

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

Autores

**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

SECCIÓN I

“Capital Natural y Bienestar Social de la Comunidad Yaqui”

José Alfredo Arreola Lizárraga

Jaime Garatuza Payán

Enrico Arturo Yépez González

Agustín Robles Morúa

(Editores)

1.1 El Territorio Yaqui

Por Jaime Garatuza-Payán¹

¹Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, Col. Centro. Obregón, México.

Email: jaime.garatuza@itson.edu.mx

Los yaquis son un pueblo indígena del estado de Sonora, (México), asentados originariamente a lo largo del río Yaqui. Se encuentran en la región Sudoeste el Estado de Sonora entre los Municipios de Cajeme, Guaymas, Bácum y Empalme. Abarcando desde el Mar de Cortés hasta la sierra del Bacatete (ITESM, 2000).

Tradicionalmente el grupo yaqui ocupaba una larga faja costera y de valle al sudeste del actual estado de Sonora, que abarcaba desde la ribera sur del río Yaqui hasta el cerro Tetakawi, al norte de la actual ciudad de Guaymas. Con la sedentarización del grupo bajo el control de las misiones jesuitas, la población se concentró en ocho poblados situados de sudeste a noroeste a lo largo del Valle del Yaqui, los cuales han constituido la base organizativa y territorial del grupo (Olavarría, 2000).

El conjunto del territorio aparece compuesto por tres zonas diferenciadas, que tienen como soporte características geofísicas particulares: un área serrana, la sierra del Bacatete; una zona costera que comprende poblados pesqueros como Las Guásimas, Bahía de Lobos y Los Algodones, y el valle en donde se localizan las tierras irrigadas, los ocho pueblos cabecera y más de cincuenta rancherías (Olavarría, 2000).

Se piensa que los yaquis tuvieron su origen en las peregrinaciones de grupos venidos desde el estrecho de Bering, hacia el sur. La tribu está compuesta por ocho pueblos que, tal vez, se fundaron desde entonces: Bácum (agua estancada), Benaléi o Belén (cuesta abajo), Cócorit (chile), Huirivis ó Güiribis (pájaro), Pótam (topo o tuza), Rahúm (lugar del arrastrador), Tórim (rata) y Vícam (punta de flecha). Estos pueblos se conforman por 52 localidades con una población total estimada, en el año 2000, de 32,000 indígenas.

Por otra parte, la defensa del territorio y sus recursos naturales, entre los que destaca el agua, ha sido un elemento esencial en la historia de la tribu yaqui (Moreno, 2015). Esta defensa se ha caracterizado por una larga lucha en contra de las fuerzas desintegradoras que han intentado someterlo para apropiarse del territorio que aún ocupan. La resistencia armada ha marcado la historia de la tribu yaqui desde que en 1533 tuvieron el primer contacto con los españoles comandados por Diego de Guzmán (Velasco Toro, 2015). Finalmente, el presidente Lázaro Cárdenas emitió el Decreto Presidencial, en octubre de 1937 en cuyo artículo IX se establecía que (Huarte, 1976: 28):

... a la tribu yaqui se le concede toda la extensión de tierra laborable ubicada sobre la margen derecha del río Yaqui, con el agua necesaria para riegos, de la presa en construcción de “La Angostura”, así como toda la sierra conocida como “Sierra del Yaqui”, a cuyos componentes se le proveerá de los recursos y elementos necesarios para el mejor aprovechamiento de sus tierras...

La titulación definitiva de esta extensión territorial quedó sujeta a la planificación que debería de hacer el Departamento Agrario en cumplimiento del acuerdo presidencial. Después de diversas negociaciones se firmó el acta correspondiente en el Departamento de Asunto Agrarios y Colonización el 13 de octubre de 1971 (Velasco Toro, 2015). El perímetro que se firmó en dicha acta se describe como sigue (DAAC, 1971):

“A partir de la punta sur de la Isla de Lobos, con rumbo noreste, hasta llegar al vértice suroeste del cuadrilátero de San José; de este punto, con rumbo norte, por el lindero occidental del cuadrilátero mencionado, se pasa el río Yaqui hasta el punto situado en la margen derecha del río; de este punto se continuó por toda la margen derecha del propio río aguas arriba, hasta llegar al punto en que esta margen cruza el lindero sur de los terrenos de Buena Vista; de este cruce, siguiendo el lindero sur señalado, y con rumbo suroeste se llegó al cerro denominado Jacatacari; de este punto se continuó con rumbo noroeste hasta llegar al cerro de la Cueva; de este punto con rumbo noroeste se llegó al cerro Colorado; de este punto con rumbo noroeste se llegó al cerro sin nombre, que en el plano se identifica como ‘2Bre’; de este punto con rumbo noreste se llegó al siguiente vértice; de este punto con rumbo noroeste se llegó a la mojonera Matanza; la descripción anterior, desde el cruce de la margen derecha del río, con el lindero de los terrenos

comunales del poblado Buena Vista, hasta la mojonera Matanza, corresponde a la Resolución Presidencial de fecha 26 de marzo de 1952 que confirma dichos terrenos a la comunidad de Buena Vista, ya ejecutada [...], sin perjuicio de los derechos que puedan corresponder a la Tribu Yaqui. Siguiendo el recorrido, de la mojonera La Matanza y con rumbo noroeste, se llegó al lugar denominado Sahuaral; de este punto con rumbo noroeste, hasta el picacho Moscobampo; de este punto, en línea recta con rumbo suroeste, pasando por la estación del ferrocarril Sud-Pacífico llamada la Guásimas hasta el litoral del Golfo de California, incluyendo la Isla de Lobos, hasta llegar al punto de partida”

Aún después del mencionado deslinde, los problemas por definir la extensión del territorio yaqui continuaron y en diciembre de 2005 se realizó un nuevo deslinde, esta vez con la presencia de funcionarios y técnicos del gobierno federal, estado y autoridades Tradicionales. El “Acta de fe pública territorial de la tribu yaqui” da testimonio de lo sucedido en este nuevo deslinde.

La tribu Yaqui como pueblo, ha ocupado como su territorio desde tiempos inmemoriales la extensión cuyos límites siempre han sido señalados como referencia y que marcan los linderos del territorio: los puntos naturales. Estos son los que difícilmente pueden ser modificados por la acción del hombre y cuya referencia geodésica, será siempre una delimitación científica de su territorio, además de representar un valor histórico, religioso y cultural como pueblo y como tribu Yaqui. Un tema fundamental es su relación con la tierra como vínculo esencial que da y mantiene su identidad cultural. Es necesario entender la tierra no como un simple instrumento de producción agrícola, ganadera o acuícola, sino como una parte del espacio geográfico y social, simbólico y religioso con el cual se vincula la historia pasada con el presente. El vínculo con el

territorio es esencial para su autoidentificación. La salud física, la salud mental y la salud social del pueblo yaqui están relacionadas con el concepto de territorio, del concepto comunal del territorio y sus recursos.

La historia de la práctica y la política del estado mexicano, en sus diversas etapas, con respecto al territorio de la tribu Yaqui, es larga y dramática. Antes de la conquista y la colonización, la tribu Yaqui y su territorio, formaban un todo extenso y único, ante eso se vino a sobre encimar el estado nacional, donde se asume una propiedad particular sobre el territorio que ancestralmente correspondía y corresponde a la tribu Yaqui.

Literatura citada

DACC. 1972. “Acta de deslinde total de los terrenos que se restituyen a la Tribu Yaqui en el Estado de Sonora, 13 de octubre, copia notarial de la original en poder de las autoridades yaquis, Notaría núm. 8, Guaymas, Sonora, 19 de mayo de 1972”

Olavarría, María Eugenia, “Dimensión territorial y espacio vivido en los pueblos yaquis”, en Dimensión Antropológica, vol. 20, septiembre-diciembre, 2000, pp. 79-99. Disponible en: <http://www.dimensionantropologica.inah.gob.mx/?p=1001>

http://www.mty.itesm.mx/dhcs/deptos/co/co95-832/Proy_2000_S2/CulturasDesierto/Culdes/yaquis.html

Huarte, E. 1976. Apuntes sobre la tribu yaqui y el riego de sus tierras. México, Escuela Nacional de Agricultura.

J. L. Moreno. 2015. La lucha por el agua de los yaquis. Diario de campo. CONACULTA/INAH. 8:13-19.

<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/07/ACTA-DE-REPU%CC%81BLICA-TERRITORIAL-DE-LA-TRIBU-YAQUI.pdf>

J. Velasco Toro. 2015. Autonomía y territorialidad entre los yaquis de Sonora, México. Diario de campo. CONACULTA/INAH. 8:32-40.

1.2 La variabilidad espacial y temporal del clima en las Comunidades Yaquis

Por Nidia E. Rojas Robles¹ y Agustín Robles-Morua^{1,2}

¹Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora

²Correspondencia: 5 de Febrero 818 Sur, Col. Centro. Obregón, México.

Email: agustin.robles@itson.edu.mx

Introducción

Para muchos el término “clima” tiene un significado asociado a estadísticas y números. Sin embargo, su definición más amplia y acertada tiene que ver con una serie de componentes que juntos forman el sistema climático del planeta tierra. Dichos componentes son la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera. Procesos físicos, químicos y biológicos se encargan de que exista una interacción muy estrecha y continua entre los componentes del sistema climático. Como un ejemplo, podemos apreciar que la vegetación y la humedad del suelo tienen una relación muy estrecha en el control de la temperatura del aire. Igualmente influyen a través de mecanismos de retroalimentación en la ocurrencia de vapor de agua y con la precipitación (Pielke, 2008). Todos los fenómenos meteorológicos que suceden en el planeta y que abarcan elementos tales como temperatura del aire y de los océanos, precipitación, humedad relativa, presión atmosférica, cobertura nubosa, velocidad de viento, etc. conforman el sistema climático. Debido a la variabilidad espacial y temporal que presentan los componentes y elementos del

sistema climático en la superficie de la tierra, existen regiones que pueden ser completamente diferentes en cuanto a sus características climáticas. Esa variabilidad también se ve reflejada en la adaptación de la flora y fauna a las condiciones climáticas que se presenten. Las interacciones del clima con los distintos tipos de recursos naturales a lo largo de la historia del planeta han resultado en que exista una enorme heterogeneidad ecosistémica y biodiversidad.

El clima tiene una influencia profunda en todos los seres vivos. Igualmente, las actividades humanas influyen en el clima, mediante la modificación de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero. El conocimiento de la variabilidad espacial y temporal del clima es de suma importancia para el ser humano ya que puede aprovechar mejor los recursos naturales disponibles y determinar los lugares más adecuados para establecerse. Igualmente, entender el funcionamiento del sistema climático nos ayuda a entender el funcionamiento de ecosistemas y poder así protegerlos y manejarlos adecuadamente. Este capítulo tiene como objetivo presentar información acerca de la variabilidad espacial y temporal del clima en México, Sonora y en particular en las Comunidades del Territorio Yaqui en el sur de Sonora. Para esto se utilizará información histórica disponible de las estaciones climáticas y meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional y de la Comisión Nacional del Agua. Así como información disponible a través del Instituto Nacional de Geografía y Estadística de México (INEGI).

Clasificación oficial del clima en México y Sonora

Actualmente en México se utiliza el sistema de clasificación modificado de Köppen-García (García, 2004). Dicho sistema utiliza formulas empíricas, que son relaciones sencillas basadas en datos observados y valores derivados de varios elementos climáticos para delimitar y clasificar

los principales grupos y sub-grupos climáticos. Las fórmulas y valores se seleccionaron con base a las características del clima que determinan su distribución en el territorio, su ocurrencia en distintas épocas, y su relación con la existencia de distintas agrupaciones de plantas y otros seres vivientes (García, 2004). El sistema de clasificación Köppen-García de México utiliza datos de temperatura del aire y precipitación media mensual y anual. Dichos valores son obtenidos de la red de estaciones meteorológicas y climatológicas operadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). México cuenta con cerca de 1900 estaciones climáticas y 79 observatorios meteorológicos, cuyas funciones son las de observación y transmisión en tiempo real de la información de las condiciones atmosféricas. Así mismo, se cuenta con 16 estaciones de radiosondeo mediante las cuales se monitorea las capas altas de la atmósfera. Dichos observatorios y estaciones de radiosondeo realizan mediciones de presión atmosférica, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad de viento, varias veces al día o con sensores de alta resolución. Es así como utilizando los datos de temperatura y precipitación el INEGI generó el mapa de Unidades Climáticas para México y en Sonora (ver Fig. 1). Igualmente, el INEGI utilizó la infraestructura de monitoreo del SMN para generar los mapas de Precipitación y Temperatura Media Anual (Figs. 2 y 3), Humedad Relativa (Fig. 4) y Evapotranspiración (Fig. 5). Dicha información es de mucha utilidad, sin embargo, su resolución espacial no es muy fina, por lo que dichos productos tienen una capacidad muy limitada para entender variaciones climáticas en regiones más localizadas dentro del territorio nacional.

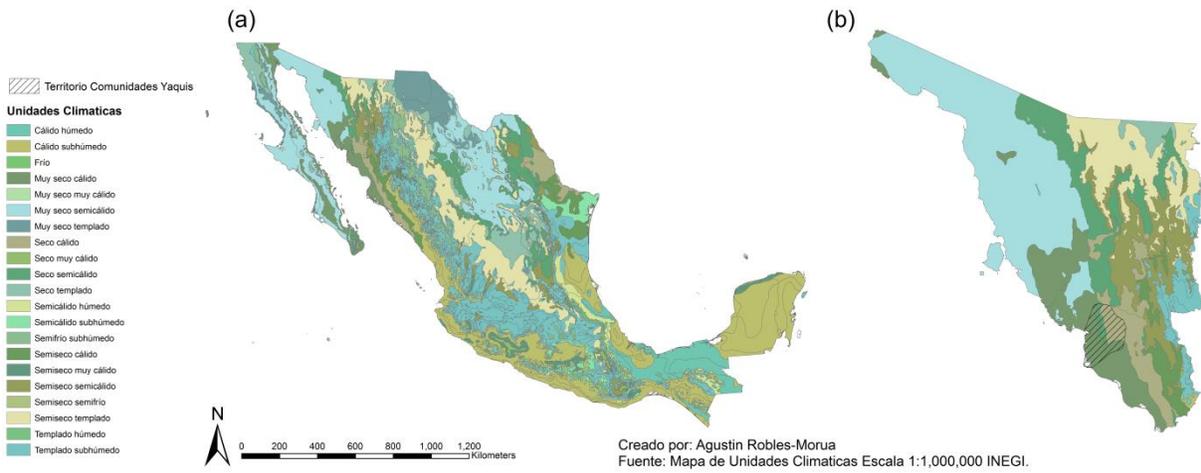


Figura 1. Clasificación del clima de acuerdo Köppen-García en (a) México y (b) Sonora y en el Territorio de las Comunidades Yaquis.

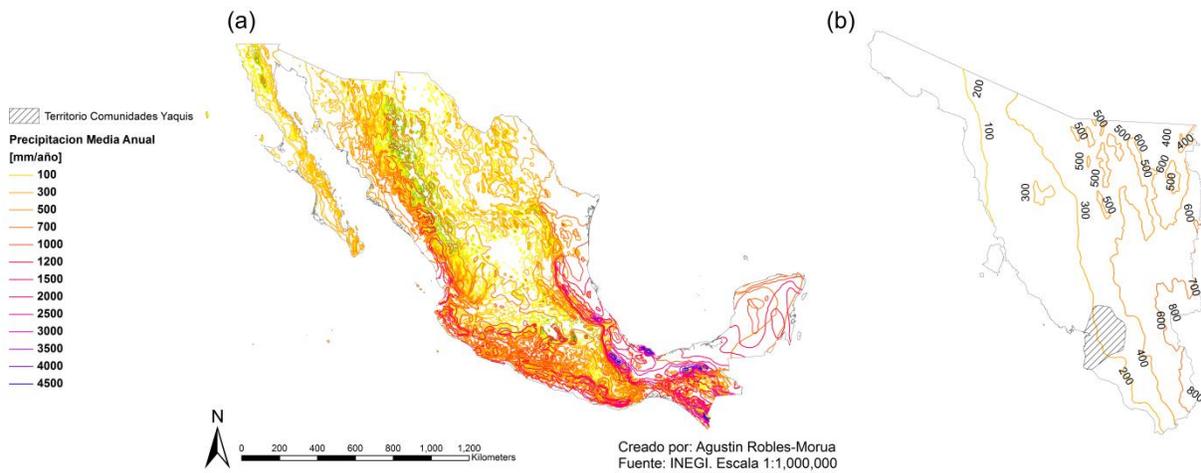


Figura 2. Precipitación media anual en (a) México y (b) Sonora y en el Territorio de las Comunidades Yaquis.

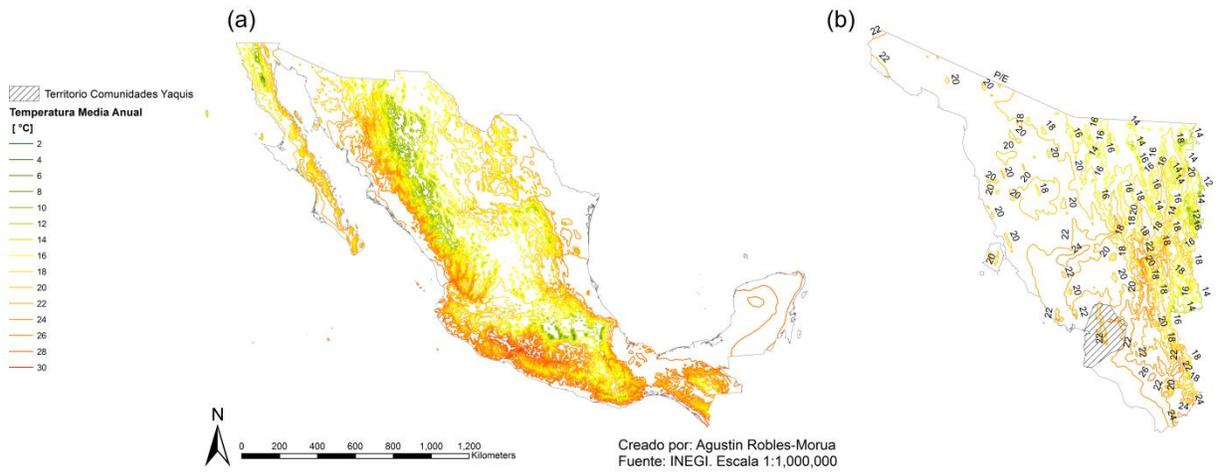


Figura 3. Temperatura media anual en (a) México y (b) Sonora y en el Territorio de las Comunidades Yaquis.

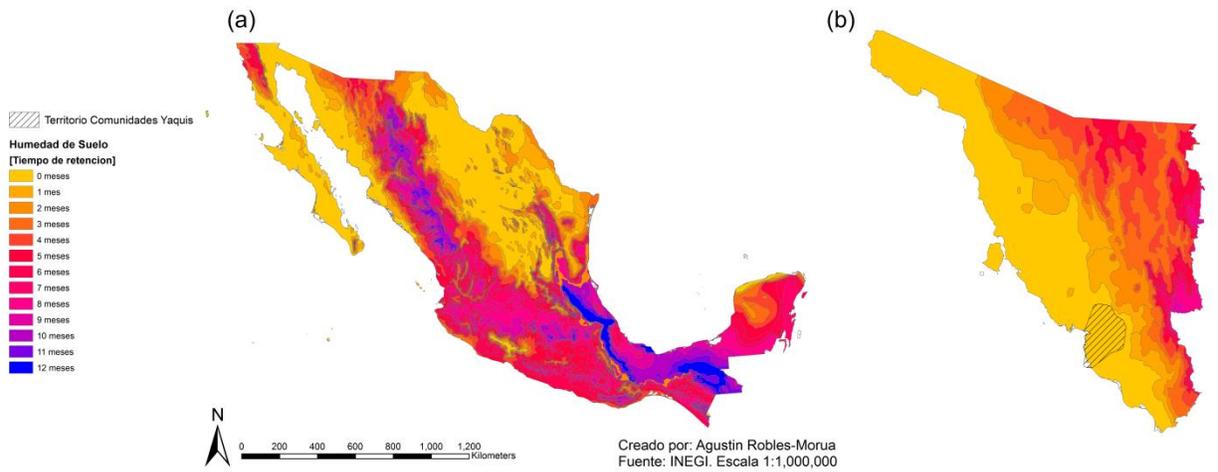


Figura 4. Tiempo promedio de retención de la humedad de suelo en (a) México y (b) Sonora y en el Territorio de las Comunidades Yaquis.

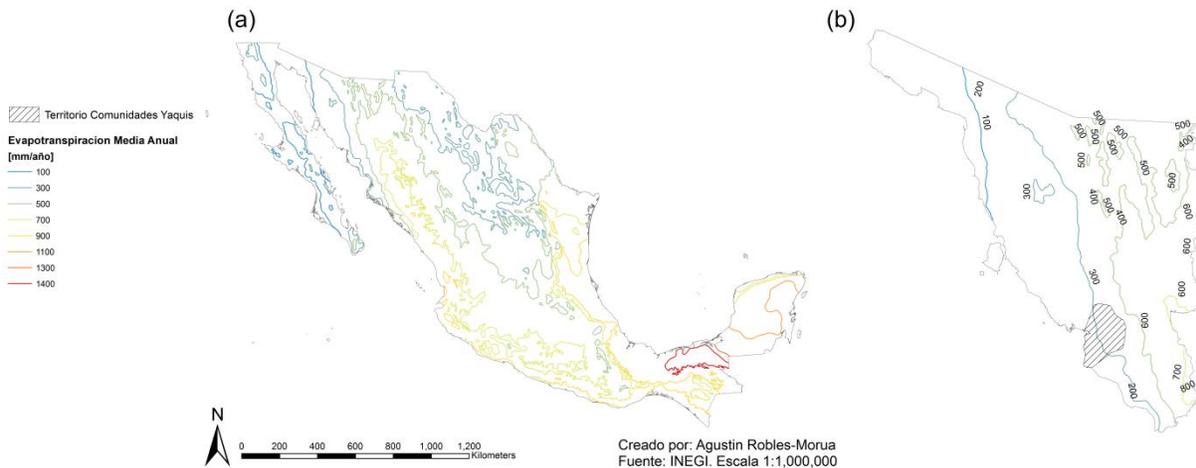


Figura 5. Evapotranspiración media anual en (a) México y (b) Sonora y en el Territorio de las Comunidades Yaquis.

El clima en el territorio de las Comunidades Yaquis

Aproximadamente en 95% del territorio sonorense los climas son muy secos, secos y semisecos. Se caracterizan por su alta temperatura del aire y escasa precipitación (INEGI, 2000). El territorio de las comunidades Yaquis se encuentra en la zona aluvial del Río Yaqui, en la parte sur del Estado de Sonora (ver Fig. 6). Colinda al oeste con el Golfo de Baja California y al este se encuentra cercano a la región montañosa de la sierra madre occidental. El territorio Yaqui de acuerdo a la clasificación de INEGI (método Köppen-García) presenta 3 unidades de clima: Muy seco cálido, seco cálido y seco semicálido, con presencia de lluvias en el verano y lluvias escasas en invierno. El clima muy seco, tiene influencia desde la zona costera hacia el centro del territorio (Fig. 6), también se le llama desértico y se caracteriza por una precipitación menor a los 400 mm, y una temperatura media anual entre los 18 °C a los 26 °C; es considerado muy extremo, ya que la diferencia entre la temperatura media al mes más cálido y la del mes más frío es mayor a 14 °C (INEGI, 2000). Los climas seco cálido y seco semicálido influyen en el noreste del territorio Yaqui (Fig. 6), también se les conoce como esteparios y se caracterizan por

tener una precipitación en el verano entre 300 a 500 mm y temperatura media anual superior a los 22°C (INEGI, 2008).

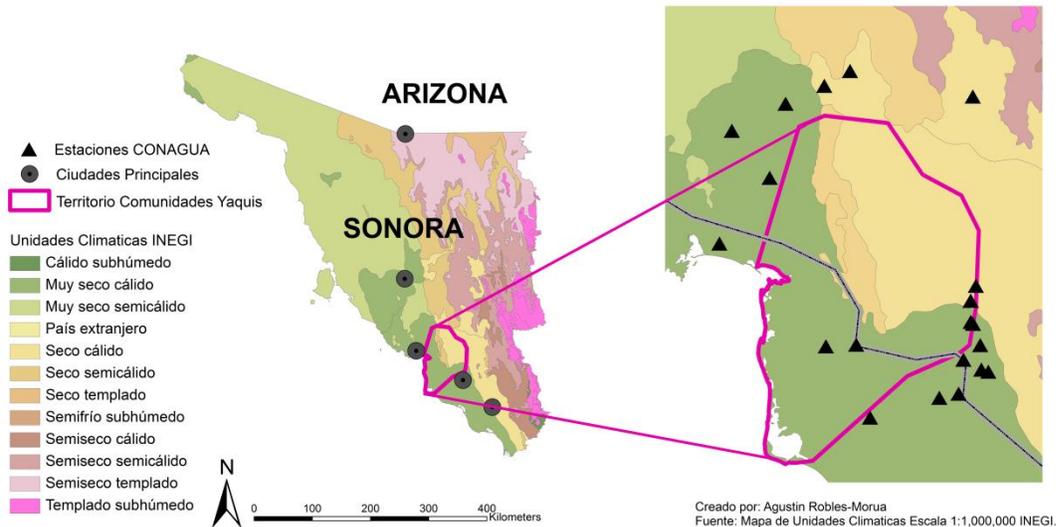


Figura 6. Unidades climáticas en Sonora y en la región del Territorio de las Comunidades Yaquis.

Debido a que los mapas oficiales de INEGI no muestran la variabilidad del clima sobre la región del territorio de las comunidades Yaquis. Se utilizó la información de las estaciones Climáticas/Meteorológicas a cargo del Servicio Meteorológico Nacional más cercanas al territorio para realizar un análisis en esta región. Los datos de las estaciones seleccionadas se procesaron para obtener los datos históricos diarios de precipitación y temperaturas máximas y mínimas. Utilizando dicha información se realizaron mapas de variabilidad espacial con la técnica de interpolación de Kriging. Dicha herramienta permite observar los cambios que hay en las variables climáticas utilizando las estaciones disponibles más cercanas a cada región (locales). La Tabla 1 presenta el resumen de los datos (precipitación, temperatura y heladas), así

como las coordenadas de la ubicación geográfica de las estaciones utilizadas para evaluar las condiciones climáticas el territorio Yaqui. Los resultados de dicho análisis son presentados a continuación para cada uno de los principales elementos climáticos de la región.

Precipitación

Según el anuario estadístico de INEGI para el Estado de Sonora (INEGI, 2014), haciendo un enfoque en la región del territorio Yaqui, la lluvia varía desde los 100 mm hasta los 400 mm por año (INEGI, 2014). Sin embargo, en el análisis de INEGI solo se consideraron 5 estaciones climáticas con datos hasta el año 2010. Por lo tanto, realizar este análisis con datos climáticos históricos actualizados y a una escala más local permite describir la variabilidad que el clima ha presentado históricamente en la región del territorio Yaqui. El resultado de nuestra evaluación con 21 estaciones climáticas se puede observar en la Fig. 7, la precipitación media anual varía desde 239 a 458 mm/año. Las localidades que se encuentran más cercanas a la costa del Golfo de California reciben una menor cantidad de lluvia, desde 200 a 300 mm/año, a diferencia de las localidades cercanas a la zona montañosa en la parte este del territorio Yaqui (cercanas a la Sierra “El Bacatete”) con una precipitación desde 300 mm a 400 mm/año.

Por otra parte, se observa que las distribuciones de los tipos de clima abarcan localidades con precipitaciones muy variadas, que no obedecen a la clasificación del clima de INEGI como tal desde una escala regional (Fig. 6). Por ejemplo, a escala local se registraron precipitaciones similares aun dentro de la influencia de diferentes tipos de climas, como en el caso de la estación en Km 25 y la estación en Punta de Agua II, ambas con precipitaciones de alrededor de los 400

mm/año y una bajo la influencia del clima muy seco cálido y otra por el clima seco semicálido respectivamente, aunque ambas dentro de la clasificación general de climas secos.

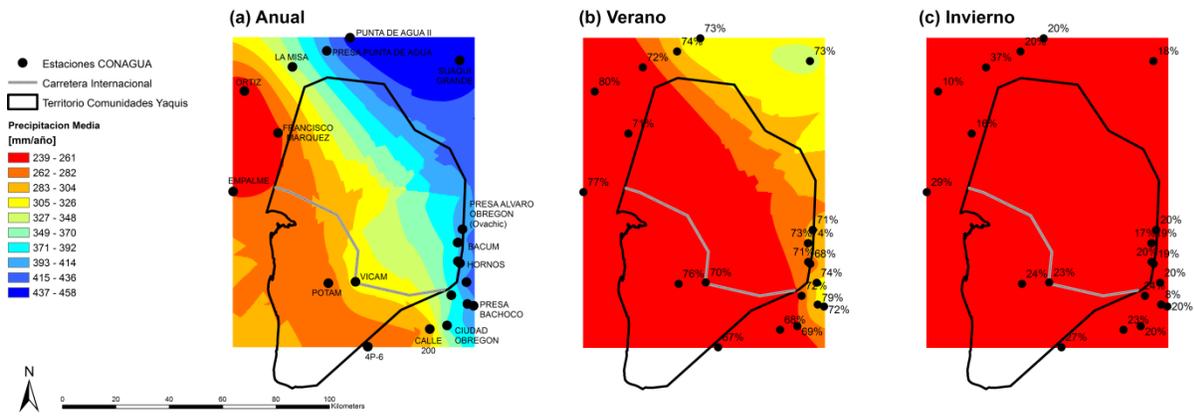


Figura 7. Variabilidad espacial de la precipitación en el Territorio de las Comunidades Yaquis: (a) Media anual (1 Ene a 31 de Dic); (b) Media durante el verano (21 Jun a 27 de septiembre); y (c) Media durante el invierno (1 Dic al 28 de Feb). Los porcentajes en las figuras (7b) y (7c) indican la cantidad de lluvia relativa al total anual histórico en cada una de las estaciones analizadas.

Las precipitaciones en el territorio Yaqui son altamente influenciadas por el Monzón de Norte América (NAM por sus siglas en inglés) ya que la mayor cantidad (entre el 67 y el 95%) de la lluvia se recibe en el periodo entre el 10 de junio y el 27 de Septiembre (época oficial del verano-ver Fig. 7b). A pesar de que las lluvias de invierno son menores a las de verano, es importante conocer su aportación, ya que sus contribuciones son muy importantes para el sector agrícola (ver Fig. 7c). La Fig. 9 muestra los resultados históricos de precipitación media mensual en seis estaciones ubicadas en cada uno de los puntos cardinales del territorio Yaqui. En dichas gráficas se puede observar la variación temporal de las lluvias. Dichas graficas describen un patrón muy similar de lluvias donde las mayores precipitaciones se dan durante los meses de julio, agosto y septiembre. Sin embargo, es interesante notar la diferencia en magnitud de las estaciones que se encuentran más cercanas a la zona serrana (ver Fig. 9b- Estación Suaqui Grande) y aquellas

cercanas al Golfo de California, además que el mes con mayor precipitación promedio registrada históricamente es Julio, lo que coincide con la estación 4P-6 al extremo sur del territorio Yaqui, ambas estaciones con un promedio alrededor de 151 mm durante los meses de verano.

Temperatura

La temperatura del aire exhibe un comportamiento muy similar a la distribución de las lluvias en la región del territorio de los Yaquis (Ver Figura 8). Dicha variabilidad está relacionada con la topografía del territorio. Se puede observar la temperatura media anual puede variar casi dos grados entre las estaciones Vícam y Pótam y la de la Presa Álvaro Obregón (Oviáchic). En las regiones planas, las temperaturas máximas y mínimas medio anuales exhiben muy poca variabilidad espacial, pero extremosas entre el mes más cálido y el más frío, con una diferencia aproximada de 30° C. El promedio de las temperaturas durante todo el año es de alrededor de 24.3°C, sin embargo, las temperaturas de verano promedian 38.3 °C y 8 °C en el invierno. En las estaciones analizadas en el territorio Yaqui (ver Tabla 1) la máxima temperatura registrada es de 50 °C, mientras que la mínima histórica es de -7 °C. En la figura 9, se observa que el mes más cálido históricamente es el mes de Julio para las estaciones de Empalme, Vícam y Bácum y septiembre para la estación 4P-6. Para las estaciones de la Misa y Suaqui Grande es el mes de junio. Por otra parte, el mes más frío en la mayoría de las estaciones fue el mes de enero con la excepción de las estaciones de Empalme y La Misa donde diciembre ha sido el mes más helado históricamente. Si se observa la variabilidad temporal de la temperatura (Fig. 9) como los mapas de variabilidad espacial (Fig. 8), los resultados de las estaciones analizadas son congruentes ya que las temperaturas medias mensuales son similares entre estaciones y coinciden con los rangos de distribución espacial de este elemento climático.

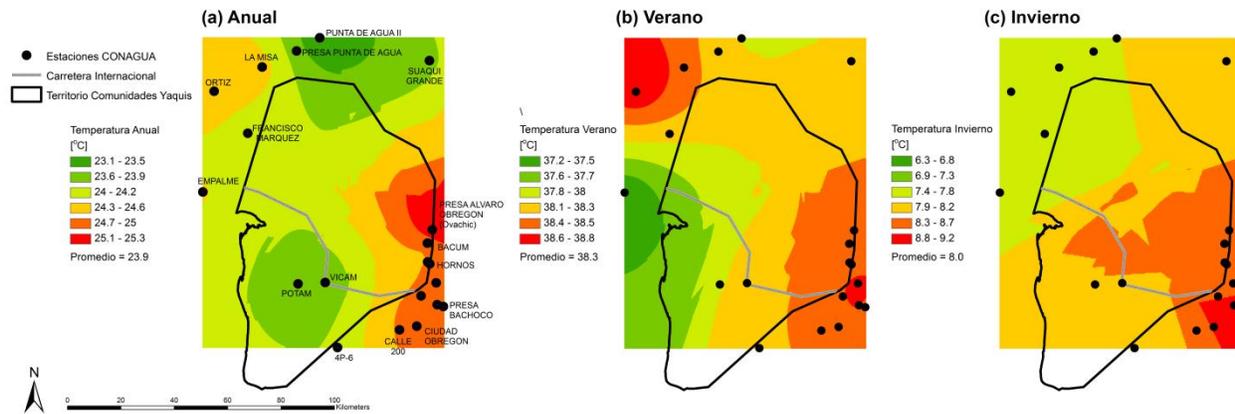


Figura 8. Variabilidad espacial de la temperatura en el Territorio de las Comunidades Yaquis: (a) media anual (1 Ene a 31 de Dic); (b) Media durante el verano de las temperaturas máximas registradas (21 Jun a 27 de septiembre); y (c) Media durante el Invierno de las temperaturas mínimas registradas (1 Dic al 28 de Feb).

Sequías

Se determina que una sequía ocurre cuando la disponibilidad de agua se encuentra por debajo de los promedios históricos en una región dada (Lloyd-Hughes, 2014). La causa principal de toda sequía es la falta de lluvias o precipitaciones, este fenómeno se denomina sequía meteorológica (Lloyd-Hughes, 2014). Si la falta de agua (sequía) está ligada al nivel de demanda de agua existente en la zona para uso humano e industrial entonces se habla de escasez de agua. Existen varios índices que nos ayudan a determinar si se está o no en una sequía meteorológica. En México, la Comisión Nacional del Agua y el Servicio Meteorológico Nacional son los organismos oficiales que determinan si hay o no sequía. La clasificación de la Intensidad de la Sequía se realiza utilizando el Monitor de Sequía de América del Norte (NADM). El NADM es el resultado de la cooperación técnica entre expertos de sequía de México, Estados Unidos y Canadá (ver Fig.10a). Además de utilizar el monitor de sequías, la CONAGUA determina mes con mes el índice estandarizado de precipitación (SPI por sus siglas en inglés) (ver Fig. 10b). De acuerdo con esta clasificación el territorio de las comunidades Yaquis se encuentra actualmente

en condiciones de sequías normales o anormalmente secas. Sin embargo, la región ha sido afectado por sequías moderadas hasta extremas en el pasado, como por ejemplo la ocurrida en el periodo de 1950-1957 o de 1994-2000 (Nicholas y Battisti, 2008; Sosa-Nájera et al. 2010).

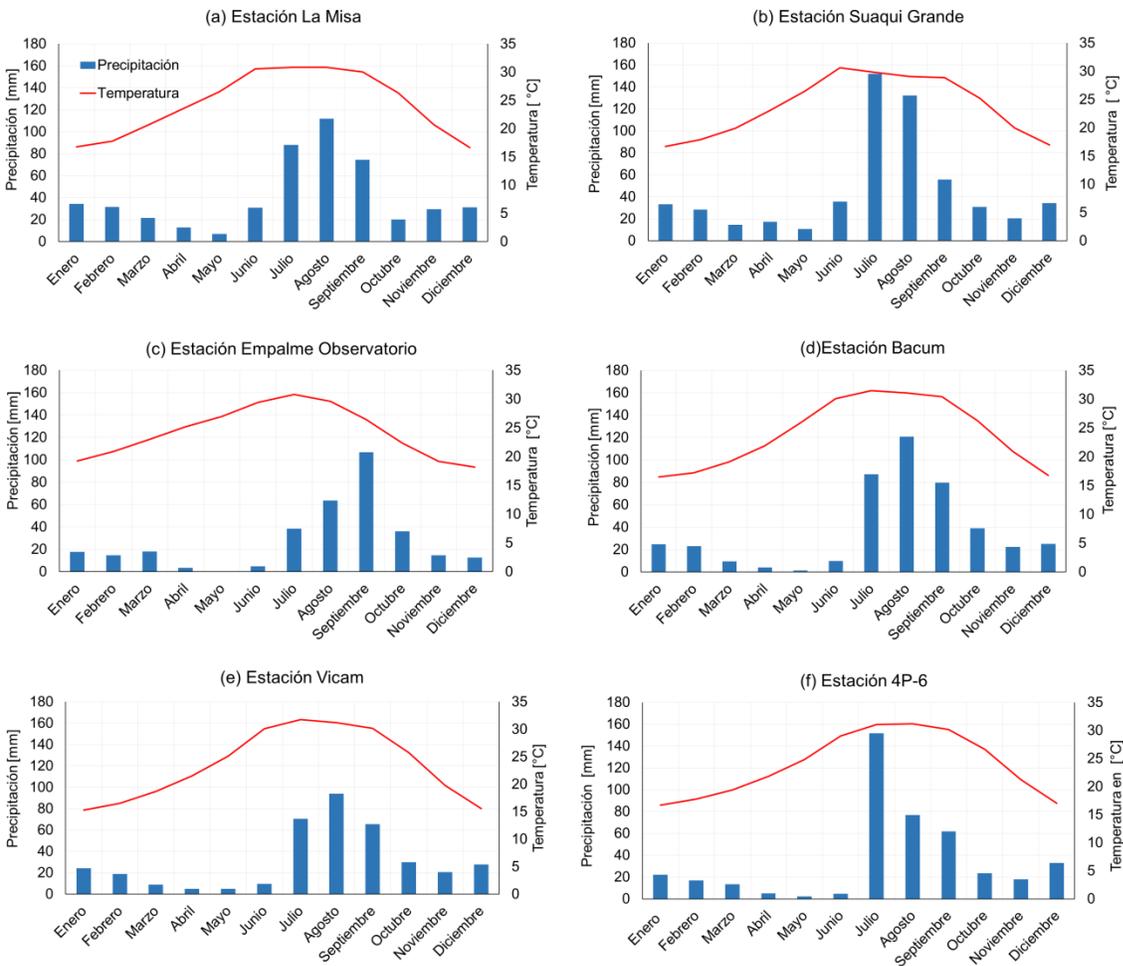


Figura 9. Variabilidad temporal de la precipitación y de la temperatura en seis estaciones ubicadas en puntos cardinales y que son representativas de los distintos climas observados en las comunidades del territorio Yaqui; (a) La Misa; (b) Suaqui Grande; (c) Empalme; (d) BÁCum; (e) Vicam; y (f) 4P-6. Resultados de precipitación y de temperatura indican el promedio histórico en cada mes del año.

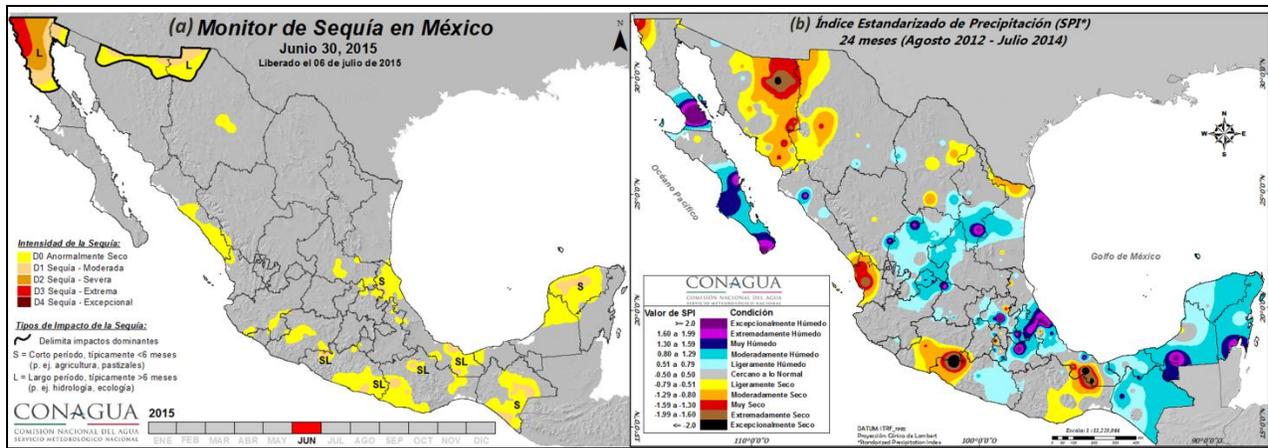


Figura 10. Clasificación de las sequías en México utilizando el: (a) Monitor de sequías de Norte América (NADM) y (b) el índice estandarizado de la precipitación (SPI). Fuente: Comisión Nacional del Agua / Servicio Meteorológico Nacional.

Heladas

La helada es un fenómeno climático que consiste en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele depositándose en forma de hielo en las superficies. Las heladas tienen un impacto muy fuerte en los organismos que viven en los suelos y en la vegetación, en particular para la zona agrícola en el sur del Estado de Sonora. La ocurrencia de heladas es importante debido a que afectan el rendimiento del trigo, uno de los principales cultivos de esta región (Monterroso y Conde, 2015). Para el Estado de Sonora, según el INEGI se tiene registrado un promedio de heladas de 10 a 30 días al año, 23 días en la Presa la Angostura, 22 en Nogales y solo 5 en Ciudad Obregón, donde las heladas ocurren principalmente en los meses de Enero y Febrero.

Para determinar el impacto de heladas en el territorio Yaqui se analizaron los datos históricos de 21 estaciones cercanas (ver Tabla 1). De los registros se consideraron el número de días de cada

año en donde las temperaturas eran iguales o menores a cero grados. De ahí se calcularon los días bajo cero promedios históricos para cada estación (ver Fig.11). Sin embargo, es importante aclarar que en muchas estaciones los eventos (días) en donde las temperaturas eran menores que bajo cero solamente ocurrían en unos cuantos años muy separados entre sí. Solamente las estaciones cercanas a la serranía (zona noreste del territorio Yaqui) se ven afectadas constantemente por problemas de heladas. De acuerdo con la clasificación oficial del servicio meteorológico nacional, las heladas que afectan al territorio Yaqui se clasifican como heladas suaves y medias. Las heladas suaves se caracterizan porque las temperaturas bajan un poco por debajo de 0°C de forma excepcional y las temperaturas vuelven a subir pasadas pocas horas. Las heladas medias se caracterizan porque las temperaturas bajan por debajo de 0 °C durante las noches y algunos días del invierno, siendo muy excepcional que se registren temperaturas por debajo de -10 °C. Las heladas fuertes ocurren cuando las temperaturas se mantienen por debajo de -10 °C. Sin embargo, de acuerdo con el análisis histórico de las 21 estaciones alrededor del territorio de las comunidades Yaquis, nunca se han presentado heladas de este tipo.

Tabla 1. Características de las estaciones climatológicas de Servicio Meteorológico Nacional utilizadas para el análisis climático histórico en las comunidades del territorio Yaqui.

Estaciones CONAGUA	Coordenadas (UTM)		Precipitación [mm]			Temperatura [°C]			Heladas		
	X	Y	Anual ¹	Verano ¹	Invierno ¹	Anual ²	Maxima ³	Minima ³	No. Dias ⁴	No. Años ⁵	Dias / Año
CIUDAD OBREGON - 018	603947	3041785	377.6	258.8	74.5	25.0	46.5	-2.0	4	2	2.0
EMPALME OBS *	523799	3092149	257.4	197.6	75.8	24.3	46.0	0.0	32	3	10.7
HORNOS - 143 *	608033	3065897	394.5	281.4	77.8	24.2	48.5	-4.5	18	10	1.8
PSA. ALVARO OBREGON - 068	609741	3077965	406.3	287.2	81.1	26.0	48.0	-2.0	2	2	1.0
PSA. PUNTA DE AGUA - 073	558933	3145027	404.8	297.7	81.6	23.7	48.0	-6.5	124	20	6.2
VICAM - 107	569662	3058197	317.0	221.1	72.9	23.5	49.0	-6.0	220	42	5.2
SUAQUI GRANDE - 125 *	608714	3141430	457.7	332.7	82.6	23.7	50.0	-5.0	251	27	9.3
ORTIZ F.F. C.C. - 162*	527998	3129942	238.6	190.5	23.7	24.5	49.0	-4.0	11	5	2.2
FRANCISCO MARQUEZ	540639	3114184	255.8	181.0	41.1	23.9	46.0	-1.0	7	5	1.4
PUNTA DE AGUA II - 223	567575	3149986	444.7	325.2	88.5	22.8	47.0	-7.0	325	34	9.6
COL. YAQUIS - 235	608041	3072978	407.9	297.2	69.6	24.8	47.0	0.0	2	2	1.0
KM 24 (BACUM.) *	607943	3072944	379.0	279.8	70.6	24.0	46.0	-1.0	6	4	1.5
LA MISA - 264	546009	3139025	341.8	245.4	126.8	24.6	50.0	-0.5	4	2	2.0
PSA, BACHOCO - 287 *	613941	3049179	413.1	298.7	84.7	24.5	46.0	0.0	1	1	1.0
4P6 - 292*	574268	3033795	269.0	179.4	71.3	24.0	48.5	-2.0	10	7	1.4
CALLE 200 - 403*	597500	3040420	286.5	193.7	65.3	24.7	48.0	-3.0	11	5	2.2
KM 14 - 301*	608806	3065196	389.7	263.9	74.5	25.2	49.0	-1.0	3	1	3.0
KM 25 - 301*	611227	3058078	421.4	310.7	85.5	24.5	49.0	-2.0	21	12	1.8
KM 39 - 302	611576	3049865	395.8	311.9	54.5	25.1	48.0	-2.0	4	2	2.0
PORFIRIO DIAZ - 297 *	605569	3053166	368.5	263.7	90.2	24.7	48.0	-2.0	25	6	4.2
K-73 POTAM	559480	3057684	264.8	200.5	62.9	23.4	47.0	-2.5	17	7	2.4

¹ Promedio histórico del total de la precipitación acumulada en cada periodo. Verano del 21 de Jun al 27 de Sept; Inviernos del 1 de Dic al 28 de Feb.

² Promedio anual calculado a partir de temperaturas medias diarias, las cuales se calcularon tomando el promedio entre la temp max y minima diaria.

³ Temperaturas maximas y minimas registradas historicamente.

⁴ Estimacion de las heladas esta basada en los dias en donde las temperaturas eran iguales o menores a 0°C.

⁵ Numero de años en donde hubo un dia en donde se registraron temperaturas iguales o menores a 0°C.

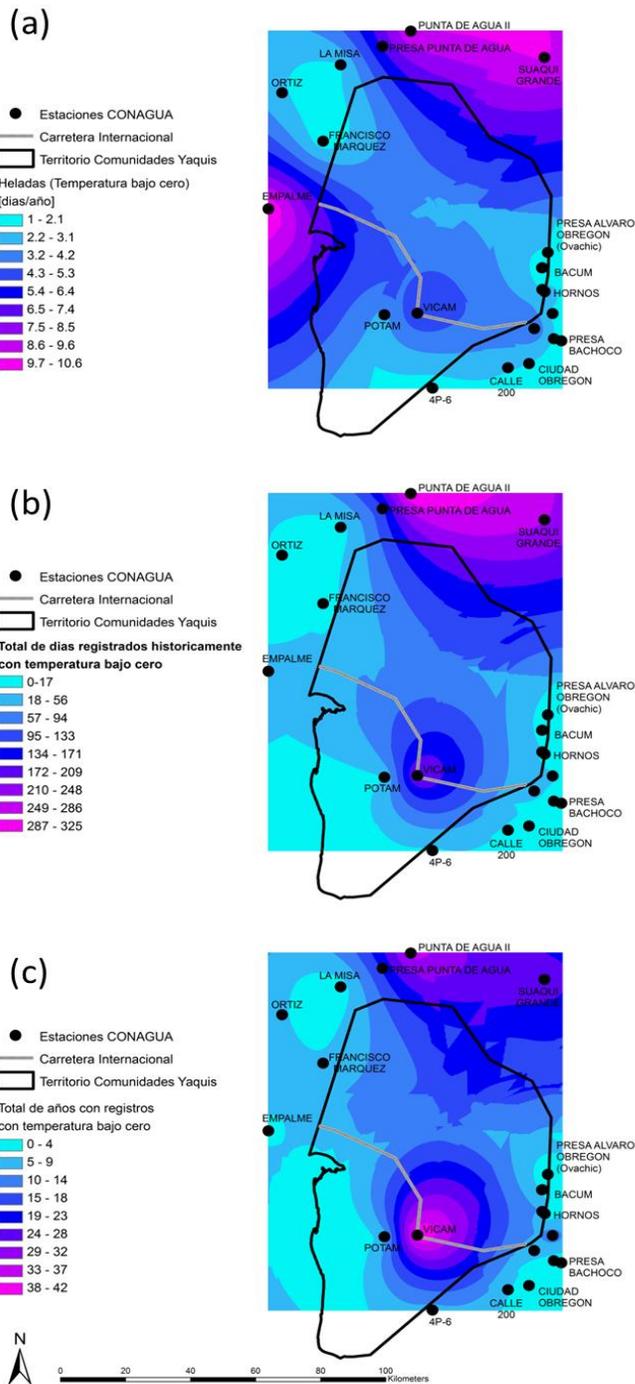


Figura 11. Variabilidad espacial de la ocurrencia de heladas en el territorio de las comunidades Yaquis; (a) Promedio de días al año en donde la temperatura registrada fue de 0°C o menor; (b) Días totales registrados históricamente bajo cero grados; y (c) número de años con registros bajo cero.

Conclusiones

Este trabajo presenta un resumen actualizado de las características climáticas en México, en Sonora y en particular en el territorio de las comunidades Yaquis. Se considera que este trabajo aporta una descripción más localizada de la variabilidad espacial y temporal de distintos elementos climáticos a diferencia de la información oficial que presenta resultados a una mayor escala espacial. En base al análisis de estaciones alrededor del territorio Yaqui se puede observar que la precipitación exhibe mayor variabilidad espacial de la que se consideraba previamente. Donde las estaciones más costeras registraron menor precipitación anual histórica en comparación con las estaciones ubicadas en la región noreste del territorio. La precipitación mostró variabilidad interanual, donde los meses con mayor precipitación fueron julio, agosto y septiembre. Dicho patrón se observó en las 21 estaciones analizadas y es ocasionado por la influencia del Monzón de Norte América. Las temperaturas máximas y mínimas no presentaron mucha variabilidad espacial. La temperatura media histórica anual puede variar en un rango de aproximado de 2°C entre estaciones. En el territorio yaqui, la variabilidad en las heladas es muy notoria espacialmente, donde se observa un gradiente con mayor número de días en las zonas más cercanas a la sierra que disminuye hacia las costeras. En general el problema de las heladas no es muy frecuente. En cuanto a las sequías, el territorio Yaqui recibe precipitaciones bajas históricamente. Dichas precipitaciones se han mantenido constantemente, lo que ha resultado en condiciones de sequía normales y solamente con sequías extremas en un par de ocasiones históricamente.

Literatura citada

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN970-321010-4. Libro 6, 98 pp.

INEGI, 2000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora. Talleres gráficos de INEGI. Aguascalientes, México.

INEGI, 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Sonora 2014 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2014.

Lloyd-Hughes, B. 2014. The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*. 117(3-4), 607-611.

Monterroso, A. y Conde, C. 2015. Exposure to climate and climate change in Mexico. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 6(4), 272-288.

Nicholas, R. E., Battisti, D.S., 2008, Drought recurrence and seasonal rainfall prediction in the Río Yaqui Basin, Mexico. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 47, 991-1005.

Pielke, R.A., 2008. A broader view of humans in the climate system. American Institute of Physics. S-0031-9228-0811-230-3. Disponible en línea en http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/spring08/atmo336s1/courses/spring12/atmo336s2/lectures/sec5/Pielke_PhysToday_Nov2008.pdf

Sosa-Nájera, S., Lozano-García, S., Roy, P. D., Caballero, M. 2010. Registro de sequías históricas en el occidente de México con base en el análisis elemental de sedimentos lacustres: El caso del lago de Santa

María del Oro. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 62(3), 437-451.

Valencia, P. F., Enríquez, J. E. O., Dávila, G. F., Quiróz, J. G. Q., & Grageda, J. G. 2009. Horas frío en relación al rendimiento de trigo. Centro de Investigación Regional del Noroeste. SAGARPA. Folleto técnico No 69. Cd. Obregón Sonora.

1.3 Hidrología del Territorio Yaqui

Por Jaime Garatuza Payán¹

¹Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, Col. Centro. Obregón, México.

Email: jaime.garatuza@itson.edu.mx

Introducción

En el discurrir de su historia, el pueblo Yaqui, ubicado en el sur del estado de Sonora, una región semiárida, ha sobrevivido a destierros, esclavitud, ataques militares y batallas por conservar sus reservas de agua. Sin agua, la tribu tendría que abandonar su territorio.

La descripción de la hidrología del Territorio Yaqui es importante para entender que los yaquis han utilizado históricamente el agua del río para su sobrevivencia cultural y económica, siendo el principal problema que ha enfrentado el acceso al agua. Esto se ha agravado en las últimas décadas debido a que el caudal de agua de ríos y arroyos ha disminuido, por diferentes razones y se espera que disminuyan aún mas por los efectos del cambio climático. También “además de ello, el río Yaqui es fundamental en la ritualidad y cosmovisión de dicha tribu, toda vez que es el principal elemento productivo del grupo, por lo que es parte de los mitos de creación y símbolo en el llamado *huya ania* (el mundo del monte), lugar mítico en el que deambulan seres benignos

y malignos que le dan sentido a la normatividad de ese grupo, siendo por ello de alta importancia su protección.”

Características morfométricas de la región

El comportamiento hidrológico de una región y la erosión y producción de sedimentos están condicionados por una serie de propiedades morfométricas, como el tamaño, la forma y la pendiente. La forma, el suelo y sus usos reales resultan muy importantes en la respuesta de una cuenca a las precipitaciones y en el trasiego de materiales desde las zonas altas a las bajas. La mayor parte de las propiedades morfométricas actúan incrementando el volumen del flujo y la velocidad de su movimiento (Jones, 1997; Ward y Robinson, 2000). Existe una relación fundamentada entre las características morfométricas de una región y los caudales máximos (Jones, 1997), si bien, no puede ser extrapolada, en la mayoría de los casos, por la variabilidad relativa a las condiciones geológicas, edafológicas, climáticas y a los aprovechamientos del suelo y sus prácticas. Existen una gran variedad de índices morfométricos (Horton, 1945; Strahler, 1964; Shreve, 1967) que permiten caracterizar a una región y compararla con otras en términos de su respuesta frente a determinadas condiciones hidrológicas.

