados en los criterios ecológicos para abastecimiento y riego (Tabla 1).

Tabla 1. Límites permisibles para parámetros físico-químicos del agua de la Presa derivadora Chículi.

| Parámetro | Min. – Max. | Mediana | Prom. ± D.E. | CE (a) | CE (c) |
|--|--------------------|----------------|---------------------|---------------|---------------|
| Temperatura agua °C | 20 – 33 | 23 | 25 ± 4 | - | - |
| pH | 8 – 9 | 9 | 9 ± 0 | 42252 | 4.5 - 9 |
| Oxígeno Disuelto mg L⁻¹ | 42344 | 9 | 9 ± 2 | 4 | - |
| Sales disueltas totales mg L⁻¹ | 183 - 233 | 218 | 213 ± 14 | 500 | 500 |
| Sólidos Suspendidos Totales mg L⁻¹ | 5 – 61 | 7 | 12 ± 14 | 500 | - |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno mg L⁻¹ | 2 – 8 | 4 | 4 ± 2 | - | - |
| Demanda Química de Oxígeno mg L⁻¹ | 15 – 72 | 31 | 37 ± 19 | - | - |
| Dureza Total mg L⁻¹ | 80 – 169 | 130 | 135 ± 22 | - | - |
| Carbono Orgánico Total mg L⁻¹ | 5 – 16 | 9 | 9 ± 2 | - | - |
| Nitrógeno total mg L⁻¹ | 0.21 – 1.09 | 0.72 | 0.68 ± 0.24 | - | - |
| Fósforo total mg L⁻¹ | 0.04 – 0.17 | 0.07 | 0.09 ± 0.03 | - | - |
| Clorofila “a” mg m⁻³ | 5 – 33 | 19 | 20 ± 8 | - | - |

Como indicadores de calidad de agua de estos mismos sitios, los SST (Fig. 2) estuvieron en el intervalo de excelente a bueno; el DBO₅ (Fig. 3) de bueno a aceptable, pero el DQO

aunque presentó gran parte del ciclo condiciones aceptables, durante el periodo de marzo resultó contaminado (Fig. 4). De estos resultados se concluyó que, dado el DBO₅ y el oxígeno disuelto en el agua indicaron buena calidad del agua todo el año, es probable que el incremento observado de la DQO estuviera asociado a un evento pulsátil más que a una condición prevaeciente.

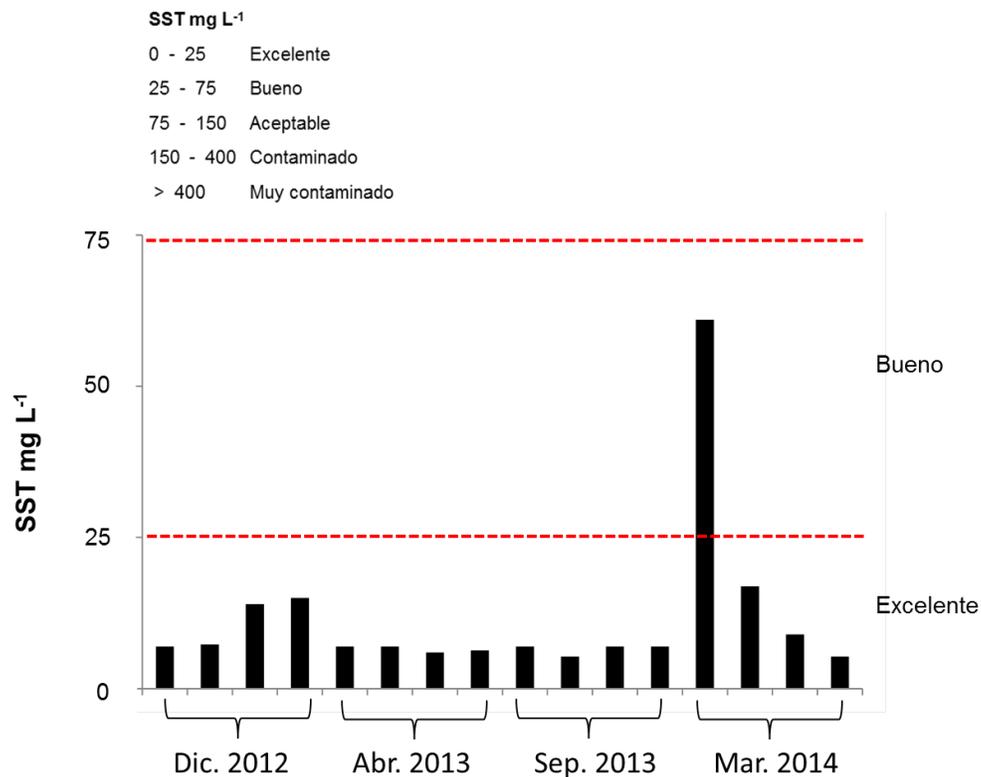


Figura 2. Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales en muestreos realizados del 2012 al 2014 en la presa Álvaro Obregón (Base de datos del Proyecto Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA).

Arreola-Lizárraga et al. (2014) determinaron parámetros físicos, químicos, microbiológicos, metales pesados y plaguicidas y herbicidas en estas mismas fuentes de agua.