El territorio yaqui cuenta con una extensión de 6,054 km², pertenece a la Región II del Noroeste mexicano (Región Hidrológica 9) y está situada en el sur del Estado de Sonora, entre las cuencas del río Yaqui (72,000 km²) y la del río Mátape (8,003.5 km²). Se ubica en la Provincia de Sierras Sepultadas, en la Subprovincia del Desierto de Sonora, y en el comienzo de la Subprovincia de Sierras y Valles Paralelos perteneciente a la provincia de la Sierra Madre Occidental. Las formas geomorfológicas dominantes pueden agruparse en valles, sierras y terrazas condicionadas por la

tectónica de régimen extensional ocurrida en el área desde el Oligoceno que generó una fracturación NNW de rift-intraplaca.

La Tabla 1 muestra las principales características morfométricas e hidrográficas del territorio yaqui. El rango de altitud varía desde los 1,013 msnm hasta la costa, con un promedio próximo a los 145 msnm, mostrando el dominio de los valles y planicies frente a las zonas elevadas. En la Fig. 1 pueden verse espacialmente las características topográficas del área donde dominan una zona elevada al centro noroeste del Territorio, la Sierra del Bacatete, que genera la mayor parte de los escurrimientos hacia el este y oeste de la región. En este sentido, las curvas hipsográficas mostradas en la Fig. 2 presentan una topografía con pocos resaltes acompañada de una amplia región de laderas de suaves pendientes que resulta en un factor de perfil elevado como consecuencia de los desniveles del terreno.

Una de las principales propiedades morfométricas de una región es la pendiente (las mayores pendientes tienen una respuesta más rápida al escurrimiento generado por las precipitaciones, en función del tipo de suelo y uso existentes; Sherman, 1932; Horton, 1945; Strahler, 1964). El Territorio Yaqui presenta pendientes relativamente bajas ($5.4 \pm 9.45\%$), excepto en las zonas más elevadas. Esta pendiente y su distribución – mayores en las zonas elevadas y menores en las planicies costeras y valles– genera que el escurrimiento se ralentice al llegar a perder pendiente en las zonas llanas y bajas de la cuenca, donde principalmente el agua se infiltra, como es el caso de la planicie de inundación del Río Yaqui, al sur del territorio. (Fig. 3). Las mayores pendientes aparecen relacionadas con los materiales mesozoicos y terciarios de origen volcánico mientras las menores lo hacen con los rellenos cuaternarios.

Tabla 1. Principales características morfométricas del Territorio Yaqui

Área total	6,054 km ²
Perímetro	439.14 km
Altitud media	145.32 msnm
Desviación Standard altitud	152.29 msnm
Rango de elevación	0-1013 msnm
Pendiente media	5.4° (12%)
Desviación estándar de pendiente	9.45° (21%)
Longitud Eje axial	117.14 km
Longitud Eje transversal	71.69 km
Número de total de órdenes en canales	3
Canales de primer orden	39
Canales segundo orden	17
Canales tercer orden	3
N° total de canales	59
Longitud de canales	1,523.11 km
Longitud de canal mayor	275.02 km
Desnivel medio del drenaje	219 m
Pendiente media del cauce del canal mayor	0.248% 2.48 m/km (0.11°)
Drenaje	Subsecuente-dendrítico
Densidad de drenaje	0.56 km/km ²
Longitud al centro del área (Lca)	58.57 km
Factor de forma (Ll)	0.44
Coefficiente de forma (K _f)	0.81
Coefficiente de homogeneidad (CH)	0.72
Índice de elongación (Ia)	1.63
Cociente de elongación (Re)	1.328
Cociente de circularidad (Rc)	0.63
Índice de compacidad (Ic)	1.59

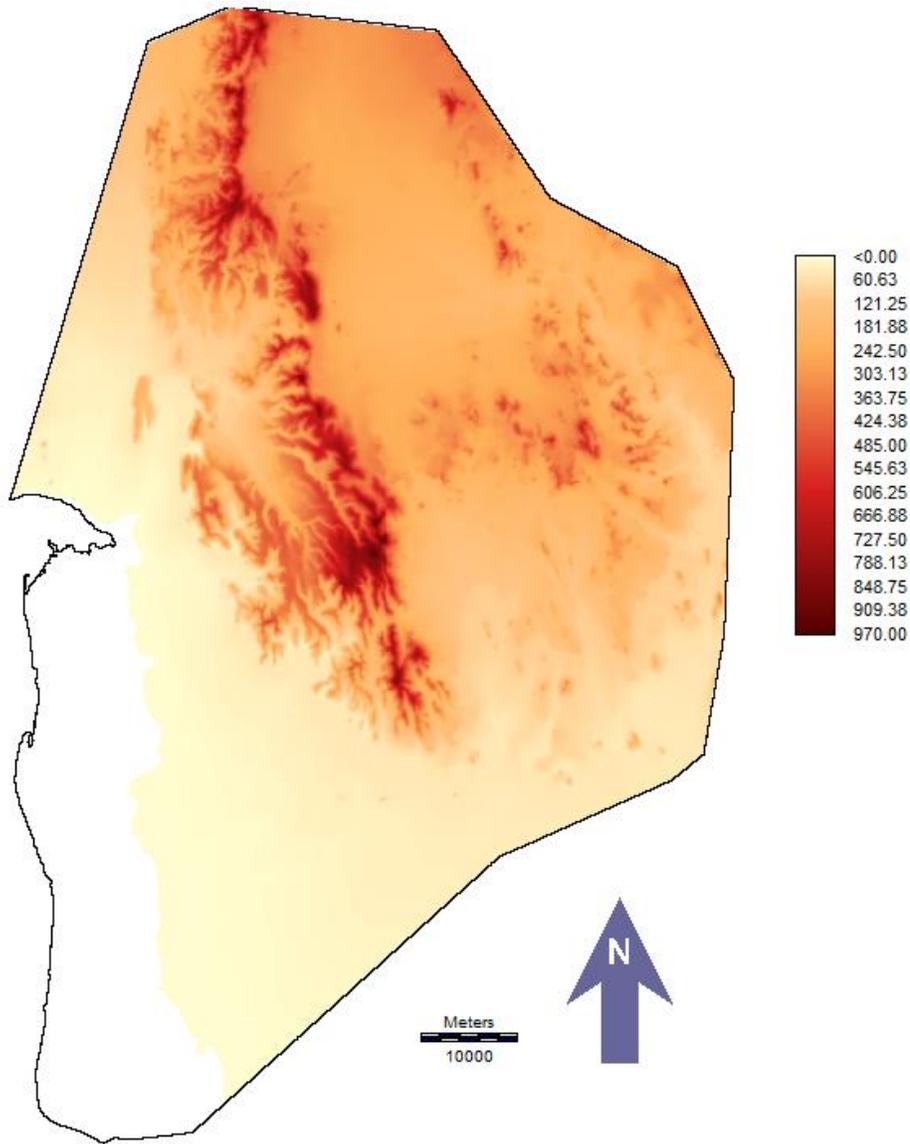
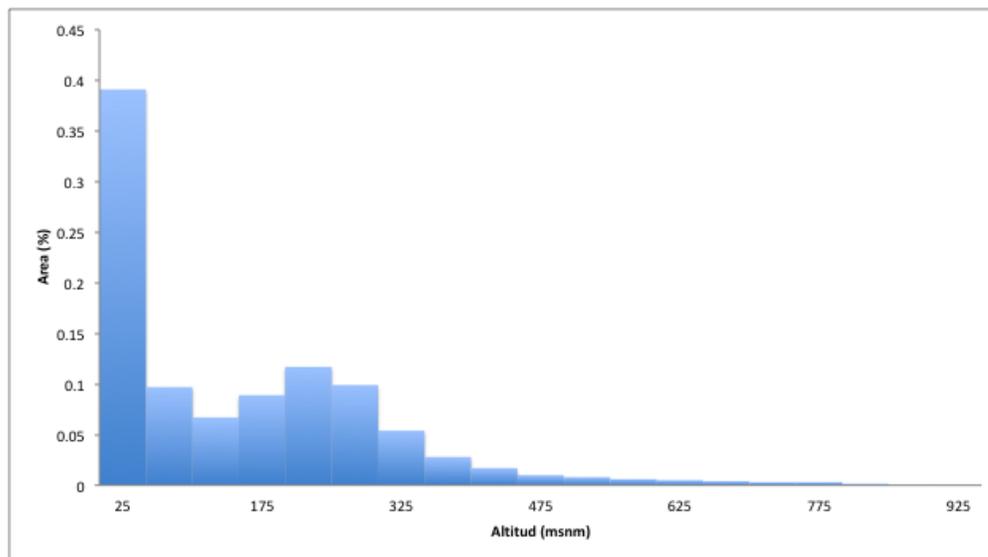


Figura 1. Modelo digital de elevación del Territorio Yaqui (en metros).

La forma de una cuenca ha sido comparada con diferentes formas ideales para evaluar el efecto en los tiempos de viaje del agua que escurre (tiempo de la onda de crecida hasta la desembocadura de un río). El índice de compacidad (Knighton, 1998) compara la longitud del perímetro con la circunferencia de un círculo con igual superficie que la cuenca. El índice de circularidad (Easterbrook, 1999) compara el área de la región con el área de un círculo cuya

circunferencia es igual al perímetro de la región, es decir, lo contrario al índice de Gravelius. La razón de elongación compara la longitud del eje mayor de la zona con el diámetro de un círculo de igual área, mientras que el factor de forma de Horton (1945) compara el área de la región con la de un cuadrado con los lados iguales al eje mayor de la zona. Cuanto más cercano esté el índice de compacidad a la unidad se considera que la región tiene una forma más circular y que por tanto es más compacta, aumentando conforme disminuye la compacidad. El Territorio Yaqui presenta una compacidad media (Tabla 1) mostrando una forma oval poco alargada en dirección N-S, en la que el eje axial es solo 60% mayor que el transversal. Los valores del índice de circularidad oscilan entre 0 y 1, y el máximo valor equivale a una cuenca de forma circular.



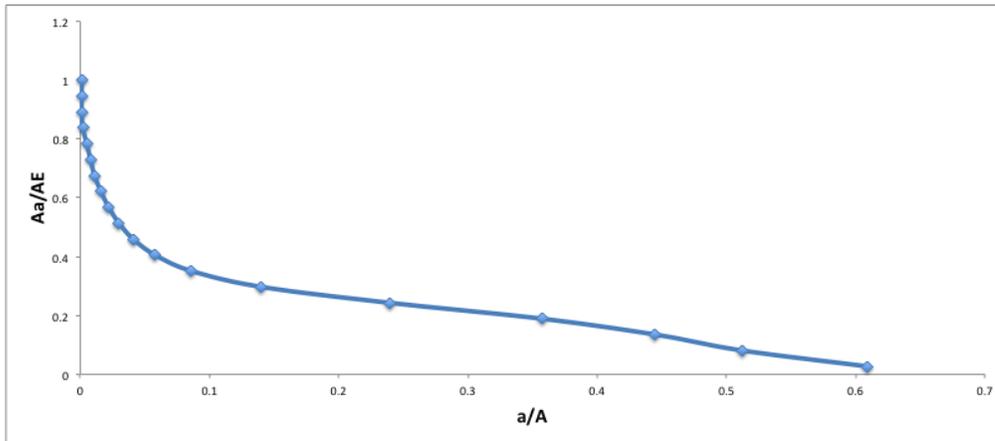


Figura 2. Curvas hipsográficas del Territorio Yaqui. Superior: frecuencias de distribución de la altitud; Inferior: Distribución acumulada del área en relación a la altitud (Aa/AE : cociente entre el rango de elevación del intervalo y el rango de elevación absoluta; a/A : cociente entre las áreas en cada intervalo de altitud y el área total) mostrando el perfil.

Atendiendo a los resultados del factor podemos afirmar que Territorio Yaqui presenta una circularidad alta, confirmando el carácter circular del mismo (Tabla 1). El cociente de elongación confirma también esta forma (valores mayores a 1 implican formas mas redondeadas, Tabla 1). A diferencia de los anteriores índices analizados, la razón de elongación atiende a la relación del área con el cauce principal que la drena. Sin embargo, la denominación de cauce principal es variable y muy subjetiva en los casos en que no se dan fundamentos ni de ángulo, ni de tamaño, ni de cotas, que diferencien una subcuenca de otra, especialmente cuando nos encontramos en bajos órdenes jerárquicos (Senciales, 1999). Los valores del cociente de elongación observados están relacionados con las bajas pendientes. En este caso, este carácter está asociado a la variación de los cauces a lo largo de su llanura como ocurre en las cuencas deltáicas (Yaqui, Mayo y Fuerte).

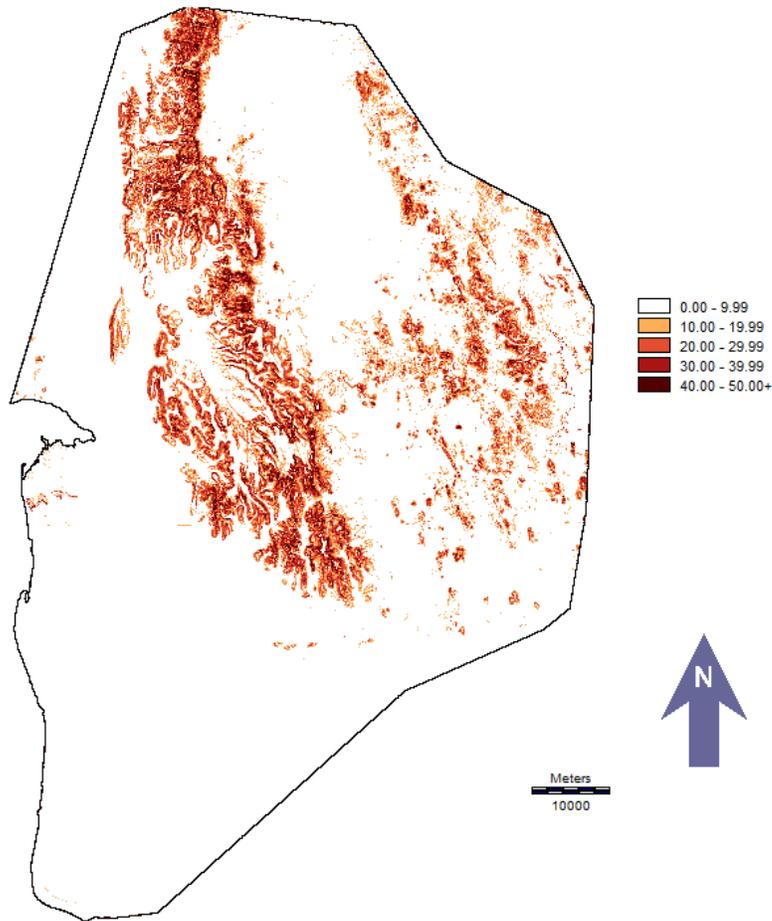


Figura 3. Mapa de pendientes (en %) del Territorio Yaqui.

La red de drenaje es el sistema jerarquizado de cauces, desde los pequeños surcos hasta los ríos, que confluyen unos en otros configurando un colector principal para toda una región hidrográfica. Su función es el transporte de materia y energía desde el interior y hacia el exterior. Desde una perspectiva ecológica es un ejemplo de auto organización. La morfología de la red, la densidad de drenaje y los órdenes jerárquicos alcanzados son parámetros fundamentales de estudio que dependen de los caracteres geomorfológicos y bióticos del sistema. El análisis morfométrico y la obtención de la red de drenaje (Fig. 4) se realizó a partir del modelo digital de elevación del terreno (DEM a 15 m) usando el software IDRISI marcando como límite inferior

100,000 celdas (225 km²) de confluencia de flujo. Con este método es posible obtener todos los cauces tanto permanentes como intermitentes que pueden funcionar conectados en momentos de crecidas a partir de todos los thalweg (línea que conecta las partes más bajas de un valle) que son apreciables sobre el DEM.

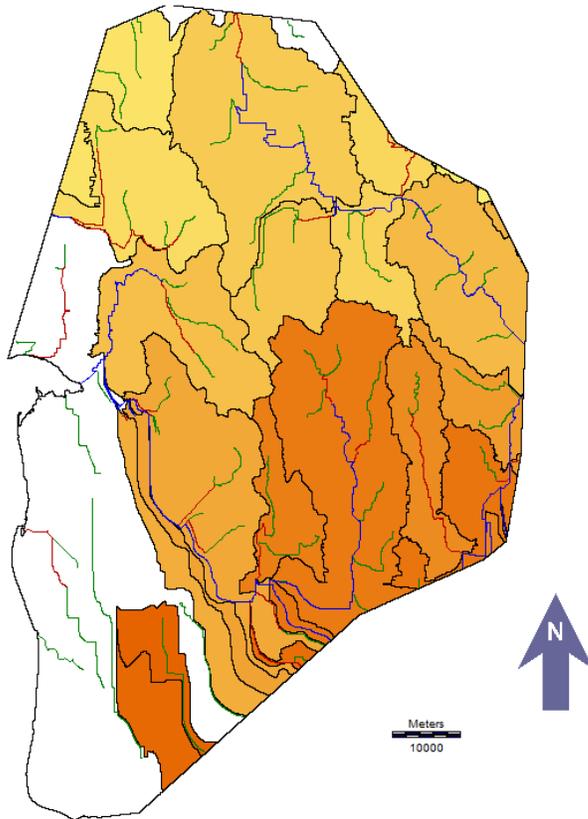


Figura 4. Principales subcuencas y red de drenaje del Territorio Yaqui. Las líneas verdes son cauces de primer orden, las rojas de segundo orden y las azules de tercer orden.

El estudio de la red de drenaje puede abordarse de dos formas, ambas indicadoras de los procesos erosivos a través de la mutua influencia de sus parámetros y de la relación con los demás componentes del medio (Cuesta, 2001). La primera consiste en un análisis descriptivo de la red fluvial, relacionándola tanto con las características litológicas y geológicas del sustrato, como también con la forma y textura de la red de drenaje. Así, la dinámica erosivo-sedimentaria

de la red hidrográfica es el resultado de un sistema de transferencia de materia y energía cuyo grado de eficiencia se refleja en la disposición espacial de la red de drenaje (Cooke y Doornkamp, 1974). Existen numerosos estudios que describen y cuantifican redes de drenaje (e.g. Way, 1978; Morisawa, 1985).

La longitud de la red de drenaje en el Territorio Yaqui es de 1,523.1 km, con una longitud del canal mayor de 275 km. En términos generales, la red de drenaje se puede considerar como subsecuente, es decir, originada por erosión selectiva hacia cabecera o por ajustes de los cursos fluviales a las rocas de menor resistencia por erosión diferencial (este es un caso común de red desarrollada en zonas tectónicas con materiales de diferente resistencia; Easterbrook, 1999). El patrón de drenaje es dendrítico, desarrollado por erosión aleatoria hacia la cabecera, aunque en algunos casos particulares el patrón cambia a rectangular e incluso angular por la actividad tectónica registrada en la Sierra del Bacatete. Las principales subcuencas de la región se muestran en la Fig. 4, contabilizándose, en función de la densidad de drenaje calculada, hasta 5 subcuencas que vierten sus aguas directamente a la Presa Alvaro Obregón (Oviáchic), 6 que drenan las precipitaciones en la Sierra del Bacatete, hacia el Oeste y 2 hacia el Este, que finalmente convergen al Río Yaqui y 5 subcuencas más vierten sus aguas directamente en el mar, sin conexión con el anterior (incluyendo varios canales efímeros e intermitentes situado en la porción Suroeste).

Cada canal requiere una cierta cantidad de superficie de drenaje desde la que coleccionar su agua en forma de flujo no canalizado (overland flow), por lo que Horton (1945) definió esta medida como la densidad de drenaje para estimar cómo es la capacidad de drenaje (pobre o buena) de

una cuenca. Esta medida relaciona la longitud total de canales en una cuenca con el área total de la misma, y en el caso del Territorio Yaqui, la capacidad de drenaje es baja. En este sentido, el factor de forma y la textura de la cuenca (Way, 1978) clasifican a la red de drenaje considerando la influencia de factores litológicos, edáficos y topográficos, con la permeabilidad del suelo como uno de los factores claves para ver la capacidad de drenaje.

Existen diferentes métodos de jerarquización de la red de drenaje. Los propuestos por Horton (1945), Strahler (1964), Shreve (1966) y Scheidegger (1965), son los más comunes y sólo difieren en la jerarquización de los tributarios. Para establecer la jerarquización de los cauces del Territorio Yaqui se usó el método de Horton, por ser el que define, en mayor grado, tanto el carácter hidrológico como la capacidad de carga hidráulica de los canales. De esta forma la región resultó de orden 3, con un total de 59 canales (Fig. 4). Según Horton (1945), en igualdad de condiciones en relación al área, clima y sustrato, a mayor orden jerárquico de una región mayor es su grado de desarrollo fluvial. En nuestro caso podemos considerar que éste es medio, principalmente limitado por el clima y por el sustrato. De la clasificación jerárquica, Horton (1945) y Strahler (1964) definieron una serie de leyes morfométricas que relacionan el número de cauces, sus longitudes, pendientes y áreas de drenaje en una cuenca con el orden de los cauces, basándose, por ejemplo, en que la longitud de los cauces afecta claramente a los cocientes de recogida de aguas y a su transmisión aguas abajo.

La densidad de drenaje (Horton, 1945) es otra propiedad que controla la eficiencia del drenaje y señala el estado erosivo (Jones, 1997). Diversos autores han relacionado este parámetro con la precipitación y su efectividad (Melton, 1957; Madduma Bandara, 1974). Sin embargo, no parece

demostrarse mayor relación entre la densidad de drenaje y el caudal. El valor estimado para el Territorio Yaqui es de 0.56 km/km^2 , que indica una densidad de drenaje media, por el recubrimiento vegetal, la litología y las escasas lluvias. Según Chorley (1969), la densidad de drenaje afecta al tipo de escorrentía y así, en zonas de alta densidad, la escorrentía recorre la superficie rápidamente, rebajando el tiempo de concentración e incrementando el pico de crecida, al haber menor infiltración. De este modo, en el área de estudio se deben esperar tasas de infiltración altas con desarrollo de flujo subsuperficial, que debe incrementar el tiempo de concentración y atenuar los caudales pico. En la parte baja de la cuenca, las bajas pendientes y los usos agrícolas han supuesto una simplificación y concentración de los cursos de agua, que deberían generar menores riesgos de inundación; sin embargo, el escurrimiento en ladera en forma de arrollada en manto puede generar más erosión y mayor eficiencia en el transporte de partículas hacia el exterior de la cuenca y, en ocasiones, crecidas de mayor grado e intensidad, aunque de menor duración.

Finalmente, en la zona no existen vasos de almacenamiento de importancia, aunque se pueden observar un número importante de bordos de tierra sobre los cauces, principalmente en la zona centro-norte de la región. Los repesos formados por estos bordos, aunque son de utilidad al servir para abrevadero del ganado, constituyen un freno a los escurrimientos. Estos repesos, por un lado, disminuyen los escurrimientos aguas abajo, pero, por otra parte, incrementan el tiempo de infiltración dando mayor oportunidad a la recarga de aguas subterráneas.

Literatura citada

Chorley, R. J. 1969. The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. En: Chorley, R.J. (Ed.), Introduction to Physical Hydrology. Methuen Editors, Londres, Reino Unido. pp. 37-59.

Cooke, R.U. y Doornkamp, J.C. 1974. Geomorphology in Environmental Management. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.

Cuesta, M. J. 2001. Dinámica erosiva en los paisajes de la cuenca del río Guadajoz (Córdoba y Jaén). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

Easterbrook, D. J. 1999. Surface processes and landforms, 2nd Edition. Prentice-Hall, New Jersey, Estados Unidos.

Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America, 56: 275-370.

Jones, J. A. A. 1997. Global hydrology: processes, resources and environmental management. Addison-Wesley, Londres, Reino Unido.

Knighton, D. 1998. Fluvial forms and processes. Arnold Hodder Headline Group, Londres, Reino Unido. 383 pp.

Madduma Bandara, C. M. 1974. Drainage density and effective precipitation. Journal of Hydrology, 21: 187-190.

Melton, M. A. 1957. An analysis of the relation among elements of climate, surface properties and geomorphology. Technical Report No. 11, Department of Geology, Columbia University, New York, Estados Unidos.

Morisawa, M. E. 1985. Rivers: forms and process. Longman, Londres, Reino Unido.

Scheidegger, A. E. 1965. The algebra of stream-order numbers. United States Geological Survey Professional Paper, 525-B: 1-187.

Senciales, J. M. 1999. Redes fluviales, metodología de análisis. Estudios y Ensayos 34, Universidad de Málaga, Malaga, España.

Sherman, L. K. 1932. The relation of hydrographs of runoff to size and character of drainage basins. Transactions of American Geophysical Union, 13: 332-339.

Shreve, R. L. 1966. Statistical law of stream numbers. Journal of Geology, 74: 17-37.

Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En: Chow, V. T. (Ed.), Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill, Suffolk, Reino Unido. pp. 4-39/4-76.

Ward, R. C. y Robinson, M. 2000. Principles of Hydrology. McGraw-Hill, Suffolk, Reino Unido.

Way, D. S. (1978). The interaction Between Urbanization and Land. Quality and Quantity in Environmental Planning and Design: land use descriptors technical documentation (NSF/RA-780417). Landscape Architecture Research Office, Graduate School of Design, Harvard University Press, Boston. Estados Unidos.

1.4 Geología del Territorio Yaqui

Por Gustavo Padilla-Arredondo¹, Sergio Pedrin Avilés^{1,2}

¹Laboratorio de Manejo Costero, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.,
Unidad Sonora,

²Correspondencia: Carretera a Las Tinajas, km 2.35 predio El Tular, C.P. 85465. Guaymas,
Sonora, México.

Email: spedrin04@cibnor.mx

Resumen

La sierra El Bacatete y la planicie aluvial constituyen los rasgos geomorfológicos más sobresalientes del territorio denominado Sierras y Valles Paralelos. La litología es predominantemente Cenozoica edificada en un ambiente tectónico extensional ocurrida en dos fases: a) BR-I. Fracturamiento de la placa Farallón generando tectonismo extensional con volcanismo extrusivo e intrusivo, seguido por denudación clástica depositada en cuencas intracontinentales; b) BR-II. Finalización de la subducción, la placa Pacífica toma un nuevo control, el desplazamiento tangencial entre ambas placas produce una nueva tensión que fractura a la placa Norteamericana para la apertura del Golfo de California. Se generó sedimentación marina transgresiva y volcanismo de tipo basáltico el cual aflora en la costa Sonorense y en el área de la sierra El Bacatete.

Introducción

Este trabajo es una compilación bibliográfica que describe en forma generalizada la litología y los eventos tectónicos de la región que circunda el Polígono del Territorio Yaqui. Para la representación gráfica de la litología se utilizó la cartografía nacional de rocas propuesta por INEGI (2002) escala 1: 1 000,000 y su nomenclatura correspondiente que agrupa de forma generalizada los tipos de roca por su origen (ej. intrusivas ácidas, o extrusivas básicas). Debido a la extensión del territorio se habrían requerido al menos 4 cartas 1:50,000 que incrementarían el nivel de detalle geológico rebasando el propósito de este capítulo. Para enfatizar la estratigrafía de sistema montañoso El Bacatete ubicado en el corazón del territorio Yaqui la litología y las relaciones estratigráficas fueron asistidas únicamente con la carta Geológico Minera G12-2 Guaymas escala 1: 50, 000 de Servicio Geológico Mexicano (SGM), (García-Cortéz y Siqueiros-López, 2002). Algunas de las unidades litológicas descritas en texto no aparecen cartografiadas debido a la escala del mapa o porque se ha inferido que se encuentran en el subsuelo (ej. Formación Tarahumara) o afloran fuera del área, pero se describen aquí debido a su importancia para apoyar los eventos geodinámicos que se describen.

Con base en la carta de INEGI 1:1 000,000 la litología el área que circunda el territorio cubre una extensión temporal desde el Cretácico Superior (85 Ma) hasta el presente, aunque existen afloramientos muy reducidos al norte-este de rocas sedimentarias del Triásico – Jurásico que pudieran estar relacionadas con rocas afines al área de San Marcial descritas por González- León y Lawton et al. (2011). También se ha documentado un hiato o vacío en el registro geocronológico en el intervalo Paleoceno-Eoceno (65 a 35 Ma) (Roldán-Quintana y Mora-Klepeis et al. 2004).

La litología dominante en el territorio Yaqui es del periodo Cenozoico que se edificó dentro de una fase extensional con volcanismo calcialcalino los cuales se asocian a un cambio importante en el proceso de subducción de tipo compresivo a uno transtensional y posteriormente extensional.

El análisis integral del marco tectónico regional del Cenozoico en Sonora, la geodinámica, sus efectos en la litología y las geoformas resultantes fueron sintetizadas por; Radelli (2005); Valenzuela-Rentería y Vázquez-López, et al. (2005); Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana (1998); Calmus y Vega-Granillo et al. (2011); McDowell y Roldán-Quintana et al. (2011) y Ferrari y Valencia-Moreno et al. (2005) para la evolución de la Sierra Madre Occidental la cual encierra muchas evidencias de la geodinámica de subducción en Sonora.

Otros estudios que describen a detalle formaciones geológicas relacionadas al área del territorio Yaqui son: Formación Tarahumara (Wilson and Rocha, 1949; Mérida-Montiel y Librado-Flores, 2009); Formación Báucarit (Bartolini y Damon et al. 1994) y un importante estudio de la exhumación de los complejos del núcleo metamórfico en el área de Mazatán (Vega-Granillo y Calmus, 2003) como evidencia del inicio del periodo extensional en Sonora.

De gran importancia han sido los estudios focalizados en sitios adyacentes al Territorio Yaqui como las aportaciones de Roldán-Quintana et al., (2004) y de García-Cortéz y Siqueiros-López, (2002) donde se describe el Graben de Empalme que incluye el pilar tectónico oriental Sierra el Bacatete. Se consideró también una estudio amplio y detallado de Sierra Libre y Santa Úrsula

(Barrera-Guerrero, 2010) que es el bloque montañoso occidental del Graven de Empalme, análogo a la sierra El Bacatete.

La secuencia de eventos que se describe en esta síntesis es especulativa respecto a la cinemática de la subducción, pero las evidencias de los patrones de ésta han sido asistidas por numerosos estudios sobre los estilos estructurales del fallamiento, la geoquímica, edad de las rocas y la expresión en relieve de los eventos tectónicos.

Fisiografía y geomorfología

El territorio Yaqui involucra tres provincias fisiográficas, cada una de las cuales a su vez contiene una subprovincia que influye directamente en las características estructurales y de relieve: a) Provincia II Llanura Sonorense la cual contiene a la subprovincia 08 (Sierras y Llanuras Sonorenses); b) Provincia III Sierra Madre Occidental que incluye la subprovincia 09 (Sierras y Valles del norte y c) Provincia VII Llanuras costeras del Pacífico que incluye a la subprovincia 32 (Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa). Más del 90% del territorio Yaqui se ubica dentro de las subprovincias Sierras y llanuras Sonorenses y Llanura costera y deltas de Sonora y Sinaloa. Una mínima porción de la subprovincia Sierras y Valles del Norte aparece al noreste del Territorio (Fig.1).

Subprovincia Sierras y llanuras Sonorenses

Ocupa aproximadamente el 62 % del territorio. Se compone de bloques orogénicos con fragmentos montañosos a una posición altimétrica más baja las cuales que se presentan como mesas y lomeríos compuestos lavas basálticas y afloramientos graníticos. La Sierra el Bacatete constituye el pilar tectónico principal el cual se orienta al N-NW y a los costados del alto

estructural se encuentran los valles aluviales con suelos fértiles bien desarrollados de uso agropecuario (Mendoza-Cantú, 1997; Roldán Quintana et al. 2004).

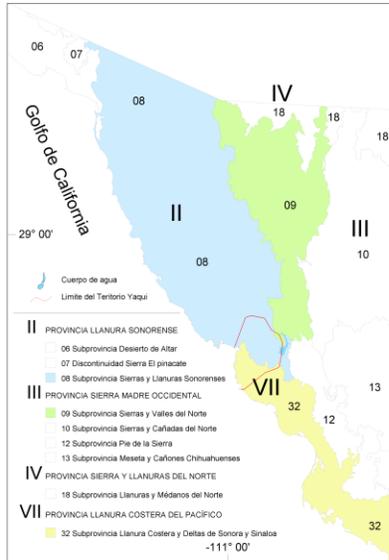


Figura 1. Provincias fisiográficas en el Territorio Yaqui. Fuente: INEGI (1993a, 1993b).

Subprovincia Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa

Dentro del territorio Yaqui esta subprovincia ocupa el 36% del área y la topografía dominante es una amplia llanura costera con abanicos deltaicos, lagunas costeras con manglar y planicies de inundación con salinas. También se reconoce la presencia de algunas playas arenosas, dunas costeras estabilizadas sobre la costa y cordones costeros de pequeñas dimensiones Mendoza-Cantú (1997).

La zona litoral desde la laguna costera Guásimas hasta la laguna Bahía de Lobos forma un amplio sistema lagunar-estuarino que representa el frente deltaico del Río Yaqui el cual contiene lagunas costeras con manglar que son de gran importancia para la comunidad Yaqui, los

principales cuerpos lagunares que lo integran son Estero Algodones, Las Guásimas y Bahía de Lobos.

El valle aluvial al oeste de Pótam y Vícam forma una planicie con buen sistema de drenaje, y presenta superficies dedicadas al uso agrícola con tecnología de riego. (Mendoza-Cantú, 1997).

Subprovincia Sierras y Valles del Norte

Se reconoce como las últimas estribaciones de la Sierra Madre Occidental cuya presencia en el territorio Yaqui es muy limitada, aproximadamente el 2% en el territorio y se restringe a una pequeña porción al noreste del polígono. Se caracteriza por presentar topofomas de bajada en lomerío en laderas al bloque de montaña y topofomas de valles Intermontanos amplios.

Con base en la regionalización de provincias fisiográficas presentada por Álvarez-Arellano y Gaitán-Morán (1994), el sistema costero de las Lagunas del Territorio Yaqui corresponde a la provincia Llanura Costera Oriental del Golfo de California, suprovincia Cuenca Yaqui/San Lorenzo/Acaponeta, que se caracteriza por presentar amplias llanuras costeras donde se han formado complejos deltáicos como los de los ríos Yaqui y Mayo. Lankford (1977) las clasifica como de tipo II-A que corresponde a lagunas con sedimentación terrígena diferencial, asociadas a prismas deltáicos, es típica la presencia de barras arenosas que encierran depresiones someras intradeltáicas, dando lugar a lagunas alargadas dentro de cordones de arena progradantes.

Litología

Mesozoico

Tríasico-Jurásico

La unidad más antigua corresponde a estratos sedimentarios de lutita-arenisca del Triásico-Jurásico (TR-J lu-ar) la cual aflora en extremo superior derecho (Fig. 2), aunque esta unidad no aflora en territorio Yaqui, forma parte de la geología circundante y puede ser correlacionable con alguna formación del Grupo Barranca descrito por González-León et al. (2011) quienes las interpretan de carácter continental transicional y con influencia marina por la presencia de fósiles bivalvos marinos y plantas. Se ha documentado que la parte inferior del grupo Barranca representa ambiente fluvial, pantanoso costero y marino somero; y la parte superior, ambiente costero, pantanoso y lagunar con incursiones marinas.

Cretácico superior

Está representado por rocas volcánicas ácidas e intermedias principalmente andesitas y tobas andesíticas (KIgei, KIgea) de la Formación Tarahumara con base en la Carta Guaymas del Servicio Geológico Mexicano SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997). Los afloramientos en el área se ubican al noreste del mapa. Estas unidades están intrusionadas por cuerpos graníticos y granodioríticos (KIgia) que se emplazaron durante el evento Laramide. Las unidades litológicas intrusivas y extrusivas descritas para el Cretácico Superior se extienden hasta el paleoceno. Este paquete de rocas forman el Grupo Nacozari (Grijalva y Roldán, 1998) el cual incluye a la Formación Tarahumara.

Cenozoico

Paleógeno

Para las épocas Paleoceno, Eoceno e inicios del Oligoceno no existen unidades litológicas aflorando en el área debido a un periodo de erosión o ausencia de depositación (Roldán Quintana, 2004), sin embargo a finales del Oligoceno (29 Ma) se ha reportado la existencia de un paquete de rocas compuesto por riolitas, dacitas y latitas (TIgei) y por unidades basálticas (TIgeb) las cuales están presentes en afloramientos muy reducidos. Estas rocas ígneas extrusivas se intercalan con conglomerados (Tcg) y con areniscas y conglomerados (Tar-cg), (Fig. 2).

Estas unidades se consideran como la primera emisión de un evento volcánico Oligo-Miocénico; relacionado con el inicio de un proceso tectónico extensional que produjo valles de rellenos clásticos, (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997). Este paquete de rocas extrusivas intermedias, basaltos, conglomerados y areniscas están afectados por un intrusivo hipabisal andesítico y riodacítico que por la escala del mapa no aparece cartografiado. A esta etapa de volcanismo extrusivo e intrusivo se le reconoce como evento pre-Báucarit (Calmus y Vega-Granillo et al. 2011), debido a que fue un evento sintectónico a la formación inicial de cuencas endorréicas conglomeráticas.

Neógeno

Las rocas del periodo Neógeno son las más representativas del territorio Yaqui ya que edificaron a los promontorios de mayor elevación como la Sierra El Bacatete y los rellenos sedimentarios en los valles aluviales.

Las unidades litológicas que caracterizan el volcanismo Neógeno se reconocen como rocas ígneas calcialcalinas las cuales están bien expuestas en las sierras El Bacatete y de Santa Úrsula

la cual constituye el pilar tectónico oeste del Valle de Empalme. La unidad cartografiada como Ts(Igeb) es un afloramiento de basalto-Andesita al oeste del polígono del territorio. En la carta del SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997) este basalto descansa discordantemente con una andesita- dacita pero no aparece cartografiada en la figura 5 por efecto de la escala del mapa. Sobreyaciendo a la unidad basáltica se encuentran las unidades Ts (Igea) que corresponde a una secuencia de tobas riolíticas y riodacíticas del Mioceno y se asocia a ignimbritas, brechas y aglomerados volcánicos. La edad asignada a las tobas es 10-11.5 Ma (McDowell et al. 2011). Estas rocas constituyen el núcleo de la sierra El Bacatete. En contacto lateral se encuentran los rellenos clásticos de conglomerado y areniscas de la Formación Báucarit depositados en un ambiente tectónico extensional reconocido como Sierras y Valles Paralelos.

Las unidades de rocas terciarias están afectadas por el granófito de Ortíz descrito por Roldán-Quintana (2004) y se distribuyen intermitentemente a lo largo de la zona de fractura del graben de Empalme en su flanco occidental y en la sierra El Bacatete está cubierto de manera discordante por el basalto de Empalme.

La unidad Q(Igeb) que corresponde a una secuencia de derrames basálticos de Mioceno (TmB) con base en la carta Guaymas del Servicio Geológico Mexicano SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997) se caracteriza por presentarse como derrames y brechas varían a andesita basáltica, afanítica con poco olivino en pequeños cristales, y de carácter toleítico. Esta unidad puede correlacionarse con el basalto Las Trincheras de la sierra de Santa Úrsula fechados en 8.5 a 10.3 Ma. De la misma edad Mioceno, afloran discordantemente lahares (TmLh), considerados

en este trabajo como contemporáneos o posiblemente un poco más antiguos que los basaltos (TmB).

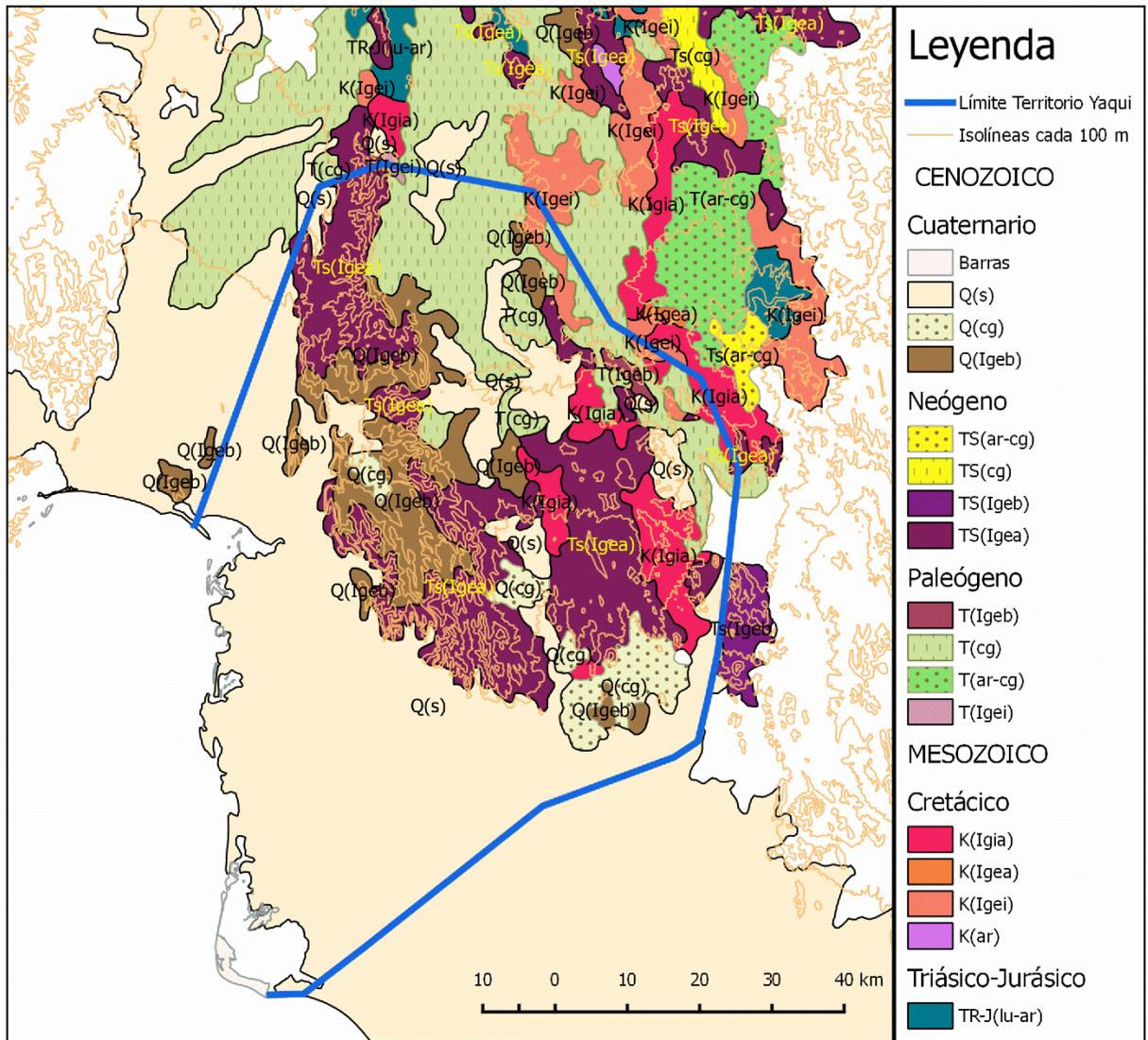


Figura 2. Unidades litológicas que afloran en los alrededores del territorio. Las unidades litoestratigráficas dentro del territorio son: 1) Cuaternario; Q(cg), Q(Igeb), Q(s). 2) Plioceno; Ts(cg), Ts (Igea). 3) Mioceno; T(cg), T(Igeb) y 4) Cretácico; K(Igia), K(Igea). Fuente: Carta Guaymas G12-2 esc 1:1000,000 (INEGI 2002). Mapa elaborado en QGIS V. 2.8.2-Wien. [HTTP://QGIS.OSGEO.ORG](http://qgis.osgeo.org)

El Plioceno y Holoceno se distribuye en el área ampliamente y está representado por areniscas (Qs) y conglomerados polimícticos (QCg) poco consolidados y en ciertas áreas están cubiertos por el aluvión holocénico el cuál presenta además depósitos lacustres, palustres, dunas eólicas activas e islas de barrera (barras). Los depósitos cuaternarios que rellenan el valle agrícola son sedimentos granulares de origen fluvial deltaico con un espesor promedio de 200 m el cual se amplía en la parte media debido a la estructura de fallas del basamento que generaron un graven tectónico (Montreal et al. 2011) los sedimentos son del tipo arenas gravas y gravillas con la presencia de lentes de arcilla compactada.

Marco geológico regional

En la costa sur de Sonora los aspectos estructurales y litológicos han sido desarrollados principalmente por eventos tectónicos de subducción y extensión debido a la interacción de las placas tectónicas Pacífica, Farallón y Americana, que propiciaron la generación de montañas, fracturamiento en bloques y sedimentación en cuencas interiores cuya expresión en relieve se han enmarcado dentro de tres provincias geológicas (Fig. 1) que agrupan la diversidad de eventos volcánicos, plutonismo y sedimentación en la región. En el territorio Yaqui la provincia de Cuencas y Sierras es la que domina el paisaje.

La geodinámica ocurrida desde fines del Cretácico (65 Ma) se desarrolló en al menos cuatro etapas que dieron origen a las provincias geológicas referidas anteriormente según se describe a continuación (Fig. 3).

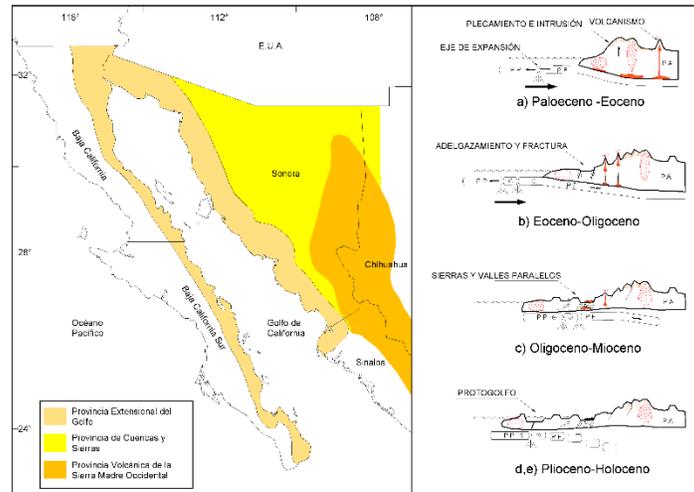


Figura 3. Marco geológico regional y secuencia de eventos relacionados con los aspectos geológicos del Territorio Yaqui. Imágenes modificadas de Roldán-Quintana et al. (2004).

a) Evento térmico Mesozoico Cretácico Superior –Eoceno

Es un evento magmático que ocurrió entre 90 y 40 millones de años en el noroeste del continente americano dentro de un periodo de tiempo conocido como Revolución Laramide la cual dio origen al emplazamiento de un cinturón de batolito granítico en la costa y centro de Sonora (Grijalva y Roldán, 1998; Valencia-Moreno y Ortega-Rivera, 2011). Esta intrusión magmática se relaciona a la subducción de la extensa placa oceánica Farallón, con la placa continental de Norteamérica. La fuerza de compresión ejercida por la placa Farallón plegó los sedimentos en la porción norte de lo que hoy forma la Sierra Madre Oriental de México, y también unidades litológicas del noreste de Sonora. Durante este evento se emitieron también rocas volcánicas que se manifiestan litológicamente como afloramientos de andesitas, intercalaciones de rocas ácidas con plegamientos y metamorfismo (Calmus, 2011) también reconocido como Grupo volcánico inferior de la Sierra Madre Occidental. (Ferrari et al. 2005). En el polígono del territorio Yaqui no existen afloramientos para el intervalo de tiempo Paleoceno-Eoceno como muestra la carta

G12-11 del SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 1997) pero se asume que el paquete de rocas volcánicas y volcanoclásticas que se ha descrito como Formación Tarahumara (McDowell et al. 1994;) se encuentra en el subsuelo. Un afloramiento importante se encuentra en Santa Clara, Sonora (Mérida-Montiel y Librado-Flores, 2009). Las unidades volcánicas extrusivas fueron afectadas posteriormente, por el batolito Laramídico también reconocido como Grupo Jaralito (Grijalva y Roldán, 1998) el cual solo aflora en la parte más al norte de las sierras Santa Úrsula y El Bacatete, aunque existen otros afloramientos en el área de San Carlos, (Roldán-Quintana et al. 2004).

b) Vulcanismo Eoceno-Oligoceno

La cresta de expansión entre la placa Pacífica y la placa Farallón se aproximaba a la placa de Norteamérica. La placa Farallón había reducido su tamaño y se encontraba fragmentada por un sistema de fallas de deslizamiento lateral (cizalla) que se propagaron al interior de la placa de Norteamérica (de norte a sur: fallas Mendocino, Murray, Molokai/Shirley y Clarión).

El contacto de la cresta oceánica con el continente ocurrió hace aproximadamente 30 Ma. En las proximidades de Cabo Mendocino USA pero en la costa de Sonora la subducción seguía vigente. Este acontecimiento marcó el inicio de un nuevo régimen tectónico de tipo extensional que produjo la ruptura de grandes bloques de corteza y la formación de cuencas depositacionales al interior del continente. El adelgazamiento de la corteza propició un volcanismo félsico masivo que originó al cinturón continuo más grande de ignimbritas en el mundo: grupo volcánico superior de la Sierra Madre Occidental, (Cochemé, 1985; Radelli, 2005; Calmus, 2011). En Sonora estas secuencias volcánicas se formaron adyacentes al núcleo de la Sierra Madre

Occidental como un proceso transicional entre un ambiente de compresión Laramídico y uno extensional (Grjalva y Roldán, 1998), sin embargo, en el área de estudio no hay volcanismo representativo para el intervalo Eoceno-Oligoceno temprano, este intervalo de tiempo geológico en el área de Empalme el graben está separado por discordancias erosionales, (Roldán –Quintana et al. 2004). Durante el Oligoceno medio y el Oligoceno tardío (25 a 32 Ma) se depositaron secuencias de riolitas, dacitas y latitas en el área del territorio Yaqui, que por su posición estratigráfica pudieran estar relacionadas con la etapa Pre-Baucarit descrita por Calmus et al. (2011) pero no existen dataciones radiométricas que corroboren esta suposición como se indica en la columna estratigráfica de la carta G12-2 del SGM (García-Cortéz y Siqueiros-López, 2002) donde estas secuencias aparecen con edad indefinida.

c) Oligoceno-Mioceno formación de Sierras y Valles

Hace aproximadamente 25 Ma (Oligoceno-Mioceno), gran parte de la Placa Farallón se había consumido y la cresta en el eje de expansión había penetrado por debajo de la placa Americana haciendo disminuir el proceso de subducción, provocando adelgazamiento de corteza y desarrollo de fallas de bajo ángulo asociado a fallas lístricas secundarias, además propiciando la exhumación de un cinturón de domos conocidos como Núcleos Metamórficos Complejos, reconocidos en la zonas de Mazatán y Magdalena (Nourse et al. 1994; Vega-Granillo y Clamus, 2003). Posteriormente a los 20 Ma se formó el episodio magmático Miocénico de la región de la SMO, causado por el influjo térmico que produjo un adelgazamiento en la corteza. La fase tectónica distensiva de adelgazamiento de la corteza continental se reconoce como fase I de Sierras y Valles Paralelos (BR-I) que se distingue por la formación de Sierras y Valles paralelos orientados normalmente con una dirección de NW 20° con Valles más estrechos hacia la SMO y

más gruesos hacia el Golfo de California (Grijalva y Roldán, 1998). Este evento se caracteriza por un volcanismo bimodal representado por intercalaciones de andesitas y tobas pumíceas ácidas, que pueden alcanzar hasta los 800 m de espesor en la región de San Carlos-Guaymas y Santa Úrsula, correspondientes a los principales relieves que se encuentran en la parte oeste del sur de Sonora. Los valles intermontanos generados por la extensión fueron posteriormente rellenados por la denudación clástica de los pilares tectónicos más altos dando origen a las formaciones de los grupos sedimentarios Río Yaqui, Lista Blanca y Báucarit (Grijalva y Roldán, 1998), este último muy extendido dentro del territorio Yaqui. En el área bajo análisis esta fase tectónica está representada por la formación del graben de Empalme separada por los pilares tectónicos Sierra de Santa Úrsula y Sierra El Bacatete.

d) Mioceno – Holoceno (Proto-Golfo)

Durante esta fase, la subducción casi terminó y la tectónica se asocia a la formación de una fosa tectónica continental (Gastil, *et al.*, 1975), reconocida como la Fase II de Sierras y Valles Paralelos (BR-II). La extensión cambió la modalidad de ruptura donde la orientación de las fallas rotó con rumbo NE 20° y NW 20°. Baja California y Sonora se encontraban unidas, sin embargo, se infiere que entre 15 y 5 Ma existió una depresión nombrada como Proto-golfo de California la cual fue definida a partir de la estratigrafía de la parte superior del Grupo Empalme el cual consiste en una secuencia volcánica que se intercala con conglomerados marinos del mioceno medio aflorando en Isla Tiburón luego una secuencia de ignimbritas félsicas intercaladas con basaltos toleíticos (Grijalva y Roldán, 1998). En esta etapa tectónica se desarrolló un evento volcánico de gran magnitud durante el Mioceno medio en el NW de México el cual se manifestó como un cambio de modalidad de volcanismo de arco continental a extrusivo tipo Rift dando

origen a un gran depósito ignimbrítico hiperalcalino reconocido en Sonora y Baja California. Los vestigios de este evento volcánico han sido identificados y estudiados específicamente en la Sierra El Bacatete, Santa Úrsula y en la Sierra Libre (Barrera-Guerrero y Vidal-Solano, 2010) donde es posible apreciar un gran volumen de estas rocas hiperalcalinas conformado por varias manifestaciones riolíticas e ignimbríticas. Asociado a este volcanismo se extendieron depósitos aluviales, fluviales y lacustres en las depresiones existentes reconocidos como Grupo Sonora (Calmus et al. 2011).

e) Apertura del Golfo de California

La apertura del Golfo de California ocurre cuando la subducción finaliza por completo, y la dorsal del Este del Pacífico alcanza de manera oblicua el borde continental de la Placa de Norteamérica, originando una transición hacia un sistema de deslizamiento lateral y “rifting”, con edades que varían de los 4.5 Ma (Radelli, 2005). Este proceso distensivo generó la formación del Sistema de Fallas de San Andrés, causante del desplazamiento continuo hacia el NW de la Península de Baja California y parte de California, E.U.A. mismo que se compone de un conjunto de fallas escalonadas de desplazamiento lateral de tipo dextral.

En la región de Guaymas y San Carlos se exhiben las rocas volcánicas producto de la apertura del Golfo de California como es el caso de basaltos de afinidad toleítica que regionalmente se localizan en los bordes costeros de Sonora y Baja California, así como en algunas islas y en el interior del Golfo de California. En el área de estudio, la unidad representante es el Basalto de Empalme que aparece como mesetas bajas principalmente al oeste del graben y alineados a la orientación de las fallas del graben. Las unidades geológicas que representan el proceso

distensivo se correlacionan con la actividad volcánica del medio graben de la cuenca Grupo Moctezuma (Paz-Moreno et al. 2003) que se inició en el Cuaternario temprano caracterizada por erupciones de lava toleítica emanada por fisuras locales a lo largo de la falla principal.

Los valles de Empalme y Yaqui originados durante la primera fase extensional BR-I están rellenos por aluviones cuaternarios del Holoceno y la zona litoral ha sido transformada por los prismas deltáicos de los ríos Mátape y Yaqui y la franja litoral evolucionó a partir del cambio del nivel del mar durante el Holceno. Las lagunas costeras de la costa sur de Sonora fueron originadas por un acenso rápido del nivel del mar durante y después por progradación costera. En el Holoceno durante la etapa de deshielo glacial, una transgresión marina a escala mundial inició desde el borde de la plataforma continental a 125 m de profundidad hace 20,000 años. El mar invadió el continente a una velocidad que excedió la sedimentación costera. La tasa de levantamiento de nivel del mar disminuyó en los 7000 años antes de presente (Ap) posicionándose en -10 m sobre el nivel medio del mar actual propiciando que la línea costera mundial se estabilizara con la sedimentación (Curry et al. 1969; Phleger, 1969). El nivel del mar frenó su ascenso hasta posicionarse en su nivel actual hace 2000 años. Este periodo de tiempo fue propicio para la formación de Barreras arenosas (Barras) y el crecimiento de los prismas deltáicos paulatinamente fueron encerrando las bahías existentes al inicio de la estabilización. Donde existieron lugares con suministro prolongado de arena como las costas asociadas a ríos las barreras alcanzaron varios kilómetros de ancho y la progradó hacia el mar (Curry, 1969; Lankford, 1977). A partir de este tiempo se originaron las lagunas costeras y delta del territorio Yaqui.

Conclusiones

La geología asociada al Territorio Yaqui evolucionó principalmente desde el Cenozoico en tres periodos debido a la interacción de las placas Pacífica, Farallón y Norteamericana: a) etapa de subducción (etapa compresiva); b) etapa transicional y c) etapa extensional.

A excepción de las unidades del Triásico y Jurásico la etapa de subducción se manifiesta en el Territorio Yaqui con un cuerpo intrusivo del Cretácico Superior (batolito Jaralito) que afecta a unidades volcánicas y volcanoclásticas correlacionables a la Formación Tarahumara la cual no aflora en el área.

Después del hiato Paloceno-Eoceno (una etapa sin registro litoestratigráfico en el área) se inicia la etapa de transición compresiva – extensional atribuida al contacto de la dorsal del eje de expansión entre las placas Pacífica-Farallón contra la Norteamericana y a un cambio en el ángulo de incidencia de la placa Farallón lo cual produjo fallamiento en bloques y volcanismo félsico masivo que edificó el grupo superior de la Sierra madre Occidental. En el área del territorio se depositaron las unidades de rocas riolitas y dacitas, atribuidas a una posible etapa Pre-Baucarit pero cuya edad no está bien definida en las cartas geológicas del área.

Posteriormente, en el Mioceno el eje de la dorsal se había posicionado por debajo de la placa Norteamericana causando un adelgazamiento de la corteza que en combinación con el decaimiento de la subducción y el movimiento hacia el oeste de la placa Pacífica produjo un estiramiento de la corteza generó la exhumación de rocas metamórficas y grandes valles separados por sierras paralelas que fueron rellenados por sedimentación clástica como las

formaciones de los grupos Empalme y Rio Yaqui, este último incluye a la Formación Báucarit muy extendida en el área (etapa BR-I). Al terminar la transición en el Mioceno Medio la placa Farallón dejó de subducir, y la placa Pacífica que se movía hacia el oeste aplicó extensión adicional para generar un fracturamiento tipo “*rift*” que separó a la actual península de Baja California (etapa BR-II), ahora como parte de la placa Pacífica. La evidencia geológica son los sedimentos del Grupo Sonora que contienen sedimentación marina transgresiva y magmatismo toleítico tipo MORB (Mid Oceanic Ridge Basalt). En la región de Guaymas y San Carlos afloran estos basaltos de afinidad toleítica que regionalmente se localizan en los bordes costeros de Sonora y Baja California, así como en algunas islas y en el interior del Golfo de California.

El valle aluvial del territorio Yaqui constituye un graven de relleno sedimentario tipo deltáico iniciado en la fase BR-I. La zona costera evolucionó por los cambios de elevación del nivel del mar que originaron islas de barrera y lagunas costeras. Actualmente, la planicie aluvial contiene los suelos fértiles agrícolas y el subsuelo el acuífero más importante del Estado de Sonora. Las lagunas costeras constituyen un importante patrimonio económico y ecológico para la comunidad Yaqui.

Agradecimientos

Se agradece a David Urías Laborín por su participación en la elaboración de figuras y revisión del manuscrito.

Literatura citada

Álvarez-Arellano, A. y Gaitán-Morán, J. 1994. Geología. En: De La Lanza, G. y Cáceres C (Eds.) *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., P. 13-74.

Barrera-Guerrero, S. y Vidal-Solano, J. R. 2010. Nuevas evidencias del volcanismo anorogénico del Mioceno medio en el NW de México: Diversidad volcánica del evento hiperalcalino en La Sierra Libre, (resumen en extenso), en XX Congreso Nacional de Geoquímica, Temixco, Morelos: Libro de resúmenes, Instituto Nacional de Geoquímica. Vol. 16, No. 1, pp. 229-234.

Bartolini, C., Damon P. E., Shafiqullha, M. & Morales, M. M. 1994. Geochronologic contributions to the Tertiary sedimentary-volcanic sequences (“Baucarit Formation”) in Sonora, Mexico. *Geofísica Internacional* (1994) vol. 33, Num.1, pp. 67-77

Calmus, Thierry, Vega-Granillo, R. y Lugo-Zazueta, R. 2011. Evolución geológica de Sonora durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico, in Calmus, Thierry, ed., *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 7, p. 227–266.

Cochemé, J. J. 1985. *Le magmatisme cénozoïque dans le nord-ouest du Mexique, cartographie de la région de Yécora-Maicoba- Mulatos—Illustration magmatique de la fin d’un régime en subduction et du passage à un régime distensif*: Université de Droit, d’Économie et des Sciences d’Aix Marseille, tesis doctoral, 209 p.

Curry, J. R., Emel, F. J., and Crampton, P.J. 1969. Holocene History of a strand plain. Lagoonal coast, Nayarit Mexico. In: Ayala Castañares y F.B. Phleger (Eds.) *Lagunas Costeras*, Un

Simposio. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967 México, D.F.: 63-100.

Dickinson, W. R. 1977. Paleozoic Plate Tectonics and Evolutions of the Cordilleran Continental Margin, In: J.H., Stewarth; C.H. Stevens and A.E. Fritsche (Eds.), Paleozoic Paleogeography of the Western United States. Pac. Sec. Econom. Paleontol. Mineral. Pac. Coast Paleogeogr. Simp. 1: P. 137-156.

Ferrari, L. Valencia-Moreno, M. y Scott, E. B. 2005. Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Temas Selectos de la Geología Mexicana Tomo LVII, núm. 3, 2005, p. 343-378.

García-Cortéz, J. y Siqueiros-López, C. 2002. Carta Geológico-Minera Guaymas G12-2 Sonora y Baja California Sur. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca Hidalgo, México. Primera edición Agosto 2002.

Gastil, G. R., Phillips, R. P, and Allison, E. C. 1975. Reconnaissance Geology of the State of Baja California. Geological Society of America Memoirs, 1975, 140, p. 1-201, doi: 10.1130/MEM140-p1

González-León, C. M., Lawton, T. F. y Reinhard, W. 2011. Estratigrafía del Triásico y el Jurásico Inferior de Sonora, México, in Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 3, p. 57–80, 5 figs.

Grijalva-Noriega, F. and Roldán-Quintana, J. 1998. An Overview of the Cenozoic Tectonic and Magmatic Evolution of Sonora, Northwestern Mexico. Revista Mexicana de Ciencias

Geológicas, Volumen 15, Numero 2, P. 145-156. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; y Sociedad Geológica Mexicana, México, D.F.

INEGI. 1993a. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Estudio Hidrológico del Estado de Sonora. Av. Héroes de Nacozari 2301 CP 20270 Aguascalientes, Ags. ISBN 968-892-879-8., 182 p.

INEGI. 1993b. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática Provincias fisiográficas. Conjunto de Datos Vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Serie I. 1ª. Edición Aguascalientes, Ags., México.

INEGI. 2002. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Edition: 1a. Aguascalientes, Ags., México.

Lankford, P. R. 1977. Coastal Lagoons of Mexico: Their origin ad clasification. En: J. Wiley (Ed.) Estuarine Processes. Academic Press. Vol.2 New York. P. 182-215.

McDowell, F. W., Roldán-Quintana, J. and Amaya-Martínez, R. 2011. Interrelationship of sedimentary and volcanic deposits associated with Tertiary extention in Sonora, Mexico. *GSA Bulletin*, October 1997; v. 109; no. 10; p. 1349Ñ1360; 6 figures; 2 tables.

Mendoza-Cantú, M. E. 1997. Regionalización geomorfológica y de paisaje de la Zona Costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México. Tesis de Maestría en Conservación, Ecología y Manejo de Recursos Naturales, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Guaymas. 147p.

Mérida-Montiel, R. y Librado-Flores, J. 2009. Distribución de la Formación Tarahumara y sus relaciones con la mineralización. XXVIII Convención Minera Internacional, AIMMGM AC, Veracruz, Ver. 28 al 31 de octubre de 2009. p 1-6.

Nourse, J. A., Anderson, T. H. and Silver, L. T. 1994. Tertiary metamorphic core complexes in Sonora, northwestern Mexico: *Tectonics*, v. 13, p. 1161–1182.

Paz-Moreno, F. A., Demant, A., Cochemé, J. J, Dostal J. and Montigny, R. 2003. The Quaternary Moctezuma volcanic field: A tholeiitic to alkali basaltic episode in the central Sonoran Basin and Range Province, México, *in* Johnson, S.E., Paterson, S.R. Fletcher, J.M. Girty, G.H., Kimbrough, D.L., and Martín-Barajas, A., eds., *Tectonic evolution of northwestern México and the southwestern USA*; Boulder Colorado, Geological Society of America Special Paper 374, p. 439-455.

Phleger, F. B. 1969. Some General Features of Coastal Lagoons. In: Ayala Castañares y F.B. Phleger (Eds.) *Lagunas Costeras, Un Simposio. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras UNAM-UNESCO*, Nov. 28-30, 1967 México, D.F.: 5-26.

QGIS. Quantum Geographic Information System V. 2.8.2-Wien 2015. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

Radelli, L. 2005. Oligo-Miocene Evolution of Sonora-Baja California, Mexico - A Segment of the North American Margin. *Bol. Depto. Geol. UniSon*, 2005, Vols. 18 y 19, p. 153 – 174.

Roldán Quintana, J., Mora-Klepeis, G., Calmus, T., Valencia-Moreno, M. y Lozano-Santacruz, R. 2004. El graben de Empalme, Sonora, México: magmatismo y tectónica extensional asociados a la ruptura inicial del Golfo de California. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21, núm. 3, 320-334.

Valencia-Moreno, M. y Ortega-Rivera, A. 2011. Cretácico Tardío-Eoceno Medio en el noroeste de México—Evolución del arco magmático continental y su contexto geodinámico (orogenia Laramide), in Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 6, p. 201–226, 25 figs.

Valenzuela-Rentería, M., Vázquez-López, F. y Radelli, L. 2005. Sistemas Riedel del Cenozoico Tardío en Sonora, México. *Bol. Depto. Geol. UniSon*, 2005, Vols. 18 y 19, p. 1–58.

Vega-Granillo, R. y Calmus, T. (2003). Mazatán metamorphic core complex (Sonora, México) Structures along the detachment fault and its exhumation evolution: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 16, núm. 4, p. 193-204.

Wilson, I. F. and Rocha, V. S. 1949. Coal Deposits of the Santa Clara District near Tonichi, Sonora, Mexico. *Geological Survey Bulletin 962-A*. Prepared in cooperation with the Secretaría De La Economía Nacional de México, Direction General de Minas y Petróleo and the Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Geología under the auspices of the Interdepartmental Committee On Scientific And Cultural Cooperation, Department of State, U.S.A. 80 p.

1.5 Descripción oceanográfica de la zona costera del Territorio Yaqui

Por María Sara Burrola Sánchez¹ y Pedro Rosales Grano²

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Sonora

Km 2.35 Camino al Tular, Estero Bacohibampo, Guaymas, Son. C.P. 85455

Tel. +52 (622)2212237 y 2212238

Email: sburrola04@cibnor.mx

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Sonora Carretera al Varadero

Nacional Km 4 Sector la Playitas, Guaymas, Sonora, C.P. 85400

Tel. +52 (622) 2216480; 2215367

Email: itmarpedro@hotmail.com

Resumen

La zona costera del Territorio Yaqui tiene una orientación norte-sur, configurada por cinco lagunas costeras y esteros de menores dimensiones. Son lagunas costeras semi-áridas donde la evaporación excede a la precipitación, comunicadas con el Golfo de California por una o dos bocas de forma permanente separadas del mar adyacente por barreras arenosas. Son cuerpos de agua someros, donde las profundidades máximas se presentan en las bocas y canales de alimentación por marea. La dinámica de los procesos costeros es altamente dependiente de la marea y viento, mientras que la densidad juega un rol importante en los procesos de mesoescala

o geostróficos. La circulación costera y lagunar está forzada por la acción de la marea y el viento. Las elevaciones máximas se presentan en verano y las mínimas en invierno, siendo en invierno las condiciones de viento mayores en respuesta al régimen del Monzón Mexicano. De seis masas de agua que ingresan al Golfo de California, tres tienen influencia sobre la franja costera Yaqui, favoreciendo el intercambio de nutrientes a través de las bocas forzadas por la densidad.

Descripción del Sistema Costero

La zona costera del Territorio Yaqui se ubica en la zona central del Golfo de California entre las coordenadas geográficas ($27^{\circ} 53'22''$ N, $110^{\circ} 40'46''$ W y $27^{\circ}15'16''$ N, $110^{\circ}25'27''$ W), en una extensión de línea de costa del orden de 100 km, donde se ubican 5 lagunas costeras, delimitadas por las desembocaduras del río Matape al norte y el río Yaqui hacia el sur (Fig. 1).

Las cinco lagunas costeras son cuerpos de agua semi-cerrados paralelos a la línea de costa separados del mar adyacente por una barra arenosa con una o dos bocas que pueden ser efímeras o permanentes (Phleger, 1969; Barnes, 1980). Se caracterizan por áreas de canales y amplias zonas propensas a inundación y secado por acción de la marea, donde por lo general las profundidades son del orden de 2 a 5 m en el interior del cuerpo lagunar y pueden ser superiores a 5 m en la región de la boca (Burrola-Sánchez, 2003; Burrola-Sánchez y López-Martínez et al. 2010).

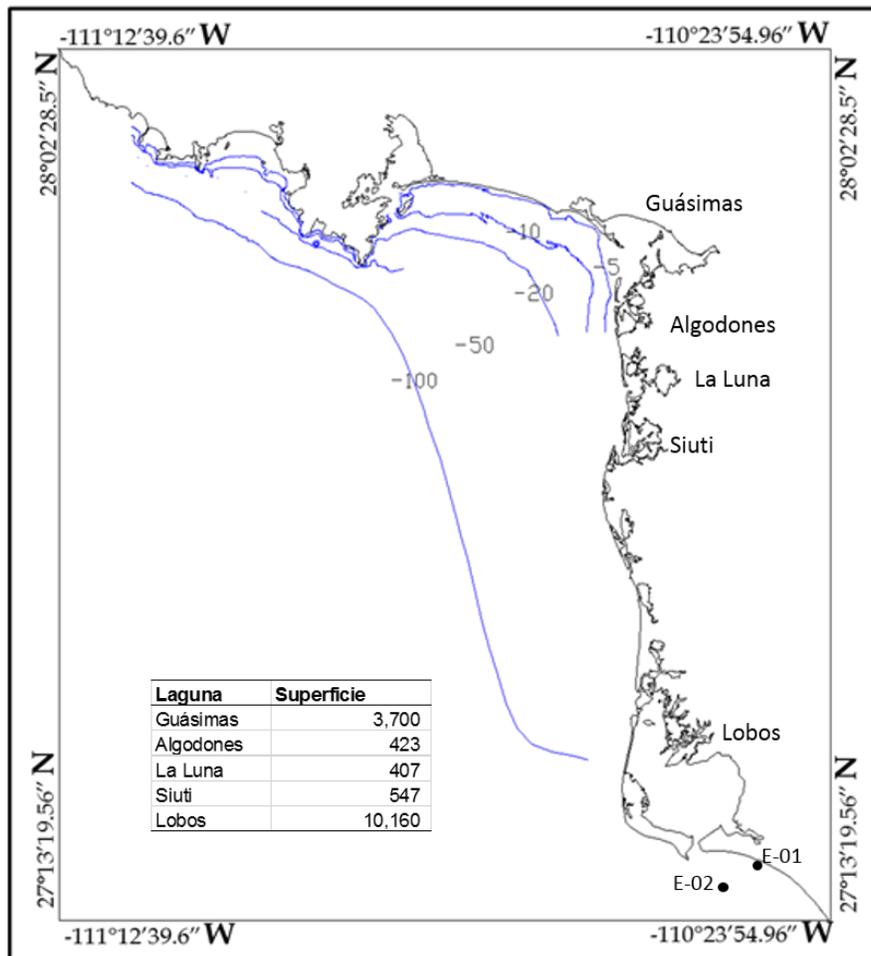


Figura 1. Localización del área de estudio y estaciones de medición de marea (E-01) y oleaje (E-02).

En esta franja costera Bahía de Las Guásimas (3, 700 km²) y la Bahía de Lobos (10, 160.17 km²) son las de mayor superficie e importancia ecológica y económica de esta región. Se caracterizan por una comunicación permanente con el mar adyacente a través de bocas con un promedio de 500 m en su sección transversal, canales de mareas bien delimitados hacia el interior del sistema. Son estuarios negativos y en general dominan los procesos evaporativos sobre la precipitación (Arreola-Lizárraga, 2003; Burrola-Sánchez, 2003).

Marea

La marea en estos cuerpos de agua es dominada por la co-oscilación de la onda de marea desde el mar adyacente y la advección a través de los canales de entrada como mecanismo de transporte (Marinone y Lavín, 1997; Dworak y Gomez-Valdés, 2003).

En la costa centro-sur del estado de Sonora el comportamiento de la marea es del tipo mixto con predominancia diurna, dado por un factor de forma $1.50 \leq F \leq 3.00$, corroborado a través de mediciones en bahías como Guaymas y Yavaros por Valle-Levinson et al. (2001), Burrola-Sánchez (2003), así como Dworak y Gomez-Valdés, (2003), en los límites norte y sur de esta zona de estudio. Este comportamiento de marea está dado por una ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares diarias en un intervalo de tiempo de 12.25 horas (Filloux, 1973); rango de 1 m, con elevación máxima anual durante el mes de agosto y mínimas en enero (Beier, 1997).

Por efecto de la batimetría y el estrechamiento de los canales de entrada a las lagunas se presenta una amplificación de la onda hacia el interior de los cuerpos de agua, con rangos de hasta 1.5 m. Con base en la estadística de la elevación del nivel del mar y la clasificación propuesta por Davies (1980) la franja costera del Territorio Yaqui es una región micromareal.

La obtención de series de tiempo de elevación del nivel del mar es dependiente de estudios técnicos específicos en las lagunas costeras, ya que no se cuenta con mareógrafos instalados por instituciones de académicas, gubernamentales o de investigación. A partir de predicciones por CICESE (2012) y para fines de explicar en el dominio del tiempo y frecuencia el comportamiento de la onda de marea en la región del Territorio Yaqui, se presentan los

componentes armónicos de la marea con base en Foreman (1989), que muestra evidencia de la amplificación de la onda desde la boca del Golfo de California (Tabla 1). Asimismo, Rosales-Grano (2015) realizó mediciones en la zona litoral de la bahía de Lobos (24 de junio al 28 de julio de 2011) (Fig. 1) y observó una marcada desigualdad diurna en la señal de la elevación del nivel medio del mar con un rango máximo de 1.4 m (nmm) (Fig. 2).

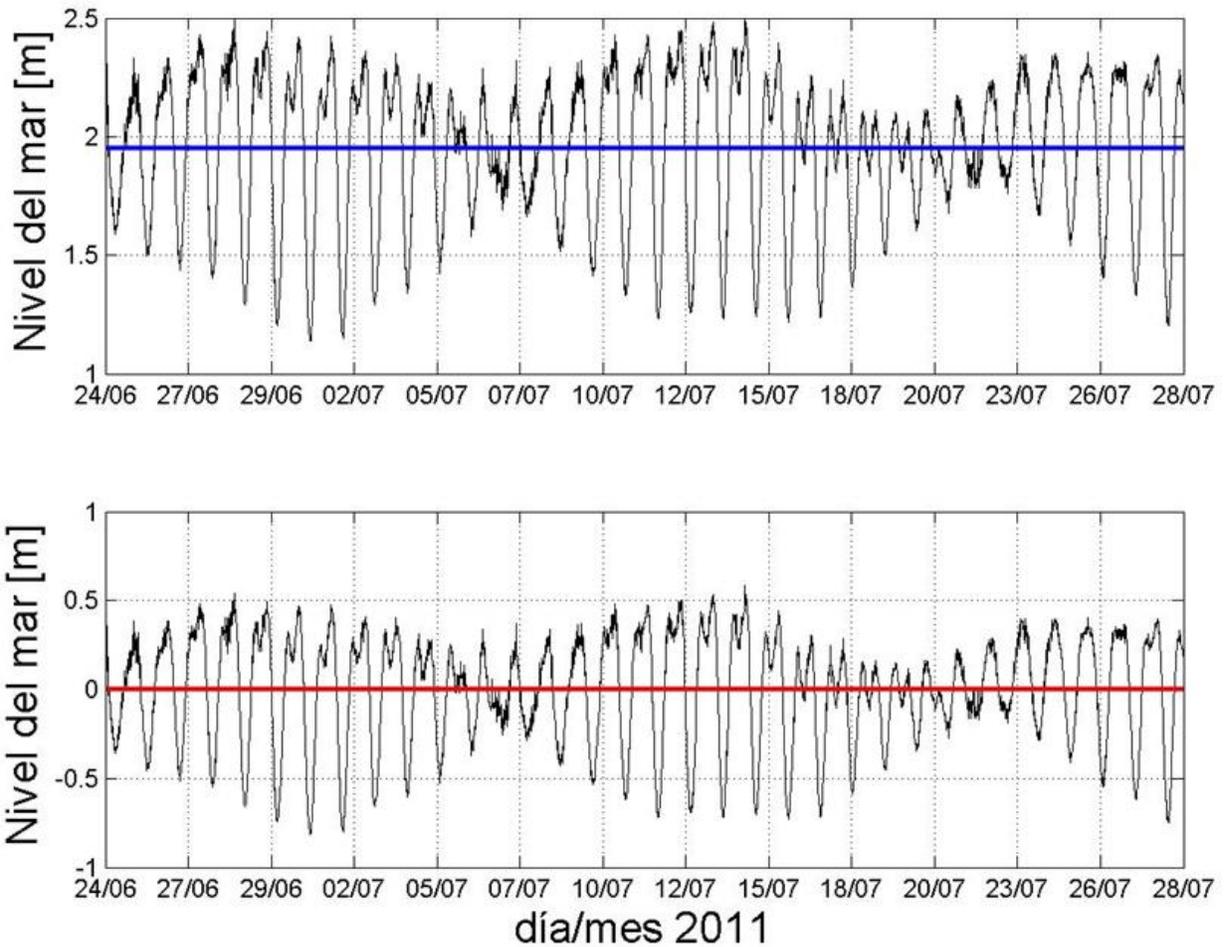


Figura 2. El panel superior muestra la variación del nivel del mar sin eliminar promedio y tendencia, la línea azul es el promedio de las mediciones; el panel inferior muestra la misma serie de tiempo pero ya sin promedio ni tendencia, la línea roja representa el nivel medio del mar.

Corrientes

La descripción del sistema de corrientes en la zona costera del Territorio Yaqui se enfoca en tres escalas: geostrófica; litoral y lagunar. En cada una de ellas la fuerza de función (marea, viento y densidad) es diferente y modula el comportamiento barotrópico o baroclínico de las masas de agua.

El patrón de circulación superficial en el Golfo de California es de tipo ciclónico en los meses de primavera-verano y anticiclónico en otoño-invierno. En primavera-verano el flujo de entrada tiene dirección de sur a norte por la costa de Sinaloa y Sonora, con velocidades superficiales $\leq 0.08 \text{ ms}^{-1}$ (Marinone y Ripa, 1988; Beier, 1997; Zamudio y Hogan et al. 2008) y de forma inversa en otoño-invierno. Roden y Emilsson (1980) y Bray (1988) han señalado que éstas se incrementan a partir de la isóbata de los 70 m, donde por efectos de la topografía submarina y procesos de interacción océano-atmósfera se genera una separación de dos capas de agua, con fuertes gradientes transversales.

En la costa, con profundidades menores a 50 m, el forzamiento de las corrientes es por una combinación del factor tensor de viento y marea. El patrón de corrientes usualmente es paralelo a la línea de costa y se orienta con el patrón de circulación geostrófica. La configuración topográfica de la costa, así como los contornos batimétricos son factores importantes en la dirección y velocidad de los vectores velocidad. En la zona litoral de la Bahía de las Guásimas Chávez-López (2001) y Burrola-Sánchez et al. (2010) a partir de mediciones reportan velocidades menores a 0.5 ms^{-1} con alternancia en la dirección de aproximación desde los 150° a 335° de azimut, con una dirección promedio de 158° asociada a eventos de brisas tierra-mar

provenientes del cuadrante NE–SSE y concuerda con las observaciones realizadas por Roden (1964).

Mendoza-López (2010), reportó corrientes de marea en la zona costera de Bahía Las Guásimas con magnitudes de 0.03 a 0.18 ms^{-1} , con máximas durante la fase de reflujos de la marea para la época de invierno y de 0.13 ms^{-1} en la fase flujo en la época de verano.

Por tratarse de una playa abierta con una orientación N-S las corrientes litorales se producen por la aproximación oblicua del oleaje. La alineación de los vectores velocidad con los contornos batimétricos y morfología costera es una constante. Las corrientes superficiales son influenciadas por el patrón de viento local, con una alternancia en la dirección desde SE – NNW (135° a 330° de azimut), con una dirección promedio de 158° asociada a eventos de brisas tierra-mar provenientes del cuadrante NE – SSE.

La marea, viento y densidad son los tres agentes forzantes de la circulación marina (Geyer y Morris et al. 2000 y Uncles, 2002) y las dos primeras influyen preponderantemente en los sistemas lagunares costeros del Golfo de California (Marinone y Lavín, 1997), donde la circulación es inducida por marea y en algunas de ellas el patrón de viento regional tiende a dominar durante invierno (Valle-Levinson et al. 2001), cuando el Monzón Mexicano genera un campo de vientos desde el cuadrante noroeste (Douglas et al. 1993). Lo anterior, coincide con lo observado por Miller y Pietrafesa et al. (1990) y Blanton (2002), en el sentido de que en lagunas costeras donde la amplitud de la marea se encuentra dentro del rango de profundidad del sistema, la dominancia entre marea y viento se alterna en función de la época del año.

En la costa de Sonora este comportamiento ha sido reportado por Burrola-Sánchez (2003) y Dworak (2005) y señalan que las velocidades mayores se presentan en la zona de canales, con velocidades promedio $\leq 0.05 \text{ ms}^{-1}$. Miller et al. (1990) señaló la importancia del efecto del viento en las zonas someras en la circulación superficial.

Oleaje

En el Golfo de California, el régimen de olas concuerda con el de vientos regionales caracterizado por una alternancia estacional del NW y NNW durante invierno y del SE o SSE durante verano, con periodos cortos y alturas relativamente pequeñas (Munk y Traylor, 1974).

Rosales-Grano (2015), en su campaña de medición en la zona litoral de la bahía de Lobos (Fig. 1), obtuvo a partir de las series de tiempo de presión y velocidades horizontales: la altura, el periodo y la dirección del oleaje incidente. La medición se realizó con un sensor oceanográfico de presión de la marca Interocean modelo S4DW, con una estrategia de muestreo de 18 minutos de duración cada 4 horas, con un intervalo de muestreo de 0.5 s. El periodo de medición fue del 20 al 29 de agosto de 2011 a una profundidad promedio de 6.0 m (nmm). Las series de tiempo de presión y velocidades horizontales fueron procesadas siguiendo a la metodología propuesta por Longuet-Higgins et al. (1963), para obtener la altura el periodo y la dirección del oleaje.

La mayor altura significativa registrada fue del orden de 1 m, mientras que la altura máxima en el registro fue de 1.8 m. Los periodos asociados al máximo de energía espectral corresponden a

oleaje local y son de 5 s en promedio, la dirección fue predominantemente del sur (180 grados), se utiliza convención meteorológica, es decir las olas se reportan de donde vienen (Fig. 3).

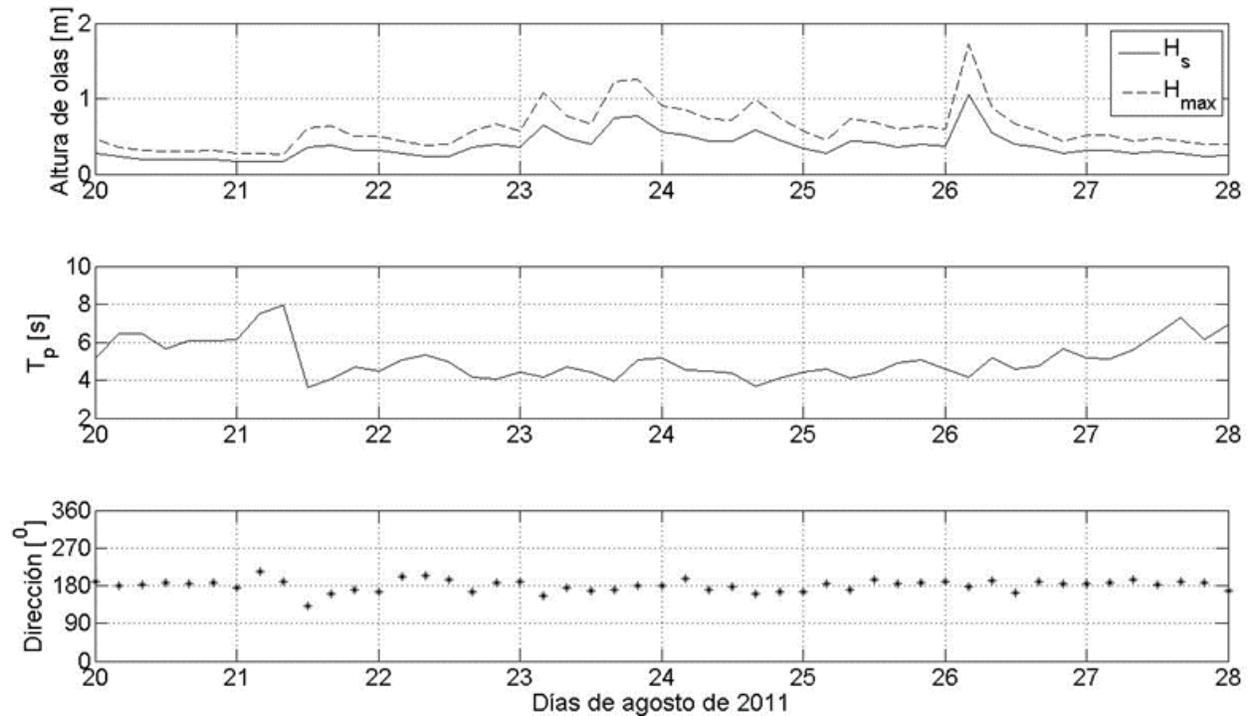


Figura 3. Parámetros de oleaje determinados de las mediciones de presión y componentes horizontales de la velocidad medidas por el S4DW. Panel superior: altura de las olas en metros (línea continua altura significativa, línea discontinua altura máxima); panel intermedio: periodo asociado al máximo de energía espectral en segundos; panel inferior: dirección asociada al máximo de energía espectral (convención meteorológica en sentido horario, con el norte correspondiendo a los 0 grados y el este a los 90).

Las alturas significantes de mayor magnitud se asocian a eventos locales de viento, mientras que las menores se asocian a oleaje proveniente de tormentas lejanas. Éste incide a Bahía de Lobos atenuado debido a procesos de disipación de energía, como pueden ser vientos contrarios a la dirección de propagación o bien interacciones no lineales con otros sistemas de ondas.

El campo de vientos en la zona de bahía de Lobos corresponde al patrón del golfo, de naturaleza Monzónica (Douglas et al. 1993), con máximos en invierno–primavera, cuando la dirección es predominantemente noroeste y en verano la dirección dominante es sureste (Fig. 4).

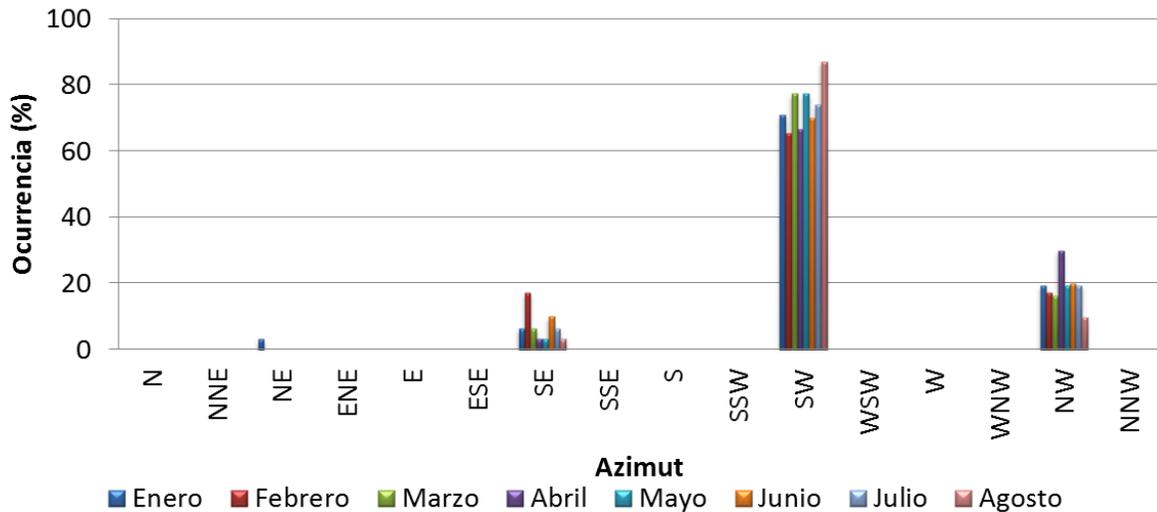


Figura 4. Dirección de viento dominante en el Municipio de San Ignacio Río Muerto, Son. (2012).

Los periodos presentaron persistencia: a) periodos cortos (de 3 a 6 s) están relacionados con olas altas mientras que b) periodos largos (mayores de 7 s) están relacionados con alturas menores.

La dirección fue predominantemente del sur, este oleaje está afectado por el proceso de refracción por profundidad, pues la profundidad promedio a la que se instaló el sensor fue de 6.0 m. En las playas del exterior de la Bahía Las Guásimas, en su colindancia hacia el norte con la misma orientación Alatorre (2007) reportó que en playas de El Cochórit se manifiesta un patrón de oleaje incidente proveniente del SSW con periodos de 6 s y altura significativa promedio de 0.8 m, en concordancia con los registros realizados sobre la misma playa en el sector de Las Guásimas por Chávez-López (2001).

Masas de agua

En el Golfo de California interactúan seis tipos de masas de agua, pero las variaciones estacionales se derivan básicamente de la interacción de las tres masas de agua superficiales (Warsh et al. 1973; Álvarez-Sánchez et al. 1978; Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; Álvarez-Borrego et al. 1984; Molina-Cruz, 1986; Lavín y Baier et al. 1997).

Agua de la Corriente de California: Proveniente del norte a lo largo de la costa Occidental de Baja California, su límite es < 150 m, y se caracteriza por baja temperatura ($12-18^{\circ}\text{C}$) y salinidad (< 34.5) entra al golfo únicamente durante el invierno llegando hasta los 25° N en situaciones extremas.

Agua superficial ecuatorial: Proveniente del sureste, es identificable todo el año en la región de la boca; se encuentra por encima de los 150 m, y se caracteriza por salinidad menor a 35 y temperatura mayor a 18°C , su mayor influencia se presenta en verano penetrando al golfo hasta cerca de las Grandes Islas.

Agua del Golfo: Ocupa los 150 m superiores, principalmente en la parte norte del golfo; altamente salina ($S > 35$) y temperaturas elevadas mayores a 12°C , se presentan todo el año en la parte norte, pero fluye hacia el sur por la costa peninsular en verano y por la costa continental en invierno.

Agua subsuperficial subtropical: Su límite superior está definido por $S < 35$ y $T < 18^{\circ}\text{C}$ y se encuentra aproximadamente a partir de los 150 m de profundidad, mientras que el límite inferior

lo delimita la isoterma de los 9°C (500 m); durante otoño presenta la máxima intrusión en la parte norte del golfo.

Agua intermedia del Pacífico: A partir de los 500 m hasta los 1200 m, su salinidad máxima es de 34.6 y la mínima 34.5.

Agua profunda del Pacífico: Delimitada por la isoterma de los 4°C (1200 m) hasta el fondo, la salinidad aumenta hacia el fondo desde 34.56 hasta 34.75.

De acuerdo con Álvarez-Borrego y Schwartzlose (1979), la región donde se ubica el área de estudio, es invadida por agua superficial ecuatorial y subsuperficial subtropical, desde finales de primavera y durante verano-otoño, señalando que esta región presenta básicamente la estructura termohalina del Pacífico Oriental, con modificación en la superficie por exceso de evaporación.

Intercambio

La dinámica en la zona de la boca regula los procesos de interacción entre las lagunas y el mar adyacente, tales como flujos por marea, intercambio de sal y nutrientes. Los flujos por mareas controlan el intercambio de agua entre la laguna y el mar adyacente por lo que su estudio es esencial para el conocimiento de la dinámica de intercambio (Valle-Levinson y Delgado-Contreras et al. 1997). Este intercambio es forzado por condiciones meteorológicas y variabilidad de la marea (Goodrich, 1998) y es útil para evaluar la variación de los parámetros de calidad de agua. En lagunas costeras con influencia antropogénica se produce un patrón

complejo de la variabilidad de los parámetros de calidad de agua en función a los procesos físicos que en ellas actúan.

Conclusiones

La zona costera del Territorio Yaqui presenta procesos costeros dinámicos con una alta dependencia a forzamientos de escala local, regional y geostrófica, con una orientación de la línea de costa en el eje norte-sur. La marea y el viento son los principales forzamientos de la circulación en estas lagunas con profundidad promedio menor a 5 m (respecto al nivel medio del mar). Los contornos batimétricos refractan las ondas incidentes generando un comportamiento particular en cada uno de los ambientes: costa, zonas de entrada y cuerpos lagunares.

La marea y oleaje presentan condiciones máximas en verano y mínimas en invierno. La influencia del patrón estacional de vientos es de mayor magnitud en invierno. La interacción de al menos tres masas de agua en el Golfo de California es importante en los procesos de intercambio entre las lagunas y el mar adyacente, donde la densidad es el mecanismo forzante.

Agradecimientos

El desarrollo del presente capítulo se desarrolló con la participación de personal de CIBNOR y el Instituto Tecnológico de Guaymas. Se agradece el apoyo del Laboratorio de Manejo Costero del CIBNOR Unidad Sonora, al Ing. David Urias Laborín.

Literatura citada

Alatorre, R. 2007. Dinámica morfológica del perfil playero mediante simulación numérica. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Guaymas, Guaymas, Son., Diciembre de 2007, 65 pp.

Álvarez-Borrego, S., J. A. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M. de J. Acosta-Ruíz y R. A. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5(2): 53-71.

Álvarez-Borrego, S. y R. A. Schwartzlose. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 6 (1-2):43-63.

Álvarez-Sánchez, L.G., M. Stevenson y B. Wyatt. 1978. Circulación y masas de agua en la región de la boca del Golfo de California en la primavera de 1970. *Ciencias Marinas*, 5(2):25-40.

Arreola-Lizárraga, J. A. 2003. Bases de manejo costero: Patrones ecológicos en la laguna costera Las Guásimas, Territorio Yaqui, México. Tesis Doctoral, CIBNOR, S.C. La Paz, B.C.S. 65 pp.

Barnes, R. S. K. 1983. *Coastal Lagoons*. Cambridge University Press. 106 pp.

Beier, E. 1997. A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California, *Journal of Physical Oceanography* 27, 615-632.

Blanton, J. O., Lin, G. y Elston, S. A. 2002. Tidal current asymmetry in shallow estuaries and tidal creeks. *Continental Shelf Research*, 22, 1731-1743.

Burrola-Sánchez, M. S., J. López-Martínez, G. Padilla-Arredondo, D. Urias-Laborín y J. Padilla-Serrato. 2010. Influencia de los procesos costeros sobre la distribución de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* (Agassiz, 1860) en el Golfo de California.

En: López-Martínez, J. (Ed.), La variabilidad ambiental y las pesquerías de México, CIBNOR, S.C., CONAPESCA-SAGARPA, pp. 156-177.

Burrola-Sánchez, M. S. 2003. Hidrodinámica de la Bahía de Guaymas, Sonora, México y su aplicación en casos de manejo. Tesis de Maestría, ITMAR 03, Guaymas, Son., 92 p.

Chávez-López, S. 2001. Morfología y dinámica litoral de la región lagunar de Guásimas, Sonora, México (encaminado a la gestión integral del sistema lagunar como factor productivo en la acuicultura). Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 315 p.

CICESE. 2012. Programa de predicción de marea MARV09. Ensenada, B.C.

Davies, J. L. 1980. Geographical variation in coastal development. Second edition. Longman, New York, N.J., 212 p.

Douglas, M. W., Maddox, R. A., Howard, K. y Reyes, S. 1993. The Mexican Monsoon. *Journal of Climate, Notes and Correspondence*, 1665-1677.

Dworak, J. A. 2005. Modulación de mareas someras en regímenes de tipo mixto. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. 83 p.

Dworak, J. A. y J. Gomez-Valdes 2003. Modulation of shallow water tides in an inlet-basin system with a mixed tidal regime. *Journal of Geophysical Research*, 110 (C01007): 1-15.

Filloux, J. H. 1973. Tidal patterns and energy balance in the Gulf of California. *Nature*, 243, 217-221.

Geyer, W. R., Morris, J. T., Prahl, F. G. y Jay, D. A. 2000. Interaction between physical processes and ecosystem structure. pp. 177-211. En *Estuarine Science, A Synthetic Approach to Research and Practice* (Hobbie, J.E., ed), Island Press, 539 pp.

Godín, G., De la Paz-Vela, R, Rodríguez, N. y Ortiz, M. 1980. Revisión de los datos de mareas para la costa occidental de México disponibles en el CICESE e interpretación de resultados. Informe Técnico OC-80-02, CICESE, Ensenada, B.C., México, 35 p.

Lavín, M. F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. En: M.F. Lavín (Ed.), Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, p. 141-171.

Longuet-Higgins, M. S., Cartwright, D. E., y Smith, N. D. 1963. Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy. *Ocean Wave Spectra, proceedings of a conference, Easton, Maryland (1963)*, pp. 111-136.

Marinone, S. G. y M. F. Lavín 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. En: M.F. Lavín (ed.), Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, 113-138 pp.

Mendoza-López, A. G. 2010. Simulación de la dispersión de salmuera descargada al mar de Cortés desde una planta desalinizadora en el Noroeste Mexicano. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Sonora, septiembre 2010, 189 p.

Miller, J. M., Pietrafesa, L. J. y Smith, N. P. 1990. Principles of hydraulic management of coastal lagoons for aquaculture and fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper. No. 134.* Rome, FAO, 88 p.

Molina-Cruz, A. 1986. Evolución geográfica de la boca del Golfo de California. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. UNAM*, 13(2):95-120.

Munk, W. y M. A. Traylor. 1974. Refraction of ocean waves. Underwater topography to beach erosion. *Journal Geology*, 55,1-26 p.

Phleger, F. B. 1969. Some general features of coastal lagoons. En Lagunas costeras, Un Simposio. Memoria de Simposio Internacional de Lagunas Costeras (Ayala-Castañares, A. y Phleger, F.B., eds.). UNAM-UNESCO, México, D.F., 28 al 30 de noviembre de 1967, pp. 5-26.

Roden, G. I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. Marine Geology in the Gulf of California. En: T.H. van Andel y G.G. Shor Jr. (eds.), Memoir American Association Petrology and Geology, 3:30-58.

Rosales-Grano, P. 2015. Observaciones de marea y oleaje en bahía de Lobos, Son. Informe Técnico Interno. Instituto Tecnológico de Guaymas, Junio de 2015.

Uncles, R. J. 2002. Estuarine physical processes research, some recent studies and progress. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 55, 829-856.

Valle-Levinson, A., J. A. Delgado-Contreras, y L. P. Atkinson (2001). Reversing water exchange patterns at the entrance to a semiarid coastal lagoon. Estuarine Coastal and Shelf Science, 53, 825-838.

Warsh, C. E., K. L. Warsh y R. C. Stanley. 1973. Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. Deep Sea Research, 20:561-570.

Zamudio, L., P. Hogan y E. J. Metzger. 2008. Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train, J. Geophys. Res., 113, C06020, doi:10.1029/2007JC004467

1.6 Vegetación y flora: capital natural y riqueza cultural

Por Zulia M. Sánchez-Mejía^{1,2}, Joseline Benítez López¹, José David Soto Espinoza¹, Enrico A. Yépez¹

¹Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora

²Correspondencia: 5 de Febrero 818 Sur, Col. Centro. Obregón, México.

Email: zulia.sanchez@itson.edu.mx

Introducción

El desarrollo de políticas públicas y estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático ponderando a la conservación de la biodiversidad, requieren de marcos conceptuales basados en el sistema social-ecológico (Carpenter y Mooney et al. 2009). El concepto de capital natural se refiere a todos los componentes del ecosistema, que contribuyen a la generación de bienes y servicios para la humanidad (Guerry y Polansky et al. 2015). Como ya se ha descrito por uno de los grandes naturalistas de nuestros tiempos, von Humboldt, *“la vegetación y flora es influenciada por variables ambientales y geográficas, en entornos naturales y antropogénicos”*.

El gradiente topográfico de Sonora da las condiciones para que se desarrollen cinco ecoregiones, 1) el desierto sonorense, 2) planicie central con clima árido y semiárido, 3)

deltas y tributarios que resultan de los ríos Colorado, Concepción, San Ignacio, Sonora, Mátape, Yaqui y Mayo, 4) franja tropical y subtropical a lo largo del piedemonte de la Sierra Madre Occidental, y 5) zona templada conformada por la Sierra Madre Occidental en donde se localiza el archipiélago de Madrean (Martínez-Yrizar y Felger et al. 2010; Felger y Theodore et al. 2012).

Dadas las condiciones climáticas y geohidrológicas de estas zonas semiáridas, los ecosistemas que se desarrollan en estas regiones son sometidos a estrés hídrico (Watts y Rodríguez et al. 1999; Mendez-Barroso y Vivoniet al. 2009). A su vez, estas zonas semiáridas impactan al sistema climático a través de procesos donde interactúan suelo, vegetación, y atmósfera (Sanchez-Mejia and Papuga, 2014). Los servicios ecosistémicos de las zonas áridas y semiáridas son críticos, debido a que el 40 % de la superficie Terrestre es clasificada en esta categoría y al menos 2 billones de personas dependen de los servicios que estos ecosistemas provén (MEA, 2005).

El capital natural reside en la capacidad que tiene los ecosistemas en aprovisionar servicios ecosistémicos que se puede clasificar en: 1) soporte, 2) regulación, 3) de provisión y 4) culturales, y generalmente es una integración que va más allá de la cuantificación de un solo servicio (MEA, 2005; Martínez-Yrizar et al. 2010; Lau, 2013). En ecoregiones donde los recursos hídricos son escasos, la conexión entre el agua y la biota sostiene el flujo del resto de los servicios ecosistémicos. Adicionalmente, existen efectos de cascada relacionados a cada categoría de servicio ecosistémicos, resultando en

un manejo complejo de recursos naturales a diferentes escalas y considerando a diversos actores (Gordon and Folke, 2000).

Es una necesidad emergente invertir en estudios confiables que indiquen el estado de los ecosistemas, sus servicios y por ende el capital natural, con la finalidad de tener la mejor información para generar planes de manejo y estrategias que aseguren criterios responsables para toma de decisiones. Para ofrecer esta información es necesario tener datos de campo, productos de sensores remotos (i.e. PPN, PPB, ET, NDVI), modelos, y conjuntar equipos de trabajo multidisciplinario con intereses de monitoreo a largo plazo (Clark et al. 2001). La conjunción de actores es particularmente complejo debido a; a) definición de conceptos (i.e. idioma de cada disciplina), b) percepción del concepto en los diferentes niveles de toma de decisiones y c) el beneficio de la implementación del concepto (Persnall et al. 2014). Sin embargo, existen caso de éxito en donde todos los actores interesados han aportado elementos para el manejo adaptativo desde sus perspectivas (Huber-Sanwald et al. 2006).

En este capítulo describimos la importancia de la vegetación y flora como capital natural en el Territorio Yaqui. Este capítulo enmarca; a) los ecosistemas en el Territorio Yaqui, b) los servicios ecosistémicos y capital natural y c) el valor del servicio ecosistémico cultural descrito a través de la etnobotánica.

La vegetación del Territorio Yaqui

La región del Territorio Yaqui se ubica en el pie de monte de Sonora, el capital natural en cuanto a vegetación y flora se conforma de biodiversidad característica de zonas áridas. En el noroeste de México converge el bioclima neotropical y holártico, en este abrupto gradiente ambiental encontramos desde manglares, desiertos, selvas, hasta bosques templados (Shreve, 1951).

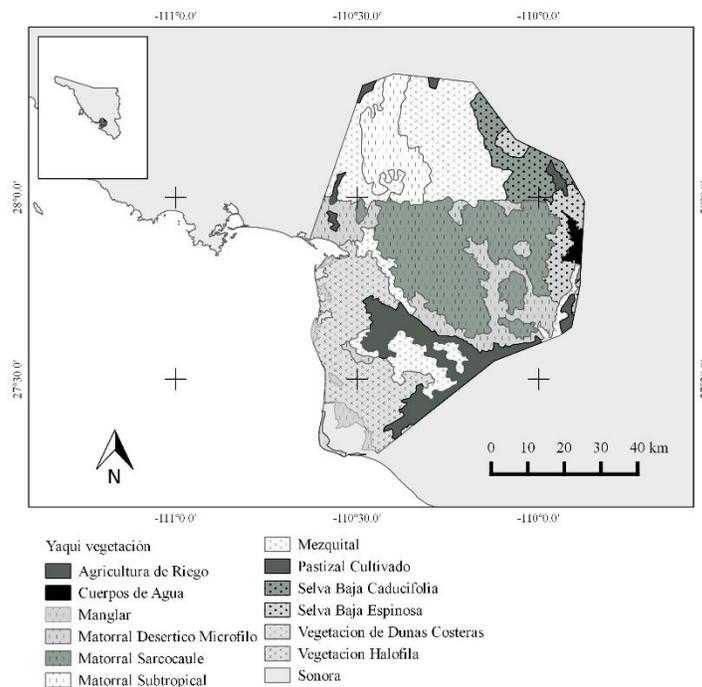


Figura 1. Vegetación en el territorio Yaqui. Fuente: CONABIO, 2008.

El Territorio Yaqui se localiza entre la planicie Sonorense que va desde 0 a 500 msnm. En este gradiente altitudinal se distribuyen ecosistemas de manglar, vegetación de dunas costeras y halófitas, matorrales (desértico microfilo, sarcocaulé, subtropical y el mezquital), selva baja caducifolia y la selva baja espinosa (Fig. 1) (INEGI, 2009). Esta transición es típica del pie de monte de la región (Sanchez-Mejia et al. 2007), en donde

observamos especies como *Prosopis glandulosa*, *Cercidum floridum*, *Velutina glabra*, por mencionar algunas. Adicionalmente, en 25% del territorio Yaqui se desarrollan actividades agrícolas y 2% ganaderas lo cual ha resultado en una transformación profunda de la biodiversidad original.

A continuación, se describen las generalidades de la vegetación en el territorio Yaqui, de la costa al pie de monte.

Ecosistemas costeros

Pastos Marinos

Los pastos marinos han sido pobremente registrados en México en general. En el trabajo realizado por (Torre-Cosío and Bourillón, 2000) se reporta presencia de pastos marinos justo al norte del territorio Yaqui en las cercanías de isla Tiburón y se considera que potencialmente también se encuentren frente a las costas de territorio Yaqui. Los pastos marinos juegan un papel importante en el ciclo de carbono, debido a su capacidad de almacenaje en el suelo (Siikamaeki et al. 2013; Fourqurean et al. 2014; Herrera, 2016;). Desafortunadamente, se desconoce la extensión y la biodiversidad que albergan en México en general y en territorio del Yaqui en particular, lo cual representa un área de oportunidad para avanzar el conocimiento de la vegetación en esta zona.

Manglar

Los manglares en Sonora cubren 19% del área de la línea de costa (1,186 km) (Fig.1), en el territorio Yaqui está el sitio Ramsar Complejo Lagunas Bahía Guásima-Estero Lobo

(PN 05) (CONABIO 2009). En esta región en particular el paisaje está dominado por *Avicennia germinans* (mangle negro) con una densidad de 2167 ± 362 árboles ha⁻¹ (Sanchez-Carrillo y Sanchez-Andrés et al. 2009).

Los manglares del Golfo de California esta distribuidos en 13 regiones de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). El territorio Yaqui se encuentra en la región de Guásimas-Yavaros. Los manglares son clave para las pesquerías del Golfo de California, el cambio de uso de suelo resulta en un fuerte impacto económico en las comunidades de pescadores locales y en la producción alimentaria de la región. Hace casi una década, se estimó que cada hectárea de manglar resultaba en un rendimiento de las pesquerías en \$37,000 USD por hectárea, particularmente, dada la importancia de estos ecosistemas como sitios de anidación de las especies costeras y marinas (Aburto-Oropeza et al. 2008). El riesgo que corren estos ecosistemas están dados por; 1) devaluación que resulta en precios abaratados de la tierra para la construcción de complejos turísticos y 2) políticas públicas que no consideran el valor agregado y generacional de los recursos naturales (Dalton, 2008). Adicionalmente, los manglares al igual que los pastos marinos, son ecosistemas costeros de gran importancia para el ciclo del carbono lo cual sugiere una gran relevancia para los servicios ecosistémicos de soporte y regulación que ofrece esta región, la conservación de estos ecosistemas, por lo tanto, deberá ir de la mano de actividades llevadas a cabo con el menor impacto posible y que dejen derrama económica en la población local (Pendleton et al. 2012) para mantener el capital natural de generaciones futuras.

Dunas costeras y halófitas

El funcionamiento de los ecosistemas costeros esta intrínsecamente relacionado con los ecosistemas aledaños a la duna y la atmósfera. Las dunas son los ecosistemas costeros expuestos a la acción de vientos fuertes y contribuyen al aporte litoral y continental de sedimentos (Martínez et al. 2014). En cuanto a la vegetación que se distribuye en las dunas, esta puede variar. Por ejemplo, en dunas interiores se puede encontrar especies de matorral xerófilo, en zonas de mayor salinidad se encuentran especies halófitas como *Batis marítima*, *Sesuvium portulacastrum* y *Salicornia pacifica* (Ochoa, 2015). Las dunas en Sonora han sido poco estudiadas pero el potencial que representan especialmente en el territorio Yaqui es de gran importancia, junto con la vegetación halófito ya que cubren aproximadamente 55, 478 ha (9%) y conectan los ecosistemas terrestres y costeros (Fig. 1).

Ecosistemas terrestres

Matorral

Los matorrales en México son de origen tropical, son de los ecosistemas más abundantes y amenazados por actividades antropogénicas (Martínez-Yrizar et al. 2010). En el territorio Yaqui se distribuyen los dos matorrales registrados para Sonora, el de piedemonte y el costero (Felger, 1980). El matorral espinoso arbustivo, en ocasiones semi-arborescente muy diverso, está en el límite de la transición entre el desierto Sonorense y la selva baja caducifolia (Búrquez et al. 1999). En esta zona de transición se han registrado especies pertenecientes a las familias Apocynaceae, Burseraceae, Cactaceae, Compositaeae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Salicaceae, Streculiaceae, Ulmaceae

y Zygopyllaceae, generalmente el 50% de la composición florística es arbustiva, y la altitud condiciona la distribución de las especies (Sanchez-Mejia et al. 2007). En el territorio Yaqui de acuerdo a la clasificación de CONABIO (2008), encontramos matorral desértico micrófilo, sarcocaulé, y subtropical, adicionalmente de una zona de mezquital, en conjunto esta superficie corresponde a 42% del territorio lo que equivale aproximadamente a 231, 130 ha (Fig. 1).