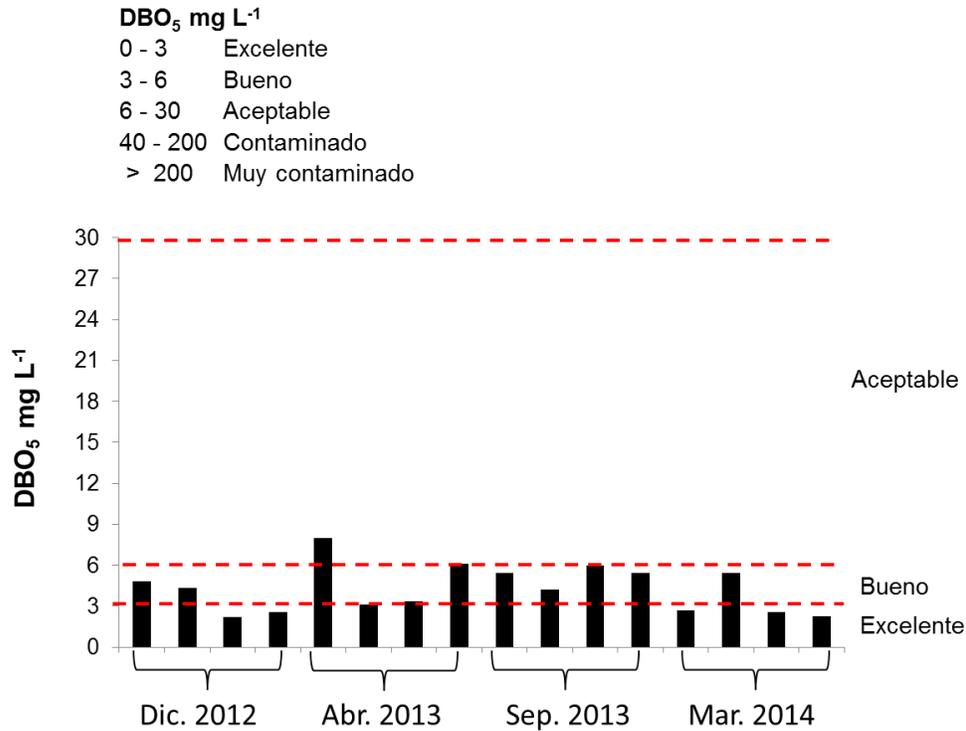


Figura 3. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días, en muestreos realizados del 2012 al 2014 en la presa Álvaro Obregón (Base de datos del Proyecto Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA).

El agua de la presa derivadora Chículi, de los tres canales de riego y de los dos sitios del Río Yaqui no presentó niveles detectables de los plaguicidas y herbicidas que fueron analizados (Tabla 2) y en términos de parámetros ambientales, físico-químicos, metales pesados, microbiológicos, estuvo dentro de los valores guía indicados por los Criterios Ecológicos para Uso en Riego Agrícola (Tabla 3). Los resultados los compararon con los límites establecidos por la NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Esto debido a que el Dren Colector agrícola No. 2 del Valle del Yaqui descarga en la laguna Lobos y el dren El Pescado en la laguna Algodones. Los resultados (Tabla 3) mostraron que el dren El Pescado tuvo concentraciones de plomo de 0.617

mgL⁻¹ que son mayores a lo establecido (0.5 mgL⁻¹) por la NOM-001-ECOL-1996. Sin embargo, este valor correspondió a un muestreo puntual y el valor establecido en la citada norma representa el promedio diario. Con base a esto, es importante considerar el incrementar el esfuerzo de muestreo para tener mayor certidumbre sobre las concentraciones prevalecientes de plomo. Para los parámetros microbiológicos y plaguicidas se tomaron como referencia las concentraciones indicadas en los Criterios Ecológicos para riego agrícola (SEDUE, 1989). El Dren Colector No. 2 presentó valores de Coliformes Fecales (16,000 NMP 100mL⁻¹) mayores al valor máximo (1000 NMP 100mL⁻¹) indicado por los Criterios Ecológicos (Tabla 3). Es importante destacar que los Criterios Ecológicos son un referente, pero mayor esfuerzo de muestreo es requerido, idealmente realizando mediciones a través de un ciclo anual.

Tabla 2. Plaguicidas y herbicidas analizados en muestras de agua superficial del Territorio Yaqui, Sonora.

| Plaguicidas | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Alacloro | DDD | Endrin cetona | |
| Aldrin | DDE | Endrin | Mirex |
| Alfa Endosulfan | DDT | Gama-bch (lindano) | Pendimetalina |
| Atrazina | Delta-BHC | Heptacloro Epoxido | Simazina |
| Beta Endosulfan | Deltametrina | Heptacloro | Terbutilazina |
| BHC (Alfa, Beta y Delta) | Dieldrin | Hexaclorobenceno | Toxafeno |
| Clordano | Endosulfan sulfato | Metolaclor | Trifluralin |
| Cyanazina | Endrin aldehido | Metoxicloro | |