Selva baja caducifolia y espinosa

La SBC es uno de los ecosistemas más importantes en México debido a su expansión geográfica y sus características ecológicas que las convierten en zonas aptas para el desarrollo de asentamientos humanos y actividades agropecuarias.

En el territorio Yaqui, el matorral y la selva baja caducifolia interactúan cercanamente delimitados por la altitud, aunque su delimitación con respecto a los matorrales es difusa (Búrquez and Martínez-Yrizar, 2010). La selva baja cubre aproximadamente el 20% del territorio Yaqui (110,000 ha) (Fig. 1). El límite norte de la distribución de la SBC, es justamente donde comienza el desierto Sonorense y al sur se extiende hasta Centroamérica. La SBC ha sido transformada a lo largo del tiempo a terrenos agrícolas y pastoriles, y al ser abandonada, esta SBC entra en un estado de sucesión muy dinámico (Álvarez-Yépiz et al. 2008). Sin embargo, el aprovechamiento desmedido de este ecosistema ha causado que actualmente se encuentre altamente fragmentado debido a actividades agrícolas y pecuarias y forestales, introducción y extracción de especies, reducción de la cobertura vegetal y perturbaciones en el ciclo del agua y nutrientes

(Maass et al. 2010). La fragmentación del ecosistema ha ocasionado un mosaico de estados sucesionales SBC que van de una fase de SBC madura, que a raíz de prácticas de tumba-roza-quema convierten la SBC a pastizales inducidos y áreas de agricultura que después de ser abandonadas se convierten en bosques tropicales secos secundarios (Álvarez-Yépiz et al. 2008). Estas transformaciones del ecosistema han producido un mosaico de usos de suelo del SBC, al grado de considerarse que los bosques secundarios serán la generalidad de la cobertura de estos ecosistemas en el futuro (Sanchez-Azofeifa et al. 2009).

Valor de los ecosistemas del territorio Yaqui

El conocimiento del tipo de vegetación en Sonora, y por tanto del territorio Yaqui, se enfoca principalmente a la descripción de la flora de dichos ecosistemas. Sin embargo, poco se conoce sobre su estructura y función Martínez-Yrizar et al. (2010), lo cual limita la capacidad de: 1) cuantificar servicios ecosistémicos, 2) cuantificar patrones espaciales y temporales de dichos servicios, 3) definir regiones críticas de conservación y 4) cuantificar el cambio de uso de suelo y por tanto el cambio en los servicios (Martínez-Yrizar et al. 2010). Esto es necesario para estimar el bienestar, y la resiliencia de las poblaciones humanas que dependen de estos recursos, tanto para subsistencia como para la preservación de las tradiciones autóctonas. Tomando como referencia al trabajo de Martínez-Yrizar et al. (2010), se determinaron para asignar un valor relativo de la importancia de los servicios ecosistémicos de los ecosistemas del territorio Yaqui. Esta evaluación muestra que la capacidad de proveer servicios varía de un ecosistema a otro y que en ocasiones no tenemos información disponible.

Con respecto a los ecosistemas costeros mencionados aquí, los pastos marinos carecen de mayor información con respecto a los manglares y las dunas (Tabla 1). Sin embargo, a pesar de que existe información de manglares y dunas aún hay desconocimiento específico para la región. En cuanto a los ecosistemas terrestres, las selvas aportan ligeramente más servicios ecosistémicos que los matorrales (Tabla 1), sin embargo, los servicios funcionales relacionados con regulación y soporte no han sido evaluados en su totalidad, especialmente bajo condiciones locales y bajo esquemas de monitoreo a largo plazo para entender la influencia de la variabilidad climática.

Productividad primaria neta de los ecosistemas de Territorio Yaqui

La productividad primaria neta (PPN) se refiere a la capacidad total que tiene el ecosistema de fijar carbono en la vegetación por medio de la fotosíntesis pero considerando las pérdidas por respiración (Chapin et al. 2011). En la Fig. 2, observamos la PPN estimada con el algoritmo MOD17 del sensor satelital (MODIS, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (ORNL, 2008) en un sitio donde se distribuye SBC y uno donde se distribuye el matorral micrófilo. Observamos que, la SBC tiende a tener mayor PPN que el matorral, dado posiblemente por la cobertura vegetal, el régimen de lluvia y las propiedades del suelo. En ambos ecosistemas, a menor precipitación se tiende a observar menor productividad.

Cabe resaltar que será de suma importancia analizar las funciones de estos ecosistemas en diferentes escenarios de precipitación y temperatura, ya que sin duda la tendencia de cambio climático pudiera afectar procesos, interacciones y retroalimentación en estos

ecosistemas. Adicionalmente, desconocemos los umbrales que pueden tolerar y la resiliencia bajo diferentes condiciones pero sabemos que los legados de precipitación de años anteriores pueden tener una influencia muy marcada en la dinámica funcional de estos ecosistemas (Verduzco et al. 2015).

Tabla 1. Valor relativo de los ecosistemas del territorio Yaqui en términos de capacidad de proveer bienes y servicios (Tomado de (Martínez-Yrizar et al. 2010). Escala: 0=nulo, 1=bajo, 2=medio, 3=alto en importancia local.

	Pastos marinos	Manglar	Duna costera y vegetación halófitas	Matorral	Selva Baja
Servicio de soporte y regulación					
Almacenamiento de carbono en suelo	3	3	1	2	2
Almacenamiento de carbono en biomasa	1	3	1	3	3
Flujo de carbono	?	?	?	2	2
Barrera contra huracanes	1	3	1	0	0
Control de erosión	3	3	3	3	3
Captación de agua	0	0	2	3	3
Recarga de acuíferos	0	0	3	2	3
Regulación de calidad del aire	2	2	2	2	2
Acervo de recursos genéticos	3	3	3	3	3
Provisión de polinizadores	0	2	2	3	3
Fertilidad de suelo	0	3	2	3	3
Servicio de provisión					
Recursos forestales	0	2	2	3	3
Recursos de vida silvestre	1	3	2	2	3
Recursos medicinales	?	?	?	2	2
Recursos forrajeros	1	3	0	2	3
Servicios culturales					
Belleza escénica	3	3	2	3	3
Conocimiento tradicional	?	?	?	3	3
Recreación	3	3	3	3	3

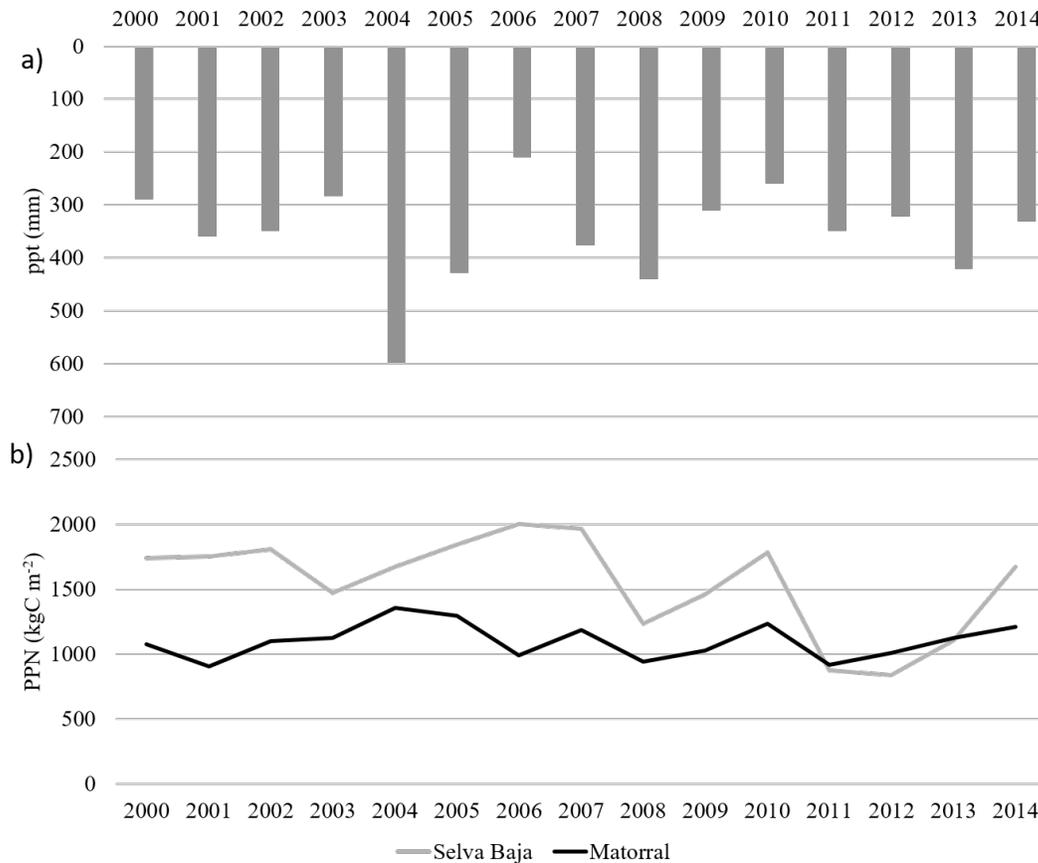


Figura 2. Series de tiempo de a) la precipitación en Cd. Obregon Sonora y b) la productividad primaria neta (ORNL 2008), para dos sitios en el territorio Yaqui.

Valor cultural de especies de flora

La cultura Yaqui es rica en conocimiento que trasciende generaciones. Gran parte de esa riqueza nace del capital natural que poseen tanto en flora como en fauna (Felger y Moser 1991). Aquí presentamos una pequeña recopilación de especies empleadas por la etnia Yaqui, en su día a día para remediar enfermedades comunes (Tabla 2). Estas especies principalmente son parte de los ecosistemas de Selva Baja y Matorral, sin embargo, puede no estar documentado el uso de especies de manglar o pastos marinos. Este es un listado breve generado con la información de la base de datos de medicina tradicional de la UNAM (<http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx>). Será prioritario

adentrarse en este tema, puesto que los servicios ecosistémicos culturales que fundamentan el capital natural de la región Yaqui ofrecen una vasta riqueza cultural poco explorada.

Tabla 2. Listado de especies de valor medicinal y tradicional en el territorio Yaqui, la mayoría perteneciente a matorral. Forma biológica, A: árbol, Ar: arbusto, C: cactácea, H: herbácea, L: liana.

Lengua Yaqui	Nombre común	Especie	Forma Biológica	Uso
<i>Uu ejea kuta</i>	Palo fierro	<i>Olneya tesota</i> Gray.	A	Dientes flojos y Asma.
<i>Uu makochini</i>	Guamúchil	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	A	Síndrome diarreico, Dolor de estómago y Pujos (disenteria).
<i>Ume santa kus pusim</i>	Ojo de santa cruz	<i>Rhynchosia pyramidalis</i> (Lam.) Urb.	A	Dolor de cabeza. Para buena suerte.
<i>Uu ju'upa</i>	Mezquite	<i>Prosopis juliflora</i> (Swartz) DC.	A	Dolor de muelas. Velorios.
<i>Uu too chukui</i>	Torote prieto	<i>Bursera microphylla</i> Gray.	A	Bronquitis y Tos. Torcedura y
<i>Uu aaso</i>	Álamo	<i>Populus fremontii</i> S. Wats.	A	Desconcertadura de los huesos.
<i>Uu mureo</i>	Ocotillo macho	<i>Fouquieria macdougalii</i> Nash.	A	Sarna, Cataratas y Llagas infectadas.
<i>Uu kukka</i>	Vinorama	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Ar	Fiebres, Dolores molares y de Amigdalitis.
<i>Uu tooko juya</i>	Rama ceniza	<i>Encelia farinosa</i> Gray.	Ar	Dolor dental y Mal de orín.
<i>Uu ron juan</i>	Don juan	<i>Nicotiana glauca</i> Gram.	Ar	Calentura.
<i>Uu jubakbena</i>	Juvaivena	<i>Atamisquea emarginata</i> Miers.	Ar	Dolor de muelas, Dientes flojos y Reumatismo.
<i>Uu kebenia</i>	Higuerilla	<i>Ricinus communis</i> L.	Ar	Dolor de cabeza.
<i>Uu juya tampisa</i>	Confiturilla	<i>Lantana cámara</i> L.	Ar	Diabetes.
<i>Too nini</i>	Lengua de buey	<i>Buddleja wrightii</i> Rab.	Ar	Dolor de cabeza, dolor corporal.
<i>Uu manto</i>	Manto	<i>Jacquemontia azurea</i> (Rich.) Choisy.	Ar	Inflamación y Heridas superficiales.
<i>Uu bachomo</i>	Batamote	<i>Baccharis glutinosa</i> Pers.	Ar	Dolor estomacal y molar, Olor de pies y Caída de pelo.
<i>Uu bibino</i>	Salvia	<i>Hyptis emoryi</i> Torr.	Ar	Tos y Gripe.
<i>Uu kosawi</i>	Cosahui	<i>Krameria parvifolia</i> Benth.	Ar	Purgación, purificación de la sangre y Frialdad en la matriz vaginal.
<i>Uu kobanao kuta</i>	Gobernadora	<i>Larrea tridentata</i> .	Ar	Hipotermia y Frialdad en la matriz vaginal.
<i>Uu sappo</i>	Sangreado	<i>Jatropha cuneata</i> Wiggins and Rollins.	Ar	Dolor molar, Cataratas y Diabetes.
<i>Uu kungo</i>	Cumbro	<i>Celtis reticulata</i> Torr.	C	Síndrome diarreico.

<i>Uu tukaapo reyna</i>	Reyna de la noche	<i>Machaerocereus gummosus</i> (Engelm.) Britton et Rose.	C	Dolor de la boca estomacal (latido).
<i>Uu sepii</i>	Siviri	<i>Opuntia thurberi</i> Engelm.	C	Síndrome diarreico.
<i>Uu nono</i>	Sarramatraca	<i>Wilcoxia striata</i> (Brand.) Britton et Rose.	C	Dolor de cabeza.
<i>Uu choa</i>	Choya	<i>Opuntia sp.</i>	C	Dolor en los riñones y Disentería.
<i>Uu aaki</i>	Pitahaya	<i>Stenocereus thurberi</i> (Engelman) Buxbaum.	C	Mordedura de víbora.
<i>Uu epasote</i>	Epazote	<i>Teloxys ambrosioides</i> (L.) Weber.	H	Desparasitante (lombrices).
<i>Ume mamyam</i>	Chichiquelite	<i>Solamum nigrum</i> L.	H	Calentura, Fiebre y Boca amarga.
<i>Uu saawa</i>	Saya	<i>Amorouxia palmatifida</i> Moc. et Sesse.	H	Picaduras de animales ponzoñosos.
<i>Uu tebwi</i>	Toloache	<i>Datura meteloides</i> DC.	H	Dolor muscular, de oído y Hemorroides.
<i>Uu kameroy</i>	Guachapori	<i>Xanthium strumarium</i> L.	H	Mal de orín.
<i>Uu naubo</i>	Hierba del diablo	<i>Aster spinosus</i> Benth.	H	Protuberancia cutánea.
<i>Maaso kuta</i>	Hierba del venado	<i>Porophyllum gracile</i> Benth.	H	Problemas de fertilidad en la matriz vaginal.
<i>Uu chi'ichibo</i>	Estafiate	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	H	Eliminar piojos y Dolor estomacal.
<i>Uu muunaka</i>	Oreja de tecolote	<i>Abutilon incanum</i> (Link) Sweet.	H	Disentería (pujos).
<i>Manzanilla de coyote</i>	Manzanilla de coyote	<i>Pectis palmeri</i> S. Watson.	H	Calentura por dolor de huesos.
<i>Ume koapaim</i>	Golondrina	<i>Euphorbia prostrata</i> Ait.	L	Cataratas.
<i>Uu kau chaani</i>	Guareque	<i>Maximowiczia sonora</i> S. Wats.	L	Diabetes y cicatrización de llagas o úlceras.
<i>Uu bwesubila</i>	Hierba del indio	<i>Aristolochia batucensis</i> Wiggins et Rollins.	L	Empacho.
<i>Uu nata'e</i>	Rama quemadora	<i>Urtica dioica</i> L.	L	Calentura.

Literatura citada

- Aburto-Oropeza, O., Ezcurra, E., Danemann, G., Valdez, V., Murray, J., and Sala, E. (2008). Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *PNAS* **105**(30): 10456-10459.
- Álvarez-Yépiz, J., Martínez-Yrizar, A., Burquez, A., and Lindquist, C. (2008). Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and

secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* **256**(3): 355-366. doi: 10.1016/j.foreco.2008.04.049.

Búrquez, A., and Martínez-Yrizar, A. (2010). Límites geográficos entre selvas secas y matorrales espinosos y xerófilos: qué conservar? *In* *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del pacífico de México*. Edited by G. Ceballos and L. Marínez and A. García and E. Espinoza and J. Creel and R. Dirzo. CONABIO, Mexico.

Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Felger, R., and Yetman, D. (1999). Vegetation and Habitat Diversity at the Southern edge of the Sonoran Desert. *In* *Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities*. Edited by R. Robichaux. Universty of Arizona Press, USA. pp. 36-67.

Carpenter, S., Mooney, H., Agard, J., Capistrano, D., DeFries, R., Diaz, S., Dietz, T., Duraiappah, A., Oteng-Yeboah, A., Pereira, H., Perrings, C., Reid, W., Sarukhan, J., Scholes, R., and Whyte, A. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **106**(5): 1305-1312. doi: 10.1073/pnas.0808772106.

Chapin III, F., PA, and Vitousek, P. (2011). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer.

Clark, J., Carpenter, S., Barber, M., Collins, S., Dobson, A., Foley, J., Lodge, D., Pascual, M., Pielke, R., Pizer, W., Pringle, C., Reid, W., Rose, K., Sala, O., Schlesinger, W., Wall, D., and Wear, D. (2001). Ecological forecasts: An emerging imperative. *Science* **293**(5530): 657-660. doi: 10.1126/science.293.5530.657.

CONABIO (2009). Manglares de México: Extensión y distribución. 2da ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Dalton, R. (2008). Mexican mangroves well worth saving. *Nature*. doi: 10.1038/news.2008.966.

Felger, R. (1980). Vegetation and Flora of the Gran Desierto, Sonora, Mexico. *Desert Plants*. pp. 87-114.

Felger, R., and Moser, M. (1991). *People of the Desert and Sea: Ethnobotany of the Seri Indians*. University of Arizona Press, USA.

Felger, R., Theodore, W., and Romero-Morales, H. (2012). *Plant life of a Desert Archipelago*. The University of Arizona Press, USA.

Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J., Kennedy, H., Lovelock, C., Megonigal, J., Rahman, A., Saintilan, N., and Simard, M. (2014). Coastal Blue Carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal marshes, and seagrass meadow. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, Arlington, Virginia, USA.

Gordon, L., and Folke, C. (2000). Ecohydrological landscape management for human well-being. *Water International* **25**(2): 178-184.

Guerry, A., Polasky, S., Lubchenco, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G., Griffin, R., Ruckelshaus, M., Bateman, I., Duraiappah, A., Elmqvist, T., Feldman, M., Folke, C., Hoekstra, J., Kareiva, P., Keeler, B., Shuzhou, L., McKenzie, E., Ouyang, Z., Reyers, B., Ricketts, T., Rockstrom, J., Tallis, H., and Vira, B. (2015). Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice *PNAS* **112**: 7348-7355.

- Herrera, J. (2016). Carbono Azul, el papel de los manglares y pastos marinos. *In* Simposio Internacional del Carbono en México. *Edited by* P.M.d. Carbono. CONACyT, Pachuca, Hidalgo.
- Huber-Sanwald, E., Maestre, F., Herrick, J., and Reynolds, J. (2006). Ecohydrological feedbacks and linkages associated with land degradation: A case study from Mexico. *Hydrological Processes* **20**: 3395-3411.
- INEGI (2009). Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250000, serie IV. CONABIO, México.
- Lau, W.W.Y. (2013). Beyond carbon: Conceptualizing payments for ecosystem services in blue forests on carbon and other marine and coastal ecosystem services. *Ocean & Coastal Management* **83**: 5-14. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2012.03.011.
- Maass, M., Jardel, E., Martínez-Yrizar, A., Calderon, L., Herrera, Castillo, A., Euan-Avila, J., and Equihua, A. (2010). Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México. *Ecosistemas* **19**(2): 69-83.
- Martínez, M., Moreno-Casasola, P., Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., and Infante-Mata, D. (2014). Diagnóstico de las dunas costeras de México. CONABIO, México.
- Martínez-Yrizar, A., Felger, R., and Búrquez, A. (2010). Los Ecosistemas de Sonora: un diverso capital natural. *In* Diversidad Biológica de Sonora *Edited by* F. Molina and T. Van Devender. UNAM-CONABIO, México. pp. 129-156.
- MEA (2005). Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis. World Resources Institute, Washington D.C.
- Mendez-Barroso, L.A., Vivoni, E.R., Watts, C.J., and Rodríguez, J.C. (2009). Seasonal and interannual relations between precipitation, surface soil moisture and vegetation

dynamics in the North American monsoon region. *Journal of Hydrology* **377**(1-2): 59-70. doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.009.

Ochoa, N. (2015). Caracterización ecológica, estatus de protección e impacto antropogénico de las dunas costeras del estado de Sinaloa, México. Universidad Autónoma de Sinaloa, Mexico.

ORNL, D. (2008). MODIS Collection 5 Land products Global Subsetting and Visualization Tool. *Edited by O. DACC*, Oak Ridge Tennessee USA.

Pendleton, L., Donato, D.C., Murray, B.C., Crooks, S., Jenkins, W.A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Marba, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., and Baldera, A. (2012). Estimating Global "Blue Carbon" Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *Plos One* **7**(9). doi: 10.1371/journal.pone.0043542.

Persnall, C., López-Hoffman, L., and Miller, M. (2014). Adding ecosystem services to environmental impact assessments: More sequins on a bloated Elvis or a rockin'idea? *Ecological Economics*(Ecosystem services in U.S. federal environmental regulatory policy). doi: 10.1016/j.ecolecon.2014.02.001.

Sanchez-Azofeifa, G., Quesada, M., Cuevas-Reyes, P., Castillo, A., and Sanchez-Montoya, G. (2009). Land cover and conservation in the area of influence of the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Mexico. *Forest Ecology and Management* **258**(6): 907-912. doi: 10.1016/j.foreco.2008.10.030.

Sanchez-Carrillo, S., Sanchez-Andres, R., Alatorre, L.C., Angeler, D.G., Alvarez-Cobelas, M., and Arreola-Lizarraga, J.A. (2009). Nutrient fluxes in a semi-arid microtidal

mangrove wetland in the Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **82**(4): 654-662. doi: 10.1016/j.ecss.2009.03.002.

Sanchez-Mejia, Z., Serrano-Grijalva, L., Peñuelas-Rubio, O., Pérez-Ruiz, E., Siqueiros-Ruvalcaba, E., and García-Calleja, M. (2007). Composición florística y estructura de la comunidad vegetal del límite del desierto de Sonora y la selva baja caducifolia (Noroeste de México). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* **3**(1): 74-83.

Sanchez-Mejia, Z. M., and Papuga, S. A. (2014). Observations of a two-layer soil moisture influence on surface energy dynamics and planetary boundary layer characteristics in a semiarid shrubland. *Water Resources Research* **50**(1): 306-317. doi: 10.1002/2013wr014135.

Shreve, F. (1951). *Vegetation of the Sonoran Desert*. Carnegie Institution of Washington, Washington DC.

Siikamaeki, J., Sanchirico, J. N., Jardine, S., McLaughlin, D., and Morris, D. (2013). BLUE CARBON Coastal Ecosystems, Their Carbon Storage, and Potential for Reducing Emissions. *Environment* **55**(6): 14-29. doi: 10.1080/00139157.2013.843981.

Torre-Cosío, J., and Bourillón, L. (2000). Monitoring of Canal "el Infiernillo" for the management of marine resources in Seri territory. CONABIO and Conservación Internacional Mexico AC.

Verduzco, V., Garatuza-Payan, J., Yopez, E., Watts, C., Rodríguez, J., Robles-Morua, A., and Vivoni, E. (2015). Variations of Carbon Exchanges due to seasonal precipitation differences in a tropical dry forest of northwest Mexico. *Biogeosciences* **120**(10): 2081-2094.

Watts, C., Rodriguez, J., Payan, J., de Bruin, H., and Stewart, J. 1999. Estimate potential evaporation and solar radiation in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico, using data from satellite. *Ingenieria Hidraulica En Mexico* **14**(3): 45-53.

1.7 Ecosistemas costeros: condición y tendencia ambiental del complejo lagunar Guásimas-Lobos

Por José Alfredo Arreola Lizárraga¹, Luz María Cruz García², Thelma Michelle Ruiz Ruiz¹, Héctor Hugo Vargas González¹, Jesús Antonio Mata Ángeles³, Roberto Carmona Piña²

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Km. 2.35 Camino al Tular, Estero de Bacoichampo, Guaymas, Sonora. CP. 85454

²Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur km 5.5, La Paz BCS, Mexico, 23080.

³Instituto Tecnológico de Sonora, Bulevar 5 de Febrero 818 Sur, Ciudad Obregón, Sonora, México, CP 85000.

Email: aarreola04@cibnor.mx

Resumen

La zona costera del territorio Yaqui representa un valioso capital natural. El objetivo de este estudio es conocer su condición y tendencia ambiental. El área de estudio se localiza en el sur del estado de Sonora, México y está caracterizada por lagunas costeras

bordeadas de vegetación de manglar. Es un sitio Ramsar denominado Complejo lagunar Guásimas-Lobos. La metodología se basó en los criterios propuestos por la Comisión para la Cooperación Ambiental para generar una ficha de evaluación ecológica. Los resultados mostraron que el complejo lagunar tiene un estado bueno y una tendencia estable. Este resultado da pauta a la necesidad de la gestión ambiental que incluya un programa de investigación y monitoreo, así como apoyo y capacitación a miembros de la comunidad Yaqui para que ellos realicen acciones de conservación y desarrollen proyectos productivos con la meta de preservar este valioso capital natural y mejoren sus condiciones de bienestar social.

Introducción

El desarrollo económico y social dependerá en el largo plazo del adecuado mantenimiento de los sistemas ecológicos que los sustentan, y que constituyen el capital natural del planeta (Gómez-Baggethun y Groot, 2007). En particular, para los ecosistemas costeros y marinos, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha planteado una visión estratégica para instrumentar un plan de largo plazo con lineamientos para conservar estos ecosistemas y mitigar los impactos de la actividad humana a través de cuatro objetivos centrales: (1) estudiar las conexiones tierra-océano, (2) considerar los ecosistemas para bienestar social, (3) reconciliar uso y conservación y (4) determinar la vulnerabilidad de lugares y gente (UNEP, 2011).

Entre los ecosistemas costeros, se ha reconocido la importancia ecológica y económica de las lagunas costeras, pero también que están sujetas a procesos de eutrofización, cambio

climático, pérdida de hábitat, disminución de recursos y cambios en comunidades biológicas (Wetz y Yoskowitz 2013), de tal forma que el conocimiento de su condición y tendencia ambiental es esencial para la gestión costera orientada a restaurar, mitigar o prevenir efectos adversos tanto ecológicos como económicos (Devlin et al. 2011).

En la costa este del Golfo de California, en la parte baja de la cuenca del Río Yaqui se conforma una zona costera caracterizada por una planicie deltaica con lagunas costeras bordeadas de vegetación de manglar, que forma parte del territorio de la comunidad indígena Yaqui, reconocido mediante decreto presidencial (DOF, 1940). En la planicie deltaica se desarrolla la agricultura de granos como el trigo, maíz y cártamo, así como de hortalizas, que se siembran en una superficie de ~ 23,000 hectáreas en el Distrito de Riego 018 "Colonias Yaquis" y en las lagunas costeras se desarrolla la pesca artesanal donde los pescadores Yaquis capturan camarón, jaiba y diversas especies de peces, y también desarrollan cultivo de ostión en pequeña escala. Este capital natural representa el sustento de la comunidad yaqui, cuyos principales asentamientos: Loma de Guamúchil, Lomas de Bácum, Torim, Vicam, Potam, Rahum, Huirivis y Belem, concentran alrededor de 20,000 habitantes (Arreola-Lizárraga et al. 2014).

La zona costera del territorio Yaqui fue reconocida por su importancia ecológica mediante su designación como sitio Ramsar denominado: "Complejo Lagunar Bahía Guásimas–Estero Lobos" (Ramsar 2008). Este sitio tiene presión antrópica por el desarrollo de actividades agrícolas, acuícolas, pesqueras y centros de población; específicamente, adyacente a la laguna Las Guásimas se desarrolla camaronicultura,

Algodones eventualmente recibe eventualmente agua residual agrícola y Lobos recibe aguas residuales urbanas y agrícolas. El objetivo de esta contribución es presentar la condición y tendencia ambiental del complejo lagunar Guásimas-Lobos para orientar acciones de gestión ambiental y preservar este valioso capital natural de la comunidad Yaqui.

Área de estudio

La zona costera del territorio Yaqui tiene ~ 96 km de línea de costa y está caracterizada por una amplia llanura costera con abanicos deltáicos, lagunas costeras con manglar, planicies de inundación con salinas, playas arenosas, dunas costeras estabilizadas y cordones costeros (Mendoza-Cantú 1997). Las lagunas costeras están asociadas al prisma deltaico del río Yaqui y se originaron por sedimentación terrígena diferencial y por depresión intradeltaica y marginal (Lankford, 1977).

El clima predominante en la región es semidesértico, seco y muy cálido (25.1°C de temperatura media anual), del tipo BW(h')wc con lluvias escasas, precipitación media anual de 200–300 mm y evaporación de 2,600 mm (García 2004). Las lluvias se presentan de julio a octubre, el mes más lluvioso es agosto y el más seco es mayo, las lluvias más importantes están asociadas al “monzón mexicano” que tiene influencia en el NE de México y SO de los Estados Unidos de América (Douglas et al. 1993). En esta región, los vientos tienen un marcado ciclo estacional: desde octubre hasta marzo provienen del noroeste y se manifiestan con 3 a 6 días de permanencia e intensidad de 8 a 10 m s⁻¹ y en verano provienen del sureste y se manifiestan con menos días e intensidades

de 2 a 5 m s⁻¹ (Badan-Dangon et al. 1985; Reyes y Lavín 1997). Esta zona costera está influenciada por las masas de agua de la provincia oceanográfica Golfo Interior que se caracterizan por salinidades relativamente altas con variaciones mínimas (35–36) (Roden y Emilsson, 1980). Las lagunas están influenciadas por mareas mixtas con predominancia de semidiurnas (Russell, 1981). La amplitud de marea es de ~1 m (Filloux, 1973) y clasifica como una costa micromareal (Davies, 1964).

Las lagunas más importantes por su tamaño son Lobos (102 km²), Las Guásimas (37 km²) y Algodones (4 km²). De acuerdo con los criterios de Kjerfve y Magill (1989), califican como lagunas del tipo “restringida”, considerando que están comunicadas permanentemente con el mar, tienen una circulación por mareas bien definida, son influenciadas por vientos estacionales y son bien mezcladas verticalmente. Estos cuerpos de agua tienen tasas de renovación del agua que varían desde 2 hasta 15 días dependiendo el sistema lagunar y la estación del año (Padilla-Arredondo et al. 2000; Valenzuela-Siu et al. 2007; Arreola-Lizárraga et al. 2015). En estas lagunas, las variaciones de temperatura del agua tienen intervalos amplios con valores mínimos de 13 -14 °C y máximos de 32 - 33 °C a través del año. Son lagunas eurihalinas con la variación anual de salinidad de 36 - 42 ups explicada por el balance precipitación-evaporación, el buen intercambio de agua con el océano y el escaso ingreso de agua dulce por lluvias (Valenzuela-Siu et al. 2007; Ruiz-Ruiz et al. 2017).

La vegetación dominante adyacente a los sistemas lagunares es halófito: *Salicornia* spp. y *Batis* spp., así como mangles *Rizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia*

racemosa y *Conocarpus erectus* (INEGI, 2010) las cuales están bajo protección especial por la normatividad NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF 2010).

El sitio Ramsar Complejo lagunar Guásimas–Lobos (Figura 1) alberga al 4% de la población de aves acuáticas migratorias en el invierno y el 9 % de las aves playeras observadas en la zona costera desde Baja California hasta el sur de Sonora. Es un punto de reproducción, zona estacional de alimentación y corredor migratorio de aves, así como área de reproducción, crianza, alimentación y refugio de invertebrados y peces. Diversas especies presentes en el sitio están enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001: Aves: garceta rojiza (*Egretta rufescens*); rascón picudo (*Rallus longirostris*); rascón limícola (*Rallus limicola*), charrán elegante (*Sterna elegans*); charrán mínimo (*Sterna antillarum*); grulla gris (*Grus canadensis*); gaviota ploma (*Larus heermanni*), todas ellas sujetas a protección especial; y ganso de collar (*Branta bernicla*), considerada amenazada. Mamíferos: delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*); calderón de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*); delfín común de rostro corto (*Delphinus delphis*); lobo marino californiano (*Zalophus californianus*); rata cambalachera sonoreña (*Neotoma phenax*); murciélago-miotis-pescador (*Myotis vivesi*), todas ellas sujetas a protección especial, y el murciélago hocicudo de Curazao (*Leptonycteris curasoae*), considerada como amenazada (Ramsar, 2008).

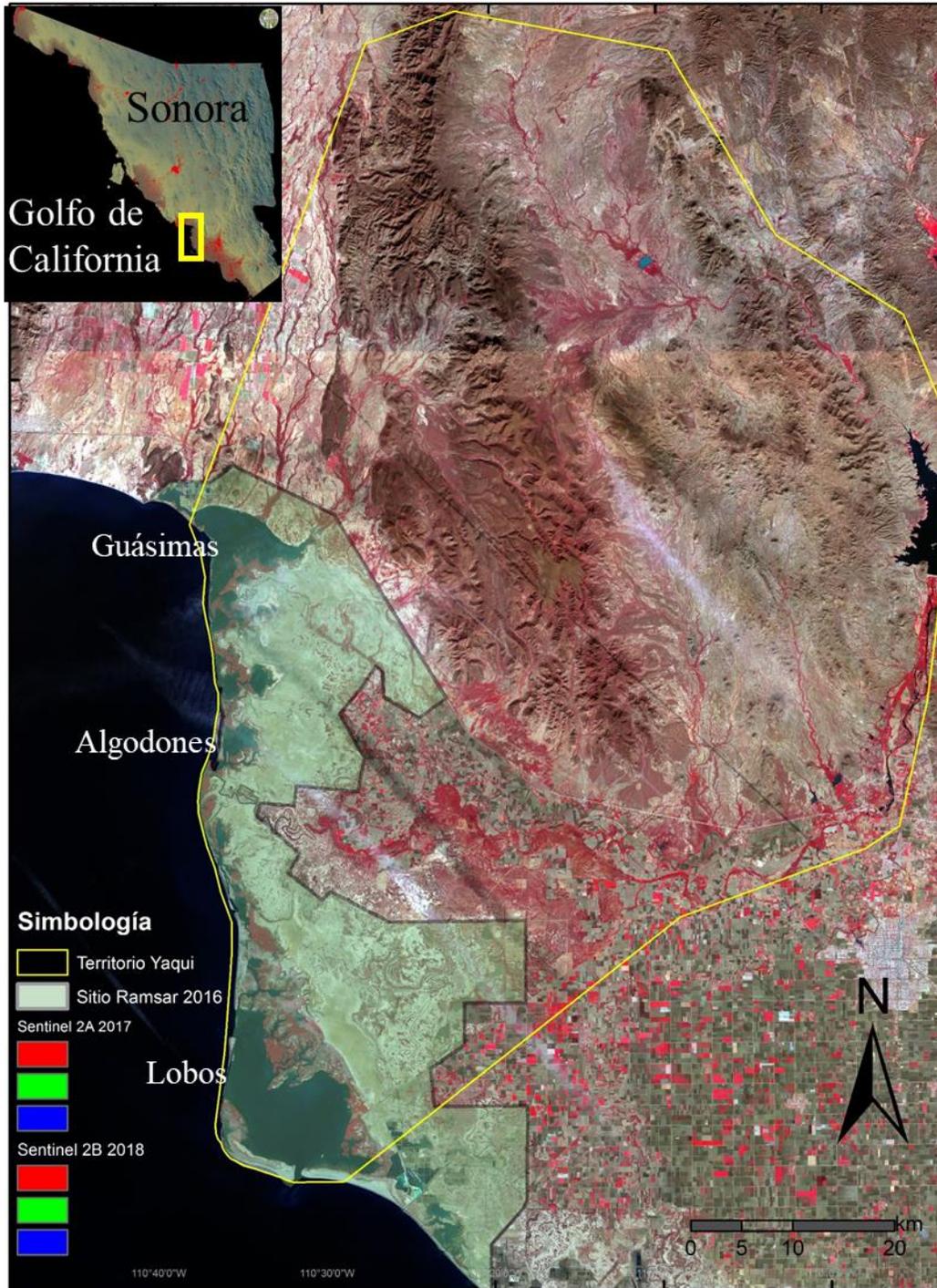


Figura 1. Delimitación del territorio Yaqui y del sitio Ramsar Complejo lagunar Guásimas-Lobos.

Cabe señalar diversos reconocimientos del complejo lagunar Guásimas-Lobos: (1) Área Natural Protegida debido a la isla de barrera Lobos que separa a la laguna del mismo nombre del mar adyacente (Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California, Sonora), (2) Región Marina Prioritaria, (3) Región Hidrológica Prioritaria (SEMARNAT 2007), (4) Área de Importancia para la Conservación de las Aves (Valdés 2000), (5) Sitio Ramsar (Ramsar 2008), (6) Humedal Prioritario para Aves Playeras en México (No. 10; SEMARNAT 2008) y (7) Humedal Prioritario para Aves Acuáticas Migratorias en México (Carrera y de la Fuente, 2003). En particular, por su importancia ecológica y social la laguna Lobos fue considerada candidata a área natural protegida en la categoría de área de protección de flora y fauna (Arreola-Lizárraga, 1994).

Metodología

El enfoque de la evaluación aplicado se basó en los criterios propuestos por la Comisión para la Cooperación Ambiental con el fin de generar una ficha de evaluación ecológica para mostrar el estado y tendencia del sitio RAMSAR (CCA, 2011).

La ficha es un recurso visual donde a partir de las respuestas a una serie de doce preguntas estandarizadas, se resumen las condiciones de tres elementos fundamentales: agua, hábitat y recursos biológicos (Tabla 1). Para responder a las preguntas se usan dos tipos de calificación: una referente al **estado** y otra a la **tendencia**. El estado es descrito mediante un índice de cinco puntos codificado por colores, cuya escala va desde crítico (lo peor) hasta superior (lo mejor), pasando por aceptable; o sin determinar, cuando no es posible emitir un dictamen (Tabla 2). La tendencia, también es descrita mediante cinco

puntos representados por símbolos, cuya escala va desde en rápido deterioro hasta en rápida mejoría (extremos que suponen que probablemente se alcance un estado distinto en un plazo de cinco años), pasando por estable (se considera poco probable que sufra cambios más allá de la variación normal); o sin determinar, cuando no hay suficiente información para permitir una evaluación (Tabla 2). Tanto para la calificación de **estado** como de **tendencia**, se anota No Aplicable (NA) cuando se trata de una variable que no se presenta en el sitio de estudio correspondiente.

Tabla 1. Preguntas guía para la elaboración de la ficha de evaluación ecológica.

Elemento	Preguntas
Agua	1. ¿En qué medida influyen las actividades humanas en la calidad y los flujos del agua, y cuáles son los cambios que se observan?
	2. ¿Hasta qué punto las alteraciones en las cargas de nutrientes afectan la salud de los ecosistemas, y como están cambiando tales cargas?
	3. ¿En qué medida las condiciones del agua suponen un riesgo para la salud humana, y que cambios se registran?
Hábitat	4. ¿En qué medida influyen las actividades humanas en la extensión y calidad del hábitat, y cuáles son los cambios que se observan?
	5. ¿Hasta qué punto los contaminantes presentes en el hábitat o en la red trófica afectan los recursos biológicos o la calidad del agua, y que cambios presentan estos?
	6. ¿En qué medida la alteración de hábitats-incluidas modificaciones en la extensión y distribución de los principales tipos de hábitat-afecta la salud de los ecosistemas, y que cambio se registran en tal alteración?
Recursos Biológicos	7. ¿En qué medida influyen las actividades humanas en la calidad de los recursos biológicos, y cuáles son los cambios que se observan?
	8. ¿Cuál es el estado que guarda la biodiversidad y como está cambiando?
	9. ¿Cuál es el estado que guardan las especies explotadas y cómo está cambiando?
	10. ¿Cuáles son el estado y las condiciones de las especies clave, y que cambios presentan?
	11. ¿Cuál es el estado y las condiciones de las especies en riesgo, y que cambios presentan?
	12. ¿Cuál es el estado que guardan las especies exóticas y que cambios presentan?

Las fuentes de información para realizar la evaluación ecológica fueron: artículos científicos, capítulos de libro, memorias en extenso, tesis e informes técnicos, exclusivamente.

Tabla 2. Colores, símbolos y enunciados estandarizados para determinar el estado y tendencia (en relación con las 12 preguntas estandarizadas).

Estado Escala de colores					
					
Superior	Bueno	Aceptable	Deficiente	Crítico	Sin determinar
Tendencia Símbolos					
					
En rápida mejoría	En mejoría	Estable	En deterioro	En rápido deterioro	Sin determinar

-  Aparentemente las condiciones están cambiando a un ritmo que conducirá a un mejor estado en cinco años.
-  Las condiciones están mejorando.
-  Dentro de los límites de la variación normal, no se prevén cambios sistemáticos debido a fuentes antropogénicas o de otra índole.
-  Las condiciones están empeorando.
-  Aparentemente las condiciones están cambiando a un ritmo que conducirá a un deterioro del estado actual en cinco años.
-  No hay suficiente información para establecer una tendencia fundamentada, o los datos disponibles son muy variables y no puede distinguirse una tendencia.

Resultados y análisis

Agua

1. Influencia de actividades humanas en calidad y flujos del agua

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, ~ 45,000 Hab. de la comunidad Yaqui y recibe el 8 % del agua de la presa (Luna-Escalante, 2007).

En el territorio Yaqui, la presa derivadora Chículi recibe directamente agua de la presa Álvaro Obregón y posteriormente es distribuida en el Distrito de Riego 018; finalmente, las aguas de retorno agrícola procedentes de los riegos se conducen a través de un dren colector cuyo destino final es la laguna Algodones. La laguna Lobos recibe aguas residuales agrícolas y urbanas a través del colector No. 2 provenientes del Valle del Yaqui (Castillo, 2002). El Valle del Yaqui tiene alrededor de 370,000 habitantes con una economía basada principalmente en actividades agrícolas, camaronícola, pecuaria y pesquera, así como los sectores de apoyo para su desarrollo y ocupa el 92 % del agua de la presa Álvaro Obregón. Existe notable diferencia en la presión de uso del suelo por desarrollo urbano y agrícola, mayor en el Valle del Yaqui que en la parte correspondiente al territorio Yaqui (Fig.2).

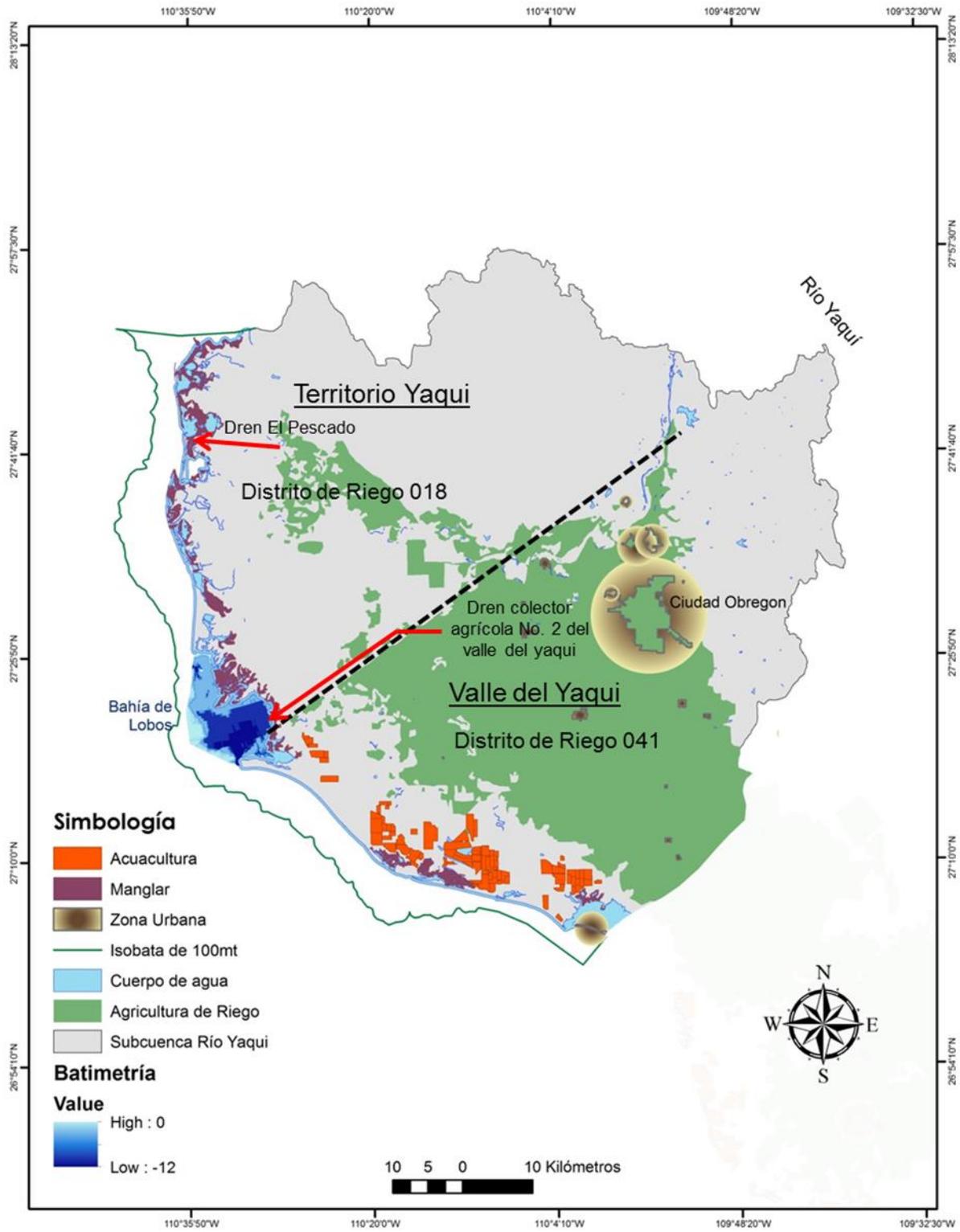


Figura 2. Distribución espacial de la influencia de actividades humanas en la zona costera del territorio Yaqui.

La influencia de actividades realizadas en el Valle del Yaqui se manifiesta con el vertimiento de aguas residuales a la laguna Lobos y se deriva fundamentalmente del aporte de aguas residuales urbanas y agrícolas. En resumen, la influencia de las actividades humanas en la calidad y los flujos del agua en la zona costera se manifiestan con cambios en la calidad del agua en la zona de descarga de aguas residuales en la laguna Lobos. Considerando que es una zona específica, entonces el sitio RAMSAR se califica con un estado bueno y una tendencia estable.

2. Efectos por aporte de nutrientes en los cuerpos de agua costeros

Un elemento importante aportado por las aguas residuales es el Nitrógeno, cuya principal fuente es la agricultura. La laguna Lobos recibe aguas residuales urbanas y agrícolas con un aporte estimado de nitrógeno de $\sim 781 \text{ ton N año}^{-1}$ (Valenzuela-Siu et al. 2007). Sin embargo, en esta laguna los resultados de los índices de estado trófico TRIX, de calidad ambiental costera ICAC y del modelo de Evaluación del Estado Trófico Estuarino ASSETS, mostraron que el efecto adverso de aguas residuales se circunscribe a la zona de influencia de aguas residuales, pero en la mayor parte del cuerpo de agua se observó condición ambiental buena (Ruiz-Ruiz et al. 2017).

Información de la calidad del agua en Guásimas, Algodones y Lobos mostró buena calidad indicada por el índice de estado trófico TRIX (Arreola-Lizárraga et al. 2014).

Considerando que la laguna Lobos es la única reportada con síntomas de eutrofización que se manifiestan en las inmediaciones de las descargas y que el resto de las lagunas no

se han observado síntomas de eutrofización, entonces el sitio Ramsar presenta un estado bueno con una tendencia estable (Tabla 4).

3. Condiciones del agua como riesgo para la salud humana

La laguna Lobos es receptora de aguas residuales urbanas y agrícolas. Con base en los parámetros microbiológicos el Dren colector No. 2 que transporta las aguas residuales hacia la laguna Lobos tuvo concentraciones de Coliformes Fecales (16,000 NMP/100 ml) que rebasaron el límite máximo establecido por la NOM-001-ECOL (1000 NMP/100 ml) (Arreola-Lizárraga et al. 2014).

Sin embargo, es necesario incrementar el esfuerzo de monitoreo para establecer con mayor consistencia el estado y tendencia ambiental. Considerando que es un sitio puntual donde en general el sitio RAMSAR tiene un estado bueno y una tendencia sin determinar (Tabla 4).

Hábitat

4. Influencia de actividades humanas en la extensión y calidad del hábitat

El dren colector No. 2 del valle del Yaqui que descarga aguas residuales a la laguna Lobos, aporta además de nutrientes y bacterias patógenas, metales pesados y agroquímicos con efectos en la calidad del hábitat bentónico. En particular la laguna Lobos comparada con una laguna pristina de la región (El Soldado) mediante el índice de contaminación metálica (ICM), el factor de enriquecimiento (FE) y el índice de geoacumulación (Igeo), así como el uso de los valores guía de calidad de sedimento

(SQVS) para valorar el potencial riesgo a la salud de la biota, mostraron que Lobos presentó la media de concentración más alta de zinc ($70 \mu\text{g g}^{-1}$) y cobre ($16 \mu\text{g g}^{-1}$) y El Soldado la más baja de hierro (1 %) así como también el menor ICM. En Lobos el Manganeseo fue el único elemento que presentó un FE que indica influencia antropogénica y un Igeo moderado (Vargas-González et al. 2017). Con base en esta información el estado del sitio es aceptable con tendencia estable (Tabla 4).

5. Efectos de los contaminantes en el hábitat y recursos biológicos

Los valores guía de sedimentos sugieren que en los sitios con concentraciones de níquel $>52 \mu\text{g g}^{-1}$ (en Lobos) y de manganeso $>260 \mu\text{g g}^{-1}$ (en Lobos), deben establecerse medidas de mitigación debido a que, a esas concentraciones, estos elementos pueden causar efectos adversos y deterioro del hábitat que las especies utilizan para su reproducción, crianza y/o protección en estos ecosistemas costeros (Vargas-González et al. 2017). Considerando que el área con influencia de aguas residuales es $< 5 \%$ de la cobertura total del sitio Ramsar, entonces su estado es bueno y la tendencia estable (Tabla 4).

6. Alteración de hábitats y efectos en la salud de los ecosistemas

En el sitio Ramsar, los aportes de aguas residuales son el principal factor de alteración de hábitats intermareal, sublitoral (pelágico y bentónico), aunque esto ocurre principalmente en la laguna Lobos y en un área específica en las inmediaciones de la zona de descarga de aguas residuales. Otros hábitats como manglar, dunas costeras, playas arenosas tienen

buen estado de conservación debido a que la influencia por desarrollo agrícola (18,000 ha) y camaronícola (1,000 ha) adyacente a estos sistemas es relativamente baja.

La salud del ecosistema es afectada por el vertimiento de aguas residuales mediante síntomas de eutrofización con incrementos de biomásas de macroalgas, presencia de especies de fitoplancton tóxicas o nocivas y florecimientos de microalgas (Ruiz-Ruiz et al. 2017), así como la acumulación de algunos metales traza en sedimentos (Vargas-González et al. 2017). Con base en esta información el estado del sitio es aceptable con tendencia estable (Tabla 4).

Recursos biológicos

7. Impacto de las actividades humanas en la calidad de los recursos biológicos

Las actividades humanas que se desarrollan adyacentes al complejo lagunar corresponden a agricultura de riego, ganadería extensiva, camaronicultura y extracción de sal. Las actividades que se desarrollan al interior de las lagunas costeras corresponden a la pesca y ostricultura en pequeña escala.

El impacto más importante proviene del aporte de aguas residuales urbanas y agrícolas del Valle del Yaqui a la laguna Lobos, principalmente; aunque el dren agrícola del distrito de riego 18 en el territorio Yaqui, aporta eventualmente aguas residuales agrícolas a la laguna Algodones. Las granjas de camarón, establecidas por fuera del territorio Yaqui, no vierten sus efluentes a las lagunas, lo hacen a mar abierto.

En el interior de las lagunas la pesca es una actividad preponderantemente enfocada a los recursos camarón y jaiba, cuya variabilidad en las capturas anuales sugiere estar asociada a la variabilidad ambiental, más que a la presión por pesca. Además, ambos recursos están sujetos a regulaciones y manejo pesquero.

Es notable que dentro del territorio Yaqui la presión por uso del suelo es menor en ~ 90 % a lo observado por fuera del territorio (Figura 2); los recursos biológicos como los manglares de la laguna Lobos mantienen su desarrollo con incremento de cobertura de 5,782 ha en 1973 a 5,906 ha en 2010 (Rodríguez-Zuñiga et al. 2013); los recursos pesqueros camarón y jaiba que son los más importantes tienen variabilidad interanual asociada preponderantemente a la variabilidad ambiental (ver Alcantara-Razo y colaboradores en este libro). Estas evidencias favorecen la buena condición en general prevaleciente en los recursos biológicos del complejo lagunar Guásimas-Lobos. Con base en lo expuesto, la condición es buena y la tendencia estable (Tabla 4).

8. Estado de la biodiversidad

Los estudios sobre biodiversidad que proporcionan información sobre el estado se han realizado con peces en Las Guásimas y con aves en Lobos. Sobre los peces en Las Guásimas durante el periodo 1996-2000 se registraron 79 especies de peces selectivas a la atarraya y la comunidad de peces tuvo cambios en número de especies y composición específica en la escala interanual: 45 en 1996, 44 en 1997, 44 en 1998 y 52 en 1999, de las cuales sólo 19 especies (24%) se registraron en los cuatro ciclos anuales (Rodríguez-Félix 2010). Otro estudio comprendió dos ciclos anuales (1998-1999) con red de arrastre

y se registraron 74 especies, donde la comunidad de peces en 1998 fue distinta a la de 1999 en un 60%, de acuerdo a las 10 especies más importantes según el Índice del Valor Biológico (Ontiveros-Granillo 2011). En otro estudio, mediante tres artes de pesca se registraron 95 especies con tres especies endémicas del Golfo de California (*Micropogonias megalops*, *Leuresthes sardina* y *Pleuronichthys ocellatus*) y se observaron cambios en la comunidad a lo largo de tiempo, atribuidos a cambios ambientales, actividades antropogénicas y/o la dinámica del ecosistema (Padilla-Serrato et al. 2016). El común denominador de estos estudios ictiológicos es el cambio observado en la riqueza de especies, explicado principalmente por variabilidad ambiental.