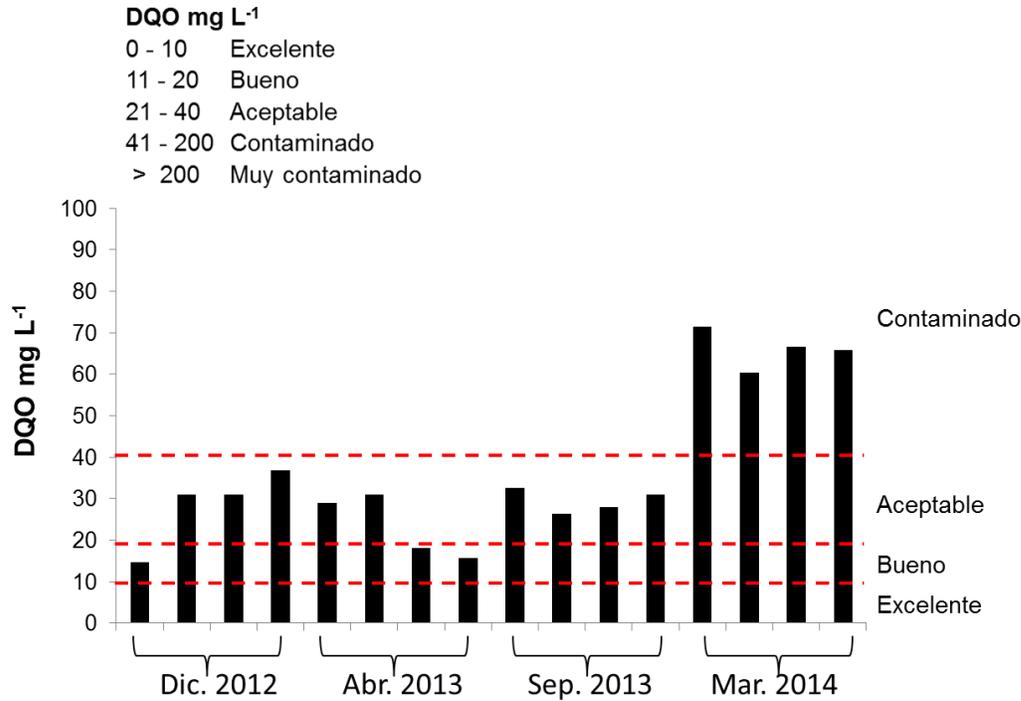


Figura 4. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno en muestreos realizados del 2012 al 2014 en la presa Álvaro Obregón (Base de datos del Proyecto Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA).

El agua en tres sitios del acueducto Yaqui-Guaymas (Tabla 4), en términos de parámetros ambientales, físico-químicos, metales pesados y herbicidas estuvo dentro de los límites establecidos tanto por los Criterios Ecológicos para fuente de abastecimiento de agua potable potable, como por la NOM-127-SSA1-1994 para uso y consumo humano (Tabla 4). Sin embargo, con relación a los análisis microbiológicos, se observó la presencia de bacterias Coliformes Totales y Fecales (1.8 - 11 NMP 100mL⁻¹) así como de *E. coli*. Por lo tanto, no se cumple lo indicado por la NOM-127-SSA1-1994 que establece que estos microorganismos deben estar ausentes en el agua para uso y consumo humano (Fig. 5).

Tabla 3. Metales pesados y microbiológicos analizados en muestras drenes colectores agrícolas en el Territorio Yaqui, Sonora.

| Metales mg l⁻¹ | Colector #2 | El Pescado | NOM-001-ECOL (Estuarios PD) |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|--|
| Plomo | <LC | 0.617 | 0.4 |
| Microbiológicos NMP/100 ml | | | Criterios Ecológicos (Cc) |
| Coliformes Totales | 16,000 | 21 | NA |
| Coliformes Fecales | 16,000 | 21 | 1000 |
| E. coli | 16,000 | 21 | NA |

Los parámetros ambientales, físico-químicos, metales pesados, microbiológicos y plaguicidas (Tabla 4) estuvieron dentro de los límites establecidos por los Criterios Ecológicos para protección a la vida acuática.

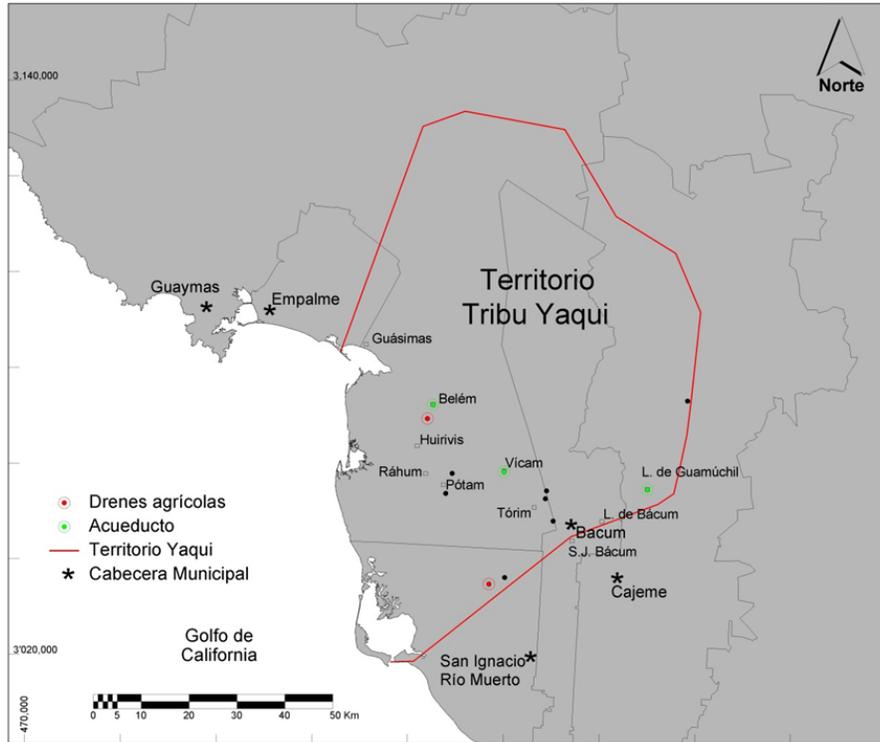
Diagnóstico de la calidad del agua subterránea

Con respecto al agua subterránea, Arreola-Lizárraga et al. (2014) realizaron análisis de parámetros fisicoquímicos, metales y de compuestos orgánicos. Los parámetros del agua subterránea obtenida en 16 pozos se compararon con los criterios de agua para uso y consumo humano de la norma NOM-127-SSA1-1994.

Los resultados mostraron concentraciones de Coliformes Fecales y Totales cuando la normatividad establece que estas bacterias deben estar ausentes; específicamente 8 pozos tuvieron concentraciones $< 2 \text{ NMP } 100\text{mL}^{-1}$ y 8 pozos tuvieron concentraciones $> 8 \text{ NMP } 100\text{mL}^{-1}$. Los nitratos, sulfatos, sólidos disueltos totales y sustancias activas al azul de metileno tuvieron concentraciones mayores a los límites permisibles en al menos 1

pozo. En particular las concentraciones de nitratos y sólidos disueltos tuvieron valores mayores a lo permisible en alrededor del 50 % de los pozos.

| Parámetro | Acueducto Yaqui-Guaymas | | | Normatividad |
|----------------------------|-------------------------|-----------|------------------|-------------------|
| | Loma de Guamuchil | Vicam Sur | Belem (Pitahaya) | |
| Microbiológicos NMP/100 mL | | | | NOM-127-SSA1-1994 |
| Coliformes Totales | 2 | <1.8 | 11 | Ausente |
| Coliformes Fecales | 2 | <1.8 | 11 | Ausente |
| E. coli | 2 | <1.8 | 11 | NA |



| Parámetro | Drenes agrícolas | | Normatividad |
|----------------------------|------------------|------------|------------------------------|
| | Colector # 2 | El pescado | |
| Metales mg L ⁻¹ | | | NOM-001-ECOL (Estuarios, PD) |
| Plomo | < LC | 0.617 | 0.4 |
| Microbiológicos NMP/100 mL | | | Criterios Ecológicos (Cc) |
| Coliformes Totales | 16,000 | 21 | NA |
| Coliformes Fecales | 16,000 | 21 | 1000 |
| E. coli | 16,000 | 21 | NA |

Figura 5. Síntesis del diagnóstico de la calidad del agua superficial en el territorio Yaqui.

Tabla 4. Calidad del agua en tres sitios del acueducto Yaqui-Guaymas, Sonora.

| | Loma de Guamuchil | Vícam Sur | Belem (Pitahaya) | NOM-127- SSA-1-1994 |
|--|----------------------|-----------|---------------------|------------------------|
| Ambiental | | | | |
| Temperatura agua °C | 26.6 | 26.4 | 23.4 | |
| pH | 7 | 7.5 | 7.8 | 6.5-8.5 |
| Color aparente | Amarilla | incolora | incolora | |
| Físico-químicos | | | | |
| Sales disueltas totales mg/l | 0.384 | 0.38 | | |
| Salinidad ‰ | 0.28 | 0.28 | 0.28 | |
| OD porcentaje de saturación | 69.4 | 57.4 | 73.1 | |
| OD mg L ⁻¹ | 5.57 | 4.62 | 6.18 | |
| DBO5 mg L ⁻¹ | 5.01 | 2.84 | 6.62 | |
| Fósforo total mg L ⁻¹ | 165.7 | 1.92 | 2.532 | |
| Nitrógeno total mg L ⁻¹ | 156.1 | 123.6 | 103.6 | |
| Huevos de helminto hh L ⁻¹ | 0 | 0 | 0 | |
| Sólidos Sedimentables ml L ⁻¹ | ND | ND | ND | |
| Sólidos Suspendidos Totales mg L ⁻¹ | ND | ND | ND | 1000 |
| Grasas y aceites mg L ⁻¹ | ND | ND | ND | |
| Metales mg L⁻¹ | | | | |
| Cobre | ND | ND | ND | 2 |
| Cadmio | ND | ND | ND | 0.005 |
| Plomo | ND | ND | ND | 0.01 |
| Níquel | ND | ND | ND | |
| Zinc | 0.199 | 0.203 | 0.192 | 5 |
| Aluminio | 0.3767 | | 0.0443 | 0.2 |
| Arsénico | 0.0078 | 0.0074 | ND | 0.025 |
| Mercurio | 0.00007 | 0.00067 | 0.000471 | 0.001 |
| Fierro | 0.1359 | | 0.0195 | 0.3 |
| Manganeso | 0.0563 | | ND | 0.15 |
| Niquel | ND | ND | ND | NA |
| Plomo | ND | ND | ND | 0.01 |
| Zinc | 0.199 | 0.203 | 0.192 | 5 |
| Microbiológicos NMP/100 ml | | | | |
| Coliformes Totales | 2 | ND | 11 | Ausente |
| Coliformes Fecales | 2 | ND | 11 | Ausente |
| <i>E. coli</i> | 2 | ND | 11 | |