Sobre la biodiversidad de aves en la laguna Lobos en febrero de 2017 se contaron 370 Chorlos nevados (*Charadrius nivosus*), que representan el 13 % de su estimado poblacional (Carmona y Danemann 2017). También en marzo de 2017 se registraron 20 especies (más el género *Limnodromus*) de aves playeras para un total de 34,945 individuos. Adicionalmente se observó más del 1% de tres taxa: el Playero rojizo del Pacífico (*Calidris canutus roselaari*) con el 3 % (522 individuos); el Ostrero americano del Pacífico (*Haematopus palliatus frazari*;) con el 1 % (39 aves) y el Picopando canelo (*Limosa fedoa*) con el 4 (6,391 aves). En los inviernos de 2013 y 2014 (Carmona y Danemann 2013, 2014) y en invierno-primavera de 2017 se registraron en conjunto 72 especies (Carmona y Danemann 2017). Las abundancias totales para cada año fueron de 7360, 7939 y 3921 aves, respectivamente. Sobresalieron por su abundancia cuatro grupos taxonómicos: los anátidos con 10 especies (64, 38 y 32% del total observado), las gaviotas y similares con 11 especies presentaron abundancias porcentuales homogéneas

(23, 32 y 34%), los pelícanos y similares con 5 especies (9, 22 y 19%) y las garzas y similares que con 11 especies alcanzaron abundancias porcentuales de 2, 5 y 11 %. Estas 37 especies acumularon más del 95% del total de registros de aves no playeras. En resumen, la información existente sugiere que el estado de la biodiversidad es bueno y la tendencia es estable (Tabla 4).

9. Estado de las especies explotadas

El complejo lagunar Guásimas-Lobos se caracteriza por ser un hábitat de diversas especies que constituyen recursos pesqueros como camarones azul (*Litopenaeus stylirostris*) y café (*Farfantepenaeus californiensis*) (Arreola-Lizárraga et al. 2004a); jaibas azul (*Callinectes arcuatus*) y café (*Callinectes bellicosus*) (Arreola-Lizárraga et al. 2003) y diversas especies de peces como lisa (*Mugil cephalus*), mojarra (*Eugerres axillari* y *Eucinostomus entomelas*), cabrilla (*Paralabrax maculatofasciatus*), pargo (*Lutjanus argentiventris*) y curvina (Padilla-Serrato et al. 2016), así como, la medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*). Los pescadores Yaquis son los usufructuarios exclusivos de los recursos pesqueros en estos cuerpos de agua de su territorio y los recursos más importantes son el camarón, la jaiba y recientemente, a partir de 2009, la medusa. La presión por pesca sobre estos tres recursos no sugiere ser tan importante en la variabilidad de las capturas y la información sugiere que la variabilidad ambiental es el control más importante, esto de acuerdo con información sobre el comportamiento de las capturas de estos tres recursos presentado en otro capítulo de esta obra por Álcantara-Razo y colaboradores.

Es importante destacar un par de asuntos claves. Primero, que el hecho de que los Yaquis sean usuarios exclusivos de los recursos pesqueros de los cuerpos de agua costeros de su territorio representa una oportunidad para la gestión pesquera, en el sentido de que en teoría se minimizan los conflictos. Segundo que el impacto antrópico por aguas residuales tiene un área de influencia que representa < 5 % del área total del complejo lagunar, y esto favorece condiciones ambientales propicias para el desarrollo de las especies que constituyen recursos pesqueros. El estado es bueno y la tendencia es estable (Tabla 4).

Estado de las especies clave

Los manglares son especies clave por sus funciones ecológicas y se mantienen en muy buen estado de conservación con incrementos en su cobertura en la laguna Lobos (Arreola-Lizárraga et al. 2004b; Acosta-Velázquez y Vázquez-Lule 2009; Rodríguez-Zuñiga et al. 2013). Con base en la información expuesta se califica como estado superior y tendencia estable (Tabla 4).

Estado de las especies en riesgo

El fundamento del sitio Ramsar son las aves y en la laguna Lobos se han realizado monitoreos de aves migratorias que aportan evidencia de la presencia de diez especies de aves incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Tabla 3), entre las que se incluyen cinco especies bajo protección especial, tres amenazadas y dos en peligro de extinción (Carmona y Danemann 2013, 2014, 2017). A partir de los censos realizados con base en

el conjunto de especies se considera, en lo general, que el estado es bueno y la tendencia estable (Tabla 4).

Estado de las especies exóticas

Se carece de registros de especies exóticas. El estado y la tendencia para esta variable: No Aplica.

Tabla 3. Especies de aves con estatus de conservación registradas y censadas en la laguna Lobos.

Especies	Temporadas (invierno)			Estatus de conservación
	2013	2014	2017	
<i>Haematopus palliatus frazar</i>	24	44	39	En peligro de extinción
<i>Charadrius nivosus</i>	0	0	370	Amenazada
<i>Calidris canutus roselaari</i>	0	0	522	En peligro de extinción
<i>Branta bernicla nigricans</i>	0	345	35	Amenazada
<i>Larus heermanni</i>	73	145	3	Protección especial
<i>Larus livens</i>	272	25	92	Protección especial
<i>Sula nebouxii</i>	2	2	0	Protección especial
<i>Pelecanus occidentalis californicus</i>	444	978	232	Amenazada
<i>Egretta rufescens</i>	3	15	25	Protección especial
<i>Parabuteo unicinctus</i>	0	0	1	Protección especial

Fuentes: Carmona y Danemann (2013, 2014, 2017).

Conclusiones

El complejo lagunar Guásimas-Lobos fue calificado con un estado bueno y una tendencia estable. Este resultado es una primera aproximación a partir de la información existente y da pauta a la necesidad de la gestión ambiental que incluya un programa de investigación y monitoreo, así como apoyo y capacitación a miembros de la comunidad Yaqui para que ellos realicen acciones de conservación y desarrollen proyectos productivos acuícolas con la meta de preservar este valioso capital natural y mejoren sus condiciones de bienestar social.

Tabla 4. Estado y tendencia del sitio Ramsar: Complejo lagunar Guásimas-Lobos.

Elemento	Preguntas	Evaluación
Agua	1. Actividades humanas	
	2. Nutrientes y salud de los ecosistemas	
	3. Salud humana	
Hábitat	4. Actividades humanas	
	5. Contaminantes	
	6. Extensión y distribución	
Recursos Biológicos	7. Actividades humanas	
	8. Biodiversidad	
	9. Extracción de especies	
	10. Especies clave	
	11. Especies en riesgo	
	12. Especies exóticas	NA

Literatura citada

Acosta-Velázquez J y Vázquez-Lule AD (2009). Caracterización del sitio de manglar Estero Los Lobos, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F

Arreola-Lizárraga, J. A. 1994. Bahía de Lobos, Sonora, un ecosistema costero candidato para el sistema de áreas naturales protegidas de México. *Ecológica*, 3(2): 19-24.

Arreola-Lizárraga, J. A., Hernández-Moreno, L. G., Hernández-Vázquez, S., Flores-Verdugo, F. J., Lechuga-Devezé, C. y Ortega-Rubio, A. (2003). Ecology of *Callinectes arcuatus* and *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) in a coastal lagoon of Northwest Mexico. *Crustaceana*, 76 (6): 651-664.

Arreola-Lizárraga, J. A., Aragón-Noriega, E. A., Hernández-Moreno, L. G., Hernández-Vázquez, S. y Ortega-Rubio, A. 2004a. Co-occurrence, habitat use and abundance of shrimps *Farfantepenaeus californiensis* and *Litopenaeus stylirostris* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) in a coastal lagoon on the Gulf of California. pp. 143-151. En: M.E. Hendrickx (ed.). *Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este 3* [Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans 3]. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 245 pp.

Arreola-Lizárraga, J. A., Flores-Verdugo, F. J. y Ortega-Rubio, A. 2004b. Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, México. *Aquatic Botany*, 79 (2): 137-143.

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.

Arreola-Lizárraga, J. A., Padilla-Arredondo, G. y Garatuza-Payán, J. 2015. Flujos de nutrientes y metabolismo neto del estero Algodones (eurihalino, subtropical) en el Golfo de California. En: Paz-Pellat F, Wong-González J, Torres-Alamilla R (eds). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie: Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México, México. pp. 495-501.

Badan-Dangon, A., Koblinsky, C. J. y Baumgartner, T. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: Observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8 (1):13-22.

Davies, J. L. 1964. A morphogenic approach to world shorelines: *Zeit fur Geomorph.* 8:27-42.

Carmona, R. y Danemann, G. D. 2013. Monitoreo de aves playeras migratorias en 11 sitios prioritarios del Noroeste de México y reconocimiento invernal de cinco sitios adicionales. Reporte Final para la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 223p

Carmona, R. y Danemann, G. D. 2014. Monitoreo de aves playeras migratorias en 11 sitios prioritarios del Noroeste de México y reconocimiento invernal de cinco sitios adicionales. Reporte Final para la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 225p.

Carmona, R. y Danemann, G. D. 2017. Monitoreo de aves playeras migratorias en 11 sitios prioritarios del Noroeste de México y reconocimiento invernal de cinco sitios

adicionales. Reporte Final para la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 228p.

Carrera, E. y de la Fuente, G. 2003. Inventario y Clasificación de Humedales en México. Parte 1. Ducks Unlimited de México, A.C. (DUMAC). México. 239 p.

Castillo, L. G. 2002. Estimación de la contaminación por nitrógeno derivada de la actividad humana en las aguas superficiales y subterráneas del Valle del Yaqui, Sonora. Tesis (Maestría en Ciencias). Bacum, Sonora, México. Instituto Tecnológico de Sonora. 67 p.

CCA. 2011. Guía para la elaboración de fichas de evaluación ecológica en áreas marinas protegidas de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental, 50 p.

Devlin, M., Bricker, S. y Painting, S. 2011. Comparison of five methods for assessing impacts of nutrient enrichment using estuarine case studies. *Biogeochemistry*, 106: 177–205.

DOF. 1940. Diario Oficial de la Federación. Tratado de Cárdenas (Restitución y titulación de terrenos a la Tribu Yaqui). 22 de Octubre de 1940, México, DF.

DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México deflora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010, México, DF.

Douglas, M. R. Maddox, A., Howard, K., Reyes, S. 1993. The Mexican monsoon. *J. Clim.* 6:1665-1677.

Filloux, J. H. 1973. Tidal Patterns and Energy Balance in the Gulf of California. *Nature*. 243: 217–221.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 246 p.

Gómez-Baggethun, E. y de Groot, R. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 3: 1-11.

INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación serie IV Escala 1:250 000.

Kjerfve, B. K. y Magill, E. 1989. Geographic and hydrographic characteristics of shallow coastal lagoons. *Mar. Geol.* 88:187-199.

Lankford, R. R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification. En: Wiley, M. (eds). *Estuarine Processes*. New York. pp 182-215.

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.

Mendoza-Cantú, M. E. 1997. Regionalización geomorfológica y de paisaje de la Zona Costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México. Tesis de Maestría en Conservación, Ecología y Manejo de Recursos Naturales, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Guaymas. 147p.

Ontiveros-Granillo, A. 2011. Variabilidad diurna, estacional e interanual de la comunidad de peces demersales en la laguna Las Guásimas, Sonora, México. Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., 65 p.

Padilla-Arredondo, G., Arreola-Lizárraga, J. A. y Lechuga-Devéze, C. 2002. Las Guásimas coastal lagoon, Sonora, México. En: Camacho-Ibar VF, Dupra V, Marshall-Crossland JI, Wulff F, Smith SV y Crossland CJ (eds.). Estuarine systems of the Latin American region (Regional Workshop V) and estuarine systems of the Arctic Region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes. LOICZ R&S-23. 96 p.

Padilla-Serrato, J., López-Martínez, J., Rodríguez-Romero, J., Lluch-Cota D, Galván-Magaña, F. y Acevedo-Cervantes, A. 2016. Composición y aspectos biogeográficos del ensamble de peces de la laguna costera Las Guásimas, Sonora, México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44(1): 85-98.

Ramsar. 2008. Ficha Informativa del sitio Ramsar “Complejo Lagunar Bahía Guásimas – Estero Lobos”. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza, 19 p.

Reyes HC y Lavín MF 1997. Effects of the autumn-winter meteorology upon the surface heat loss in the Northern Gulf of California. *Atmósfera* 10:101-123.

Roden G.I. y Emilsson I. 1980. Oceanografía física del Golfo de California. Centro de ciencias del mar y Limnología UNAM, contribución No. 90, 67 pp.

Rodríguez-Félix, D. 2010. Cambios interanuales en la estructura de la comunidad de peces de una laguna costera semiárida del Golfo de California. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Guaymas. Guaymas, Son., 68 p.

Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez- Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M. I., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos J, Jiménez-Rosenberg R, Fueyo-Mac Donald L y Galindo-Leal, C. 2013.

Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128 pp.

Ruiz-Ruiz, T. M., Arreola-Lizárraga, J. A., Morquecho, L., Méndez-Rodríguez, L. C., Martínez-López, A., y Mendoza-Salgado, R. A. 2017. Detecting eutrophication symptoms by means of three methods in a subtropical semi-arid coastal lagoon. *Wetlands*, 37:1105-1118.

Rusell, G. A. 1979. A seventeen month study of the meteorology, geology, hidrology and water chemistry of Laguna (estero) El Soldado, Guaymas, Sonora, México. Tech. Rep. University of Manitoba. Winnipeg, Manitoba, Canadá. 146 p.

SEMARNAT. 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 129 p.

SEMARNAT. 2008. Estrategia para para la Conservación y Manejo de las aves playeras y su hábitat en México. Dirección General de Vida Silvestre. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F., 90 p.

UNEP. 2011. The other 70 %: UNEP Marine and Coastal Strategy. United Nations Environment Program, Executive Summary, Printed in Kenya, 15 p.

Valdés, C. C. 2000. Estero Lobos. p. 81. En: del Coro Arizmendi, M y Márquez Valdelamar L (eds.), Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México. CONABIO. México, 440 p.

Valenzuela-Siu, M., Arreola-Lizárraga, J. A., Sánchez-Carrillo, S. y Padilla-Arredondo, G. 2007. Flujos de nutrientes y metabolismo neto de la laguna costera Lobos, México. *Hidrobiológica*, 17 (3): 193-202.

Vargas-González, H. H., Arreola-Lizárraga, J. A., García-Hernández, J., Zenteno-Savín, T., Mendoza-Salgado, R. A. y Méndez-Rodríguez, L. C. 2017. Calidad de sedimentos asociada a actividades antrópicas en lagunas costeras semi-áridas subtropicales de la costa central este del Golfo de California. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33 (No. Esp.): 7-22.

Wetz, M. S. y Yoskowitz, D. W. 2013. An 'extreme' future for estuaries? Effects of extreme climatic events on estuarine water quality and ecology. *Marine Pollution Bulletin*, 69: 7–18.

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).

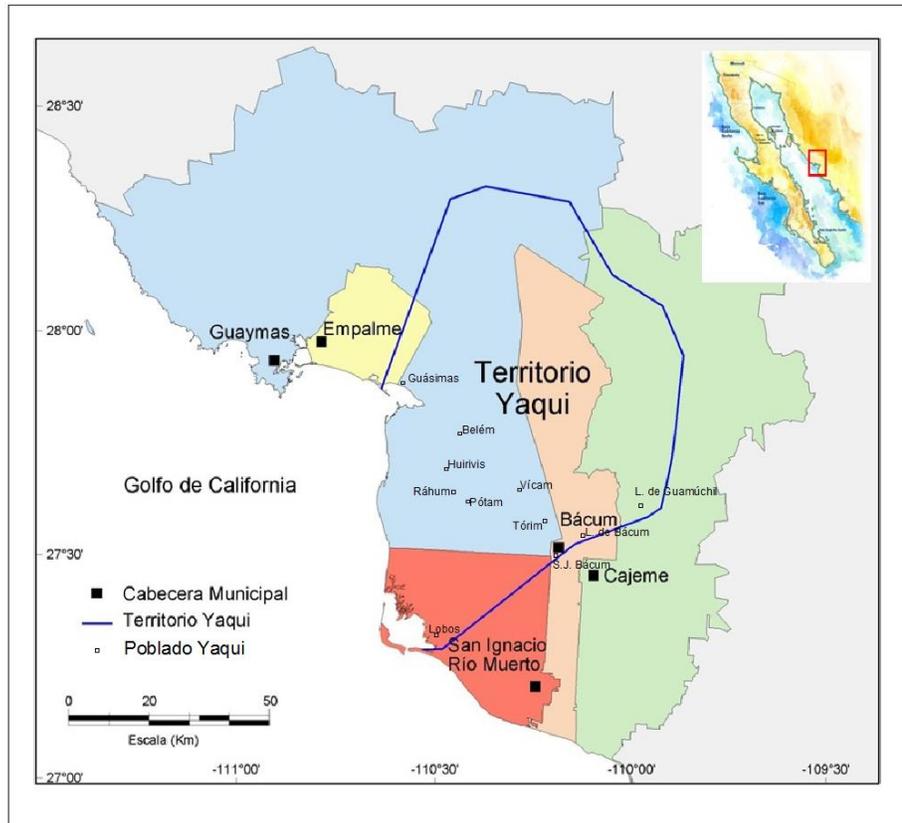


Figura 1. Territorio Yaqui y sus principales asentamientos humanos.

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.

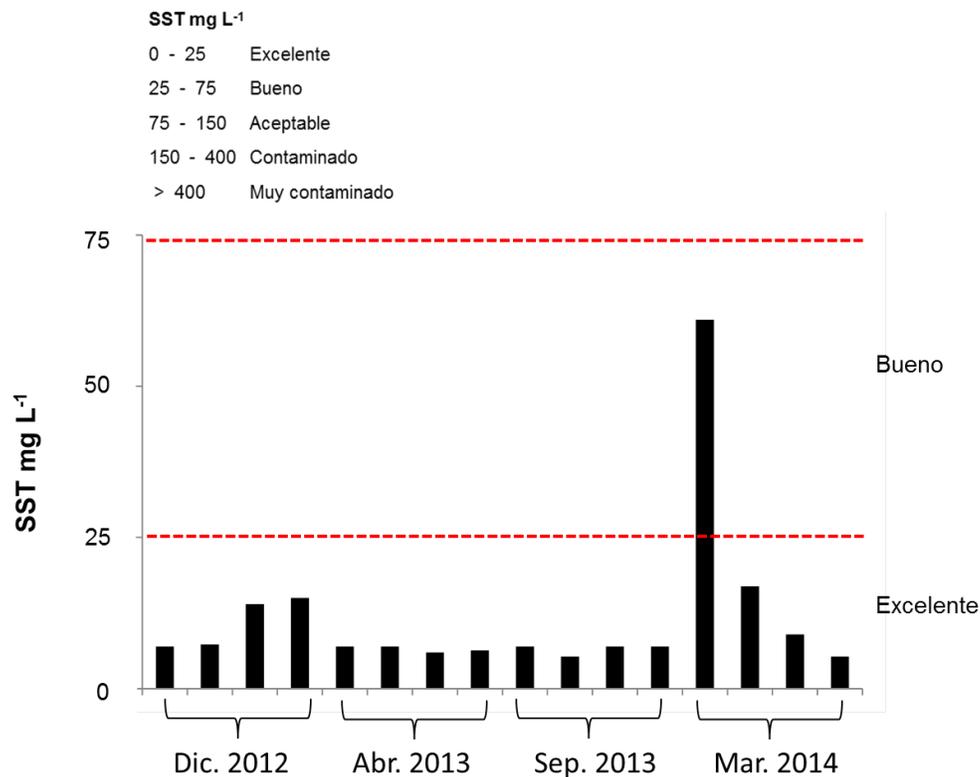


Figura 2. Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales en muestreos realizados del 2012 al 2014 en la presa Álvaro Obregón (Base de datos del Proyecto Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA).

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

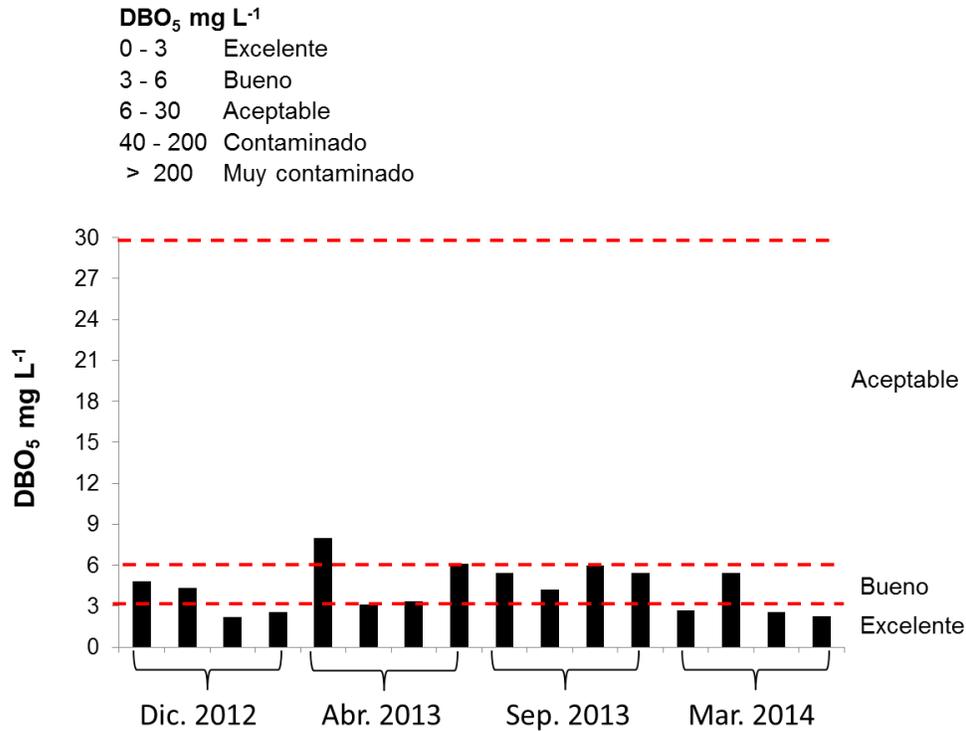


Figura 3. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días, en muestreos realizados del 2012 al 2014 en la presa Álvaro Obregón (Base de datos del Proyecto Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA).

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	

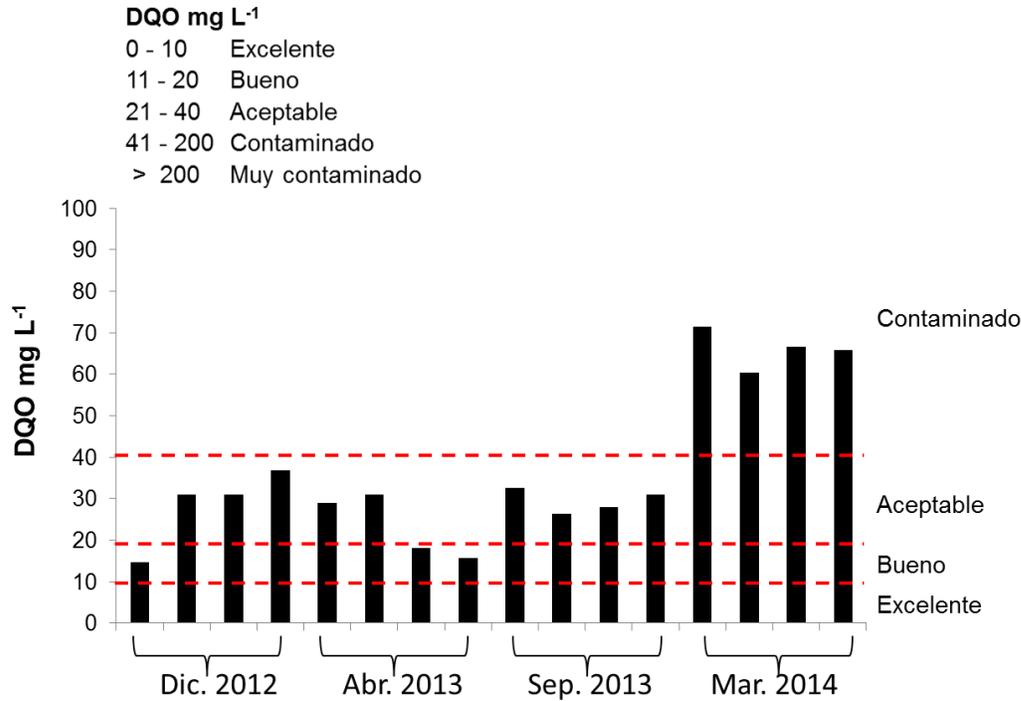


Figura 4. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno en muestreos realizados del 2012 al 2014 en la presa Álvaro Obregón (Base de datos del Proyecto Red Nacional de Monitoreo de la CONAGUA).

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.

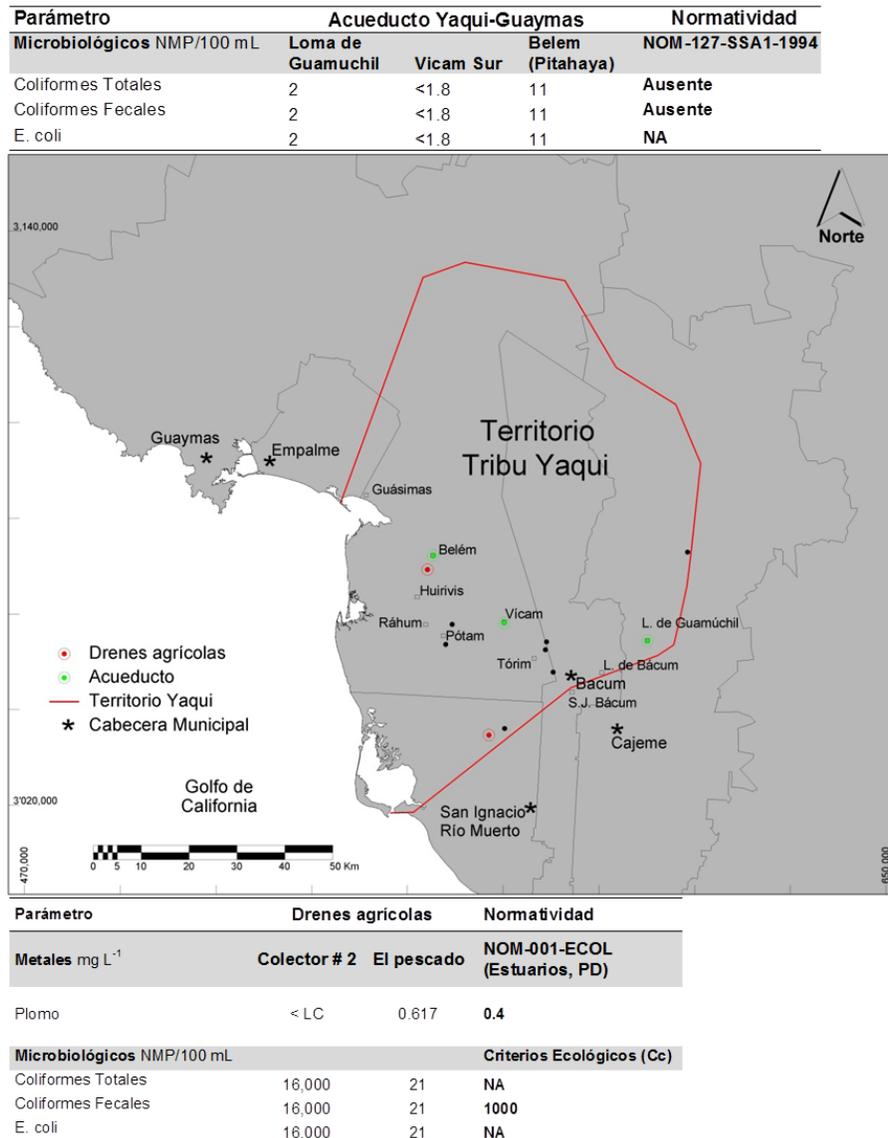


Figura 5. Síntesis del diagnóstico de la calidad del agua superficial en el territorio Yaqui.

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 %).

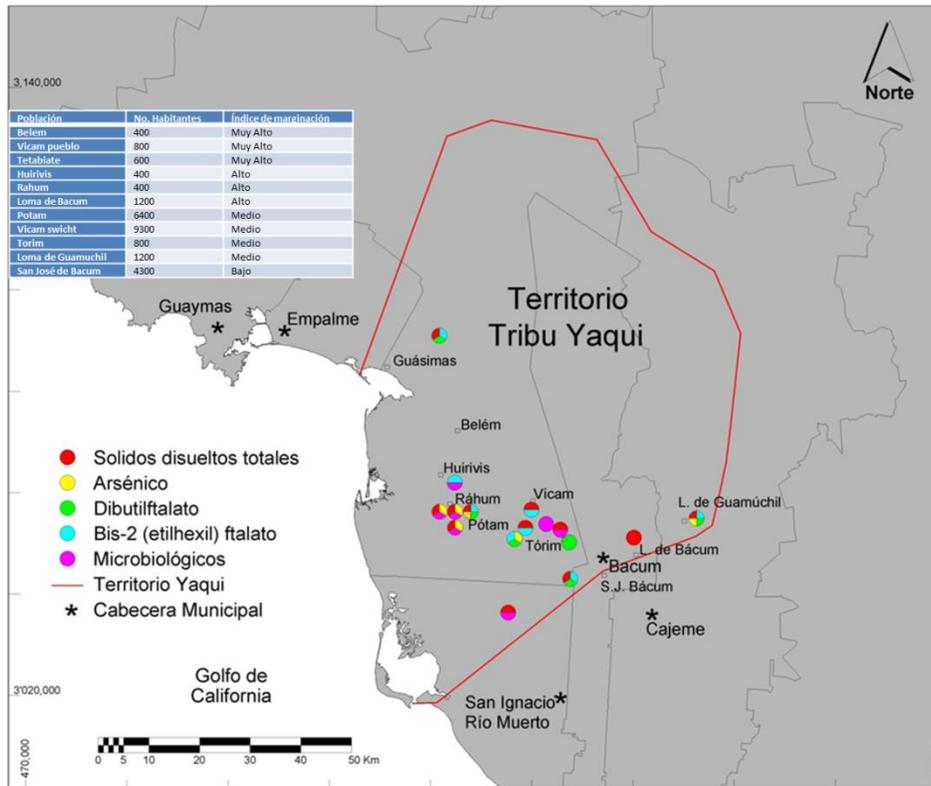


Figura 6. Distribución espacial de los problemas de calidad del agua subterránea en el Territorio Yaqui.

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.

SECCIÓN II

“Actividades Productivas”

José Alfredo Arreola Lizárraga
Jaime Garatuza Payán
Enrico Arturo Yépez González
Agustín Robles Morúa
(Editores)

2.1 Desarrollo de la Agricultura en la Tribu Yaqui

Por José Luis Minjares Lugo^{1,2} y José Ángel Félix Sánchez¹

¹Comisión Nacional del Agua. Cd. Obregón, Son.

²Email: jose.minjares@conagua.gob.mx

Introducción

Desarrollo histórico de la agricultura

Hace alrededor de diez mil años ya habitaban territorio sonorense grupos humanos que cazaban animales, recolectaban frutos y semillas silvestres y vivían de la pesca y recolección de mariscos en las costas. Las prácticas agrícolas en el territorio sonorense datan de alrededor de 2,000 a 4,000 años. Los principales cultivos que sembraban eran el maíz, calabaza y frijol y además se domesticaban algunos animales como perros y guajolotes. La agricultura fomentó el sedentarismo de los indígenas, estos la combinaban con la caza y la recolección de frutos, semillas y moluscos.

A la llegada de los españoles en 1533, se calcula que había 30,000 personas que vivían en 80 rancherías en un área de 2,500 kilómetros cuadrados. Algunos Yaqui vivían cerca de la desembocadura del río y dependían del mar para su subsistencia. La mayoría vivía en comunidades agrícolas, cultivando frijol, maíz y calabaza en tierras inundadas por el río

cada año. Otros pocos tenían una existencia nómada en los desiertos y montañas y dependían de la caza y la recolección de frutos.

En 1617 llegan a territorio yaqui los jesuitas Fray Andrés Pérez de Rivas y Fray Tomás Basilio, iniciando con ellos un largo periodo de paz. Estos misioneros para poder enseñarles más fácilmente los congregaron en ocho pueblos que hasta la fecha se encuentran con la misma organización y los cuales son: Cócorit, Bácum, Torim, Vícam, Pótam, Ráhum, Huírivis, Ráhum y Belem. Los misioneros introdujeron junto con la ganadería, cultivos europeos como el trigo, la vid y las legumbres y mejoraron sus siembras con los avances tecnológicos que les llevaron. En las misiones el trabajo estaba reglamentado de la siguiente manera: tres días en los asuntos de la misión, otros tres en sus propias tierras comunales y el séptimo estaba dedicado al culto cristiano.

Época moderna de la agricultura en la Tribu Yaqui

Antecedentes del desarrollo de la infraestructura de riego

Los antecedentes del desarrollo de infraestructura de riego en la región del Yaqui, datan del año de 1880, cuando el Presidente Porfirio Díaz envió a la Comisión Geográfica Exploradora, dependiente de la entonces Secretaría de Fomento, a levantar planos topográficos y repartir tierras tanto en el Yaqui como en el Mayo y según lo señala Dabdoub (1949), en febrero de 1889 llegó a Guaymas el General Julio M. Cervantes, como Jefe de la Primera Zona Militar, quien se propuso pacificar la región por medios persuasivos, ofreciendo a los indígenas tierras, garantías y facilidades y como parte de

estas acciones, dio inicio a los trabajos para la construcción de un canal entre Tórim y Pótam, para regar tierras en la zona conocida como Bacójori.

De acuerdo con el mismo Dabdoub (1949), al General Cervantes, lo sustituyó el General Marcos Carrillo, en marzo de 1890, quien impulsó la construcción de la obra de conducción citada en el párrafo anterior y tal vez por ello, llevó su nombre. El canal fue inaugurado el 23 de julio de 1892; sin embargo, el General Carrillo, había muerto seis meses antes de la inauguración.

Con la llegada del General Lázaro Cárdenas a la Presidencia de la República, en el año de 1934, se dio inicio a una política de restitución de tierras a las Tribus indígenas de México, con el fin de hacer justicia social y propiciar su desarrollo.

En el caso de la Tribu Yaqui, fue a partir de 1935, cuando se dio inicio al desarrollo de la actividad agrícola, que por razones de la lucha armada que los Yaquis habían sostenido por la defensa de su territorio se había mantenido estancada. Según lo describe el propio Dabdoub (1949), fue en esa época, cuando el Gobierno Federal intensificó el despliegue de personal técnico en territorio Yaqui, sobre la margen derecha del río, para iniciar los trabajos de estudios, deslindes, rehabilitación y construcción de canales. En ese periodo destacó la participación del Ingeniero Guillermo de la Garza, el cual llegó a la región del Yaqui el 16 de enero de 1930 y se incorpora al 46 Regimiento Militar cuyo Jefe era el Comandante de la Cuarta Zona Militar, General Juventino Espinoza para iniciar los acercamientos con la Tribu Yaqui, induciéndolos a abandonar sus campamentos en la

sierra del Bacatete y regresar a sus pueblos. A iniciativa del General Espinoza, el Ingeniero de la Garza fue nombrado Jefe de la Comisión de Irrigación del Yaqui, teniendo una gran aceptación en la etnia por su calidad humana y capacidad técnica. Posteriormente, en el año de 1936, se unió a su equipo el Ingeniero Joaquín S. Castro, quien destaca en los trabajos de Topografía.

En esa época, de acuerdo a la descripción realizada por Fabila (1978), el territorio a restituir a la Tribu Yaqui, era según sus estimaciones, alrededor de 500,000 ha, de acuerdo a como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Territorio a restituir a la Tribu Yaqui.

Clasificación	Superficie (ha)	%
Montaña con monte bajo	300,000	60.00
Laborables en llanura y enmontadas en gran parte	60,000	12.00
Con pastos en llanura	56,500	11.30
Inaprovechable en el litoral	40,000	8.00
Con pastos en montaña	40,000	8.00
Laboradas en llanura	3,500	0.70
Total	500,000	100

Fuente: Fabila, M.O.A.

En su análisis, Fabila (1978) menciona que estas cifras podían ser rectificadas al terminar la presa Angostura y que un porcentaje de las tierras planas pasará a ser de cultivo hasta contar con una superficie de 16,000 ha, describiendo la estadística agrícola entre los años de 1935 a 1939, según la Tabla 2.

Tabla 2. Estadística agrícola 1935-1939.

Año	Cultivo	Superficie	Producción	Rendimiento	Precio medio	Valor
		(ha)	(t)	(t/ha)	(\$/t)	miles (\$)
1935	Trigo	121	240	1.98	154.17	37
1936	Trigo	533	840	1.58	156.20	131
1937	Trigo	738	1,120	1.52	166.20	186
	Trigo	1,297	1,840	1.42	168.70	310
1938	Maíz	683	820	1.20	100	82
	Frijol	166	200	1.20	300	60
	Trigo	2,206	3,200	1.45	175.00	560
1939	Maíz	833	1,000	1.20	140	140
	Frijol	300	320	1.07	350	112

En 1939, la superficie cosechada fue de 3,339 ha, principalmente trigo, que correspondía al 66% del total de superficie, seguida del maíz con el 25% y frijol el 9%.

En 1935, por iniciativa del Ingeniero de la Garza, se inició también la rehabilitación, prolongación y construcción de canales, destacando en ese año la existencia de tres canales: Marcos Carrillo, Victoria y Bule, estos canales tenían una capacidad de $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y podían irrigar hasta 1,000 ha, posteriormente se inició la construcción del canal Bataconcica, J.M. Tetabiate y San Isidro, con los que se podían dominar 15,100 ha.

En la Tabla 3, se muestran las características de los canales antes referidos, con datos al año de 1939.

Tabla 3. Características de los canales construidos al año 1939.

Canal	Gasto (m³ s⁻¹)	Longitud (km)	Superficie (ha)
Marcos Carrillo		16.5	4,000
Bule		18	2,500
Victoria		8	1,800
Subtotal	8	42.5	8,300
Bataconca	7	15	2,500
Canal bombeo Tetabiate	1.6	3.7	1,500
Canal el Barro o de las Cruces	7	5	2,000
Canal San Isidro	0.8	3	800
Totales		69.2	15,100

La visión que se tenía en ese tiempo se dividía, según lo especifica Fabila (1978), en tres etapas:

Etapa 1. La situación existente hasta 1939, en la que se irrigaban 3,500 hectáreas.

Etapa 2. Irrigar hasta 16,000 hectáreas con la operación de canales construidos de 1939 en adelante.

Etapa 3. Irrigar la superficie total disponible con el agua proveniente de la presa La Angostura, una vez que esta se terminara.

Es importante analizar la situación del riego imperante en la época, ya que la red de canales, a excepción del Canal de Bombeo Tetabiate, derivaban agua de manera directa del río Yaqui, según el nivel que este llevara, por lo que a medida que se fue construyendo infraestructura de riego por la margen izquierda, se fue teniendo un mayor control de los escurrimientos, lo que fue limitando las derivaciones hacia el territorio

Yaqui, aún después de que inició operaciones la presa Angostura, la cual se empezó a construir en el año de 1936 y se concluyó en 1942, por lo que en el periodo comprendido de 1935 al año de 1952, el riego en la Comunidad Yaqui pasó por una época muy difícil, se había rehabilitado y construido infraestructura de riego pero no había manera de llevar agua a los canales por no contar con niveles e infraestructura de derivación.

Certeza jurídica de la tierra y el agua

Durante esta época, es importante mencionar que el Gobierno Federal encabezado por el General Cárdenas buscó darle certeza jurídica a las acciones que se estaban realizando con relación a la tierra y el agua, por lo que de acuerdo con Esquer (2010), en el Diario Oficial de la Federación del 30 de octubre de 1937, se decreta la expropiación de terrenos en el Valle del Yaqui, ordenando en su Artículo IX: “A la Tribu Yaqui se le reconoce toda la extensión de tierra laborable ubicada sobre la margen derecha del río Yaqui, con el agua necesaria para riegos, de la presa en construcción La Angostura, así como toda la sierra conocida como “Sierra del Yaqui”, a cuyos componentes se les proveerá de los recursos y elementos necesarios para el mejor aprovechamiento de sus tierras.”

Posteriormente, en el Diario Oficial de la Federación del 22 de octubre de 1940, se especifican los puntos geográficos naturales de las tierras restituidas a la Tribu Yaqui en el Decreto del 30 de octubre de 1937, que según las Autoridades Yaquis, fueron 410,000 ha y que al terminar los estudios técnicos en 1939 fueron restituidas 485,000 ha, entre las que se ubican las 25,000 ha que comprende actualmente el Distrito de Riego 018,

Colonias Yaquis. Con relación al agua, el Decreto del 22 de octubre de 1940, resuelve de manera específica:

SEGUNDO: Derechos de agua del río Yaqui

Primer párrafo: La Tribu Yaqui podrá disponer durante cada año agrícola, hasta de la mitad del caudal que se almacenará en la presa La Angostura para fines de riego de sus propias tierras.

Segundo Párrafo: Las extracciones deberán corresponder a las necesidades agrícolas de su zona irrigable en la margen derecha del citado río, independientemente del aprovechamiento de las aguas no controladas en la presa La Angostura.

Consolidación y evolución de la agricultura y superficie de riego

El riego inició su desarrollo y consolidación a partir de 1952, con la terminación de la presa Álvaro Obregón (Oviáchic); pero fundamentalmente con la puesta en marcha del canal principal Colonias Yaquis, a partir de la toma conocida como Jecatácari, (casa del viento), sobre la margen derecha del río Yaqui. De acuerdo a la descripción realizada por Huarte (1976), la presa Álvaro Obregón se empezó a construir el 16 de noviembre de 1946 y se concluyó el 25 de febrero de 1952, iniciando operaciones en junio del mismo año, por lo que a partir del ciclo Agrícola 1952-1953, el sistema de presas del Río Yaqui, contaba con dos presas de almacenamiento y como sabemos, actualmente cuenta con tres, con la incorporación el 14 de noviembre de 1964, de la presa Plutarco Elías Calles (EL Novillo).

Tabla 4. Evolución de la superficie sembrada y volumen extraído 1948-1978.

Ciclo agrícola	Volumen extraído (hm³)	Superficie regada (ha)	Ciclo agrícola	Volumen extraído (hm³)	Superficie regada (ha)
1948-1949		665.0	1963-1964	225.1	16,430.0
1949-1950		1,646.0	1964-1965	208.7	17,178.0
1950-1951		2,077.0	1965-1966	238.6	15,391.0
1951-1952		3,177.0	1966-1967	192.5	14,838.0
1952-1953	51.8	3,023.0	1967-1968	200.3	16,628.0
1953-1954	76.5	5,907.0	1968-1969	204.9	15,913.0
1954-1955	74.6	5,940.0	1969-1970	219.0	19,819.0
1955-1956	100.1	5,573.0	1970-1971	240.6	19,150.0
1956-1957	84.7	6,653.0	1971-1972	249.1	21,364.0
1957-1958	85.5	6,961.0	1972-1973	194.9	18,226.0
1958-1959	148.5	12,433.0	1973-1974	288.5	20,618.0
1959-1960	148.1	8,830.0	1974-1975	262.5	22,665.0
1960-1961	179.9	11,126.0	1975-1976	255.4	20,823.0
1961-1962	150.3	10,403.0	1976-1977	257.9	23,653.0
1962-1963	204.0	15,002.0	1977-1978	215.6	20,918.0

Fuente: Huarte (1976) y Plan Director Director del Distrito de Riego 018, Colonias Yaquis.

En la Tabla 4, se muestran los datos estadísticos de la evolución del riego, a partir del ciclo agrícola 1948-1949, hasta 1978-1979, son 30 años de evolución del riego en el distrito. Anteriormente, se mostró la estadística documentada por Fabila (1978), que comprendió de 1935 a 1939, cuyos resultados no difieren del comportamiento que se observa entre 1948 y 1952, donde la superficie sembrada y cosechada fluctuó entre las

665 ha y las 3,400 ha, aproximadamente, lo cual provocó, como ya se ha señalado anteriormente, una situación muy difícil en la población Yaqui.

En esta misma tabla, se observa que entre los ciclos agrícolas de 1948-1949 a 1951-1952, no se reportó volumen extraído, debido a que se realizaban derivaciones precarias de manera directa del río a los canales existentes sin medición del agua utilizada.

Es a partir de la operación de la presa Álvaro Obregón, en el ciclo agrícola 1952-1953 y del canal principal Colonias Yaquis, cuando se empezó a tener registro del volumen extraído para el Distrito de Riego 018, Colonias Yaquis, por lo que resulta interesante observar que a partir del ciclo agrícola 1963-1964, se empieza a consolidar la superficie de siembra del distrito, al llegar a las 16,430 ha, recordando que el viejo anhelo de la Tribu Yaqui, en 1935, era llegar a la meta de irrigar 16,000 ha. Es importante aclarar que la etapa constructiva del distrito se fue dando gradualmente, de tal manera que en la década de los setentas ya estaba construido en su totalidad, posteriormente, con la rehabilitación del distrito, a mediados de los años 70, se inició la operación del nuevo canal principal Colonias Yaquis, revestido de concreto en su totalidad, con una capacidad de 25 m³/s, en contraste con el viejo canal que estaba construido en tierra.

En la Tabla 5, se presenta el comportamiento de la superficie de siembra entre los ciclos agrícolas 1978-1979 al ciclo 2015-2016, se observa un periodo sobresaliente en la superficie de riego, con doce ciclos consecutivos en los que se sembraron más de 20,000 ha; sin embargo, a partir del ciclo agrícola 1990-1991, vino una etapa de reducción

gradual de la superficie de siembra, con excepción de un pequeño periodo comprendido entre los ciclos 1993-1994 a 1997-1998 en que se lograron sembrar nuevamente más de 20,000 ha. Después de estos ciclos agrícolas, se presentaron 17 ciclos agrícolas consecutivos (1998-1999 a 2014-2015), en que la superficie de siembra fue inferior a las 20,000 ha, este comportamiento reflejó una etapa de estancamiento del desarrollo agrícola del distrito, se agudizó el rentismo a niveles cercanos al 90%, se presentó un decaimiento en la eficiencia del uso y manejo del agua y se incrementó el monocultivo del trigo.

En el ciclo agrícola 2015-2016, después de los 17 ciclos agrícolas ya señalados, nuevamente la superficie de siembra superó las 20,000 ha. Este comportamiento coincidió con la incorporación al distrito de riego, de la Componente de Riego por Gravedad Tecnificado, misma que inició actividades desde el ciclo agrícola 2013-2014, con trabajos de asistencia técnica en riegos, mediante la aplicación de Ingeniería de Riego. Este esfuerzo, aunado a una mayor atención del distrito en actividades de administración, operación, conservación y rehabilitación han inducido una tendencia de recuperación, misma que habrá que seguir mejorando en los próximos ciclos para consolidar la recuperación del distrito.

Evolución y diversificación de cultivos

Los registros estadísticos de la agricultura en la Tribu Yaqui, según fue señalado, datan del año de 1935, en el cual se sembraron 121 ha de trigo y para el año de 1937, la

superficie sembrada con el cereal llegó a 738 ha. La diversificación de cultivos se inició a partir del año de 1938, con la siembra de trigo, maíz y frijol.

Tabla 5. Evolución de la superficie sembrada y volumen extraído 1978-2016.

Ciclo agrícola	Volumen extraído (hm³)	Superficie regada (ha)	Ciclo agrícola	Volumen extraído (hm³)	Superficie regada (ha)
1978-1979	173.7	24,369.0	1997-1998	265.4	20,111.0
1979-1980	241.9	23,519.0	1998-1999	241.4	16,666.0
1980-1981	214.4	23,869.0	1999-2000	246.3	19,041.0
1981-1982	263.0	20,870.0	2000-2001	237.4	16,936.0
1982-1983	262.3	23,038.0	2001-2002	254.7	18,532.0
1983-1984	252.5	21,693.0	2002-2003	263.4	19,826.0
1984-1985	252.5	22,457.0	2003-2004	226.7	18,968.0
1985-1986	265.1	22,064.0	2004-2005	234.0	18,772.0
1986-1987	295.5	22,243.0	2005-2006	264.2	18,059.0
1987-1988	297.1	22,847.0	2006-2007	248.5	17,778.0
1988-1989	283.8	20,752.0	2007-2008	246.3	17,132.0
1989-1990	249.1	21,924.0	2008-2009	241.5	17,447.0
1990-1991	210.9	19,476.0	2009-2010	215.8	17,548.0
1991-1992	255.9	18,947.0	2010-2011	256.4	17,472.0
1992-1993	242.8	18,817.0	2011-2012	243.6	18,280.0
1993-1994	245.4	24,500.0	2012-2013	257.5	18,665.0
1994-1995	283.3	20,811.0	2013-2014	265.3	18,845.0
1995-1996	253.0	22,126.0	2014-2015	252.8	19,532.0
1996-1997	294.9	18,143.0	2015-2016	252.8	20,050.0

Fuente: Distrito de Riego 018, Colonias Yaquis.

Del periodo comprendido entre 1939 a 1952, la superficie sembrada tuvo muy poca evolución, fluctuando entre las 3,000 ha, con cultivos de trigo, maíz y frijol.

A partir del ciclo agrícola 1952-1953, al entrar en operación la presa Álvaro Obregón, prácticamente se puede afirmar que inicia el repunte de la agricultura del distrito; sin embargo, es a partir del ciclo agrícola 1953-1954, cuando la superficie sembrada superó las 5,000 ha y la diversificación de cultivos se incrementó con la incorporación de algodón, linaza y ajonjolí (Tabla 6).

La superficie de siembra continuó evolucionando conforme se fue construyendo la infraestructura de riego y se fueron abriendo y acondicionado las tierras al cultivo, de tal forma que, para principios de los años sesenta, la superficie sembrada llegó a las 10,000 ha y para el ciclo 1962-1963, la superficie sembrada alcanzó las 15,000 ha, incorporando al padrón de cultivos el sorgo y la alfalfa, para totalizar en ese ciclo, la siembra de ocho cultivos, donde ya destacaba fuertemente el trigo con 12,500 ha.

Tabla 6. Superficie y cultivos establecidos entre 1934 y 1970.

Cultivos	Trigo	Maíz	Frijol	Algodón	Linaza	Ajonjolí	Cártamo	Sorgo	Soya	Alfalfa	Total
Ciclo Agrícola	Superficie establecida (ha)										
1934-1935	121										121
1935-1936	533										533
1936-1937	738										738
1937-1938	1,297	683	166								2,146
1938-1939	2,206	833	300								3,339

1948-1949	225	312	73								610
1949-1950	1,563	15	48								1,626
1950-1951	1,776	24	27	245							2,072
1951-1952	2,863		35	260		19					3,177
1952-1953	1,975	182		318	208	190					2,873
1953-1954	3,722	450	100	1,605		30					5,907
1954-1955	3,695	150	75	2,000		20					5,940
1955-1956	4,023	68		1,482							5,573
1956-1957	5,161	520		682		53					6,416
1957-1958	5,869			1,032		60					6,961
1958-1959	9,000	2,938		495							12,433
1959-1960	6,793	90		758		1,189					8,830
1960-1961	8,041	1,000	113	453	689						10,296
1961-1962	8,540			820	963	80					10,403
1962-1963	12,500	365	48	424	805	315		430		115	15,002
1963-1964	14,125	539	45	416	550	325		250		180	16,430
1964-1965	14,427	401	60	523	661	94		35		130	16,331
1965-1966	10,701	633	168	400	1,235		357	1,298	378	177	15,347
1966-1967	9,263	611		644	854	1,089	1,689	538	100	50	14,838
1967-1968	8,197	493		790	1,259	1,304	2,594	164	847	50	15,698
1968-1969	8,071			1,270	754	1,515	3,123	457	723		15,913
1969-1970	8,228	2,339		259	1,452	2,300	4,368	108	569	77	19,700
Media	6,762	618	72	744	857	572	2,426	410	523	111	9,653

Tabla 7. Superficie y cultivos establecidos entre 1970 y 1991.

Cultivos	Trigo	Maíz	Frijol	Algodón	Linaza	Ajonjolí	Cártamo	Sorgo	Soya	Alfalfa	Total
Ciclo agrícola	Superficie establecida (ha)										
1970-1971	6,025	288		583	1,054	3,184	6,273	16	1,583	67	19,073
1971-1972	9,820	205		90	308	2,531	5,941	5	1,981	189	21,070
1972-1973	7,025	126		99		2,422	7,268	390	763	101	18,194
1973-1974	9,280	290		258		53	5,068	782	2,369		18,100
1974-1975	9,105	759		25	564	1,922	6,704	240	2,493	86	21,898
1975-1976	11,238	395			139	1,836	4,477	484	2,084	106	20,759
1976-1977	10,034	57		192		4,195	5,528	234	2,707	152	23,099
1977-1978	7,254	367		16	200	2,480	8,599	157	2,004	80	21,157
1978-1979	7,101	90		76		6,453	7,126	54	1,373	35	22,308
1979-1980	8,696	738		69		5,531	6,663	415	1,219	59	23,390
1980-1981	8,538	3,007		121		1,478	6,163	1,540	1,791	34	22,672
1981-1982	10,158	1,335	534	138		1,142	2,724	914	2,644	34	19,623
1982-1983	13,315		50	818		5,428	1,165	34	2,439	20	23,269
1983-1984	16,611	498	25	773		1,539	692	25	1,445	8	21,616
1984-1985	14,890	620	42	18		1,131	167	283	4,337	21	21,509
1985-1986	16,650	480	50			939	1,007	176	2,394	55	21,751
1986-1987	15,424		34			2,259	1,503	531	2,501	48	22,300
1987-1988	15,567	435	20	30		2,581	2,076	242	1,867	71	22,889
1988-1989	13,661	229	8			1,441	1,633	381	1,986	60	19,399
1989-1990	10,335	733	157	43		4,182	5,980	267		60	21,757
1990-1991	15,158	686	41	46		1,952	200	119	919	11	19,132
Media	11,233	597	96	200	453	2,604	4,141	347	2,045	65	21,189

En el período comprendido entre el ciclo agrícola 1971-1972 al ciclo 1987-1988, la agricultura del distrito alcanzó su máximo potencial, al promediar en 17 ciclos agrícolas continuos, una superficie sembrada promedio de 21,500 ha (Tabla 7), con una cedula de cultivos muy diversificada de manera importante con los cultivos de trigo, maíz, algodón, linaza, ajonjolí, cártamo, sorgo, soya y alfalfa.

Aproximadamente en este mismo periodo, destacó la siembra de segundos cultivos, que como se observa en la Fig. 1, se estuvieron realizando entre el ciclo agrícola 1969-1970 y 1990-1991, posteriormente estos desaparecieron debido a la crisis de los precios en los mercados, mosquita blanca en el caso de la soya y a la falta de disponibilidad de agua debido la reducción de la eficiencia en el uso y manejo del agua.

En la figura antes referida, se aprecia la importancia que tuvo el cultivo de ajonjolí, del que se llegaron a sembrar más de 6,000 ha, cifras superiores a la superficie de soya, cultivo también muy destacado en esa época, del que se llegaron a sembrar un poco más de 3,000 ha en el ciclo Agrícola 1984-1985.

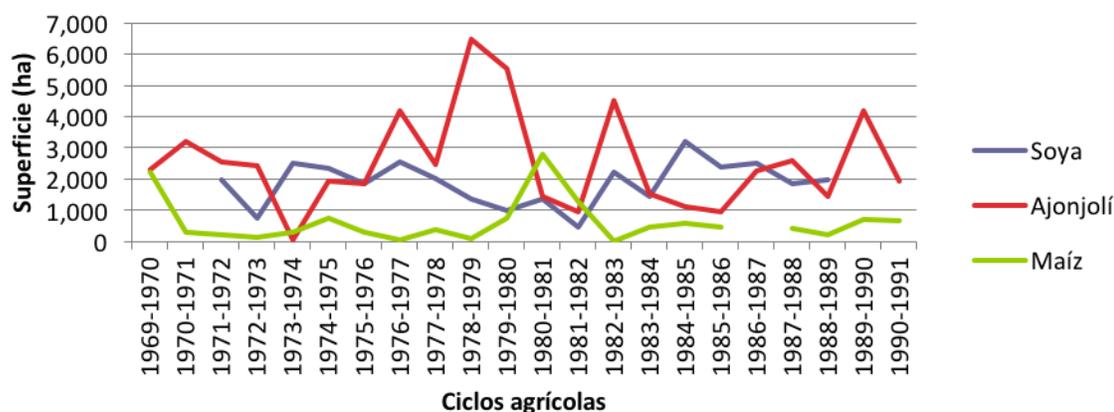


Figura 1. Evolución de los segundos cultivos en el distrito 1970-1991.