ND: No Detectable.

De los metales pesados, arsénico es el que se encuentra por arriba de la normatividad con más frecuencia. El 31.25% de los pozos exceden la norma mexicana (0.025mgL^{-1}) y el 50% la recomendada por la Organización Mundial de la Salud (0.01mgL^{-1} , OMS, 2011). Estudios previos realizados en Sonora, también han reportado niveles que exceden la normatividad en pozos de Etchojoa, Magdalena, Caborca, Hermosillo (Wyatt et al. 1998), así como, en Cd. Obregón y varios pueblos del Valle de Yaqui como son Esperanza, Villa Juárez, Tobarito, Campo 5, Cócorit, M.R. Gómez, Morelos, Teras, Quetchehueca (Meza et al., 2004). La exposición a este elemento se ha asociado con un potencial incremento en el riesgo de contraer cáncer de pulmón, piel, riñón, vejiga, hígado y estómago (National Research Council, 2000). Con respecto a los demás elementos, se observaron concentraciones mayores a los límites permisibles de hierro en tres pozos; de plomo y aluminio en dos pozos; cadmio, manganeso y mercurio en un pozo. Conforme a la Organización Mundial de la Salud (OMS) manganeso y hierro son elementos que antes de causar problemas a la salud, ocasionan problemas de aceptabilidad en el agua potable (OMS, 2011). Esto es debido a que antes de alcanzar niveles tóxicos, provocan la turbiedad del agua y con ello, que no sea aceptable para ser considerada como agua potable. Concentraciones de aluminio de hasta 0.9 mgL^{-1} en agua potable son adecuadas para la salud humana (OMS, 2011). Este valor fue sobrepasado en una muestra (Coracepe) que coincide con el valor más alto de plomo y cadmio. Compuestos de aluminio son utilizados como floculantes, por lo que puede ser un problema puntual en dicho pozo, pero esto necesita ser confirmado. Este elemento ha sido considerado neurotóxico y se ha asociado con la enfermedad de Alzheimer (Exley, 2012).

Con respecto a plomo, este metal pesado ha sido reportado en concentraciones que superan la normatividad en pozos de casi todo el estado, incluyendo Hermosillo, Ciudad Obregón, Guaymas, Nacozari y Magdalena, siendo su presencia considerada antropogénica (Wyatt et al. 1998). Cadmio ha sido registrado en concentraciones por arriba de la normatividad mexicana en pozos de Nogales, Hermosillo, Guaymas y Obregón (Wyatt et al. 1998). El cadmio es liberado al suelo, al agua y al aire durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, la manufactura y aplicación de abonos de fosfato, la combustión de combustibles fósiles, y la disposición e incineración de basura (ATSDR, 2012a). Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago, pudiendo a largo plazo causar daño al riñón, fragilidad en los huesos y hasta cáncer (ATSDR, 2012a). Mercurio se observó en concentraciones de 0.0015 mgL^{-1} en un pozo (Campo Urbalejo), que también tiene niveles detectables de varios compuestos orgánicos. Este elemento también ha sido encontrado en concentraciones iguales a las encontradas en el presente estudio o hasta superiores en agua de pozos de Guaymas, Hermosillo, Cananea y Suaqui Grande (Wyatt et al. 1998), cuando la normatividad establece como límite máximo 0.001 mgL^{-1} . Las emisiones de mercurio al medio ambiente resultan básicamente de la actividad humana, en particular del funcionamiento de las centrales eléctricas de carbón, la minería aurífera artesanal o de pequeña escala y otros procesos industriales. Una vez liberado al medio, el mercurio elemental se transforma en metilmercurio, forma que se acumula en peces y mariscos y presenta especial peligro para el desarrollo del niño desde la etapa intrauterina hasta la primera infancia. En determinadas poblaciones que practican la pesca de subsistencia se ha calculado que entre 1.5 y 17 de cada 1000 niños presentaban

disfunciones cognitivas causadas por el consumo de pescado contaminado con metilmercurio (OMS, 2014).