En la Tabla 8, se presenta la evolución de la superficie cultivada a partir del Ciclo 1991-1992, donde se observa una reducción importante, que incluso llegó a un mínimo de 16,612 ha en el Ciclo 2000-2001 y un promedio de 18,481 ha sembradas (2,700 ha menos), que en los 17 ciclos agrícolas anteriores, esto como reflejo de las causas señaladas en los párrafos anteriores, como son plagas, pérdida de eficiencia en el uso y manejo del agua y problemas de precios en los mercados de los productos agrícolas. A este problema se sumó el rentismo de las tierras de la comunidad a particulares, en cifras cercanas al 90%.

En la Fig. 2, se muestra con claridad lo que ha sido la evolución de la superficie sembrada y la evolución de los cultivos en las Comunidades Yaquis, después del período de la posguerra Yaqui, a partir de 1934, donde se observó la etapa crítica de 1934 a 1952, luego se presentó la etapa de desarrollo de la infraestructura de riego, misma que se realizó entre 1953 y 1970, posteriormente se presentó la etapa de máximo desarrollo entre 1971 y 1990. En esta etapa destacó la presencia de cinco cultivos importantes: trigo, maíz, ajonjolí, cártamo y soya. Incluso, se puede observar que el ajonjolí llegó a competir fuertemente con la superficie de trigo, al sembrarse cerca de 9,000 ha, incluso como segundo cultivo. Posteriormente vino una etapa de decadencia relativa, donde no sólo se redujo la superficie de siembra, sino que se intensificó el mono cultivo, donde el trigo ocupó la mayor parte de la superficie de siembra alcanzando una cifra cercana a las 19,000 ha.

Tabla 8. Superficie y cultivos establecidos entre 1991y 2015.

Cultivos	Trigo	Maíz	Frijol	Algodón	Garbanzo	Ajonjolí	Cártamo	Sorgo	Soya	Alfalfa	Total
Ciclo agrícola	Superficie establecida (ha)										
1991-1992	14,106	2,139				1,221		106	1,004	21	18,597
1992-1993	12,830	2,022	13	23	114	1,584	569	49	1,387	36	18,627
1993-1994	14,375	2,655	30	566	17	3,277	65	17	3,176	77	24,255
1994-1995	13,410	4,884	12	329			776	207	967	33	20,618
1995-1996	10,428	6,136	31	581	618		2,254	1,764		25	21,837
1996-1997	10,957	2,956	9	192	240		1,684	1,985		30	18,053
1997-1998	13,848	3,849	15	178	102		1,034	787		49	19,862
1998-1999	11,824	975	172	117			2,979			482	16,549
1999-2000	15,581	1,759	106		476		590	31		170	18,713
2000-2001	14,422	709			806		418			257	16,612
2001-2002	16,061	741			172		173			225	17,372
2002-2003	16,363	1,524	41		105		91			325	18,449
2003-2004	14,044	1,962	246				98			401	16,751
2004-2005	13,870	1,876	56	115	228	679	966	295	412	197	18,694
2005-2006	15,712	148	59		499		38			680	17,136
2006-2007	15,488	393	3		626		470			645	17,625
2007-2008	14,863	331	2		971		353			519	17,039
2008-2009	15,773	75	27		869		218			408	17,370
2009-2010	15,693		134		897		72			486	17,282
2010-2011	14,486	6			1,260		1,139			483	17,374
2011-2012	14,642	79	141		1,938		672	83		542	18,097
2012-2013	16,463		61		1,559		52			371	18,506
2013-2014	17,461		36		202		584			433	18,716
2014-2015	18,681		104				162			453	19,400
Media	14,641	1,761	65	263	616	1,690	672	532	1,389	306	18,481

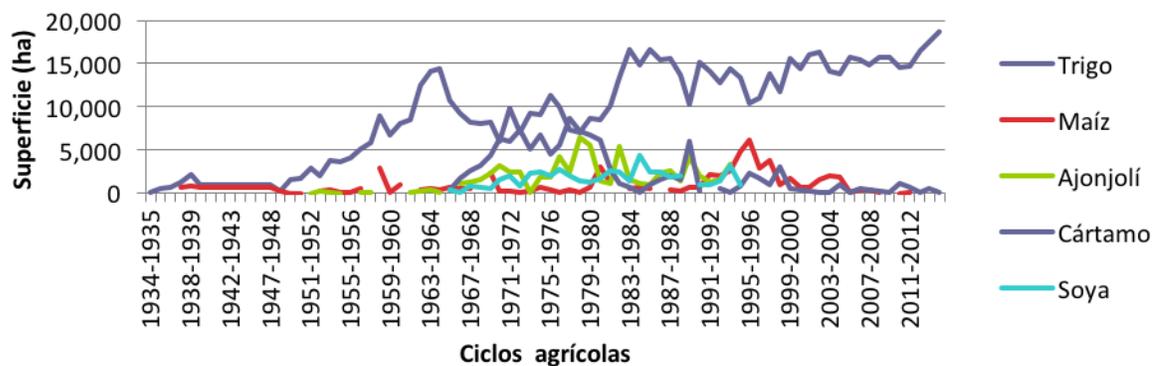


Figura 2. Evolución de la superficie sembrada y cultivos en el distrito 1934-2015.

Finalmente, a manera de conclusión, en la Tabla 9, se presentan de manera resumida las etapas evolutivas que ha presentado la agricultura en la Tribu Yaqui, durante 136 años, desde los antecedentes de la construcción de los primeros canales sobre la margen derecha del río Yaqui, a finales del siglo XIX y en el primer cuarto del siglo XX, hasta nuestros días, en pleno siglo XXI, en la era de las telecomunicaciones y la informática.

La etapa de antecedentes (1880-1934), se caracterizó por la existencia de los primeros esfuerzos por aprovechar las aguas del río Yaqui, en su margen derecha, ya que en la margen izquierda el desarrollo era mucho mayor con la presencia de gente distinta a la Tribu Yaqui. En esta etapa los Yaquis aún permanecían en plan de lucha por la defensa de su territorio, sufrieron el exilio y a su vez muchos de ellos se incorporaron a la Revolución, por lo que es hasta la era Cardenista cuando se dieron las primeras acciones concretas para el inicio del desarrollo de la agricultura en su territorio, al establecerse las bases jurídicas de la propiedad de la tierra y el agua, existiendo aún en nuestros días controversias e inconformidades en la Tribu Yaqui, por la interpretación de los decretos normativos de sus recursos naturales y de sus límites territoriales.

Tabla 9. Etapas de desarrollo de la agricultura en las Colonias Yaquis 1880-2016.

Etapas	Años	Acciones	Superficie sembrada (ha)	Media
Antecedentes	1880-1934	Construcción de los primeros canales.	121	
Inicio del desarrollo	1935-1952	Rehabilitación y construcción de canales y las presas Angostura y Oviáchic.	3,339	
Desarrollo	1953-1970	Construcción de la presa El Novillo y conclusión de la red de canales.	11,558	
Consolidación	1971-1990	Se siembra la totalidad del distrito con un amplio patrón de cultivos, incluyendo segundos cultivos.	21,189	
Estancamiento	1991-2016	Desaparecen los segundos cultivos y se reduce la superficie de siembra, se consolida el mono cultivo de trigo y el rentismo.	18,481	

La etapa de inicio del desarrollo (1935-1952), se caracterizó por el esfuerzo Cardenista de restituir las tierras y el agua a los Yaquis y a su vez, el impulso a la construcción de canales, se rehabilitaron los canales que se habían construido a finales del siglo XIX, se inició y se construyó la presa Angostura y la presa Oviáchic. Con la construcción de la presa Angostura el desarrollo agrícola de la región no tuvo grandes cambios, más bien fue una etapa muy difícil, ya que la población indígena que se había incrementado en los ocho pueblos no podía depender de la excipiente agricultura que se había desarrollado, en razón de que los canales construidos dominaban poca superficie y de manera errática por no contar con obras de derivación, por lo que al concluirse la presa Oviachic y el canal

principal Colonias Yaquis, sobre la margen derecha del río en el sitio denominado Jecatácarí, es cuando verdaderamente inició el desarrollo del riego en la región de la Tribu Yaqui.

Etapa de desarrollo (1953-1970), esta etapa se caracterizó por un vigoroso esfuerzo en la construcción de infraestructura para llevar el riego a la totalidad de superficie del Distrito de Riego 018, Colonias Yaquis. Se construyó la presa del Novillo, con lo que se constituyó el sistema de presas del río Yaqui y se concluyó la red de canales, preparando al distrito para entrar en una etapa de consolidación muy importante.

Etapa de consolidación (1971-1990), se distinguió por contar con toda la infraestructura de riego terminada, incluso se realizó la rehabilitación de una gran cantidad de obras del distrito que ya lo requerían. En esta etapa, de manera muy importante, se construyó el nuevo canal principal Colonias Yaquis, revestido en su totalidad de concreto, sustituyendo al viejo canal que estaba construido en tierra. En esta etapa se sembró la totalidad de la superficie del distrito y se realizó de manera importante la siembra de segundos cultivos, se lograron sembrar en promedio durante el período 21,189 ha.

Etapa de estancamiento (1991-2016), lamentablemente, a partir de la década de los noventas, debido a la crisis financiera y baja recaudación por el servicio de riego, cayó la inversión del Gobierno Federal en los distritos de riego, afectando principalmente la conservación de la infraestructura de conducción y de drenaje. En razón de ello, el Gobierno optó por transferir los distritos a los usuarios agrícolas, organizados en

asociaciones civiles; sin embargo, en el caso del Distrito de Riego 018, Colonias Yaquis, por razones de la problemática interna de la Tribu Yaqui, no logró establecer esta política, lo que derivó en deterioro de la infraestructura y con ello una pérdida de eficiencia en el uso y manejo del agua, deterioro de los suelos y baja recaudación de recursos para hacer frente a las necesidades normales de inversión. En esta etapa se redujo la superficie de siembra a un promedio de 18,481 ha, se incrementó el monocultivo de trigo, desaparecieron los segundos cultivos y se acentuó el rentismo y división entre la Tribu Yaqui, al existir autoridades duales en la mayoría de los ocho pueblos.

Actualmente, con la incorporación de la Componente de Riego por Gravedad Tecnificado, por parte de la Comisión Nacional del Agua y de los propios productores, para brindarles asistencia técnica, mediante la aplicación de Ingeniería de Riegos, así como con la participación de Servicios Mexicanos de Hidrología, instancia contratada como tercer auxiliar por la propia Comisión, para operar, conservar y administrar el distrito, se observa un repunte en la eficiencia de riego y en la superficie sembrada al registrar el ciclo agrícola 2015-2016, un total de 20,050 ha este repunte se ha observado de manera sostenida desde la incorporación de los trabajos de asistencia técnica en riegos a partir del ciclo agrícola 2013-2014; sin embargo, es necesario seguir evaluando resultados en los próximos ciclos, para estar en condiciones de establecer una posible nueva etapa de recuperación.

Literatura citada

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Noroeste, Distrito de Riego 018, Colonias Yaquis. 2016. Estadística Agrícola del Departamento de Hidrometría.

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Noroeste, Distrito de Riego 018, Colonias Yaquis. 2007. Plan Director para la Modernización Integral del Riego del Distrito de Riego 018 Colonias Yaquis, Sonora. P 209.

Dabdoub, Claudio. 1949. Historia del Valle del Yaqui. Editorial Porrúa. Edición 1964. P 222-223, 252-254.

Esquer Félix, Juan S. 2010. El Valle del Yaqui Esfuerzo y Realización. Ed. de Leticia Acedo Rivera. Gama Impresos, Ciudad Obregón, Sonora. P 40-41.

Fabila Montes de Oca, Alfonso. 1978. Las Tribus Yaquis de Sonora, su Cultura y Anhelada Autodeterminación. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. Primera edición 1978. P 24-68.

Huarte, Eduardo. 1976. Apuntes sobre la Tribu Yaqui y el Riego de sus Tierras. Escuela Nacional de Agricultura (ENA).

2.2 Potencial ostrícola

Por Jorge Chávez-Villalba¹

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Unidad Sonora, Carretera al Tular km. 2.1, Estero de Baco-chibampo, 85455 Guaymas, Sonora, México.

Email: jechavez04@cibnor.mx

Resumen

Se presenta a la acuicultura como una actividad que podría diversificar las prácticas productivas en el territorio Yaqui. Se hace una revisión de los cultivos de ostión nativo *Crassostrea corteziensis* y de ostión introducido *C. gigas* como candidatos para desarrollar la ostricultura en esta región. Se discute sobre la obtención de semilla, se analizan los sistemas de cultivo que pueden adaptarse mejor a las condiciones locales, y se describen las fases de cultivo para que puedan ser asimiladas por los interesados. Asimismo, se examina el crecimiento y los eventos de mortalidad durante el cultivo para proyectar posibles escenarios de producción. Se hace énfasis en seguir buenas prácticas de cultivo como única alternativa para desarrollar una ostricultura sustentable. Se concluye que el potencial ostrícola del territorio Yaqui se puede basar en el desarrollo del cultivo de estas especies y así ayudar a mejorar la economía y la nutrición de la comunidad.

Introducción

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos tanto en zonas costeras como en aguas interiores que implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción. Se considera como el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento donde existen más de 500 especies de peces, moluscos, crustáceos y plantas que se cultivan actualmente en todo el mundo (FAO, 2015).

Una de las ventajas de la acuicultura es que puede ser practicada tanto por grupos con escasos recursos como por empresas multinacionales. En el primer caso, la acuicultura puede ser alternativa viable para comunidades que quieren acrecentar sus ingresos y mejorar su alimentación. Además es factible en comunidades agrícolas ya que es posible migrar, sin muchas dificultades, a una actividad acuícola debido a que se tiene el mismo principio; sembrar, cuidar y cosechar. También es una opción para grupos de pescadores, ya que les permite combinar la pesca con cultivos de tipo familiar. Además los organismos que se obtienen a través de esta práctica son importantes porque contribuyen con la nutrición a través del aporte de proteínas, ácidos grasos, vitaminas, minerales y micronutrientes esenciales.

El 80% de la producción acuícola mundial actual deriva de animales que se encuentra en la parte inferior en la cadena alimentaria, y de éstos sobresalen los moluscos por la sencillez con que se implementan sus cultivos en las zonas costeras. De los moluscos, los bivalvos son los más importantes porque representan 25% en volumen y 14% en valor de la producción mundial por acuicultura (Lovatelli et al. 2008). Entre los bivalvos se

destaca el ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*, siendo la especie que se cultiva en más lugares y con más producción de entre todos los moluscos (FAO, 2005; 2014).

En México, la producción de moluscos está representada principalmente por los ostreidos, donde sobresalen el ostión Americano *Crassostrea virginica*, el ostión del Pacífico *C. gigas* y el ostión de placer *C. corteziensis*. El ostión Americano se produce en el Golfo de México a través de una pesquería acuicultural con volúmenes anuales de 40 mil toneladas aproximadamente (Maeda-Martínez, 2008). Las otras dos especies se producen en el Noroeste del país a través de actividades de acuicultura con valores variables de producción anual que oscilan entre 2000 toneladas para *C. gigas* y 800 toneladas para *C. corteziensis* (SAGARPA, 2013). La ostricultura ha mostrado ser una actividad viable y de importancia económica en la región.

Las características anteriores sugieren que la acuicultura podría representar una alternativa de diversificación de actividades productivas para la comunidad Yaqui en Sonora. Las principales actividades que sostienen la economía de los Yaquis son la agricultura, la ganadería y la pesca, pero en su territorio existen las condiciones para que se pueda desarrollar la acuicultura. Con la implementación de ésta, se podrían mejorar los medios de vida con un aumento de los ingresos y una mejor nutrición. En el territorio Yaqui se cuenta con 45 km de costa donde existen cuerpos de agua adecuados para realizar actividades acuícolas. Se destacan por ejemplo las bahías de Las Guásimas y de Lobos, donde las características geográficas, hídricas y ambientales sugieren condiciones apropiadas para realizar el cultivo de bivalvos, en particular de ostiones (ostricultura).

En este trabajo se presenta un análisis de los diferentes tipos de cultivos de *C. corteziensis* y de *C. gigas* llevados a cabo en el noroeste de México, con el objetivo de conocer cuáles podrían ser los que se ajusten mejor a las condiciones ambientales del territorio Yaqui. Se describen las principales actividades así como los requerimientos esenciales de los cultivos haciendo énfasis en las buenas prácticas para implementar actividades sustentables y conocer así el potencial ostrícola para esta región.

Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales del territorio Yaqui, en particular de los cuerpos de agua como las bahías Las Guásimas y Lobos, están descritas detalladamente en otros capítulos del presente libro por lo que no se considera necesario profundizar sobre este tema.

Selección de especies

Entre las diferentes especies de bivalvos que se cultivan en el mundo, se prefieren a los ostiones debido a su resistencia a las condiciones ambientales, por ejemplo *C. gigas* puede desarrollarse y sobrevivir dentro de rangos amplios de temperatura (-2 hasta 35 °C) y salinidad (0 hasta 50 ups) (Héral y Deslous-Paoli, 1990). Debido a esto la especie se ha introducido para repoblación y cultivo en más de 66 países en el mundo incluido México (Ruesink et al. 2005). El ostión de placer *C. corteziensis* siendo una especie nativa también es ideal para el cultivo porque está adaptada a las condiciones locales. De acuerdo con experiencias de productores, ambas especies son muy resistentes al manejo, toleran bien altas densidades y condiciones ambientales extremas, y por su anatomía pueden cerrarse herméticamente teniendo larga vida en anaquel.

Asimismo, los ostiones se consideran como organismos ideales para la acuicultura, ya que se alimentan directamente de fitoplancton, micro-zooplancton, detritus y bacterias que se encuentran de forma natural en el agua de mar y sólo requieren un manejo mínimo en cuanto a mantenimiento y cuidados (Helm et al. 2006). No obstante, un requisito fundamental para cualquier actividad de cultivo o de explotación de bivalvos es contar con la materia prima adecuada. En este caso se le llama semilla y se refiere a los juveniles de ostión que han alcanzado una talla generalmente mayor a 0.5 milímetros de largo (altura de la concha) (Chávez-Villalba, 2014). Para iniciar un cultivo es importante que la semilla sea abundante, esté certificada (libre de enfermedades y patógenos) y que los costos de obtenerla sean accesibles para los grupos involucrados.

Obtención de semilla

Existen dos formas básicas de conseguir semilla de ostión. La primera es obtenerla del medio natural a través del uso de colectores que pueden ser naturales (conchas) o artificiales (láminas, pedazos de llantas, etc.) y la otra es comprarla en laboratorios especializados de producción llamados comúnmente “*hatcheries*”.

De acuerdo con algunos estudios, las poblaciones de ostión de placer están muy disminuidas o han desaparecido de las costas de Sonora (Chávez-Villalba et al. 2005), por lo que la captación natural parece que no es una opción viable para la obtención de semilla de esta especie en territorio Yaqui. El ostión del Pacífico por otro lado, no es una especie nativa, sino que fue introducida a nuestro país en 1973 (Islas-Olivares, 1975). Por

lo tanto, tampoco se puede obtener de manera natural. Entonces la única opción para contar con semilla de las dos especies es comprarla en laboratorios especializados.

Existen dos laboratorios en el país que tienen capacidad de producir semilla de *C. corteziensis*, uno es el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste en La Paz, B.C.S., y el otro es el Centro Reproductor de Especies Marinas (CREMES) en Bahía Kino, Sonora (Hoyos-Chairez, 2004). Sin embargo, debido a problemas de altas mortalidades de ostión causadas por patógenos en la región, el traslado de ostiones de Baja California Sur hacia los otros estados está prohibido para esta especie. Otro punto importante a considerar es que sólo se puede comprar semilla de ostión de placer sobre pedido.

Para *C. gigas* la oferta de semilla es más variada, además de los laboratorios mencionados, existen otros en la región que ofrecen semilla de la especie como Maxmar Mariscos S.A. de C.V. (Ensenada, Baja California), Sea Farmer S.A. de C.V. (Los Mochis, Sinaloa), Maricultura del Pacífico S.A. de C.V. (Bahía de Kino, Sonora), Acuacultura Robles (La Paz, Baja California Sur), Bivalvos del Pacífico (Bahía Asunción, Baja California Sur). También hay laboratorios norteamericanos como Whiskey Creek Shell Fish (Oregón) y Taylor Shellfish Faros (Washington), así como empresas Chilenas que venden semilla a productores mexicanos. Es muy importante que los grupos interesados en cultivar ostión se aseguren que la semilla que compren venga certificada indicando que está libre de patógenos y enfermedades.

Sistemas de cultivo

El ostión de placer se cultiva en Nayarit y Sinaloa utilizando dos sistemas principales; sartas de conchas suspendidas de estructuras fijas de madera y cajas ostrícolas suspendidas de líneas tipo palangre (“*long-lines*”). El ostión del Pacífico se cultiva principalmente en Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa utilizando, además de las cajas ostrícolas, balsas y estantes, así como costales amarrados a estantes.

Existen experimentos de cultivo de *C. corteziensis* que se han hecho en el estero El Soldado y en la bahía de Las Guásimas utilizando las cajas ostrícolas con buenos resultados (Chávez-Villalba et al. 2005; 2008). El sistema de sartas parece que no es adecuado para los cuerpos de agua del territorio Yaqui, ya que se basa en la colecta natural de semilla directamente sobre conchas, las cuales se utilizan posteriormente para formar las sartas.

También hay reportes de cultivo en cajas ostrícolas de *C. gigas* en el estero El Soldado (Chávez-Villalba et al. 2007). Aunque no hay información disponible, se sabe que en Las Guásimas también se llevan a cabo cultivos en cajas ostrícolas de esta especie a nivel familiar. Los otros sistemas de cultivo para el ostión del Pacífico no están reportados en la región, debido probablemente a que las balsas y estantes requieren de lugares abiertos y con una profundidad mínimas de 4 metros, y los costales y estantes se llevan a cabo en zonas intermareales con una gran amplitud de marea (>1.8 m), características que no se encuentran de forma óptima en el territorio Yaqui. Lo anterior sugiere que el sistema más

apropiado para desarrollar actividades de acuicultura para las dos especies de ostión en esta región, es el sistema en cajas ostrícolas (Fig. 1).

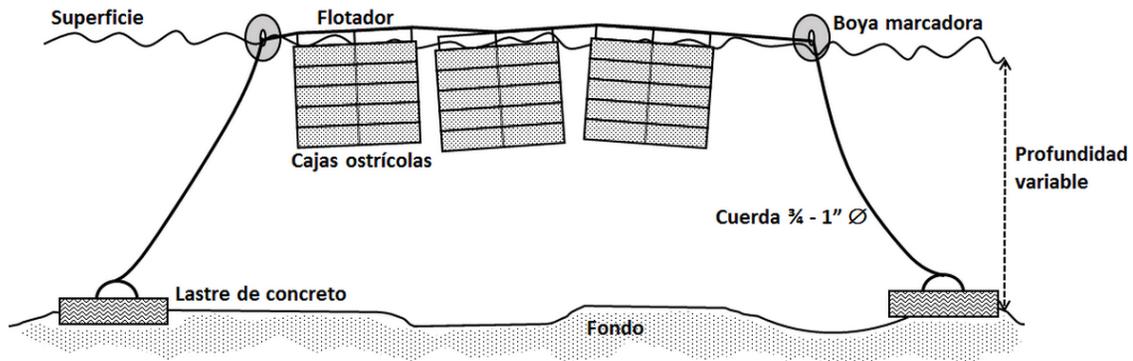


Figura 1. Sistema de caja ostrícolas.

Fases de cultivo

El cultivo de ostiones en la región sigue en general un proceso de cinco fases; la siembra, la pre-engorda, la engorda, el endurecimiento y la cosecha. Para el cultivo en cajas ostrícolas se siguen todas las fases excepto el endurecimiento, y se llevan a cabo de la misma forma tanto para el cultivo del ostión de placer como del Pacífico. De acuerdo con Chávez-Villalba (2014) las fases de cultivo se describen de la siguiente manera: la fase de la siembra se refiere al proceso cuando la semilla de ostión se coloca por primera vez en el mar. Después sigue la pre-engorda y es cuando la semilla pasa de una talla inicial de siembra de 0.5-5 mm de largo a una talla promedio ≥ 30 mm. En esta fase se necesitan generalmente bolsas de malla fina (mosquitero de 1 o 2 mm) u otras estructuras de contención para que los juveniles por su talla pequeña, no se salgan a través de los orificios y aberturas de las cajas ostrícolas, y para evitar que sean atacados por depredadores. La engorda es cuando los ostiones se colocan directamente dentro de cajas

ostrícolas, ya que tienen el tamaño adecuado para esto y son más resistentes a la depredación. Los ostiones permanecen en las cajas hasta el final del cultivo, momento en que están listos para la última fase que es la cosecha. Los ostiones son separados manualmente y después se limpian con cepillos y/o con agua a presión para quitarles todas las incrustaciones que pudieran tener. Después de esto están listos para la venta.

Durante el cultivo las principales actividades de mantenimiento son la reducción de la densidad y la limpieza de las estructuras de contención. Ambas son importantes, la primera permite que los ostiones no estén hacinados y tengan más espacio para crecer así como para alimentarse asegurando un crecimiento óptimo. La limpieza es importante porque las estructuras de cultivo son colonizadas por infinidad de organismos incrustantes provocando que los orificios se tapen y no haya buena circulación de agua, existiendo más competencia por alimento. Las incrustaciones además dificultan la manipulación, haciendo que las estructuras sean muy pesadas y puedan ocasionar inclusive heridas a los operarios.

Crecimiento

Existen reportes de crecimiento de *C. corteziensis* cultivado en cajas ostrícolas en el estero El soldado, donde la especie después de 375 días alcanzó los siguientes valores promedio de talla de concha: 71.3 ± 1.9 mm de largo, 52.6 ± 1.3 mm de ancho y 25.1 ± 0.8 mm de grueso, así como un peso total de 30.1 ± 1.9 g (Chávez-Villalba et al. 2005). Estos autores ajustaron sus datos al modelo de von Bertalanffy obteniendo: $L_{\infty} = 114$ mm

largo, $k = 1.1/\text{año}$, con $t_0 = 0$. El modelo de crecimiento en largo (L) fue:
$$L = \{1 - \exp^{-1.1(t-0)}\}.$$

Estos resultados indican que el ostión de placer necesita más tiempo de cultivo para alcanzar las tallas comerciales que oscilan entre 80 mm de largo y 60 g de peso.

En otro experimento de crecimiento pero esta vez de 25 meses de cultivo en cajas ostrícolas en Las Guásimas, Chávez-Villalba et al. (2008) encontraron que *C. corteziensis* podía alcanzar 103.2 ± 1.82 mm de largo, 63.4 ± 0.74 mm de ancho y 31.9 ± 0.78 mm de grueso así como 150.3 ± 4.98 de peso total. Reajustando el modelo de von Bertalanffy a estos valores obtuvieron la siguiente ecuación: $L = 132.2\{1 - \exp^{-1.08(t+0.18)}\}$. Con esto se detectó que la especie necesita alrededor de 18 meses de cultivo para alcanzar las tallas comerciales. Recientemente se encontró que el modelo Schnute-Richards describe mejor el crecimiento de *C. corteziensis* que el modelo de von Bertalanffy (Chávez-Villalba y Aragón-Noriega, 2015).

Con relación al ostión del Pacífico, sólo existe un reporte de crecimiento en cajas ostrícolas en el territorio Yaqui (Las Guásimas), pero de juveniles durante el verano y el invierno (Castillo-Durán et al. 2010). En verano (julio a septiembre de 2005), *C. gigas* creció de 41 a 46.1 mm de largo y en invierno (diciembre de 2005 a febrero 2006) creció significativamente más de 29.7 a 54.4 mm. Otros trabajos sobre crecimiento de ostiones del Pacífico cultivados en Sonora se han hecho principalmente en el estero La Cruz en Bahía Kino (Martínez-Córdova y Robles, 1990; Martínez-Córdova y Martínez-Porchas,

2006; Chávez-Villalba et al. 2010), y muestran que la especie alcanza la talla comercial en menos de un año. El modelo de von Bertalanffy también se ha utilizado para describir el crecimiento de esta especie cultivada en cajas ostrícolas en La Paz, B.C.S. (Ramírez-Filippini et al. 1990). La ecuación obtenida es la siguiente:

$$L = 60.7\{1 - \exp^{-0.0078(t-21.2)}\}.$$

Los resultados de los trabajos anteriores indican que *C. corteziensis* tiene crecimiento más lento que *C. gigas*, por lo tanto requiere más tiempo para alcanzar la talla comercial. No obstante, el ostión del Pacífico es más susceptible a la temperatura, el crecimiento se reduce o inclusive se detiene en verano cuando se presentan las temperaturas más elevadas, mientras que durante el invierno se registran las tasas más altas de crecimiento (Martínez-Córdova y Robles, 1990; Castillo-Durán et al., 2010).

Mortalidad

La mortalidad de organismos se refiere a la que se presenta durante todo el desarrollo del cultivo, desde la siembra, cuando se ponen por primera vez los organismos en el mar, hasta que éstos son retirados definitivamente, es decir cosechados. En los cultivos existe mortalidad natural y se define como aquella provocada por depredación (organismos que entran a los contenedores y se comen a los ostiones), por efecto de condiciones ambientales adversas (altas temperaturas, bajas salinidades, etc.), y debido a enfermedades naturales (organismos menos resistentes, sistemas inmunes debilitados). También se encuentra la mortalidad por manejo y es cuando es causada por golpes durante el movimiento de estructuras, por exposición a condiciones extremas (mantener

organismos fuera del agua por mucho tiempo), por hacinamiento y falta de mantenimiento (disminución de alimento disponible).

Se recomienda mantener los cultivos lo mejor posible en cuanto a mantenimiento y limpieza, y de esta forma que los porcentajes de mortalidad natural y por manejo sean lo más bajos posibles. No existe un valor específico para la mortalidad, pero para obtener buenos rendimientos de cosecha se considera adecuado que éste sea menor del 30% de la población total al final del periodo de cultivo. Existen sin embargo, eventos de mortalidad anormal los cuales pueden afectar a más del 40% de los organismos en cultivo. Generalmente se presentan en ciertos periodos del año y pueden afectar a grupos determinados de organismos, como semilla, juveniles o adultos. Dentro de las mortalidades anormales se encuentran también las mortalidades masivas que pueden afectar hasta el 100% de la población, o de un grupo específico (juveniles principalmente). Las mortalidades masivas se pueden presentar en diferentes épocas del año y se les asocia a la existencia de patógenos que combinados con otras variables como altas temperaturas, gran cantidad de alimento, madurez gonádica, parecen generar los eventos masivos (Soletchnik et al. 1999; Le Roux et al. 2002; Samain et al. 2005).

En cualquier caso, las diferentes formas de mortalidad se pueden disminuir siguiendo buenas prácticas de cultivo (ver siguiente apartado). Por ejemplo, se sabe que *C. gigas* es más sensible a la temperatura por lo tanto puede ser más vulnerable durante el verano. En este caso se pueden buscar estrategias como mover las estructuras de cultivo a zonas más profundas, reducir significativamente la densidad para darles más espacio y acceso al

alimento, no exponer los ostiones al sol, no mantenerlos mucho tiempo fuera del agua, etc. Aunque *C. corteziensis* tolera mejor las altas temperaturas, las medidas sugeridas anteriormente también pueden aplicarse a esta especie y de esta forma ayudar a mantener cultivos sanos.

Buenas prácticas de cultivo

Actualmente, uno de los principales puntos a considerar para mantener cultivos de ostión en las mejores condiciones posibles es la adopción de buenas prácticas de cultivo. Éstas se han venido implementando con los productores de la región para contrarrestar los problemas de mortalidades masivas de ostiones que han ocurrido recurrentemente desde 1997. Asimismo, para evitar la diseminación de diversos tipos de patógenos (*Perkinsus marinus*, *Marteilia refringens*, herpesvirus tipo 1 – OsHV-1) que se han encontrado en *C. gigas* y *C. corteziensis* y que aparentemente podrían estar relacionados con los eventos de mortalidad señalados (Enríquez-Espinoza, 2015). Así como para promover la inocuidad de los alimentos mediante la implementación de sistemas de reducción de riesgos en las unidades de producción y procesamiento de alimentos.

Una de las primeras acciones que deben hacer los grupos que quieren iniciar cultivos de ostión es ponerse en contacto con el Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora (COESAES), quienes los orientarán con respecto a (1) supervisión de buenas prácticas sanitarias, (2) seguimiento técnico de los cultivos, (3) muestreo continuo de organismos en las unidades de producción (Herpesvirus, enfermedades certificables-OIE, biotoxinas marinas, *Vibrio parahaemolyticus*, etc.), (4) muestreo de contaminantes marinos, y (5)

impulso al trámite de concesiones. También es importante que los grupos se afilien al Comité Estatal Sistema Producto Ostión (CESPO) donde se implementan mecanismos de planeación, comunicación y concertación permanente entre los ostricultores. Entre las acciones más importantes están el abastecimiento de equipo técnico, insumos y servicios de la producción primaria, acopio, transformación, distribución y comercialización. Asimismo, a través de los CESPO los productores pueden canalizar sus problemáticas hacia el sector académico, para que éste los apoye implementando acciones para su estudio y posible solución. Respecto a las buenas prácticas de cultivo, es importante seguir las indicaciones dadas por los Comités de Sanidad Acuícola y del Sistema Producto. En este apartado se consideran y complementan algunas de las recomendaciones descritas por Tapia-Vázquez et al. (2008) y Cáceres-Martínez y Vázquez-Yeomans (2014).

Semilla

El primer paso es con relación a la semilla de ostión que se obtendrá para iniciar los cultivos. El tiempo de traslado de la semilla del laboratorio de origen al productor, deberá ser lo más breve posible (48 horas o menos). El productor debe solicitar a su proveedor copia del certificado sanitario, el peso por millón de larva y la factura. En caso de que una persona importe o introduzca semilla directamente, deberá enviar una muestra al COSAES para sus análisis en fresco e histopatológico. Esto con la finalidad de determinar de manera inmediata la calidad de la semilla e identificar las enfermedades establecidas en la NOM-O10-PESC-1993 y en la OIE (Organización Internacional de

Epizootias). Los resultados de estos análisis se envían a cada uno de los productores que hayan recibido organismos.

Siembra y cultivo

Antes de sembrar la semilla se recomienda revisar que los sistemas de cultivo estén ubicados en donde existan corrientes que proporcionen alimento y oxígeno adecuado, evitando zonas con mucho fango. Instalar señalamientos que permitan la circulación segura tanto de embarcaciones como personas en la zona de cultivo. Los sistemas deberán ser revisados continuamente y en caso de estar dañados, repararlos a la brevedad. Cuando se inicien las actividades de cultivo es necesario manejar densidades de siembra que eviten el hacinamiento de los ostiones. La densidad en las unidades de cultivo se deberá mantener considerando que los ostiones no cubran más de un 70% del espacio de los contenedores (cajas). Cuando los ostiones crezcan y cubran el 100% de la superficie de las cajas o más, se tiene que llevar a cabo una reducción de densidad. En paralelo al cultivo se recomiendan las siguientes acciones: 1) registrar regularmente (al menos una vez al mes) los parámetros fisicoquímicos (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) en el lugar de cultivo y anotarlos en una bitácora, así como conocer la ubicación exacta (coordenadas) de las estructuras dentro del cuerpo de agua, 2) evaluar cada semana el crecimiento de los ostiones, registrando en bitácoras los parámetros morfométricos y de supervivencia, 3) realizar observaciones y anotar el comportamiento de las mareas, tomar los datos referentes a tipo de flora y fauna del lugar, 4) informarse sobre eventos climatológicos (fenómenos de “el niño”, “la niña”, marea roja, condición santana, etc.), 5) evaluar cada semana el crecimiento y reclutamiento de epibiontes.

Otro punto importante es que durante el cultivo no deberán moverse lotes de ostión entre diferentes cuerpos de agua, o entre diferentes zonas de cultivo sin tener los certificados que garanticen que están libres de enfermedades. Para cualquier movimiento de ostiones fuera del área de cultivo es necesario que se envíen muestras al COSAES para los análisis correspondientes.

Mantenimiento

El mantenimiento de los sistemas de cultivo se deberá llevar a cabo de manera programada. La limpieza de las estructuras (cajas, cuerdas, boyas, etc.) no se debe realizar en las embarcaciones ni en la orilla del mar por lo que se tendrá que hacer en instalaciones en tierra donde haya sombra y suministro de agua dulce de preferencia. Tanto el agua utilizada para limpiar, así como los restos de epibiontes, conchas vacías, ostiones muertos, etc. no deberán arrojarse al mar y se deberán colocar en recipientes o zonas preparadas que permitan su posterior eliminación. No se deben usar químicos no biodegradables o solventes para limpiar las estructuras, se recomienda el uso de jabones biodegradables y/o cloro diluido, pero los residuos de éstos no deben llegar al mar. Los operadores del cultivo así como toda persona que se encuentre en los sitios de producción deberán usar letrinas o sanitarios ecológicos que deben estar ubicados a más de 50 metros de la orilla del mar. Asimismo, no se debe permitir el acceso a perros u otros animales a las zonas de cultivo.

Manejo de organismos

El manejo de ostiones durante el cultivo y la cosecha debe seguir las siguientes recomendaciones; los organismos no deben dejarse por tiempos prolongados en la orilla del mar y/o fuera del agua, de preferencia deben colocarse a la sombra donde deberán ser mantenidos los más frescos posible (humedecerlos con agua constantemente). Se tendrán que implementar instalaciones de manejo en tierra donde se cuente con zonas físicamente separadas que incluyan sombra, agua dulce, lavabos, recipientes adecuados para la limpieza del producto, zonas de almacenamiento, contenedores para residuos, botes de basura con bolsa y tapa, etc. Los operarios deberán contar con equipo básico como botas, guantes, cubre-bocas, cubre-cabello, mandiles, etc., y deberán lavarse las manos con agua limpia y jabón antes de iniciar labores, después de ir al baño y cada vez que interrumpan sus actividades. Antes del inicio y final de cada jornada laboral, se deberá lavar el material utilizado, y dejar limpias las áreas de trabajo. Es necesario que haya personal encargado de mantener todas las instalaciones limpias. El personal que maneje directamente el producto no deberá presentar cuadros de enfermedad infecto-contagiosa (hepatitis, tuberculosis, etc.). No se debe fumar dentro del área de trabajo y se debe prohibir el escupir y orinar en todas las áreas aledañas e instalaciones que no correspondan a los baños o letrinas, los cuales deben mantenerse limpios y en buenas condiciones (con papel, agua, jabón, etc.). También se debe contar con un botiquín, que permita proporcionar los primeros auxilios. Además se recomienda clasificar y organizar las cosechas por tallas, caracterizar a los organismos considerados como de buena calidad y de mala calidad, así como utilizar bitácoras que proporcionen datos con respecto a las tallas y pesos de organismos cosechados por semana, mes, año y con esto calcular los

rendimientos correspondientes. Además de las recomendaciones anteriores también es importante considerar la identificación de las fuentes de contaminación, integrar un programa sobre rotación de cultivos, establecer buena comunicación con los sectores involucrados en acuicultura y pesca en la región. Finalmente, es conveniente que los productores asistan regularmente a los talleres y cursos que ofrecen los Comités para estar actualizados sobre las medidas sanitarias y/o de manejo que puedan surgir.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados de trabajos de investigación sobre cultivo de bivalvos realizados en Sonora y particularmente aquellos hechos en la bahía de Las Guásimas, se observa que la ostricultura es una actividad factible para desarrollarse en el territorio Yaqui. Como se pudo observar, existen laboratorios a nivel local en donde se puede adquirir semilla de *C. corteziensis* y *C. gigas* como fuente de materia prima para iniciar los cultivos de estas especies. También existen sistemas de cultivo probados, como las cajas ostrícolas mantenidas en suspensión, que han mostrado ser adecuadas para las condiciones encontradas en el territorio Yaqui. Los sistemas de operación de estos cultivos son simples y de fácil apropiación para grupos de personas que tienen actividades como la agricultura y pesca. Para estos últimos, la disminución de la pesca de captura hace que el futuro del sector pesquero se enfoque principalmente al cultivo de organismos (FAO, 2015).

Los resultados de crecimiento del ostión del Pacífico sugieren que se pueden obtener ganancias económicas a partir de la venta de ostiones durante el primer año de cultivo

con esta especie. Mientras que con el cultivo del ostión de placer, las entradas económicas se esperarían hasta después de 18 meses de operaciones. Sin embargo, se sugiere que se cultiven las dos especies en paralelo ya que se podrían tener cosechas escalonadas cada seis meses después de las primeras operaciones de producción. Es importante que se considere estimar la capacidad de carga de los cuerpos de agua para no sobrepasarla y así la actividad pueda ser permanente. En cualquier caso, es imprescindible que los grupos que estén a cargo de los cultivos sigan puntualmente las indicaciones de los Comités sobre las buenas prácticas de cultivo, ya que es la única manera de asegurar cultivos sustentables y de esta forma garantizar producciones que sean redituables para los involucrados. Todos los elementos anteriores indican que el potencial ostrícola para el territorio Yaqui se podría basar en el desarrollo de cultivos de las especies *C. corteziensis* y *C. gigas*. Con esto se podría ayudar a que la comunidad Yaqui prospere con un aumento de sus ingresos y exista también una mejor nutrición para que las personas estén más sanas.

Agradecimientos

Al Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora por la información sobre su funcionamiento.

Literatura citada

Cáceres-Martínez, J., Vásquez-Yeomans, R. 2014. Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos. OIRSA-OSPESCA, 117 p

- Castillo-Durán, A., Chávez-Villalba, J., Arreola-Lizárraga, A., Barraza-Guardado, R. 2010. Comparative growth, condition, and survival of juvenile oysters *Crassostrea gigas* and *C. corteziensis* cultivated in summer and winter. *Ciencias Marinas* 36:29–39
- Chávez-Villalba, J., López-Tapia, M. R., Mazón-Suástegui, J. M., Robles-Mungaray, M. 2005. Growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in Sonora, Mexico. *Aquaculture Research* 36:1337–1344
- Chávez-Villalba, J., Villelas-Ávila, F., Cáceres-Martínez, C. 2007. Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) along coastal Sonora, Mexico. *Aquaculture Research* 38:268–278
- Chávez-Villalba, J., Hernández-Ibarra, A., López-Tapia, M. R., Mazón-Suástegui, J. M. 2008. Prospective culture of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* from northwestern Mexico: growth, gametogenic activity, and condition index. *Journal of Shellfish Research* 27:711–720
- Chávez-Villalba, J., Arreola-Lizárraga, A., Burrola-Sánchez, S., Hoyos-Chairez, F. 2010. Growth, condition, and survival of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultivated within and outside a subtropical lagoon. *Aquaculture* 300:128–136
- Chávez-Villalba, J. 2014. Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiológica* 24:175–190
- Chávez-Villalba, J., Aragón-Noriega, E. A. 2015. Modeling the individual growth of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* (Bivalvia: Ostreidae) from central Gulf of California. *Cahiers de Biologie Marine* (en prensa)

Enríquez-Espinoza, T. L. 2015. Patógenos emergentes y de reciente expansión en moluscos bivalvos de interés comercial en el Golfo de California. Tesis de doctorado, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México 73 p

FAO. 2014. Cultured Aquatic Species Information Programme *Crassostrea gigas*. Programa de información de especies acuáticas. Texto de Helm, M. M. En: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado 13 April 2005. [Citado 24 February 2014].

http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostrea_gigas/es#tcNA00EA

FAO. 2015. Acuicultura. <http://www.fao.org/aquaculture/es/>

Helm, M. M, Bourne N, Lovatelli A. 2006 Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 471. Roma, FAO, 184 p

Héral, M., Deslous-Paoli, J. M. 1990. Oyster culture in European countries. En: Menzel W (ed.) Estuarine and Marine Bivalve Mollusc Culture. CRC Press, pp 153–190

Hoyos-Chairez, F. J. 2004. Ostricultura sonorensis; antecedente, presente y perspectiva de desarrollo sustentable. En: Zárate-Valdez JL (ed.) Foro Intercambio de Experiencias en Agricultura y Desarrollo Rural Sustentables. Hermosillo, Sonora, pp 2–11

Islas-Olivares, R. 1975. El ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en Baja California. Ciencias Marinas 2:58–59

Le Roux, F., Gay, M., Lambert, C., Waechter, M., Poubalane, S., Chollet, B., Nicolas, J. L., Berthe, F. 2002. Comparative analysis of *Vibrio splendidus* related strains isolated during *Crassostrea gigas* mortality events. Aquatic Living Resources 15:251–258

Lovatelli, A., Vannuccini, S., McLeod, D. 2008. Current status of world bivalve aquaculture and trade. En: Lovatelli A, Farías A, Uriarte I (eds) Estado actual del cultivo

y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp 45–59

Maeda-Martínez, A. N. 2008. Estado actual del cultivo de bivalvos en México. En: Lovatelli A, Farías A, Uriarte I (eds) Taller regional de la FAO sobre el Estado Actual del Cultivo y Manejo de Moluscos Bivalvos y su Proyección Futura: Factores que Afectan su Sustentabilidad en América Latina. Actas de Pesca de la FAO. No. 12. Roma, FAO. pp 91–100

Martínez-Córdova, L. R., Robles, M. 1990. Introducción de ostión japonés *Crassostrea gigas* (Thunberg 1795) en el estero La Cruz, Sonora, México. Ciencia Pesquera 7:157–165

Martínez-Córdova, L. R., Martínez-Porchas, M. 2006. Polyculture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, giant oyster, *Crassostrea gigas* and black clam, *Chione flucitifraga* in ponds in Sonora, Mexico. Aquaculture 258:321–326

Ramírez-Filippini, D., Chávez-Villalba, J., Cáceres-Martínez, C. 1990. Cultivo de ostión en costales sobre estantes en la zona intermareal en Bahía de La Paz, B. C. S.: Estudio comparativo de crecimiento y resistencia, con el cultivo en suspensión. En: De la Lanza-Espino G, Arredondo-Figueroa JL (eds.) La Acuicultura en México: de los Conceptos a la Producción. UNAM-Instituto de Biología. México, pp 152–161

Ruesink, J. L., Lenihan, H. S., Trimble, A. C., Heiman, K. W., Micheli, F., Byers, J. E., Kay, M. C. 2005. Introduction of non-native oysters: Ecosystem effects and restoration implications. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 36:643–89

SAGARPA. 2013. Registro y Estadística Pesquera y Acuícola-Consulta Específica por Especie. Disponible en línea en:

http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/consulta_especifica_por_produccion

Samain, J. F., Boudry, P., Dégremont, L., Soletchnik, P., Ropert, M., Bédier, E., Martin, J. L., Moal, J., Mathieu, M., Pouvreau, S., Lambert, C., Escoubas, J. M., Nicolas, J. L., Le Roux, F., Renault, T., Burgeot, T., Bacher, C. 2005. Information on the distribution, causes and significance of the summer mortality syndrome in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and other bivalve species. Report on the Working Group on Pathology and Diseases of Marine Organisms (ICES CM 2005/F:02). La Tremblade, France, 1206 p

Soletchnik, P., Le Moine, O., Faury, N., Razet, D., Geairon, P., Gouletquer, P. 1999. Mortalité de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes–Oléron: étude de la variabilité spatiale de son environnement et de sa biologie par un système d'informations géographiques (SIG). Aquatic Living Resources 12:131–143

Tapia-Vázquez, O., González-Alcalá, H. M., Sáenz-Gaxiola, L. M., García-Hirales, R. 2008. Manual de buenas prácticas en granjas ostrícolas de San Quintín, Baja California, México. Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California, A. C. (SAGARPA-CONAPESCA). Ensenada, 36 p

2.3 Potencial acuícola: Un desafío para el desarrollo social y sostenible de las Comunidades Yaquis.

Por Ramón Casillas-Hernández¹, Martín Villa-Ibarra² y Francisco Magallón Barajas³.

¹Profesor-investigador, Instituto Tecnológico de Sonora, ramón.casillas@itson.edu.mx,

²Profesor investigador, Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, mvilla@itesca.edu.mx,

³Investigador del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste,

Email: fmagallon04@cibnor.mx.

Resumen

Se analiza el concepto de potencial acuícola bajo un contexto histórico y social tratando de integrar esta actividad al desarrollo sostenible de las comunidades Yaquis. La camaronicultura es la actividad acuícola más importante no solo del País, sino también del Estado de Sonora por esta razón se toma como una base para la discusión del presente manuscrito. El documento contiene un breve análisis de lo que a nuestro juicio son los aspectos históricos y sociales más importantes de la camaronicultura en el Noroeste de México. En su contenido se describe una breve historia a partir de la década de los sesentas pasando a los parques camaronícolas del sector social y los cambios en las leyes que a partir de la década de los noventa, impulsan el crecimiento de las granjas del sector privado. Por último, se analizan las unidades de producción acuícola y su entorno ecológico actual. El potencial camaronícola para la región Yaqui es técnicamente

factible; un esquema de empresa social puede ser productivo y exitoso siempre y cuando exista el capital económico, técnico y administrativo, además de la cohesión y la disciplina de sus agremiados. La asociación con inversionistas privados es otra alternativa que puede ser factible para la comunidad Yaqui, siempre y cuando existan los acuerdos correspondientes. En tanto la camaronicultura del Noroeste de México, especialmente la que se realiza en estanques a cielo abierto, continuará dominando la producción de alimentos acuáticos en un futuro.

Introducción

El concepto de POTENCIAL ACUÍCOLA relaciona la fortaleza que posee una región de producir y proveer a través de un proceso controlado una diversidad de organismos y plantas acuáticas en cantidad y calidad suficiente para garantizar su seguridad alimentaria. Partiendo de éste concepto tenemos que el Estado de Sonora posee un enorme potencial de recursos marinos y costeros gracias a su posición geográfica colindante con uno de los mares más productivos y de mayor riqueza escénica y biológica del mundo. El Golfo de California también conocido como el “Mar de Cortés”, posee un litoral de 1,200 kilómetros donde se desarrollan actividades de todo tipo: industrial, marítimo portuaria, turística, comercial, agropecuaria, pesquera y acuícola, que dan sustento a miles de familias sonorenses (CEDES, 2009). El concepto de potencial acuícola se aborda señalando la gran diversidad de especies susceptibles a ser cultivadas así como las especies más importantes de explotación actual (cuadro 1). En el presente documento se analiza el contexto histórico-social de la actividad acuícola y el reto que representa integrar el potencial acuícola a la elocuente noción de actividad sostenible.

Tabla 1. Listado de especies con potencial acuícola para el Estado de Sonora, tomadas de la Carta Nacional Pesquera (CNP) y las fichas de diagnóstico; Región I Pacífico Norte.

Camarón marino*	Langostino	Huachinango y pargos	Pepino de mar
Camarón agua dulce*	Jaiba	Sargazo rojo	Mejillón
Algas marinas	Erizo	Sargazo gigante	Jureles y medregales
Almejas	Jurel	Lobina agua dulce	Peces de ornato
Atún	Tilapias*	Langosta de agua dulce	Botete
Bagre*	Ostión*	Ranas	

*Potencial de producción; el resto en vías de expansión y desarrollo.

La especie acuícola que mayormente se ha cultivado no solo en el Estado de Sonora si no en muchos de los litorales de México es el camarón marino. Al menos tres especies han sido cultivadas con diferentes niveles tecnológicos; el camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*), el café (*Farfantepenaeus californiensis*) y el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), éste último es el más importante por los volúmenes de producción y el nivel tecnológico desarrollado en su cultivo. No obstante el crecimiento que mostrado ésta actividad existe una controversia social y ambiental impugnada, la cual se intenta discutir en el presente documento.

Breve historia de la acuicultura del camarón

Es importante señalar que la acuicultura del camarón en México se desarrolló principalmente a consecuencia del estímulo económico ocasionado por las exportaciones a Estados Unidos de camarón capturado en altamar y bahías por la flota mexicana, que, a pesar de incrementar las unidades de esfuerzo pesquero, tanto la flota como el recurso

llegan durante la década de los ochentas al punto máximo de captura sostenible (Garduño, 1992).

Al no incrementarse de manera notable el volumen de captura se originó que el camarón mexicano cediera su posición de privilegio en el mercado estadounidense a la producción de camarón cultivado principalmente por los países asiáticos. Como alternativa para incrementar las exportaciones y además aprovechar las bondades de los recursos naturales se “impulsa” el cultivo del camarón es decir “la camaronicultura”, la cual se sabe inició a finales de los años sesenta en el Estado de Sinaloa, bajo una forma auténticamente artesanal y llevada a cabo principalmente por pescadores rivereños, ejidatarios y campesinos.

Para el fin del análisis histórico y social del cultivo del camarón se ha tomado como punto de partida el año de 1962 cuando “las sociedades cooperativas de producción pesquera establecidas en las riberas de las lagunas de Caimanero (o Huizache), localizadas en el Sur del Estado de Sinaloa, realizaron pequeñas obras de canalización con la intención de equilibrar en lo posible la salinidad y el volumen de agua de los esteros (Moya, 1969) -trabajos donde se presupone la intervención del hombre sobre el entorno o hábitat del camarón con el fin de incrementar su producción-. Al mismo tiempo, se hicieron obras que aportaron agua dulce del río Presidio al interior de las lagunas y se abrieron antiguas vías de agua dulce que estaban azolvadas. A pesar de lo primitivo de las obras los resultados no se hicieron esperar y en años posteriores la

producción camaronera de esos cuerpos de agua se incrementó notablemente (Moya, 1969).

Por estas razones, cada año los pescadores del Sur de Sinaloa y Norte de Nayarit, procedían a mediados del verano (Junio) a cerrar las salidas naturales hacia el mar tanto de los esteros como lagunas litorales de su jurisdicción, con el objeto de dejar encerradas las postlarvas y juveniles de camarón, para posteriormente “cosecharlos”. Esta forma de producir camarón se le conoció con el nombre de “encierros o tapos” (Moya, 1969). Las formas artesanales desarrolladas con el uso de “encierros o “tapos” así como la realización de las obras de dragado en los sistemas lagunares del Sur de Sinaloa dan paso al desarrollo de una camaronicultura más “tecnificada”. En este período empiezan a desarrollarse los primeros proyectos de cultivo tanto en Sinaloa como en Sonora. Para el caso de Sinaloa destaca la construcción en 1977 de los primeros estanques para el cultivo del camarón operados en la Ensenada de los Carros, en la laguna de Hizache Caimanero, utilizando postlarvas silvestres (González, 1984; Cabrera, 1984).

En el Estado de Sonora destacan las primeras siembras experimentales de camarón café en el estero de Santa Rosa, que, aunque se inició el cultivo con esta especie, posteriormente se cambió hacia el camarón azul y en la actualidad el camarón blanco (Garduño-Argueta, 1976). A pesar de la falta de experiencia técnica, operativa y administrativa relacionada con la camaronicultura, podríamos asumir que fue a partir de este período se da inició la gestación y proyección del cultivo de camarón como actividad productiva nacional, prueba de ello es la proyección del “Plan piloto para las aguas

estuarinas del litoral del Pacífico”, el cual por sus características revela que se trataba de un proyecto que más que pretender modificar los sistemas estuarinos de Yavaros, Escuinapa, y Nayarit, era el nacimiento de lo que en la actualidad se le conoce como “Parques Camaronícolas”, ya que el planteamiento original presentado en ese entonces por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y que de acuerdo a un programa Nacional de Desarrollo Pesquero formulado por la Secretaría de Industria y Comercio en 1965, comprendía el aprovechamiento de más de 45,000 hectáreas en beneficio de la producción pesquera y del nivel de vida de las poblaciones rivereñas. Pese a que solo fue un proyecto presentado al entonces presidente de México Gustavo Díaz Ordaz, éste argumentó que “los beneficios de este plan piloto no serán exclusivamente para los socios de las cooperativas, sino que beneficiarían igualmente a los ejidatarios que viven en las riberas de los esteros” (Moya, 1969).