Tabla 5. Listado de compuestos orgánicos analizados en muestras de agua superficial en el Territorio Yaqui, Sonora.

| Compuestos orgánicos | | | |
|--|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <u>Fenoles o compuestos</u> | <u>Otros compuestos</u> | Disulfuro de | Acido 2,4 |
| 2,3,4,6-Tetraclorofenol | 1 Cloronaftaleno | Fenantreno | Acrlonitrilo |
| 2,3-Diclorofenol | 1,1,1 Tricloroetano | Fluoranteno | Alacloro |
| 2,4,5-Triclorofenol | 1,1,1,2 Tetracloroetano | Fluoreno | Aldrin |
| 2,4,6-Triclorofenol | 1,1,2,2 Tetracloroetano | Forato | Alfa endosulfan |
| 2,4-Diclorofenol | 1,1,2-Tricloroetano | Hexaclorobutadieno | Antraceno |
| 2,4-Dimetilfenol | 1,1-Dicloroetano (1,1-dicloroetileno) | Hexaclorociclopentadieno | Atrazina |
| 2,4-Dinitrofenol | 1,2-Dicloroetano | M y P-cresol | Bentazona |
| 4-Cloro-3-metilfenol | 1,2-Dicloropropano | Naftaleno | Benzo(a)antraceno |
| Fenol | 1,2-Difenilhidracina | N-nitrosodifenilamina | Benzo(a)pireno |
| 2-Clorofenol | 2 Cloronaftaleno | N-nitrosodimetilamina | Benzo(b)fluoranteno |
| 2-Nitrofenol | 2-Cloroetil vinil eter | N-nitroso-di-n-propilamina | Benzo(g,h,i)perileno |
| 4-Nitrofenol | 4-Bromofenil fenil eter | O-cresol | Benzo(k)fluoranteno |
| <u>Hidrocarburos aromáticos</u> | Acenafteno | Tame (t-amyl metil eter) | Beta endosulfan |
| Benceno | Acenaftileno | Tetracloruro de carbono | BHC (alfa, beta y delta) |
| Clorobenceno | Acetato de vinilo | Toxafeno | Bis-2-(cloroetil) eter |
| 1,2 Diclorobenceno | Acroleina | Trans 1,2-dicloroetileno | Bis-2-(cloroisopropil) eter |
| 1,3 Diclorobenceno | Bencidina | Trans 1,3-dicloropropileno | Bis-2-(etilhexil) ftalato |
| 1,4 Diclorobenceno | Bromodiclorometano | Plaguicidas | Bolstar |
| Hexaclorobenceno | Clorobenceno | Aldrin | Bromacil |
| Nitrobenceno | Coumafos | Dieldrin | Bromoformo |
| Pentaclorobenceno | Criseno | Clordano | Bromuro de metilo |
| Etilbenceno | Dibenzo(a,h)antraceno | DDT | CIS 1,3-dicloropropileno |
| Tolueno | Dibutilftalato | Gama HCH | CIS-1,2-dicloroetano |
| 2,4-Dinitrotolueno | Dietilftalato | Hexaclorobenceno | CIS-1,2-dicloroetileno |
| 2,6-Dinitrotolueno | Dimetilftalato | Heptacloro | Clordano |
| M y P-Xileno | Dinitro-o-cresol | Epóxido de heptacloro | |
| O-Xileno | Di-n-octilftalato | Metoxicloro | |

Con respecto a compuestos orgánicos de los enlistados en la Tabla 5, únicamente Bromodiclorometano, Dibutilftalato, Dietilftalato y Dimetilftalato y los plaguicidas Bis-2-(etilhexil) ftalato, Clorodibromometano, Cloroformo, Di-2-(etilhexil)-adipato y Estireno fueron detectados en algunos pozos; específicamente, los compuestos más frecuentes fueron Bis-2-(etilhexil) ftalato detectado en 8 pozos y el Di-2-(etilhexil)-adipato detectado en 5 pozos (Fig.6). El primero es una sustancia química que se añade a los plásticos para hacerlos más flexibles y está presente en productos como cubiertas de paredes, manteles, bolsas, tapices de muebles y automóviles, cortinas de baño, mangueras, forros de piscinas, ropa para la lluvia, pañales, ciertos juguetes, zapatos, tuberías para uso médico y cubierta de alambres y cables (ATSDR, 2002b); el segundo se usa principalmente como plastificante en resinas sintéticas como el PVC (OMS, 2011). Considerando el origen de estos compuestos, la fuente potencial es la basura, debido a que se carece de un programa de recolección de basura o este es muy ineficiente. La acumulación, enterramiento y quema de basura puede ser el factor causal de este problema de contaminación.

En síntesis, la Figura 6 muestra el mapa de riesgo de salud pública por uso de agua subterránea en el territorio Yaqui, de la cual se abastecen poblaciones con índices de marginación alto y muy alto (~15 %), medio (~ 68 %) y bajo (~17 %).

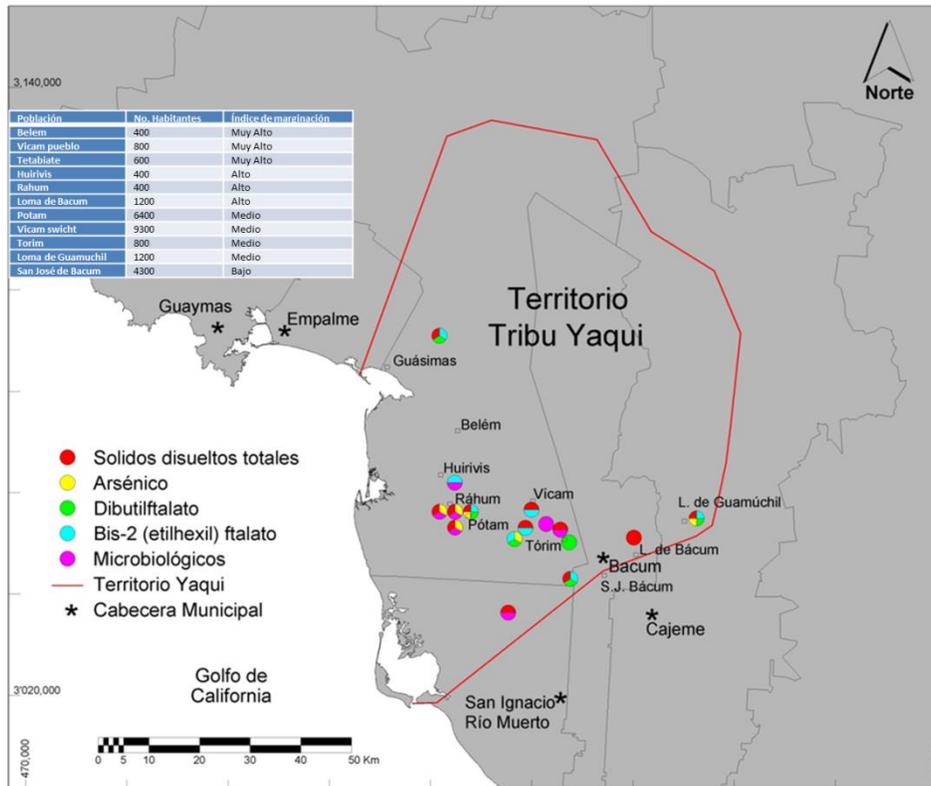


Figura 6. Distribución espacial de los problemas de calidad del agua subterránea en el Territorio Yaqui.

Conclusiones y recomendaciones

Calidad del agua superficial

El agua superficial del territorio Yaqui tiene como fuente al Río Yaqui y previamente a su distribución y uso por la comunidad Yaqui se almacena en la presa Álvaro Obregón. La calidad del agua de esta presa a través de un ciclo anual (2012-2014) resultó buena con base en los indicadores de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales. La calidad del agua indicada por la Demanda Química de Oxígeno resultó buena durante la mayor parte del año y alcanzó umbrales de contaminación al inicio de primavera. El agua de la presa derivadora Chiculi y de tres canales de riego, en términos

de parámetros ambientales, físico-químicos, metales pesados, microbiológicos y plaguicidas estuvo dentro de los límites establecidos por los Criterios Ecológicos para Riego agrícola.

El agua en tres sitios del acueducto Yaqui-Guaymas, en términos de parámetros ambientales, físico-químicos, metales pesados, plaguicidas estuvo dentro de los límites establecidos tanto por los Criterios Ecológicos para Fuente de abastecimiento de agua potable, así como, para uso y consumo humano por la NOM-127-SSA1-1994. Sin embargo, la NOM-127-SSA-1-1994 establece que en el agua deben estar ausentes bacterias Coliformes Totales y Fecales, pero estas estuvieron presentes con valores de 1.8 - 11 NMP 100mL⁻¹.

El agua en dos sitios del Río Yaqui evaluados en términos de parámetros ambientales, físico-químicos, metales pesados, microbiológicos y plaguicidas estuvo dentro de los límites establecidos por los Criterios Ecológicos para protección a la vida acuática.

La calidad del agua en el Dren Colector agrícola No. 2 del Valle del Yaqui (descarga en la laguna Lobos) y el dren El Pescado del distrito de riego Colonias Yaquis (descarga en la laguna Algodones) con base en parámetros ambientales, físico-químicos y metales pesados, mostraron que la calidad del agua estuvo dentro de los límites de la NOM-001-ECOL-1996, excepto para plomo en el dren El Pescado donde se registraron concentraciones de hasta 0.617 mgL⁻¹ que sobrepasan los establecido por la normatividad (0.5 mgL⁻¹) mencionada. Con base en los parámetros microbiológicos el Dren Colector

No. 2 tuvo concentraciones de Coliformes Fecales ($16,000 \text{ NMP}100 \text{ mL}^{-1}$) que rebasaron el límite máximo establecido por la NOM-001-ECOL-1996 ($1000 \text{ NMP}100 \text{ mL}^{-1}$). No se detectaron plaguicidas en el agua de estos drenes. Con base en la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el conjunto de sitios de aguas superficiales tuvo una calidad de agua aceptable, únicamente el Dren Colector No. 2 del Valle del Yaqui que descarga en la laguna Lobos mostró condición de contaminado.