Durante el período de 1970 a 1988 la industria camaronícola mexicana obtuvo cambios importantes. Se realizaron investigaciones para el desarrollo del cultivo del camarón, como el caso de los trabajos llevados a cabo en la Unidad Experimental Peñasco, dependiente del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de La Universidad de Sonora, donde se desarrolló la tecnología del cultivo de ciclo completo del camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) (Chapa, 1977; CICTUS, 1987). Otras instituciones impulsaron la operación de “*Unidades experimentales demostrativas*” para el cultivo del camarón. En el Sur de Sonora destaca el Módulo Demostrativo Experimental “La Atanasia” del Instituto Tecnológico de Sonora. En Baja California Sur se promueven intercambios académicos con países asiáticos destacando los proyectos para la

producción del camarón café bajo condiciones de laboratorio desarrollados por el CET-MAR de La Paz B.C.S y el Programa Experimental Para el Cultivo del Camarón, “Puerto Chale”, impulsado por el Gobierno del Estado de Baja California Sur y el Centro de Investigaciones Biológicas. (Anónimo, 1985; Ramos, 1989). Estas experiencias servirían para conocer la actividad de manera práctica e identificar y sortear algunos problemas de tipo técnico, operativo, administrativo y organizacional. Influyó también de manera importante la intención de autoridades del gobierno para brindar alternativas de empleo, principalmente a la población que presionaba fuertemente, en el caso de Sinaloa y Nayarit los grupos que querían tener acceso a la captura de camarón en lagunas y esteros y para el caso de Sonora, la presión de grupos demandantes de terrenos agrícolas, dando origen al Programa Agrario Integral de Sonora y un modelo de desarrollo de “parques camaronícolas del sector ejidal” (Lobato, 1992; Valdenebro, 1997; Castro-Cosío, 1999).

En 1980 en Sinaloa, se construyó la primer granja camaronícola que operó bajo el sistema semi-intensivo al Norte del municipio de Ahome, Sinaloa, sin embargo no fue hasta 1985 que se instalan dos granjas más que se convertirían en el detonante del desarrollo camaronícola del país “Las Grullas y “Viveros de camarón de agua dulce”, que sumaban ya 328 hectáreas. Paralelamente en el Estado de Sonora grupos indígenas Mayos y Yaquis realizaban las primeras gestiones para iniciar con el cultivo de camarón en las granjas camaroneras “Totoloboqui”, “Rancho Chapo” y “Las Guásimas” (Ramos, 1989). Esta última se localiza en la comunidad de las Guásimas conformada por la etnia Yaqui y de la cual se hará mención en la parte final del documento.

Para este período el camarón era una especie cuyo cultivo estaba reservado a las Sociedades Cooperativas y las tierras ejidales o comunales con vocación acuícola no podían ser vendidas ni rentadas (al menos legalmente). Durante esta etapa en México operaban ya 124 granjas camaronícolas dirigidas principalmente por el “sector social” (Moya, 1969; SEPESCA, 1994). De 1988 a 2000, durante el período de los presidentes Carlos Salinas y Ernesto Zedillo, la camaronicultura en México inicia un desbordante crecimiento, impulsado por una política de fomento al desarrollo de la acuicultura (SEPESCA, 1994) y sobre todo por la aprobación por parte del órgano legislativo de la modificación del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Ley de Pesca). Durante este periodo se observa un crecimiento importante donde destacan como líderes de producción los Estados de Sinaloa y Sonora, en los cuales se reportan para 2001, la operación de 345 granjas en una superficie de 30,202 Hectáreas, de las cuales un mayor porcentaje pertenecen a inversionistas privados (Fritch, et al., 2001). Un aspecto destacado y digno de mencionarse es que durante este período nacen en el Estado de Sonora, los parques camaronícolas operados por técnicos, administradores, dirigentes y ejidatarios del sector social.

Los parques camaronícolas de Sonora

El diseño, construcción y operación de los parques camaronícolas tienen sus orígenes en 1988, cuando el Gobierno de Estado de Sonora, a través del Programa Agrario Integral de Sonora (PAIS), inició los estudios para determinar el establecimiento de 5,500 hectáreas de estanquería, en cuatro parques llamados; “Los Mélagos”, “La Atanasia”, “El Tóbari” y “El Siari”, sin embargo, no es sino hasta 1990 que por decreto presidencial los

acuacultores del sector social son legalmente reconocidos y apoyados en la construcción de las primeras obras de cabecera, canales y cárcamos de bombeo. El objetivo principal de estos apoyos era el de resolver las 2,500 demandas de solicitudes de tierras a petición de 64 agrupaciones campesinas de los valles agrícolas del Yaqui y Mayo (Castro-Cosío, 1999).

¿Que son los parques camaronícolas?

Técnicamente puede describirse como un conjunto de granjas que usan en común agua de origen marina o salobre, un canal de llamada, un cárcamo de bombeo, un canal reservorio, uno o más canales distribuidores y un canal común para el manejo de los efluentes. Para su operación requiere de servicios comunitarios y apoyos que concertados en conjunto, representan una considerable reducción de costos para los participantes (Valdenebro, 1997). Cabe mencionar que este modelo de desarrollo nace en el Sur del Estado de Sonora y es visto en sus orígenes como un sistema de producción que de 1991 a 1994 llegó a operar exitosamente con la participación de hasta 10 ejidos o “empresas sociales” bajo un esquema organizacional que tenía dos vertientes; una jurídica la cual desarrollaba trabajos de permisos, concesiones y autorizaciones para la obtención de créditos y apoyos para el desarrollo de proyectos. La otra vertiente se refería a la organización productiva que se encargaba de la realización de reuniones o asambleas para tratar asuntos propios del cultivo, el mercado y aspectos económicos y financieros, entre otros. Es importante resaltar que la cohesión y la disciplina en estos grupos son aspectos notables, para tal caso cuentan con un reglamento interno como medida disciplinaria que

sanciona las faltas recurrentes al trabajo, al robo de camarón y a la inasistencia a las asambleas, entre otras cosas.

Para 1998 al menos cuatro Centrales Campesinas con sus respectivos líderes ejidales intervenían en las diversas gestiones operativas y en las tomas de decisión de 45 de estos sistemas de producción, los cuales operaban en los distintos parques del Sur de Sonora. Los logros sociales de estas agrupaciones a la fecha pueden resumirse a las siguientes capacidades: Organizarse para la producción y el trabajo, construir figuras asociativas, dominar la biotecnología del cultivo y construir fideicomisos de inversión, reinversión y administración (Castro-Cosío, 1999). El éxito observado en el inicio de esta nueva forma de producir camarones demostró que el ejido mexicano (pese a su mala fama) pudo dar un paso importante, al agruparse y organizarse para cultivar y exportar camarón, además de generar recursos económicos importantes para la región. De aquí que se diga que “la aportación del modelo de parques acuícolas, por parte de México es una contribución tecnológica para la planificación y desarrollo del cultivo del camarón en sistemas “antiestuarinos”.

Aspectos sociales y políticos en torno a la actividad acuícola

Durante la década de los setentas la Ley federal de la Reforma Agraria de 1971 establece los artículos 144 y 147 y surgen las formas de cooperativas “ejidal y tradicional”, sobre estas bases la Ley Federal para el Fomento de la Pesca en 1972 estableció que los “ejidos ribereños que se dediquen a la pesca por tener recursos propios, se constituirán en unidades de producción”, con estas modificaciones a la Ley se da uno de los avances más

importantes del cultivo de camarón, *“La creación y operación de Unidades de producción del sector social”*, lo cual trajo consigo fuentes de empleo y una expectativa favorable acerca de las potencialidades de esta actividad. Un análisis detallado del aspecto socioeconómico de la camaronicultura de este periodo es descrito por Lobato, (1992), en el cual destaca que el mayor porcentaje de los miembros de las cooperativas eran ejidatarios (38%), la mayor escolaridad correspondía a la primaria incompleta con un (43%) y que la ocupación adicional de los cooperativistas era la de pescador seguida por el agricultor (25 y 21% respectivamente). Cabe mencionar que en cuanto a los empleos generados por esta actividad, las referencias son escasas, sin embargo considerando el estudio de Lobato (1992) donde el promedio de los socios activos por granja encuestada era de 70 y que multiplicado por el número de granjas (87) que aparecían registradas en (SEPESCA, 1988), entonces había para este período 6,090 socios activos dedicados a la actividad camaronícola.

Durante el período de 1989-2000; la camaronicultura tiene viraje y un desarrollo sin precedentes. Bajo este sistema político se llevan a cabo las reformas a la estructura de la propiedad privada (artículo 27), donde se establece entre otras cosas que “La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originalmente a la nación la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyéndose la propiedad privada a terrenos con vocación acuícola”. Esta reforma a la Ley permitió la asociación y privatización de tierras ejidales, lo cual da origen a empresas con inversión privada y extranjera (con una

participación de hasta un 100% del capital), las cuales podían incursionar en el cultivo del camarón.

La parcelación y disponibilidad de terrenos aptos para la construcción de estanquería, la multiplicación de empresas constructoras y productoras de postlarvas e insumos especializados como alimentos balanceados, productos químicos revelaron a la camaronicultura como una actividad económicamente rentable (Alatorre, 1998). Estas condiciones dejaron entrever al menos dos efectos inmediatos, el primero fue que los terrenos con vocación para el cultivo del camarón se convirtieron en simples mercancías y segundo se dejó ver la incapacidad gubernamental durante este período para conducir adecuadamente el desarrollo de la camaronicultura, dejándola bajo la fuerza “reguladora” del mercado y una escasa planeación para su desarrollo en el futuro. Cabe aclarar que tales efectos no fueron exclusivos de la camaronicultura, el agro mexicano en general se vio afectado por tales circunstancias (Flores y Chauvet, 1996).

La camaronicultura del sector social

Históricamente el camarón como recurso natural formaba parte de la lista de especies reservadas de forma exclusiva para su explotación a las cooperativas pesqueras. De 1928 a 1942, los pescadores ribereños organizados en cooperativas obtenían el beneficio de su explotación, inicialmente limitada a la zona estuarina, sin embargo ya para 1972 la lista de especies reservadas incluían al abulón, ostión, langosta, pulpo, calamar, totoaba, langostino, almeja pismo, cabrilla y tortuga podían ser explotadas de manera exclusiva por cooperativas de todo el litoral del Pacífico mexicano (Reséndiz, 1981; Lobato, 1992). Este régimen de especies reservadas sería luego motivo de protestas, por parte de

empresarios y pescadores “libres”, argumentando que *“la exclusividad para unos es, por necesidad, exclusión de otros”*. Las constantes demandas y la carencia de recursos económicos de la mayoría de los cooperativistas para modernizarse y adquirir nuevas embarcaciones trajeron como consecuencia la firma de contratos de asociación entre cooperativistas y armadores, originándose uno de los capítulos más importante de la historia social y económica de la pesca mexicana (Lobato, 1992). En la actualidad la pesca del camarón es un negocio solo para unos cuantos empresarios, particularmente para aquellos que pudieron conformar alianzas entre productores para transformar y procesar el producto. Hoy en día el “sector cooperativista”, solo es una figura asociativa de producción desgastada y reducida.

Granjas del sector social versus sector privado

Numerosos artículos señalan los logros obtenidos por la camaronicultura del sector social del Estado de Sonora, mayores detalles pueden ser consultados en (Ramos, 1989; Castro-Cosío, 1999). Existen diferencias entre granjas camaroneras, por ejemplo, en tamaño, la tecnología de cultivo empleada y sus formas de organización o constitución. Es reconocible que el sector privado ha venido desarrollando una capacidad de producción basada en algunas diferencias distintivas tales como: una mayor capacidad de inversión en sus instalaciones; accesos, cárcamos de bombeo, sistemas de filtrado, dormitorios, oficinas, salas de junta, laboratorios equipados, almacenes, equipo especializado (aireadores mecánicos múltiples) y tomas de agua a mar abierto (escolleras), lo cual requiere de considerables inversiones.

Otra característica distintiva de las granjas privadas, con respecto a las granjas del sector social es que en la mayoría de los casos los dueños o socios de las granjas privadas fueron o siguen siendo empresarios, agricultores o comerciantes con capital disponible para incursionar en la camaronicultura, lo cual representa una ventaja importante respecto a la capacidad de gestión económica y madurez empresarial, que generalmente no se observa en el sector social. El apoyo financiero al sector privado por parte de asociaciones de crédito y bancos así como el establecimiento de contratos de asociación en participación con otras empresas involucradas en el proceso del cultivo, colocan al sector privado con ventajas importantes. Esta forma de producir está basada en la especialización (agro-industria) ha generado ventajas competitivas tanto en la producción como en la comercialización de productos acuícolas.

Las unidades de producción acuícola y su entorno ecológico

Como se mencionó en párrafos anteriores la actividad acuícola más importante en México es la camaronicultura. De acuerdo con el COSAES (2014), el Estado de Sonora es el segundo en importancia Nacional, cuenta con 169 Unidades de producción o granjas camaroneras, en una extensión de 26,610 hectáreas. No obstante el crecimiento observado, la producción de camarón en el Estado de Sonora durante los ciclos 2010, 2011, 2012 y 2013 cayó hasta en un 85%, generando importantes pérdidas económicas y empleos. La presencia de enfermedades en los sistemas de cultivo ha generado una problemática que sin duda por ahora las necesidades inmediatas han postergado una planificación de largo plazo. El reto que enfrenta la camaronicultura en Sonora y que tendrá que superar se refiere al control y prevención de las enfermedades, las cuales se

sabe han afectado a la mayoría de las granjas camaroneras no solo del Estado de Sonora también de los Estados de Sinaloa y Nayarit, donde ha estado ausente un plan nacional de desarrollo pertinente y en la mayoría de los casos las medidas preventivas contra el deterioro ecológico y las malas prácticas del cultivo evidencian la falta de rumbo de esta actividad. Tal situación deja entrever que la camaronicultura está ante el reto de pasar a un nuevo modelo de desarrollo o sucumbir ante la competencia de otros Estados y/o Países y restringir su papel de exportación o de productor nacional.

Estas condiciones evidencian por un lado que la actividad en general no está siendo guiada por planes nacionales de desarrollo pertinentes y que el crecimiento obedece a condiciones de mercado, dejando en un segundo plano las recomendaciones, regulaciones y códigos de prácticas para el cultivo responsable del camarón (Cuéllar et al. 2010). Ha pasado a un segundo término la vulnerabilidad del litoral, su ordenación y la sustentabilidad del medio ambiente. Resulta por demás señalar también el desinterés mostrado por los productores para organizarse, lo cual es tal vez la mayor consecuencia de hacinamientos en algunos cuerpos de agua importantes, estimulando el deterioro ambiental, el desinterés por las buenas prácticas del cultivo y la presencia de enfermedades, generando por consecuencia una amenaza ominosa y efectiva contra todos sus agremiados y dependientes. No es necesaria mucha imaginación para reconocer que en la actualidad la camaronicultura es una actividad que requiere para la búsqueda de un desarrollo sostenible integrar y articular de manera constructiva todos los enfoques posibles del desarrollo sustentable, los cuales en un primer plano pueden integrarse de manera local y posteriormente analizarse bajo un enfoque más macro-integrador. Es

también conocido que sólo una sociedad con desarrollo y equidad podrá enfrentar con responsabilidad los retos sociales y ecológicos crecientes que demandan actualmente actividades como el cultivo del camarón.

Bajo este concepto podemos dilucidar que la tarea para la industria camaronícola mexicana de lograr un modelo de desarrollo sostenible y de largo plazo no es fácil ni mucho menos sencilla, sin embargo se sabe que existen experiencias valiosas y herramientas que pueden permitir una identificación y comprensión de las interrelaciones causales más importantes y así en un primer plano dimensionar al menos los requerimientos y alcances que esto conlleva. Es importante y necesario señalar que profundizar en estos aspectos con el fin de plantear una solución a los problemas que enfrenta actualmente la camaronicultura rebasa los alcances de este trabajo, sin embargo la pretensión es analizar entre los tejidos mismos de la camaronicultura algunos de los rasgos más substanciales que permitan una contribución orientativa basada en una visión sistémica y de experiencias seleccionadas.

El estudio de Páez-Osuna (2001), menciona como en la última década surgen en México las primeras investigaciones sobre las causas, efectos y medidas de mitigación, relacionadas con el impacto ambiental y social de la camaronicultura y agrega que la investigación científica tiene un papel clave que jugar en cuanto a la necesidad de comprender y cuantificar las interacciones ambientales como una base para determinar la extensión de los problemas y diseñar estrategias de control económico y técnicamente viables a fin de poder manejar los impactos importantes. A manera de ejemplo señala las

temáticas de relevancia utilizadas en algunos países asiáticos y que desde luego son aplicables y actualmente empiezan a ser estudiadas en México, entre ellas destacan: los asuntos técnicos, ambientales, económicos y sociales, así como la transferencia de Información.

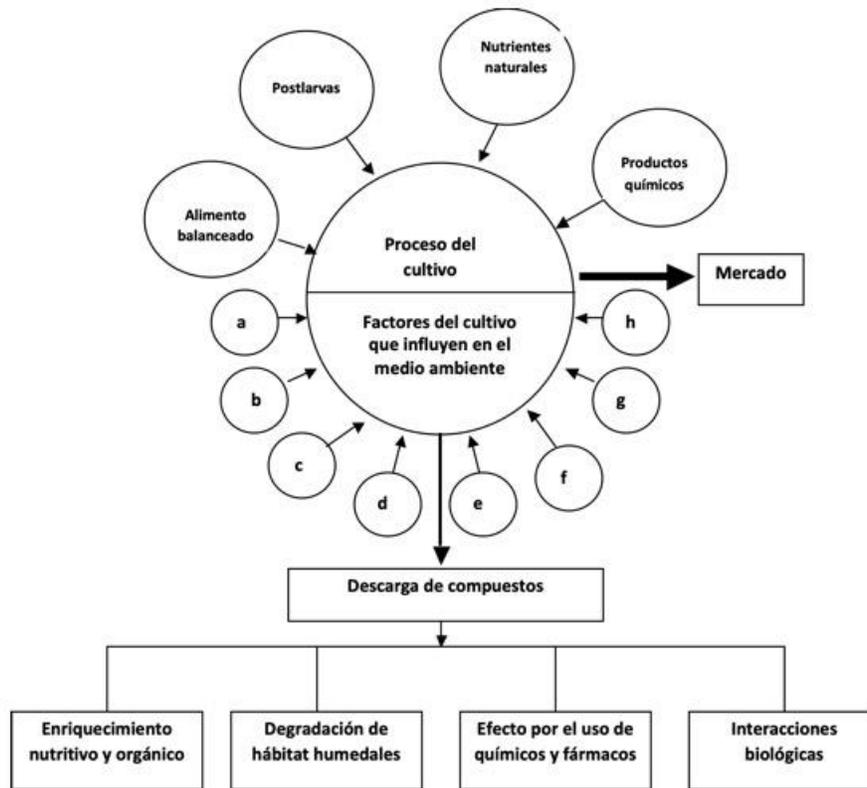
Tratando de comprender la dinámica del sistema

La camaricultura puede definirse como el proceso mediante el cual, se genera un producto denominado camarón y varios subproductos biológicos y ambientales a partir de la transformación de insumos ambientales, productivos y nutricionales (Bancomext, 1999). Por otro lado, Páez-Osuna (2001) se refiere a los “bienes” ambientales como los suelos, sedimentos, agua, nutrientes radiación solar y comunidad biológica y como “servicio” ambiental se refiere a la capacidad de reemplazo del oxígeno y la dispersión y asimilación de los desechos. Otra conceptualización muy similar y complementaria es la referida en Bancomext (1999), ya que cuando se describe a los insumos productivos se refiere a las postlarvas, y como insumo nutricional, los alimentos balanceados y aditivos. Desde luego que todos estos “bienes y servicios” o “insumos” para el cultivo del camarón, interrelacionados como un proceso productivo; emplazamiento, tipo de especie, método de cultivo, diseño y construcción de la granja, explotación, nivel de producción, conocimientos y nivel tecnológico, así como el acceso a la financiación, crédito y viabilidad económica, determinarán en gran medida el grado de adversidad para el ambiente costero.

En la Fig. 1 se muestra como el proceso del cultivo del camarón y los factores de este influyen en la acción del medio ambiente ya sea en el enriquecimiento nutritivo y orgánico, degradación de los ecosistemas húmedos, el efecto por el uso indiscriminado de sustancias químicas e interacciones biológicas. La interacción y la dinámica de todos los procesos relacionados tanto con los tópicos de los terrenos a intervenir (sitios aptos para la construcción de granjas camaroneras), así como de los tópicos en relación con un proyecto de intervención o con un uso ya existente, pueden ser científicamente cuantificables para establecer la vulnerabilidad del litoral y sus sustentabilidad, en relación con la explotación de la camaronicultura.

La dinámica de un todo

Se sabe que el cultivo del camarón se lleva a cabo principalmente en los ecosistemas lagunares-estuarinos reconocidos como los ecosistemas más productivos del planeta (Odum y Helad, 1975) y que estos cuerpos de agua epicontinentales han sido modificados tanto por el constante aporte de sólidos, desechos orgánicos, nutrientes, y un sinnúmero de contaminantes provenientes de las diversas actividades humanas, así como por los efectos de la camaronicultura, lo cual confiere una doble preocupación tanto para los grupos ambientalistas, acuacultores y a la sociedad en general. Mencionaremos como ejemplo el caso de los esteros “La Atanasia y Santo Domingo”, los cuales actualmente proveen de agua a numerosas granjas localizadas en el Sur de Sonora. Estos cuerpos de agua han recibido descargas de nutrientes y otros compuestos por más de sesenta años, contribuyendo en la acumulación y contaminación del sedimento.



a = Emplazamiento, **b** = Especie, **c** = Método de cultivo, **d** = Diseño y construcción, **e** = explotación, **f** = Nivel de producción, **g** = Conocimientos técnicos, **h** = acceso a la financiación, crédito, situación legal y coordinación.

Figura 1. Actividad camaronícola como proceso de producción y los subproductos que de ella se derivan como posibles causas del impacto ambiental. Fuente: Bancomext, 1999.

En un estudio realizado por (Mares, 1996), en estos cuerpos de agua encontró valores promedio de níquel en el sedimento de 3.96 ppm, concentraciones peligrosas para el camarón ya que tan solo concentraciones de 2.0 mg/l pueden causar altas mortalidades para el camarón (Darmono et al., 1990). Las concentraciones de Cadmio registradas en el sedimento fueron de 0.49 ppm, también se consideran peligrosas para el camarón, el mismo estudio realizado, reporta que una dosis como la que se encontró en el sedimento, causó más del 70% de mortalidad en solo 20 días para el camarón. Las concentraciones

promedio de zinc (16.39 ppm) y cobre (7.77 ppm) en el sedimento son cantidades muy elevadas y ponen en riesgo la salud del camarón (Boyd et al. 1999). Es importante señalar que este estudio de calidad de agua se realizó durante 1994, fecha en la cual solo existían 3 granjas en el estero “La Atanasia”, con una superficie de 360 ha.

Con el fin de controlar el deterioro creciente de estos cuerpos de agua, se han desarrollado diversas medidas correctivas que intentan recuperar el estado trófico original, entre éstas se pueden citar el desvío de los nutrimentos antropogénicos, la extracción de biomasa y el dragado de sedimentos entre otras, sin embargo cada cuerpo “restaurado” responde de manera particular y es difícil anticipar el comportamiento que seguirá cada estero y en qué tiempo se observarán cambios favorables (Alcocer et al. 1988).

Una revisión sobre el pasado, presente y tendencias futuras de la camaronicultura mundial es discutida por Edwards (2015); en el documento se analizan las interacciones bidireccionales de la acuicultura y el medio ambiente, se revisan los aspectos ambientales de la intensificación de la acuicultura y su relación con los ecosistemas costeros. Se señala además que la acuicultura está siendo cada vez más afectada negativamente por la contaminación agrícola, industrial y doméstica. Ante esta situación la camaronicultura en estanques a cielo abierto, deberá de reducir sus recambios de agua y establecer estrategias biotecnológicas (como el uso de bio-reactores) para favorecer el reciclaje de nutrientes y promover el crecimiento de la red trófica con los organismos que ayuden en la calidad del agua y la nutrición del camarón. Es necesario un plan de desarrollo a largo plazo que

permita recuperar los porcentajes de recuperación de nitrógeno (al menos 50%), para contribuir en la mejora de la ecoeficiencia ecológica del cultivo de camarón. Otro aspecto importante es contar con organismos de cultivo genéticamente mejorados. Pese a lo anterior la acuicultura continental, especialmente la que se practica en estanques de cultivo semi-intensivo continuará dominando la producción global de alimentos acuáticos, por buen tiempo.

La comunidad Yaqui y el cultivo del camarón

En la comunidad de las Guásimas se construyó una de las primeras granjas para el cultivo semi-intensivo del camarón de Sonora (Ramos, 1989). Su operación durante 1993 demostró su factibilidad técnica y económica en al menos dos ciclos de cultivo (ITSON, 1994). Otro estudio realizado con el cultivo de camarones en jaulas flotantes operadas en la Bahía de Guásimas demostró también su factibilidad técnica (Casillas e Ibarra, 1996). Consideramos que la reactivación de nuevos proyectos camaronícolas para la comunidad Yaqui deberán de ser planteados tomando en cuenta las experiencias previas desarrolladas tanto por la comunidad Yaqui además de las experiencias y avances desarrollados por la industria actual del cultivo del camarón. Un esquema de empresa social puede ser productiva y exitosa siempre y cuando exista el capital económico y técnico, además de la cohesión y la disciplina de sus agremiados. La asociación con inversionistas privados es otra alternativa que puede ser factible para las comunidades Yaquis siempre y cuando existan los acuerdos correspondientes.

Literatura citada

Alatorre Fierro, Manuel R. 1998. La acuicultura en México: un sector del futuro, Editorial FOSI R, Panorama Acuícola, México, 1998.

Alcocer, J., Kato, E. Robles, E. y G. Vilaclara. 1988. Estudio preeliminar del efecto del dragado sobre el estado trófico del lago viejo de Chapultepec. Contaminación Ambiental. 4:43-56.

Anónimo. 1985. Informe técnico del cultivo experimental Para el Cultivo del Camarón, "Puerto Chale". Gobierno del Estado de Baja California Sur y Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 300 p.

Bancomext. 1999. Camarón mexicano, cultivo en granja. Banco Nacional de Comercio Exterior. México 224p.

Boyd, C.E. 1999. Códigos de practicas para el cultivo responsable de camarón. Alianza Global de Acuicultura. St. Louis, MO USA. 48 páginas.

Cabrera, J. Y García, C. 1984. La acuicultura en México al término de 1984. en Pedini Fernando Criado. Informes nacionales para el desarrollo de la acuicultura en América Latina. FAO Inf. Pesca, (294) Supl. 1:138 p.

Castro, C. M. A. 1999. Un poco de historia: el sector social en la camaronicultura. Rev. UNION. Organo de Información y Consulta. Año 4. No. 6: 5-7.

Casillas-Hernández R., y José C. Ibarra G. 1996. Observaciones preliminares sobre el crecimiento y la producción del camarón blanco *Penaeus vannamei* en jaulas flotantes (Bahía de Guásimas, Sonora, México). Oceanología. Año 4, Volumen 3, No. 11: 51-59.

Chapa H.S. 1997. La biología y el cultivo de camarones. Ensayo de información bibliográfica. Centro de experimentación para el desarrollo de la educación tecnológica. D.G.C.Y.T.M. 183 p.

CICTUS, 1987. El cultivo del camarón azul *Penaeus stylirostris*. Centro de investigaciones científicas y tecnológicas de la Universidad de Sonora. 236 p.

COSAES (Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora), 2014. Directorio de granjas de camarón. Available at: <http://www.cosaes.com/>. Accessed 10 Jun 2015.

CEDES, 2009. Programa de ordenamiento ecológico territorial de la costa de Sonora. SEMARNAT- CEDES-Gobierno del Estado de Sonora 56 p.

Cuéllar Anjel, J., C. Lara, V. Morales, A. De Gracia y O. García Suárez. 2010. Manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei*. OIRSAOSPESCA, C.A. pp. 132.

Darmono, G. R. W., Denton, R. S. F., Campbell. 1990. The pathology of cadmium and nickel toxicity in banana shrimp (*Penaeus merguensis* de Man). Asian Fisheries Science 3:287-297.

Edwards, P., 2015. Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends, Aquaculture (2015), [http:// dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.001)

FAO. 1999. El estado actual de la pesca y la acuicultura 1998. FAO: 43 AGRIS: M11; online: [http:// www.fao.org/docrep/w9900/w9900s00.htm](http://www.fao.org/docrep/w9900/w9900s00.htm).

Flores, L. M. S. y Chauvet, M. 1996. La inserción de la agricultura mexicana en la economía mundial. La Sociedad Rural Mexicana Frente al Nuevo Milenio. Vol 1. INAH., UAM, UNAM y Plaza Valdéz S.A. 19-33.

- Fritch, L. L. P., Beltrán, R. E. y Valdes, B. J. 2001. Desarrollo y características de las granjas camaronícolas en Sinaloa México. Camaronicultura y medio ambiente. Ed. Páez Osuna F. UAM. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. 351-369 p.
- Garduño Argueta, H., 1976 Primeras repoblaciones de camarón en aguas protegidas del litoral del Pacífico mexicano. Resultados preliminares. En: Memorias del Simposio sobre biología y dinámica poblacional de camarones. Guayanas, Sonora, México, del 8 al 13 agosto de 1976. México, D.F., Subsecretaría de Pesca, Instituto Nacional de Pesca, Tomo 1:140-9.
- González, M. E. 1984. Palabras ante los pescadores nayaritas. Doc. Mec. Tepic, Nay. pp. 3-4.
- ITSON. 1994. Informe técnico sobre el cultivo semi-intensivo del camarón blanco *Penaeus vannamei*, en la grnaja de Guásimas. 12 p.
- Lobato, O. G. 1992. Estudio socioeconómico del cultivo del camarón realizado por sociedades cooperativas. GCP/RLA/075/ITA. Proyecto AQUILA II., Documento de Campo No. 3. FAO. 77 p.
- Mares, M. E. 1996. Evaluación de la contaminación por metales pesados traza en tejido de ostión *Crassostrea gigas* y sedimento procedente de la zona costera Los Mélagos. Tesis Licenciatura. Ing. Biotecnólogo. ITSON. 45 p.
- Moya, R. 1969. Los prodigiosos estuarios del noroeste mexicano. Rev. Técnica Pesquera. Marzo 25 de 1969. 20-26 p.
- Odum, W. E. y E. J. Heald. 1975. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. Cronin, L. E. Estuarine Research, Academic Press. New York 1975 265-286.

- Páez, O. F., 2001. La camaronicultura y la contaminación costera en México. Camaronicultura y medio ambiente Ed. Federico Páez Osuna. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 452 p.
- Ramos, S. J. E. 1989. Historia de un coctel. Cuadernos de divulgación. Universidad de Sonora No.1. Editorial UNISON. 64 p.
- Reséndiz, M. R. 1981 Estado actual de la pesquería de camarón en el Pacífico Mexicano. Ciencia Pesquera. Depto. de Pesca. México, D.F. 1 (1) 53–60 p
- SEMARNAT. 1997. El modelo de desarrollo; en el desarrollo Sustentable. Una alternativa de política institucional, México, SEMARNAP (Cuadernos), 1997, pp 11-16.
- SEPESCA. 1988 Ley Federal de Pesca y su Reglamento. Diario Oficial de la Federación. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. 84 p
- SEPESCA. 1994, Atlas Pesquero de México. Instituto Nacional de la Pesca, 234 p.
- Valdenebro, R. J. O. 1997. Párques acuícolas en el Sur de Sonora. Rev. UNION. Órgano informativo y de consulta UGOCP. No. 4, año 2: 18-21.

2.4 La Comunidad Yaqui y su importancia en la producción pesquera

Edgar Alcántara-Razo^{1*}, Jesús Guadalupe Padilla-Serrato², Eugenio Alberto Aragón-Noriega^{1**}.

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Sonora, Campus Guaymas. Km 2.35 Camino al Tular, Estero de Bacohibampo, Guaymas, Sonora C.P. 85454, México. *earazo04@cibnor.mx, **aaragon04@cibnor.mx

²CONACYT-Facultad de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Gran Vía Tropical No. 20, Fraccionamiento Las Playas, C.P. 39390, Acapulco Guerrero, México. jpadilla@conacyt.mx

Resumen

El presente trabajo muestra el papel que juega la comunidad Yaqui en el complejo lagunar Las Guásimas-Bahía de Lobos en la producción pesquera. Se utilizaron datos estadísticos de la producción pesquera en el estado de Sonora de las principales especies como camarón, jaiba y medusa “bola de cañón”. Se observó que la producción de estas especies se da de manera estacional y las capturas presentan oscilaciones en el tiempo. De todo el complejo lagunar las zonas de Las Guásimas y Lobos son las más importantes como sitios de captura. La mayor producción de camarón y jaiba se registró en la comunidad de Lobos, mientras que para la medusa fue Las Guásimas, sitio donde se dan

las mayores concentraciones de este recurso, área importante para su reproducción. Se determinó que las comunidades Yaquis juegan un papel importante en la producción de algunos de los principales recursos pesqueros a nivel estatal.

Introducción

La pesca en los litorales mexicanos es un componente importante en el uso de los recursos y desarrollo de la zona costera de nuestro país (SEMARNAP, 2001). México cuenta con unos de los litorales más grandes del mundo con más de 11,000 kilómetros de costas, dicha extensión junto con la delimitación de la zona económica exclusiva (ZEE) le confiere un área de casi 3 millones de kilómetros cuadrados, de los cuales 360 mil kilómetros cuadrados son los que le corresponden a la plataforma continental, lo cual lo convierte en uno de los países con mayor potencial pesquero. En nuestro país la actividad pesquera es muy importante debido a los volúmenes de producción y generación de divisas, además es responsable de la creación de empleos directos e indirectos y es parte de la seguridad alimentaria (INAPESCA, 2006); no obstante, lo anterior, adquiere su verdadera dimensión cuando se le concibe como instrumento para impulsar el desarrollo regional llegando a generar, aun durante las últimas décadas, bienestar en numerosas comunidades costeras (Lluch-Cota et al. 2006).

En el Golfo de California existe una elevada biodiversidad, productividad biológica y pesquera (Lluch-Cota et al. 2007), esto debido en gran parte a la variedad de ambientes y hábitats presentes en la región como son bahías, lagunas costeras, manglares, entre otros (Enríquez-Andrade et al. 2005). El estado de Sonora es uno los que bordea las aguas del

Golfo de California y se ubica en los primeros lugares en cuanto a producción pesquera, siendo los recursos sardina, camarón, jaiba y medusa los más importantes en cuanto a su valor y volumen de producción.

En sector pesquero de Sonora está dividido en dos, el de altura o alta mar el cual está integrado por embarcaciones mayores y el ribereño o artesanal, conformado por las embarcaciones menores. Ambos sectores con sus problemas, pero que resultan ser importantes para el Estado por sus volúmenes de producción. Dentro de las estadísticas de pesca a nivel nacional, el sector de altamar es el que lleva un mejor registro en cuanto a la producción de especies objetivo, mientras que, en relación a la pesca ribereña, se desconoce en gran medida su importancia en cuanto a producción de algunas especies ya sea porque sus datos no se han publicado o porque se da la incidencia de pesca ilegal. A pesar de esto se estima que de la producción pesquera total nacional, el sector ribereño aporta el 31.03% del volumen total nacional (232,485 ton), sin embargo, en términos de valor económico representa el 75.9% del total, esto se debe a que la pesca ribereña captura especies con mayor valor comercial, por lo que esta actividad adquiere una gran importancia desde un punto de vista socio-económico (Contreras, 2002). La pesca ribereña no se enfoca en la captura de una sola especie, si no a lo que el mar ofrece y el mercado demande (disponibilidad y demanda). Históricamente este sector estuvo agrupado en cooperativas y fueron apuntaladas en los años sesenta y ochenta cuando, por decreto presidencial, se les otorgó la exclusividad en la captura de especies abundantes y de alto valor comercial como el calamar, el ostión y camarón (Vázquez, 1999).

En el Estado de Sonora, la región sur se caracteriza por la presencia de lagunas costeras donde una de las principales actividades es la pesca, lo cual ha originado un gran crecimiento poblacional en la franja costera ocasionando a su vez gran presión sobre éstos ecosistemas. Al sur del puerto de Guaymas se localizan una serie de lagunas costeras las cuales se caracterizan por ser áreas de importancia para la crianza de camarón, jaiba y otras especies consideradas importantes para el sector ribereño. Este complejo de lagunas está delimitado al norte por la laguna de Las Guásimas y al sur por Bahía de Lobos. Este complejo de sistemas lagunares, se encuentra dentro de territorio indígena de la tribu Yaqui. Esta etnia anteriormente basaba su economía principalmente en la agricultura y ganadería, pero a mediados del siglo XX, a lo largo de la costa de su territorio, aumentó la actividad pesquera y los integrantes de la comunidad adoptaron la pesca como una actividad principal para el sustento de sus familias, resultado de que sus aguas albergaban a especies muy importantes como es el caso del camarón y la jaiba, y es que a raíz del aumento de la captura de estas especies se formaron los pueblos de Bahía de Lobos y Las Guásimas (Moctezuma-Zamarrón, 2007).

Las comunidades de Las Guásimas y de Lobos resultan ser los límites costeros pertenecientes al territorio Yaqui. Esta área es un ecosistema de humedales complejos, con multitud de lagunas que se distribuyen a lo largo de la costa, son alrededor de 26 esteros entre los que destacan el Estero Lobos, La Luna, El Siuti, El Camapochi, Los Algodones, Las Cruces y Las Guásimas. Este complejo de sistemas lagunares se encuentra considerado dentro de los sitios Ramsar, debido a que las características estructurales de estos ecosistemas crean relevancia para ser preservados ya que presentan

zonas de manglares que son consideradas áreas de crianza de algunas especies con importancia pesquera y/o protegidas y que muestran además una gran diversidad de especies asociadas a estos ecosistemas (Carrera-González, 2008).

Las bahías y esteros del complejo lagunar Las Guásimas-Lobos se caracteriza por ser un área de crianza y desarrollo del camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*), de las jaibas azul (*Callinectes arcuatus*) y café (*Callinectes bellicosus*), así como de la lisa (*Mugil cephalus*) y las mojarras *Eugerres axillaris* y *Eucinostomus entomelas*, especies de importancia económica en la zona (Yepiz, 1990; Hernández y Arreola, 2000). En las áreas aledañas a los sistemas lagunares de este complejo, se registra una alta actividad de embarcaciones menores y mayores que capturan diferentes especies, siendo las más importantes el camarón azul y la medusa “bola de cañón” (*Stomolophus meleagris*), esta última capturada principalmente en las zonas adyacentes de Las Guásimas. Ésto ha hecho, a lo largo del tiempo, que las comunidades que se asentaron en las inmediaciones de este complejo muestren un interés sobre estas especies como una alternativa de mejora económica.

En el año de 1958 se crea la Cooperativa de Producción Pesquera Comunidades Yaquis presente en las localidades de Las Guásimas y Lobos, cubriendo así un litoral de aproximadamente 60 kilómetros. Años después, esta cooperativa fue favorecida por una resolución presidencial (DOF12/18/73) en la que se da exclusividad de pesca en las aguas litorales del Golfo de California. De esta manera los esteros de Las Guásimas, Las Cruces, Los Algodones, Camapochi, El Siuti, La Luna y Lobos pasan a ser exclusivos de

la etnia Yaqui, conformando así un área de 30,000 ha de terreno donde realizan su pesca ribereña en embarcaciones menores (Figuroa, 1994). Se conoce que los sistemas lagunares de la etnia Yaqui son muy importantes en cuanto a producción pesquera, sin embargo, los datos exactos de la producción de las principales especies se desconocen, así como las variaciones de estas capturas a través del tiempo. Es por ésto que el presente trabajo tiene como objetivo mostrar un análisis de la producción pesquera de las principales especies capturadas por las comunidades Yaquis, además de determinar el aporte que tienen en comparación con los municipios de Guaymas y Empalme, municipios donde también la actividad pesquera es de suma importancia para el Estado.

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el noroeste del Pacífico Mexicano, en el estado de Sonora, comprende parte de los municipios de San Ignacio Río Muerto, Guaymas y Empalme. Se encuentra a 26.55 kilómetros al oeste de Ciudad Obregón y a 23 kilómetros al este de Guaymas. El área se encuentra ubicada geográficamente en su punto central en los $27^{\circ}32'32.559''$ N y $110^{\circ}29'21.264''$ W, con coordenadas del extremo sur-occidental de $27^{\circ}11'02.131''$ N - $110^{\circ}40'31.384''$ W y de $27^{\circ}55'17.173''$ N - $110^{\circ}17'50.405''$ W en el extremo nororiental del sitio, conformado principalmente por los esteros Lobos, La Luna, El Siuti, El Camapochi, Los Algodones, Las Cruces y Las Guásimas (Fig. 1).

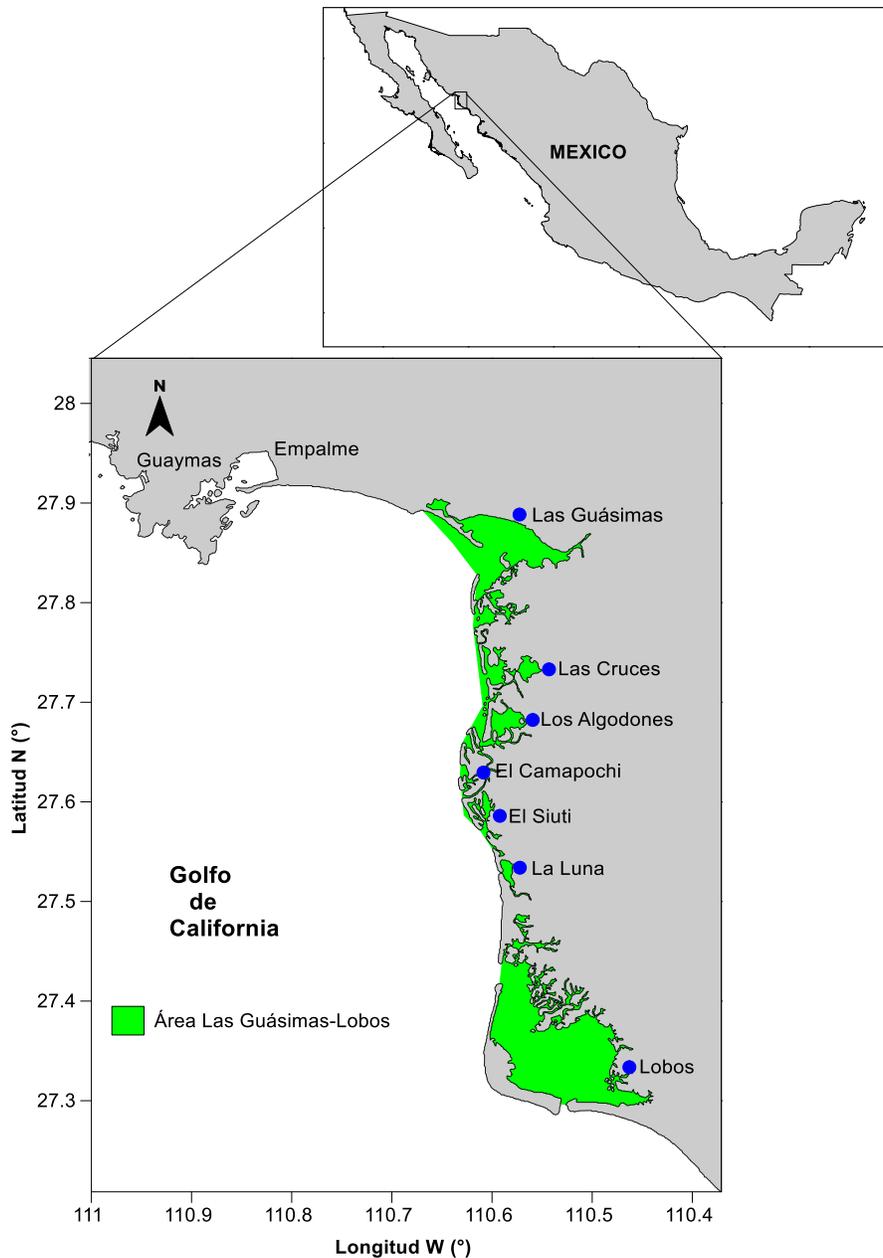


Figura 1. Área de estudio.

Metodología

Para el presente estudio se utilizó información proveniente de avisos de arribo, los cuales son documentos que contienen la información relacionada con los volúmenes de captura de los distintos recursos pesqueros reportados a la autoridad, la Comisión Nacional de

Pesca y Acuicultura (CONAPESCA). Dicha información fue proporcionada por la oficina de pesca en Guaymas en formato electrónico, conteniendo los datos de la SSCP Comunidades Yaquis, SCL, que es la única sociedad cooperativa registrada para la zona de estudio como parte de la etnia Yaqui y que tiene como sitio de desembarque Bahía de Lobos y Las Guásimas.

Dentro de los principales recursos que capturan se encuentran el camarón azul, la jaiba y la medusa bola de cañón. Se determinó el comportamiento de las capturas de estas tres especies consideradas como las más importantes, las cuales sostienen la pesca en el complejo Las Guásimas-Bahía de Lobos en base a sus volúmenes de producción. Se realizó un análisis a través del tiempo para observar la estacionalidad de la captura, con un comportamiento mensual para cada año en el periodo de 2000 a 2017, periodo con el que se cuenta con información. Por último, se determinó el comportamiento de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de manera anual, expresándose en toneladas por día/año (ton/día/año).

Resultados

Área de captura de las principales especies

Las especies más importantes en cuanto a su volumen de producción en el complejo lagunar Las Guásimas-Lobos mostró que la medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*), se captura principalmente en las inmediaciones fuera de Las Guásimas hacia la porción sur frente a la localidad de Los Algodones (Fig. 2a). El camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y la jaiba azul (*Callinectes arcuatus*) y café (*C. bellicosus*)

muestran una mayor área en cuanto a la actividad de captura dentro del territorio Yaqui, estas especies se capturan dentro de los sistemas lagunares y en el frente costero del área concesionada para la comunidad (Fig. 2b).

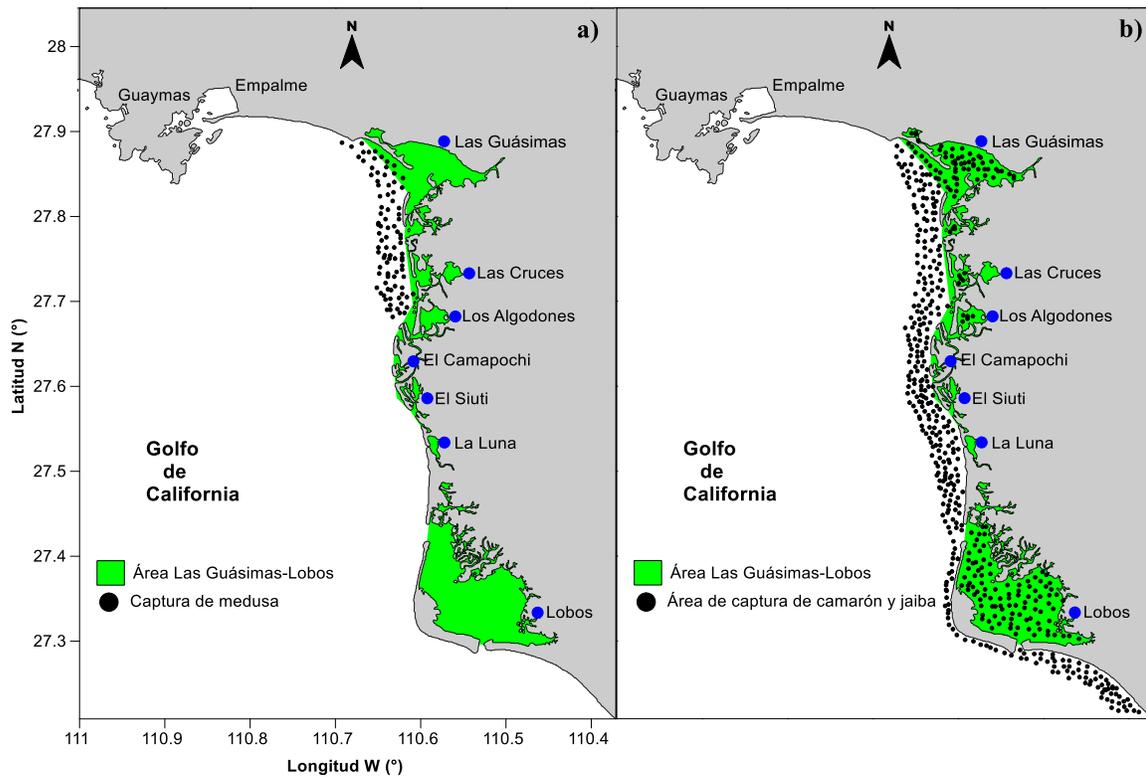


Figura 2. Área de pesca de las tres principales especies en el complejo lagunar Las Guásimas-Lobos, zona de la comunidad Yaqui; a) captura de medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*), b) captura de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*), jaiba azul (*Callinectes arcuatus*) y café (*C. bellicosus*).

Especies importantes

Camarón

Las capturas dentro de los ecosistemas que integran el complejo Las Guásimas-Lobos perteneciente a la etnia Yaqui están dirigidas a diferentes especies. En el caso de la pesca de escama es una actividad que se realiza principalmente para consumo local o regional. Sin embargo, la captura de camarón resulta ser una actividad que trasciende más allá del

consumo local. La captura de camarón en Las Guásimas-Lobos se realiza por la Sociedad Cooperativa Comunidades Yaquis S.C.L., ambas presentes en Las Guásimas y Bahía de Lobos, y de acuerdo a los datos de captura, la mayor producción durante el periodo 2000-2016 se registró durante el año 2000, con una producción de 157 toneladas (Fig. 3a). Las capturas de camarón para este complejo han observado una disminución a través del tiempo, con oscilaciones en relación a la captura promedio anual (Fig. 3a). La captura se realiza principalmente entre los meses de septiembre a diciembre (Fig. 4a). Este periodo de captura es una respuesta al periodo de veda abarca del mes de marzo hasta agosto, esto como resultado de que el camarón azul realiza migraciones a las bocas de los esteros, con el objetivo de iniciar sus procesos reproductivos (migración del stock reproductivo a las zonas de reproducción), de esta manera se asegura la disponibilidad del recurso para el siguiente año. La captura diaria de manera anual (ton/día/año) mostró que en el 2013 se capturó más camarón por día de pesca (Fig. 5a). En algunas ocasiones, las embarcaciones de Las Guásimas principalmente capturan camarón azul durante los meses de enero y febrero frente a las desembocaduras de los esteros de Las Cruces y Los Algodones, sin embargo y de manera desafortunada, esta información no se registra aun cuando los volúmenes son muy bajos. La temporada oficial de pesca para esta especie considera el periodo de septiembre a febrero.

Jaiba

La jaiba mostró bajas capturas durante los primeros siete años (2000-2007) con un aumento de la producción durante el año 2008, que fue cuando un mayor volumen de producción se generó en el área de Las Guásimas-Lobos, con una caída hacia el 2009 y

un reporte de cero toneladas para el 2010. A partir del 2013 la producción en este complejo lagunar se hace más constante con capturas que aumentan desde 2013 a 2014 y un decline para 2015 y una aparente estabilización en la tendencia de captura a para los dos últimos años, 2016-2017 (Fig. 3b). La temporada de captura mostro un patrón entre los meses de julio a diciembre (Fig. 4b). La captura diaria anual mostró su pico máximo en el año 2000, con una producción diaria anual de siete toneladas, posteriormente la captura se mantiene oscilando y el segundo mejor registro en la producción se observó en el 2017 con 6.57 toneladas diarias anuales (Fig. 5b).

Medusa bola de cañón

La captura de la medusa bola de cañón es un recurso que se empezó a capturar por la etnia Yaqui a partir del año 2009, obteniendo las mayores capturas en el 2015 con alrededor de 3,731 toneladas, con una caída de más del 62% para el 2016 (Fig. 3c). La captura de este recurso se da entre los meses de marzo a mayo (Fig. 4c), la menor producción diaria anual se registró durante el 2011 si no consideramos que durante 2010 no hubo reporte de captura para este recurso, mientras que la mayor producción diaria se observó durante 2015 con 339 toneladas diarias (Fig. 5c).

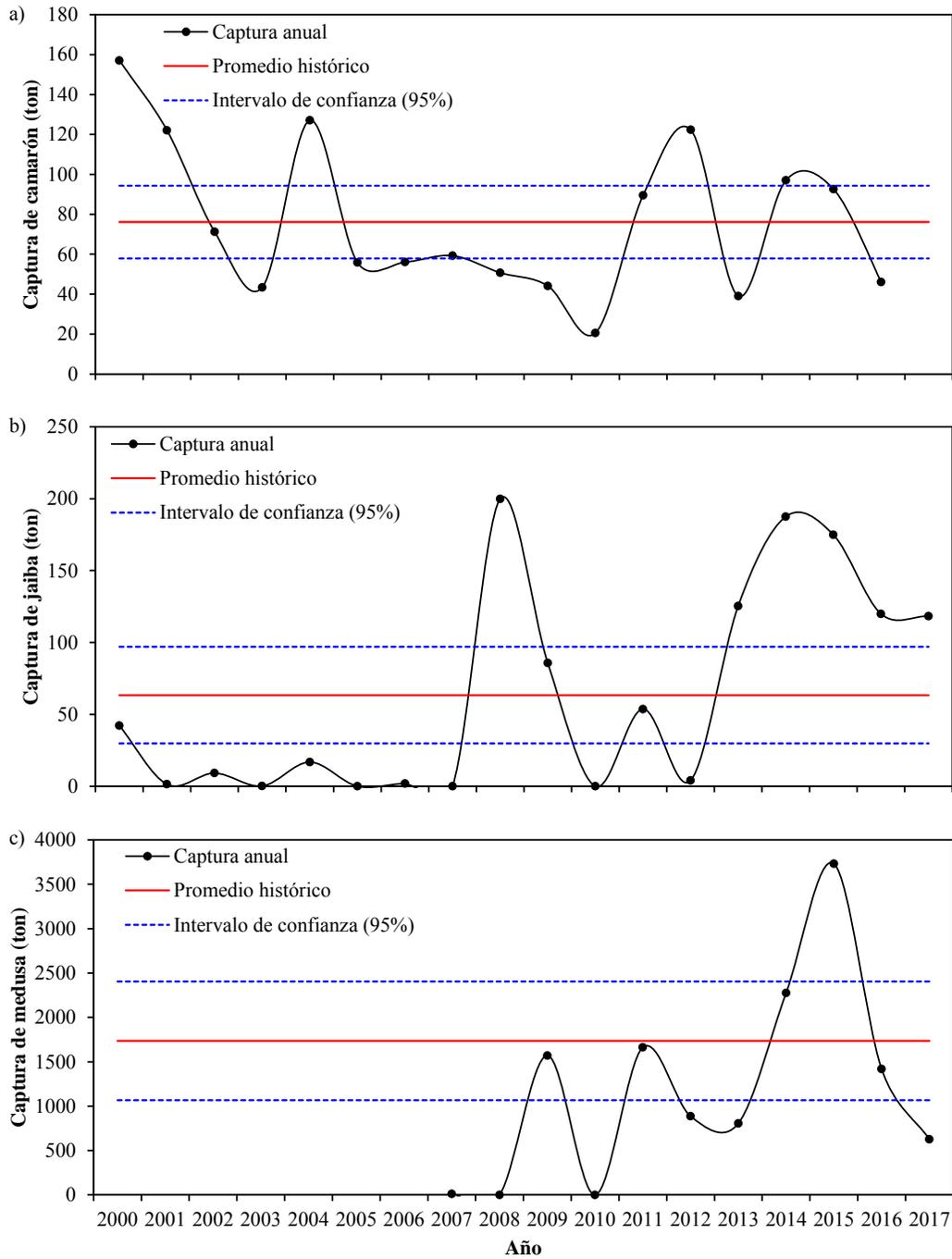


Figura 3. Comportamiento de la producción anual de las tres principales especies en el complejo lagunar Las Guásimas-Lobos: a) camarón, b) jaiba y c) medusa bola de cañón.