Calidad del agua subterránea

Los parámetros del agua subterránea obtenida en 16 pozos se compararon con los criterios de agua para uso y consumo humano de la norma NOM-127-SSA1-1994. Se observaron Coliformes Fecales y Totales en 8 pozos con concentraciones $< 2 \text{ NMP}100\text{mL}^{-1}$ y 8 pozos con concentraciones $> 8 \text{ NMP} 100\text{mL}^{-1}$ y la norma establece que estas bacterias deben estar ausentes. Los parámetros físico-químicos que tuvieron concentraciones mayores a los límites permisibles por la norma fueron nitratos y sólidos disueltos totales y se observaron en el 50 % de los pozos. Los metales pesados con concentraciones mayores a los límites permisibles establecidos en la norma fueron cadmio, mercurio y manganeso en un pozo, plomo y aluminio en dos pozos, hierro en tres pozos y arsénico en 5 pozos. Los compuestos orgánicos detectados con mayor frecuencia fueron Bis-2-(etilhexil) ftalato detectado en 8 pozos y el Di-2-(etil-hexil)-adipato detectado en 5 pozos; el primero es una sustancia química que se añade a los plásticos para hacerlos más flexibles y el segundo se usa principalmente como plastificante en resinas sintéticas como el PVC.

Literatura citada

Arreola-Lizárraga, J. A., Acosta-Vargas, B., Mendoza-Salgado, R., Alcantara-Razo, E., Murillo-Murillo, I., Ceseña-Beltrán, G., Padilla-Arredondo, G., Hernández-Ibarra, A., Peña-Armenta, G., López –Tapia, R., Urías –Laborín, D., Méndez-Rodríguez, L., Valenzuela-Díaz, J. 2014. Diagnóstico de la calidad del agua superficial y subterránea en las comunidades Yaquis del Estado de Sonora. Informe Técnico. CONAGUA-CIBNOR. Guaymas, Sonora.

ATSDR. 2002a. Public Health Statement. - Di(2-etilhexil) ftalato (DEHP). Department of Health and Human Services, Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Atlanta, GA. 2p

ATSDR. 2012b. Public Health Statement. - Cadmium. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Atlanta, GA. 10p

CEA–CONAGUA. 2008. Estadísticas del Agua en el Estado de Sonora 2008. Comisión Estatal del Agua, Hermosillo, Sonora. www.ceasonora.gob.mx, Ingeniería y Gestión Hídrica (Ed.) Col. Ciudad Jardín C.P. 04370, México D.F. www.igh.com.mx. 237 p

CONAGUA. 2009a. Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero (2640) Valle del Yaqui Estado de Sonora publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 2009. 24 pp

CONAGUA. 2009b. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero 2656 Cumuripa, Estado de Sonora México, DF. Marzo de 2009. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de julio de 2010. 28 pp

CONAGUA. 2010. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 2657 Agua Caliente, Estado Sonora México, DF. Junio de 2009. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 8 de Julio de 2010. 27 pp

Exley, C. 2012. The coordination chemistry of aluminum in neurodegenerative disease. *Coordination Chemistry Reviews* 256: 2142–2146

INEGI. 2010c. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo General de Población y Vivienda 2010. Sistema de Integración Territorial, ITER. Dirección General de Estadísticas Sociodemográficas.

http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2000.aspx?c=27437&s=est

Luna-Escalante, G. 2007. Derechos, usos y gestión del agua en el Territorio Yaqui. Tesina. Colegio de Sonora, Especialidad en Gestión Integrada de Cuencas Hidrológicas. Hermosillo, Sonora, México, 156 p

Meza, M. M., Kopplin, M. J., Burgess, J. L., Gandolfi, A. J. 2004. Arsenic drinking water exposure and urinary excretion among adults in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. *Environmental Research* 96:119–126.

National Research Council. 2002. National Research Council Report: Arsenic in the drinking water. National Academy Press, Washington DC, 333p

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. 6p

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

OMS. 2014. Repercusiones de la exposición al mercurio y a los compuestos mercuriales en la salud pública: la función de la OMS y de los ministerios de salud pública en la aplicación del Convenio de Minamata. 67.^a Asamblea Mundial de la Salud A67/24. Ginebra, 7p

SEDUE. 1989. Criterios Ecológicos del Agua. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Diario Oficial de la federación, 13 de diciembre de 1989, Tomo CDXXXV (9):7-23

Singh, N., Sharma, J., Katnoria, K. 2014. Monitoring of Water Pollution and Its Consequences: An Overview. International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering 8:135–143

UNESCO. 2012. Managing Water under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development Report 4: Volume 1, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France, 364 p.

WHO. 2011. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. World Health Organization, Geneva, 541p

Wyatt, C. J., Fimbres, C., Romo, L., Mendez, R. O., Grijalva, M. 1998 . Incidence of heavy metal contamination in water supplies in Northern Mexico. Environmental Research 76:114–119.



La obra “*Capital Natural y Bienestar Social de la Comunidad Yaqui*”,
se terminó de editar el 30 de junio en el
Instituto Tecnológico de Sonora,
en Cd. Obregón, Sonora, México.

Fue puesto en línea para su disposición en el sitio www.itson.mx
en la sección de Editorial ITSON.