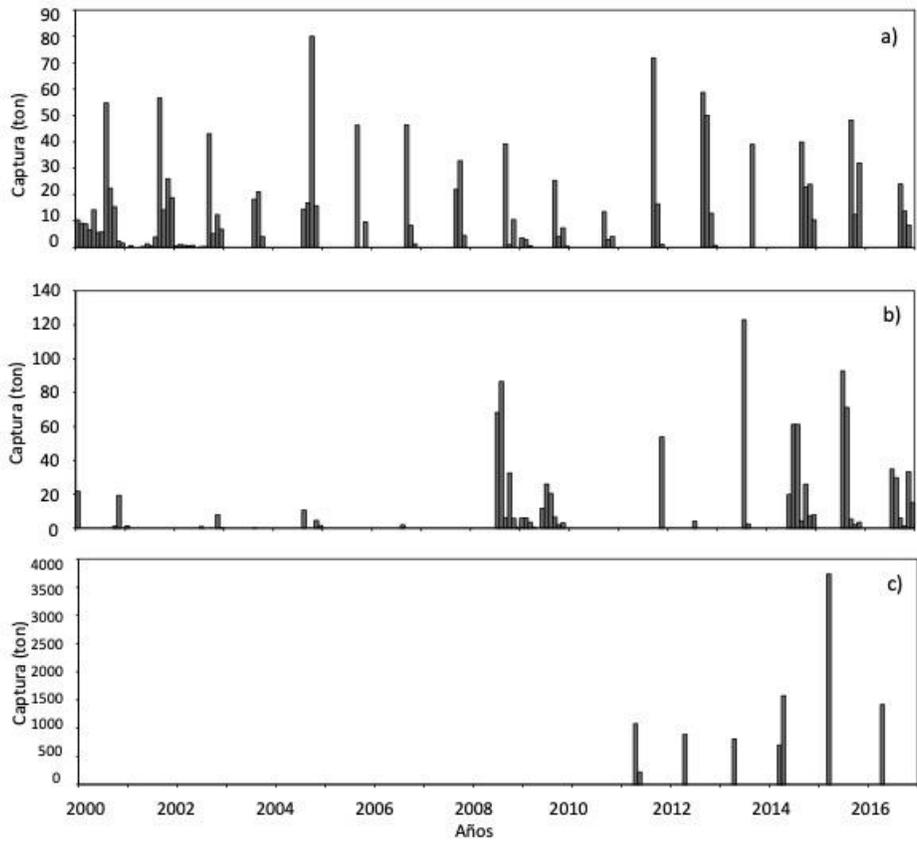


Figura 4. Comportamiento de la producción mensual de las tres principales especies en el complejo lagunar Las Guásimas-Lobos: a) camarón, b) jaiba y c) medusa bola de cañón.

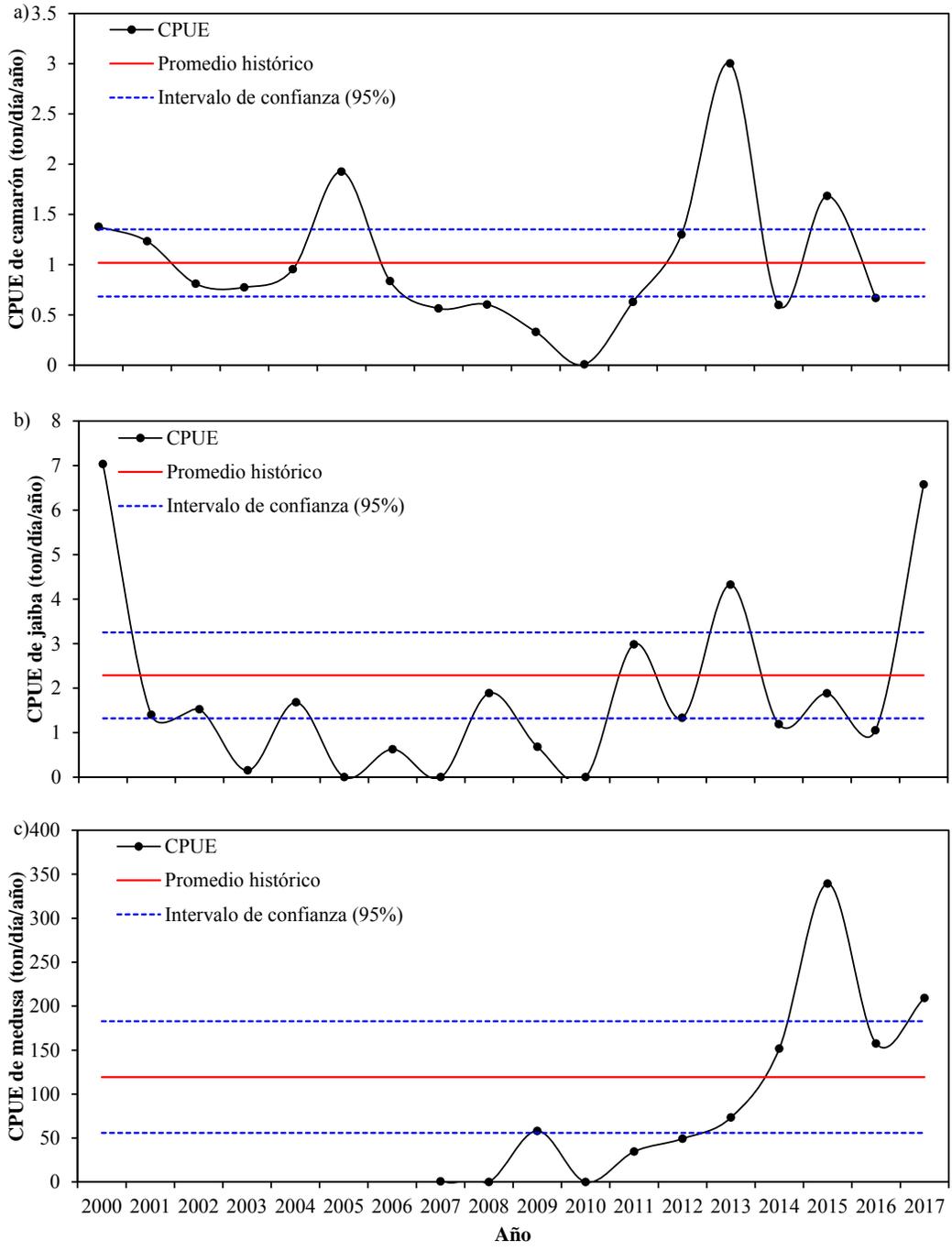


Figura 5. Comportamiento de la captura por unidad de esfuerzo de las tres principales especies en el complejo lagunar Las Guásimas-Lobos: a) camarón, b) jaiba y c) medusa bola de cañón.

Volúmenes de captura

En cuanto al análisis de los volúmenes de captura en relación a los principales sitios de origen de la misma, fue evidente que la zona que es mayormente empleada por la flota ribereña de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Comunidades Yaquis, para llevar a cabo la captura de los principales recursos explotados por dichas comunidades fue el área de Las Guásimas y alrededores, con más de tres cuartas partes de participación de la producción de la captura global (78%), seguida por el área de Lobos y finalmente la zona de Los Algodones (Fig. 6), lo cual puede explicarse debido a que en Las Guásimas el desplazamiento de la flota para llevar a cabo la captura de los recursos es menor que para Bahía de Lobos, ésto puede confirmarse ya que en ocasiones las embarcaciones que normalmente operan en Lobos se desplazan a Las Guásimas, con el objetivo de capturar alguna especie en particular pero aumentando sus costos de operación. Un ejemplo claro es la captura de medusa “bola de cañón”, que se realiza principalmente en la parte exterior de Las Guásimas, debido a que este recurso ahí concentra sus mayores abundancias, incrementando así su mayor actividad en esta localidad, debido a que Las Guásimas es una zona importante para la reproducción de la medusa.

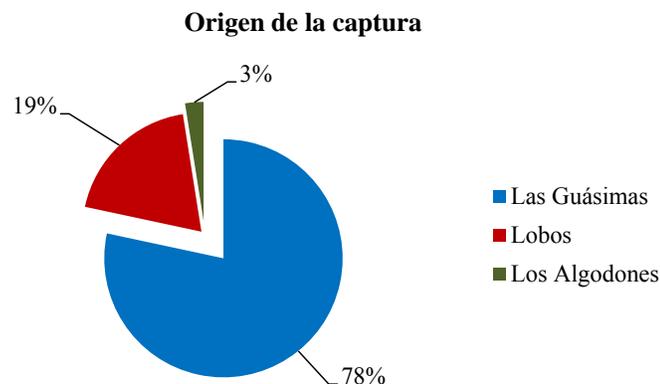


Figura 6. Comportamiento porcentual del origen del volumen de captura histórico

Composición porcentual por especie entre sitios

Por otro parte, en relación a la participación porcentual por cada especie considerada en cada uno de los principales sitios de captura, se observó una tendencia inversa en cuanto a volúmenes por tipo de recurso por sitio, al menos ésto puede observarse en dos de ellos, Las Guásimas y Lobos (Fig. 7), mientras que el sitio de Los Algodones muestra una tendencia casi uniforme para los tres recursos con muy poca variación. En el caso de la mayor participación por parte de Bahía de Lobos en la captura de camarón y jaiba, se debe en parte a que estos recursos duran más tiempo dentro de la bahía, por lo que su disponibilidad y accesibilidad aumenta, pues la zona juega un papel importante brindando las características necesarias, por ejemplo mayor extensión y profundidad de la laguna, originando que los recursos puedan tanto permanecer más tiempo así como presentar al final mayores volúmenes por disponibilidad de área que Las Guásimas.

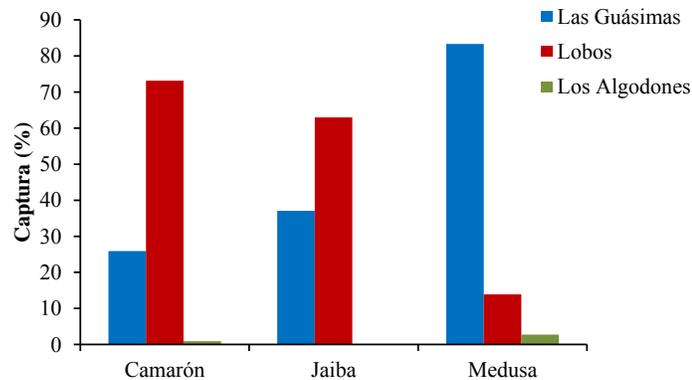


Figura 7. Composición porcentual total por especie por los principales sitios de captura

Composición específica por sitio de captura

Por último, el tercer análisis efectuado considerando el origen de la captura es el comportamiento en los volúmenes de participación porcentuales por especie pero en un mismo sitio, de tal manera que este análisis permitió determinar cuál es el peso en la participación de las tres especies principales por cada uno de los tres sitios respectivamente (Fig. 8), estableciendo para el caso de Las Guásimas, que el mayor peso lo aporta la medusa bola de cañón con un 96%, dejando tan sólo un 4% repartido entre los otros dos recursos (Fig. 8a).

Para los otros dos sitios, Lobos y Los Algodones, la medusa es también el recurso que mayor porcentaje representa en el sitio, teniendo un 65% y 98% en cuanto a los volúmenes de pesca respectivamente (Fig. 8b y 8c), dicha tendencia puede considerarse similar para los tres sitios, sin embargo para el caso de Lobos es en donde se aprecia una mayor participación en volumen para los otros dos recursos (camarón y jaiba), no obstante de que presenta el mismo comportamiento general donde la medusa es el recurso con mayor porcentaje.

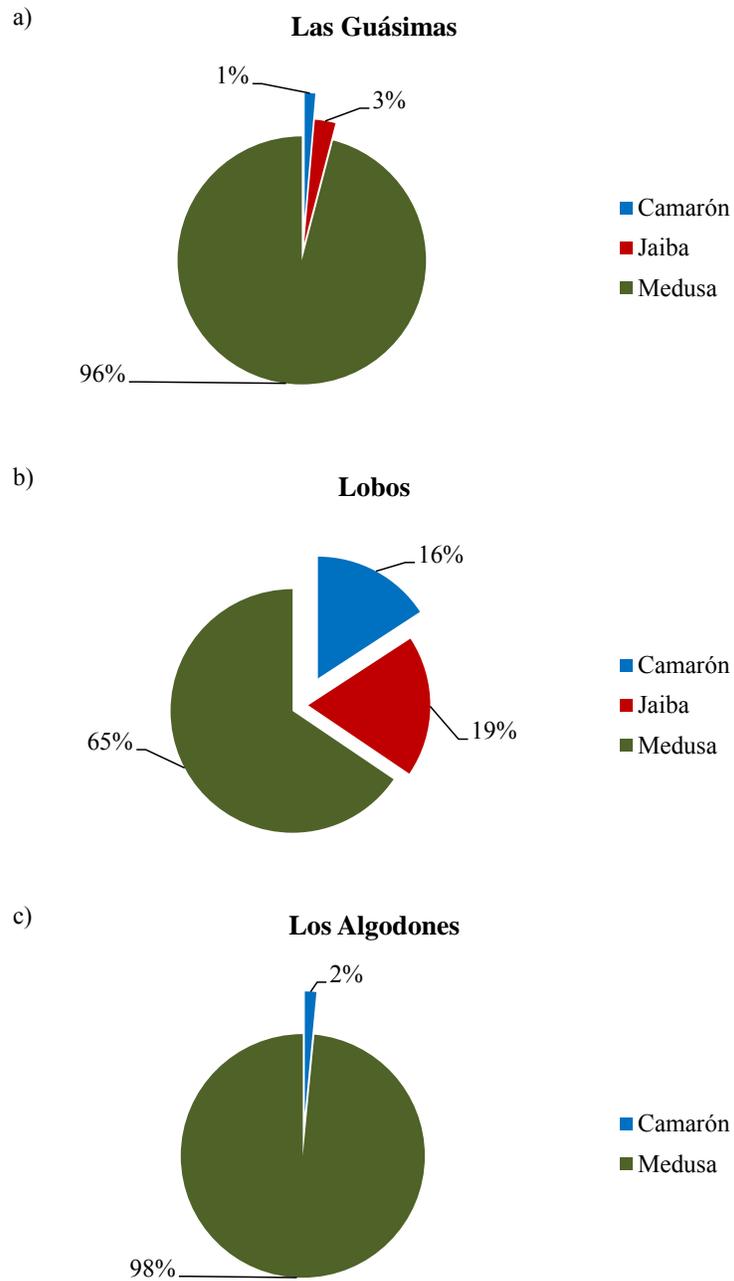


Figura 8. Composición de la captura en los principales sitios por especie

La producción pesquera de Las Guásimas-Lobos en Sonora

En cuanto a la producción de camarón y jaiba para el estado de Sonora, datos oficiales de la producción estatal durante el periodo 2000-2016, la comunidad Yaqui de Las Guásimas-Bahía de Lobos aporta un porcentaje significativo en cuanto a la producción estatal de camarón, ya que podemos hablar de que representa cerca del 5% promedio a lo largo de todo el periodo (Fig. 9a). Por otra parte, la producción de jaiba resultó ser significativa para los años 2008, 2009 y 2013 (Fig. 9b). Existe un problema con la producción del recurso jaiba, en muchos de los casos la producción no aparece en los registros oficiales porque esta no es arribada, sin embargo, es probable que la producción de este recurso sea mayor al observado en el presente estudio. Lo que sí es importante destacar es que estos recursos detonan gran parte de la actividad económica de las comunidades, ya que ellos comercializan este recurso en los principales puntos de ventas de las poblaciones de Guaymas, Empalme y Cd. Obregón de manera informal.

Lo anterior cobra relevancia cuando se observa que de acuerdo a los volúmenes de captura (Fig. 6) el sitio que mayor aporta es Las Guásimas seguido por Lobos y finalmente Los Algodones; sin embargo en términos económicos vemos que ese comportamiento cambia radicalmente siendo ahora Lobos el que mayor porcentaje aporta seguido por Las Guásimas y Los Algodones permanece al final (Fig. 10), esto puede explicarse por el tipo de recurso que se extrae en cada una de las zonas, ya que aun cuando las tres especies que se han venido manejando en el presente estudio se encuentran y pescan en ambos sitios, para el caso de Lobos el camarón tiene una mayor participación en la composición de la captura y eso sumado a que es uno de los recursos

con mayor importancia por su alto valor comercial hace que se ubique como el recurso más importante en términos de derrama económica, mientras que para el caso de Las Guásimas aun cuando se pesca camarón el mayor porcentaje de la captura es de medusa (96%, Fig. 6), recurso que es considerado importante por los altos volúmenes extraídos y no tanto por su precio, lo cual sumado en la fórmula volumen-precio le confiere una alta importancia relativa para Las Guásimas.

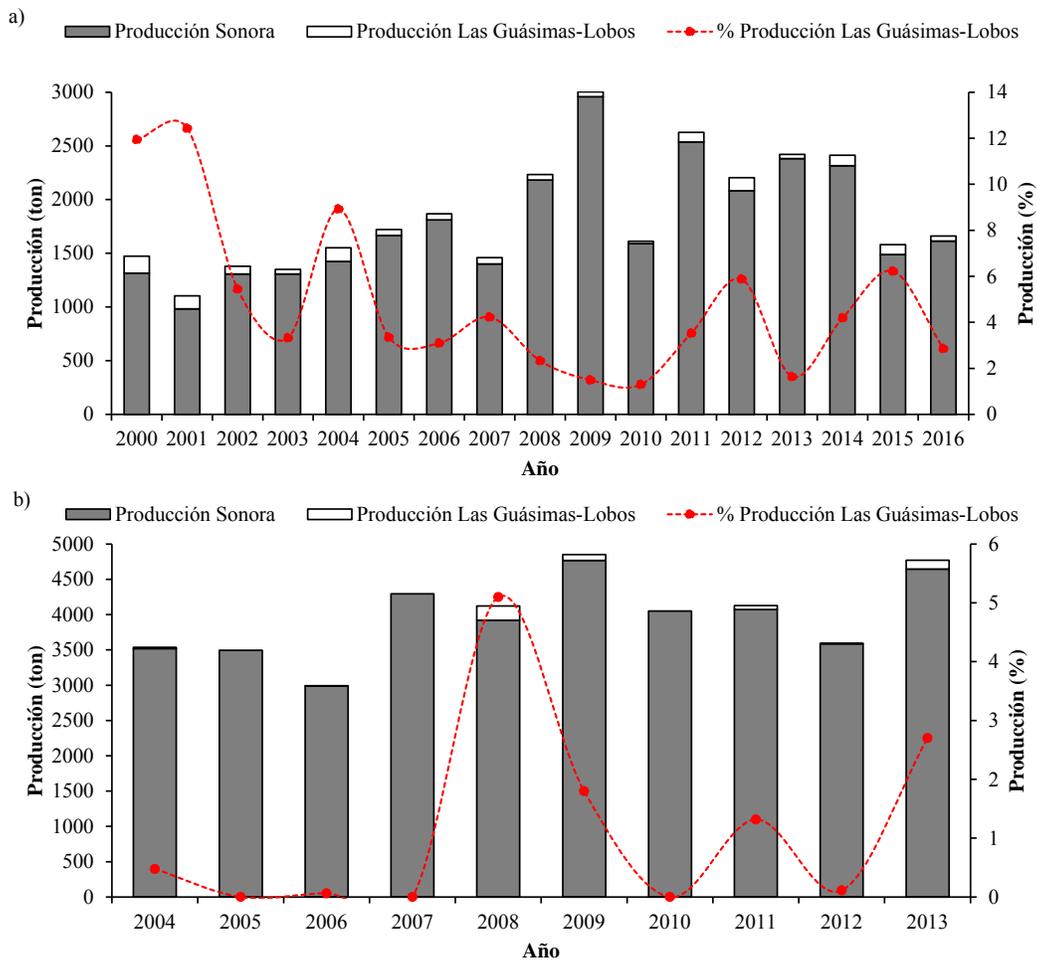


Figura 9. Importancia de la producción pesquera de la comunidad Yaqui del complejo lagunar Las Guásimas-Bahía de Lobos: a) camarón y b) jaiba.

Valor de la captura

Comportamiento porcentual del valor de la captura

Todo lo anterior no tendría sentido si no fuera analizado en conjunto con la información económica disponible, es por esa razón que se presenta un análisis del comportamiento del valor de la captura en términos porcentuales para los datos disponibles (todo el periodo).

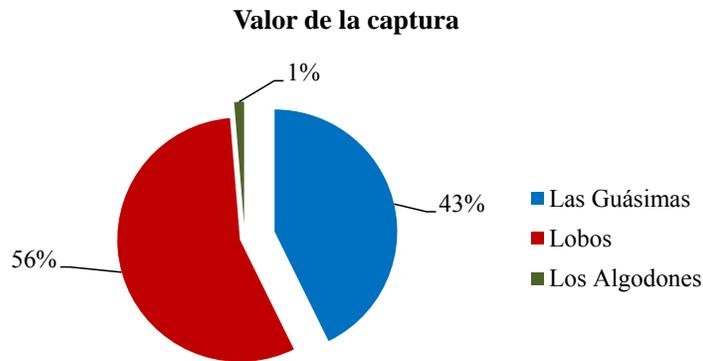


Figura 10. Comportamiento porcentual del valor de la captura

Composición específica del valor de la captura por sitio

La captura en su componente económica, a nivel de sitios de captura analizados de manera individual, cambia en orden de importancia al menos para Las Guásimas y Lobos, no así para Los Algodones ya que los dos recursos que se reportan son medusa y camarón, éste último con un mínimo de captura (2%, Fig. 8), razón por la cual en términos económicos no cambia en su porcentaje de participación (Fig. 11). Por otro lado, para los otros dos sitios y de acuerdo a los volúmenes de captura, es evidente la importancia económica que el recurso camarón representa para las comunidades Yaquis, pues para Las Guásimas de ser el tercer lugar en capturas (Fig. 8) pasa a ser el segundo y

con una mínima diferencia respecto al recurso posicionado en primer lugar que es la medusa, con apenas 7% de diferencia en términos económicos (Fig. 11).

Para Lobos la situación es totalmente inversa, pasando de un orden en captura por recurso de medusa-jaiba-camarón (Fig. 8) a camarón-jaiba-medusa, esto se ve nuevamente fundamentado en la relación que existe entre ser considerados recursos importantes por sus volúmenes de captura y ser considerados como recursos importantes por su alto valor económico, como ya se había mencionado, dicha relación volumen-precio propició el cambio en el comportamiento de la participación por recurso por sitio de captura totalmente opuesto para el caso de Lobos.

Participación económica por sitio

Finalmente, y en términos de millones de pesos por concepto de ingresos históricos acumulados obtenidos por sitio de captura (periodo 2000-2017), en relación a los tres recursos principales, objeto de la pesca para las comunidades Yaquis, se observó claramente que el recurso que rige las directrices de los ingresos por sitio, es el camarón, seguido de la medusa y finalmente la jaiba (Fig. 12).

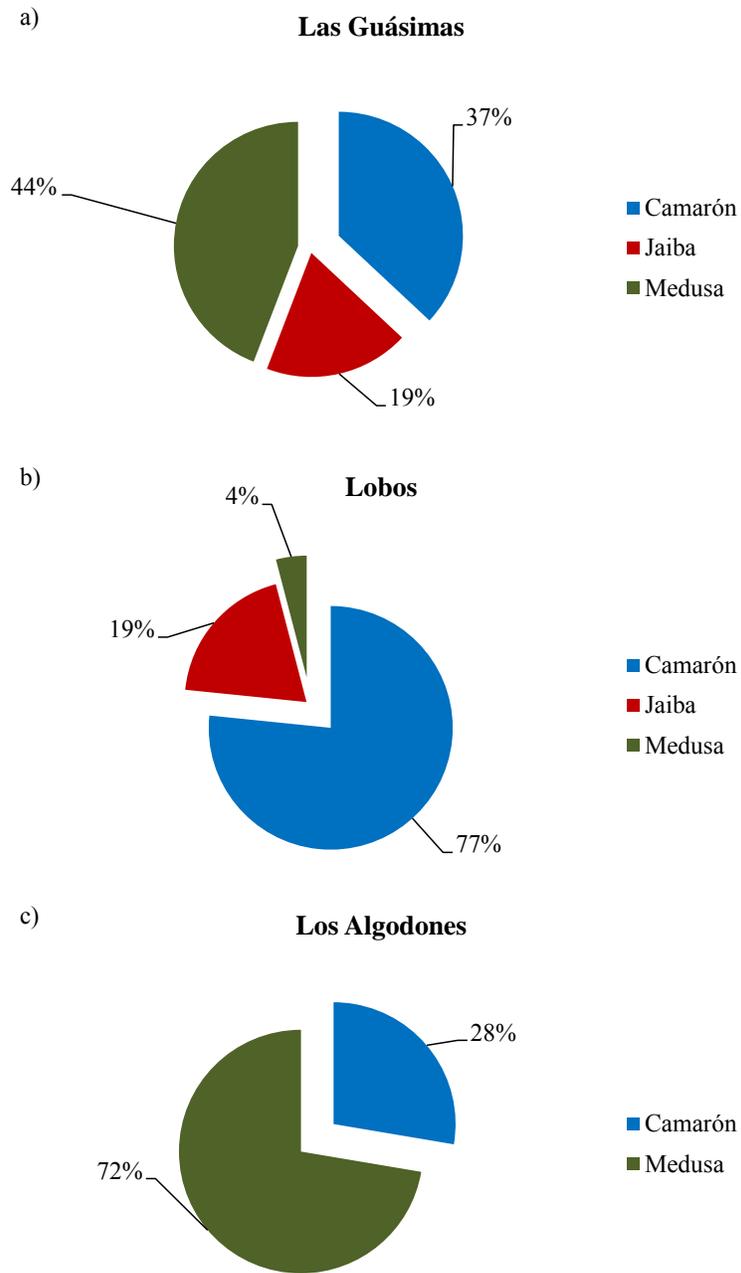


Figura 11. Composición específica del valor de la captura por sitio.

La zona que aporta los mayores ingresos es la de Lobos, siendo precisamente el camarón quien por los volúmenes capturados y los precios de venta registrados temporada a temporada, hacen en conjunto que siga siendo uno de los recursos más cotizados y valorados por los pescadores de la región; de acuerdo con esto puede también observarse que para zona de Las Guásimas también es un recurso sumamente importante, sin embargo en este caso en particular y por lo que ya se ha venido manejando, la medusa repercute mayormente que el camarón en sentido económico, aunque no por mucho (7.2% en términos porcentuales y 3.01 millones en términos económicos), pero los altos volúmenes que se han visto obteniendo a lo largo de las últimas temporadas la colocan como el principal de los recursos en esta zona (Fig. 12).

El tercer recurso que es la jaiba, sólo reportada para Las Guásimas y Lobos como sitios donde se le captura, presenta un comportamiento muy similar económicamente hablando, ya que la diferencia es de tan sólo 2.7 millones a lo largo de todo el periodo de estudio.

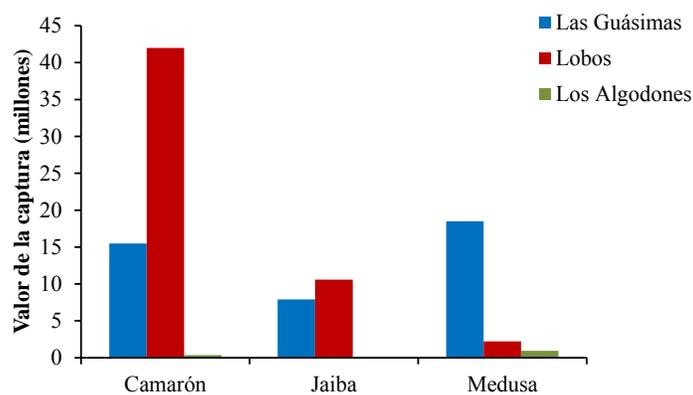


Figura 12. Participación económica del valor de la captura por sitio

Conclusión

El complejo lagunar Las Guásimas- Bahía de Lobos perteneciente a la etnia Yaqui, es considerada como un sitio de importante que sirve como área de protección de diferentes especies, de las cuales algunas resultan de importancia comercial. Los asentamientos de la comunidad Yaqui en los pueblos de Las Guásimas y Lobos dependen directamente de la pesca y las principales especies en cuanto a su volumen de captura son el camarón, la jaiba y la medusa.

De una manera importante se puede destacar que la producción de estas especies fluctúa de manera anual a través del tiempo, comportamiento similar de otras pesquerías en el país y en diferentes partes del mundo. El complejo lagunar Las Guásimas-Bahía de Lobos sigue sosteniendo estas principales pesquerías debido a que solo la comunidad Yaqui tiene derecho a la captura dentro de sus esteros, resultando que el esfuerzo de pesca es menor si se compara con otras localidades del estado de Sonora, como la Bahía Guaymas-Empalme, Tobarí, Yavaros y Agiabampo. Es importante mencionar que las características físicas de sus sistemas lagunares juegan un papel importante para que las especies desarrollen adecuadamente su ciclo de vida.

La comunidad Yaqui asentada en Las Guásimas y Lobos, capturan las tres especies de una manera alternada, el camarón lo capturan de septiembre a diciembre, mientras que la medusa se captura de entre marzo y mayo, la jaiba se captura de julio a diciembre traslapándose con la temporada de pesca de camarón. La producción pesquera de la etnia Yaqui aporta significativos volúmenes de producción para el estado, principalmente el

camarón y posteriormente jaiba. Estos dos recursos activan la economía de estas dos localidades desde su captura y comercialización en las principales ciudades como Guaymas, Empalme y Cd. Obregón.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Oficina de Pesca en Guaymas, Sonora (Subdelegación de Pesca en Sonora, CONAPESCA, SAGARPA), expresamente al Ing. Arnulfo Navarro Carrillo, Jefe de la Oficina, por todo el apoyo y facilidades brindadas, para la obtención de la información de los avisos de arribo de las cooperativas registradas para la zona de Bahía de Lobos (SCPP COMUNIDADES YAQUIS, SCL) para la realización del presente estudio.

Literatura citada

- Carrera-González, E. 2008. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar: Complejo lagunar Bahía Guásimas-Estero Lobos. RAMSAR. 19 pp
- Contreras, F. 2002. Importancia de la pesca ribereña en México. *Contactos* 46:5-14
- Enríquez-Andrade, R., Anaya-Reyna, G., Barrera-Guevara, J. C., Carvajal-Moreno, M. A., Martínez-Delgado, M. E., Vaca-Rodríguez, J., Valdés-Casillas, C. 2005. An analysis of critical areas for biodiversity conservation in the Gulf of California region. *Ocean & Coastal Management* 48:31-50
- Figuroa, A. 1994. Por la tierra y por los santos, identidad y persistencia cultural entre yaquis y mayos. *Culturas Populares de México*
- Hernández, L. G., Arreola, J. A. 2000. Patrones de distribución y abundancia de *Callinectes arcuatus* y *Callinectes bellicosus* (Crustacea: Portunidae) en la laguna costera

Las Guásimas, Sonora, México. Resúmenes XII Congreso Nacional de Oceanografía 22 al 26 de mayo, Huatulco, Oaxaca, México

INAPESCA. 2006. Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y Manejo. SAGARPA. México. 544 pp

Lluch-Cota, D. B., Hernández-Vázquez, S., Balart-Páez, E. F., Beltrán-Morales, L. F., del Monte-Luna, P., González-Becerril, A., Lluch-Cota, S. E., Navarrete del Proó, A. F., Ponce-Díaz, G., Salinas-Zavala, C. A., López-Martínez, J., Ortega-García, S. 2006. Desarrollo sustentable de la pesca en México: Orientaciones estratégicas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste / Senado de la República. 436 pp

Lluch-Cota, S. E., Aragón-Noriega, E. A., Arreguín-Sánchez, F., Aureoles-Gamboa, D., Bautista-Romero, J. J., Brusca, R., Cervantes-Duarte, R., Cortés-Altamirano, R., Del-Monte-Luna, P., Esquivel-Herrera, A., Fernández, G., Hendrickx, M., Hernández-Vázquez, S., Herrera-Cervantes, H., Kahru, M., Lavín, M., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., López-Martínez, J., Marinone, S. G., Nevárez-Martínez, M. O., Ortega-García, S., Palacios-Castro, E., Parés-Sierra, A., Ponce-Díaz, G., Ramírez-Rodríguez, M., Salinas-Zavala, C. A., Schwartzlose, R. A., Sierra-Beltrán, A. P. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography* 73:1-26

Moctezuma-Zamarrón, J. L. 2007. Yaquis: Pueblos indígenas del México Contemporáneo. México, Comisión para el desarrollo de los pueblos indígenas (CDI). México. 55 pp

SEMARNAP. 2001. Anuario Estadístico de Pesca. SAGARPA. Instituto Nacional de la Pesca

Vázquez, M. 1999. La pesca en Sonora, estructura, actores y conflictos. UniSon, Hermosillo, México

Yepiz, L. M. 1990. Diversidad, distribución y abundancia de la ictiofauna en tres lagunas costeras de Sonora, México. Tesis de Maestría. UABC. Ensenada, Baja California, México, 168 p

2.5 El mezquite en las Comunidades Yaquis del Sur de Sonora

Por Martín Villa Ibarra¹, Bernardo Morales Cervantes¹, Librado Pérez Álvarez²

¹Profesor investigador de la División de Ingeniería Ambiental Instituto Tecnológico Superior de Cajeme Carr. Internacional a Nogales Km. 2, Col Amanecer 2, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85024

²Estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme Carr. Internacional a Nogales Km. 2, Col Amanecer 2, Cd. Obregón, Sonora, C.P. 85024

Email: mvilla@itesca.edu.mx

Resumen

En el presente trabajo se hace un breve análisis de la relación del árbol de Mezquite con la cultura, usos y costumbres de la Comunidad Indígena Yaqui, que habitan en el Estado de Sonora; tradicionalmente; el árbol de mezquite de gran importancia ecosistémica ya que sirve de alimento, refugio y soporte a una amplia variedad de especies tanto de flora como de fauna, juega también un papel importante dentro de la religión y cultura Yaqui; en los últimos 10 años él mezquite ha estado siendo objeto de sobreexplotación para la elaboración de carbón el cual es comercializado a través de intermediarios hacia ciudades del norte de Sonora y de Estados Unidos de América, sin embargo son estos

intermediarios quienes logran el mayor beneficio económico; se hace una propuesta de aprovechamiento sustentable de este recurso como una manera de promover su manejo sustentable y conservación.

Introducción

La tribu Yaqui es la más representativa del estado de Sonora, descendientes del núcleo Cahita los cuales provenían del Río Gila hicieron su aparición en Sonora un total de 23 grupos en el año de 1300 D. C., a la llegada de los misioneros formaban un total de 11 pueblos avocindados a lo largo del Río Yaqui, estos misioneros los agruparon en 8 grupos, los cuales se encuentran en la actualidad en tres zonas claramente diferenciadas: una zona serrana (Sierra del Bacatete); una zona pesquera (Guásimas y Puerto Lobos) y tierras de cultivo (el Valle del Yaqui).

Su población alcanzaba aproximadamente los 32,000 habitantes, los cuales fueron duramente reducidos por las guerras que libraron por su sobre vivencia durante más de 50 años. La tribu yaqui se encuentra profundamente ligada a los elementos de la naturaleza, entre los que destaca el Mezquite por su importancia económica, cultural y religiosa; en las viviendas de los yaquis suele encontrarse una cruz de mezquite que representa su fe, además de ser un elemento protector; esta planta también la utilizan como alimento ya que la chúcata o goma de mezquite constituye un dulce delicioso y la harina de la péchita sirve para elaborar bebidas y panes; se utiliza en la medicina tradicional para combatir la inflamación de ojos, la disentería y algunas enfermedades de boca y garganta. Las

viviendas de las comunidades yaquis se construyen utilizando horcones de mezquite y carrizo.

Los miembros de la tribu se conocen como Yoremes, que significa hombre, así mismo a los que no pertenecen a su tribu les llaman Yoris que significa Hombre Blanco; habitan ocho comunidades que son: Loma de Guamúchil, Loma de Bácum, Tórim, Vicam, Pótam, Ráhum, Huírivis y Belem. Actualmente Vicam es el lugar de encuentro de las autoridades tradicionales de esta comunidad indígena.

Los Yaquis y el Mezquite

El mezquite es un árbol profundamente ligado a la comunidad yaqui ya que es utilizado para hacer sus viviendas las cuales consisten en horcones de mezquite que soportan vigas, el mezquite que soporta la estructura y el carrizo que forman las paredes son los principales materiales de sus viviendas, el carrizo suele cubrirse con lodo en invierno, en la temporada de calor dejan las paredes sin lodo para que circule el viento, sus viviendas suelen ser frescas.

El mezquite tiene también usos medicinales entre los que destaca la cura de enfermedades desde dolor de muelas hasta la cura de la tristeza; por otra parte dentro de sus festividades religiosas el mezquite juega un papel principal, de este se construye la Cruz Mayor que se coloca en la iglesia de la comunidad y es el centro de diversas actividades religiosas para honrar a sus fieles difuntos, además en el patio de cada vivienda se coloca una cruz del mismo material y una mesa hecha con cuatro horcones de

mezquite en donde colocan viandas que ofrecen a sus parientes difuntos. Otro uso del mezquite es como leña para elaborar sus alimentos, estas leñas suelen ser de ramas o árboles muertos que colectan para cocinar sus alimentos, también elaboran carbón en hornos rústicos. Otros productos del mezquite que son utilizados es la goma la cual es un exudado de diversas partes del mezquite, principalmente el tronco, a la que llaman *chúcata*, (Figs. 1a y 1b) esta se mastica ya que suele ser dulce, también la vaina que contiene las semillas conocida como *péchita* (Fig. 1c), se utilizaba para la elaboración de harina; esta harina se elaboraba en una especie de bateas hechas con troncos ahuecados (Fig. 1d), se golpeaba la péchita con un tronco de mezquite; una vez obtenida la harina, elaboraban un atole o una especie de tortilla; este alimento tiene muy buenas cualidades alimenticias; la péchita también se utiliza para alimentar al ganado.

Mezquite

El árbol del mezquite es una de las especies más difundidas en nuestro país; ya que se encuentra distribuido en muchas de las comunidades vegetales es un arbusto o árbol de 4-12 m de altura (Fig. 2). su nombre proviene del náhuatl ('mexquite'), y es el nombre común de las plantas de un género de árboles y arbustos de la familia de las Mimosáceas.

Las especies de mezquite pertenecen al género *Prosopis* las cuales abundan de forma especial en el suroeste de Estados Unidos y en gran parte de México. El mezquite en particular es adaptable a condiciones de extrema aridez y de altura sobre el nivel del mar. Es la flora arbórea nativa más abundante en algunas regiones de México. El fruto es una legumbre comestible y muy nutritiva (CONAZA, 1994). En el Estado de Sonora se

pueden encontrar al menos 4 especies: *P. velutina*, *P. articulata*, *P. odorata*, y *P. yaquiana*.

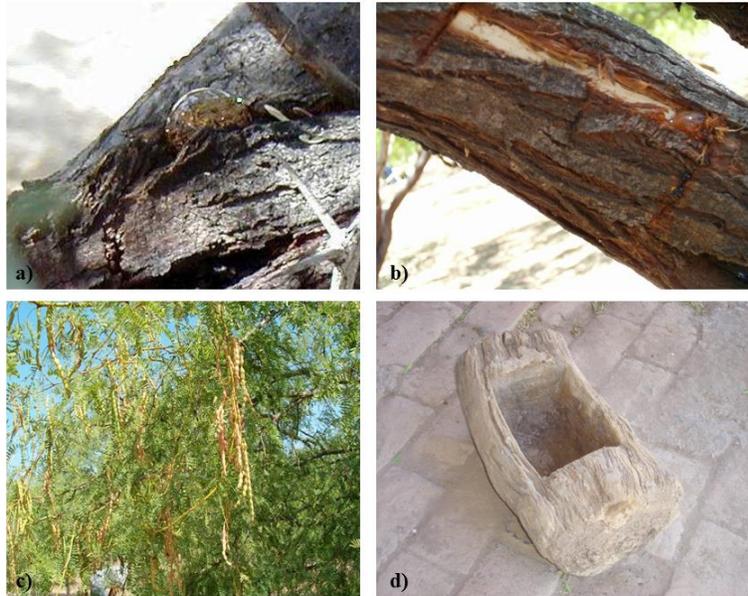


Figura 1. Productos derivados del mezquite. a) Goma de mezquite (chúcata, exudado de mezquite). b) Extracción de goma. c) Vaina con semillas (péchita). d) Batea para elaboración de harina.

Importancia Ecológica

En las regiones áridas y semiáridas características del Estado de Sonora, las condiciones de escasez de agua es una característica que perdura la mayor parte del año, y la humedad relativa es baja la vegetación predominante es del tipo de matorral, en este tipo de ecosistemas el mezquite juega un papel muy importante en los procesos ecosistémicos. Esta especie es considerada clave dentro en las zonas en donde se desarrolla; bajo su fronda se acumula materia orgánica que le da fertilidad al suelo lo que facilita el crecimiento de especies vegetales como garambullo, chiltepín, bachata, chicura, rama

blanca, brea, estafiate, guayacán, uña de gato; además de cactáceas como tasajo, choya, nopal, sino y una variedad de gramíneas como grama china, buffel y aceitilla.



Figura 2. Arbol de mezquite en plantación.

Este árbol proporciona también refugio y alimento a especies de fauna de estas regiones como una gran variedad de especies de insectos y arácnidos, reptiles como lagartijas, serpientes y tortugas; además de mamíferos pequeños y aves, ya que aprovechan su estructura para construir sus nidos. El mezquite ayuda a retener el suelo mejorando su estructura además de que sus raíces se asocian con bacterias y hongos fijadores de

nitrógeno mejorando así su fertilidad; cabe destacar su potencial de captura de carbono lo que contribuye al balance atmosférico de este elemento.

Importancia económica

La harina de la vaina del mezquite (*Prosopis* sp.) es muy rica en proteínas. Contiene entre un 17 y un 24% de proteína bruta, constituyendo un alimento muy valioso desde el punto de vista nutricional; por lo que ha sido utilizada para la alimentación de ganado y la elaboración de harinas; en la Tabla 1 se muestran la información nutricional del mezquite (Felker et al. 2003).

Tabla 1. Análisis bromatológico de la vaina de mezquite.

Muestra	Proteínas (nx6.25)	Grasa Cruda	Ceniza	Fibra Cruda	Carbohidratos totales
Fruto Verde	13.26	2.23	3.88	35.33	80.63
Fruto Maduro	13.35	2.87	3.4	24.73	80.38
Semilla	39.34	4.91	3.61	6.86	52.14
Pericarpio	7.02	2.08	3.62	29.63	87.08

Fuente: Zolfaghari y Harden (1982), citado por Villa et al. (2007).

Como un mecanismo de defensa contra las heridas y picaduras de insecto el mezquite produce exudado de color ámbar, este es un polisacárido que se ha utilizado como una golosina, laca para el pelo o pegamento entre otros usos domésticos.

La madera de mezquite es una de las más estables por lo que se ha utilizado para la construcción de muebles y parquet, en Sonora ya se hay una producción de muebles como mesas, sillas, puertas, entre otros muebles, incluso se ha observado su uso como piso en las cajas de algunas camionetas; sin embargo, esta madera es de gran dureza lo que ha limitado la difusión entre los empresarios de este ramo (Molina et al. 2004).



Figura 3. Plantación de mezquite.

En Sonora en el Block 1510 del Valle del Yaqui, en un Campo Experimental del ITSON, se realizó la siembra de mezquite en una hectárea (Figurta 3), es una zona de suelos cuya principal característica es la salinidad excesiva, por lo que esta especie se sembró con la finalidad de observar el potencial de recuperación de estos suelos con la ayuda del mezquite, años después se determinó la producción de madera, goma y vaina en este misma área, los resultados mostraron que en esta plantación se producen un promedio de

0.8 m³ de madera/árbol, la colecta de la vaina puede dar un rendimiento de 7 kg de harina/árbol en una producción de 16 kg de vaina/árbol.

Aprovechamiento del mezquite en las Comunidades Yaquis

El aprovechamiento del mezquite es una actividad antigua entre las comunidades indígenas y las poblaciones rurales del norte de México. Por ejemplo, en el estado de Sonora los Seris y los Pápagos contaban con un calendario lunar que asociaban con el aprovechamiento de los diferentes elementos de este árbol; en la Sierra del Pinacate se han encontrado molinos muy antiguos para elaborar harinas; estos molinos son aún utilizados.

Uno de los usos más importantes del mezquite para la comunidad yaqui en la actualidad es la elaboración de carbón y leña; para muchas de sus pequeñas comunidades esto constituye su principal ingreso económico; este carbón es producido en forma rústica; esta actividad si bien antes la llevaban a cabo para el uso doméstico (Rosas, 1992).

Situación actual del mezquite en las Comunidades Yaquis

Hace algunas décadas, el gobierno federal promovió en todo el Estado la siembra de pastizales para la cría de ganado vacuno, por lo que se talaron grandes superficies en las que dominaba el mezquite; desafortunadamente los pastizales no prosperaron y las poblaciones de mezquite se vieron seriamente afectadas.

La producción de carbón en las comunidades yaquis se realiza mediante la construcción de carboneras las cuales son temporales y consisten en el excavado de enormes hoyos en el suelo en donde colocan los troncos del mezquite previamente talado o en algunos casos de la recolección de maderas muertas para ser cubiertos con tierra (Fig. 4); este proceso es muy deficiente ya que la producción de carbón presente una relación 5:1 es decir solamente se aprovecha un 20% de la leña talada; hace algunos años, cuando esta producción era doméstica las poblaciones de este árbol no se veían mayormente afectadas; actualmente hay un importante mercado para este producto en E. U. A. lo que ha sido aprovechado por empresarios que le compran el carbón a los productores yaquis, quienes lo llevan al mercado internacional con muy buenas ganancias, mismas que no se reflejan en ganancias para los miembros de la comunidad yaqui a quienes les pagan muy bajos precios; a esto se le puede sumar el escaso control que en la regulación de esta actividad tienen las autoridades federales y estatales a provocado que este importante recurso se esté sobreexplotando.

Tradicionalmente, en el estado de Sonora se ha utilizado el horno de tierra para producir carbón vegetal de mezquite, sin embargo desde 1985 se comenzó a utilizar el sistema de fosa por los productores privados, el cual en forma progresiva ha desplazado al sistema tradicional de horno de tierra a excepción de la tribu Yaqui que aún lo sigue utilizando (Rosas, 1992).



Figura 4. Horno de mezquite.

En México en el año 2007 el producto interno bruto (PIB) del sector forestal fue de 29,365 millones de pesos, lo que representa en la economía nacional el 0.4% del PIB nacional. Dentro de la balanza comercial el carbón es de los principales productos al presentar un superávit de 7.8 millones de dólares. La producción de carbón vegetal en México, se realiza en zonas rurales mediante conocimientos tradicionales; principalmente, para su comercialización en las zonas urbanas (Arias et al. 2010). La producción de carbón vegetal a nivel nacional es de 326,826 m³ rollo. Los principales estados productores en el país son: Sonora con 36%, Tamaulipas con 29%, Durango con 14%, Jalisco 9%, y Guanajuato con 7% (CONAFOR, 2007).

Una propuesta de aprovechamiento sustentable del mezquite para las Comunidades Yaquis

La situación actual de las poblaciones de mezquite en el sur de Sonora es de bajo desarrollo y escasez, aunque en los últimos ocho años la falta de agua ha provocado el

abandono de terrenos agrícolas en la zona. Se ha notado que una de las primeras especies en colonizar estas áreas es el mezquite, situación que conduce a plantear esta etapa sucesional como el momento ideal para plantear la diversificación en los esquemas de aprovechamiento, ya que hasta ahora el principal uso del mezquite es la producción de carbón. Esto afecta en gran medida las poblaciones actuales y no representa una buena alternativa económica para las comunidades Yaquis, ya que el carbón es un producto con muy bajo valor agregado.

Ante la problemática de la subutilización de los mezquiales en la región, se plantea un estudio en diferentes fases: 1) cultura forestal, se concientizará a la comunidad sobre la importancia de la preservación de este recurso; 2) producción de madera y goma de mezquite y 3) elaboración de alimentos. En el presente proyecto se integra un equipo multidisciplinario e interinstitucional que responde a los requerimientos de la capacitación integral bajo un esquema de sustentabilidad para la comunidad de Tórim.

Se han realizado diversos esfuerzos para promover el aprovechamiento sustentable del mezquite en México; en las comunidades yaquis, Villa et al. (2007) llevaron a cabo el taller denominado Aprovechamiento sustentable del mezquite en las comunidades yaquis; este taller consistió en tres fases: la primera fase se denominó “Taller de conservación y aprovechamiento sustentable del ecosistema forestal en la comunidad de Tórim”, el objetivo de esta fase fue el de concientizar a la comunidad de Tórim sobre la importancia de la preservación y aprovechamiento sustentable del mezquite; y capacitarlos para que evaluar los principales atributos (densidad, abundancia, frecuencia, índice de importancia

y variables dasométricas) de la población de mezquite, para la predicción de la producción de madera, evaluar el potencial para obtención de subproductos como harina y goma de mezquite en el área de estudio; además de la formación de sus propias empresas rurales; como resultado de esta fase se impartieron talleres utilizando como material didáctico la Carta de la Tierra y el paquete de juegos de CONAFOR llamado el Planeta Esmeralda, además de impartieron las técnicas para el manejo del mezquite como colecta de semilla, producción de árboles, siembra y mantenimiento, poda y talado; se muestran en la Figura 5.

La segunda fase de este taller tuvo por objetivo capacitar a los participantes en la producción de harina de la vaina y la elaboración de galletas, para lo cual se colectaron las vainas y se llevaron al laboratorio de alimentos de ITESCA (Fig. 6).

La tercer fase del taller consistió en la capacitación para la formación de empresas rurales, en las dinámicas de este taller los participantes aprendieron los requisitos legales y sanitarios para el establecimiento de una planta de producción de este tipo de alimentos; así como los roles de cada participante en una empresa, de acuerdo a las aptitudes de cada participante se determinaron los perfiles de cada puesto, tanto los puestos administrativos como los técnicos; como resultado de esta fase se conformaron dos sociedades de producción rural (Jupachunasca y Jupacholay), es importante destacar que en estas dos sociedades la presidencia recayó en mujeres de la comunidad.



Figura 5. Imágenes del Taller de conservación y aprovechamiento sustentable del ecosistema forestal en la comunidad de Tórim. De izquierda a derecha y de arriba abajo: a) Taller de concientización; b) Dinámicas del taller; c) Taller en la comunidad de Tórim; d) Manejo de semilla; e) Aclareo; f) Poda.



Figura 6. Imágenes de la segunda fase del Taller. De izquierda a derecha y de arriba abajo: a) Vaina de mezquite (péchita); b) Molino para elaboración de harina; c) Cernido; d) Elaboración de la masa; e) Elaboración de galletas; f) Galletas (coyotas).

Como parte del proyecto se elaboró el estudio de mercado de las coyotas se diseñó el empaque y la imagen del producto y se realizaron encuestas entre comerciantes y posibles consumidores, el resultado de este estudio determinó la factibilidad de la instalación de una empresa.

Otra parte importante del proyecto consistió en el diseño y construcción de un secador solar (Fig. 7a), y de un molino de martillos (Fig. 7b), durante la capacitación para la molienda se utilizó un molino de piedras comercial, pero este es para uso doméstico, por lo que se vio la necesidad del diseño de un molino industrial que además fuera factible su utilización para la molienda de la vaina; cabe señalar que la presencia de la goma de en la vaina y la semilla dificulta su molienda, el molino de martillos resultó ser el más adecuado (Fig. 7b); esto se realizó en el taller de Mecánica de ITESCA.

Los resultados del taller muestran una buena aceptación por parte de los miembros de la comunidad (114 en total) el 40% de los participantes fueron mujeres. La educación ambiental en las comunidades indígenas es un tema prioritario para la conservación de sus recursos naturales; si bien, la cultura y religiosidad de los habitantes de estas comunidades tienen una profunda relación con diferentes elementos de la naturaleza, el aprovisionamiento de sus necesidades básicas hace que sus recursos sean explotados sin que ellos obtengan ganancias justas debido al desconocimiento del valor económico potencial de su flora y fauna. Mediante estos talleres se les provee de la información que se necesita para por una parte que sus actividades sean redituables y por otra parte plantearse la necesidad de la conservación de sus recursos.

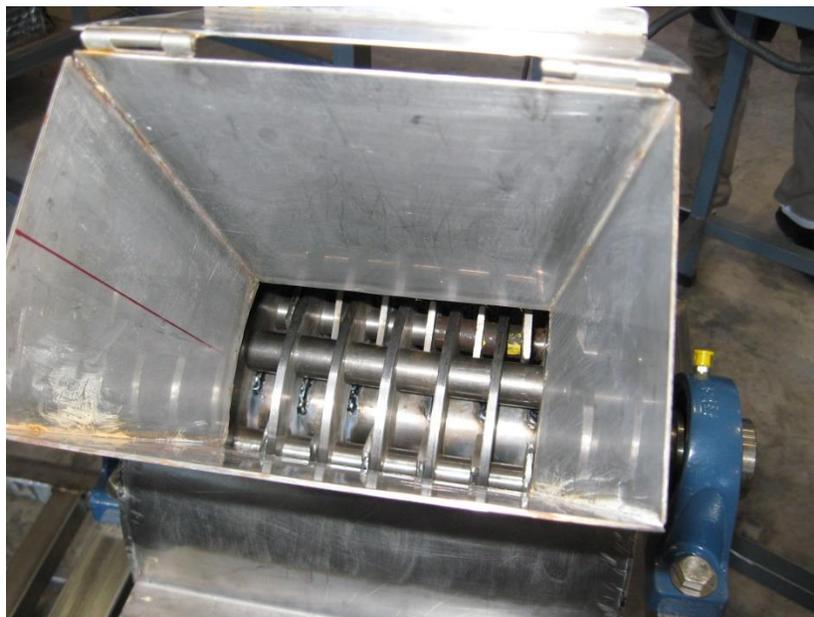


Figura 7. Arriba: Secador solar terminado. Abajo: Molino terminado.

La primera fase del presente proyecto es la cultura forestal, seguida de esquemas de aprovechamiento sustentable de un recurso con gran potencial como lo es el mezquite; sin embargo se combina una tercera fase; la cual fue la capacitación bajo esquemas de

aprendizaje participativo de formación de empresas rurales que les permitan elegir las mejores opciones para la comercialización de los productos de sus bosques.

Literatura citada

CONAZA – Instituto Nacional de Ecología. 1994. Mezquite: cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México.

[http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/72/introd.html?id_pub=72&id_tema=& dir=Consultas](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/72/introd.html?id_pub=72&id_tema=&dir=Consultas)

CONAFOR. 2007. Fichas de información comercial de productos forestales

SEMARNAT.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1983.

Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio FAO-Montes No.41. Roma, Italia. 154 p.

Felker, P. N. Grados, G. Cruz and D. Prokopiuk. 2003. Economic assesment of production of flour from *Prosopis alba* and *P. pallida* pods for human food applications. *Journal of Arid Environments*, 53 (4): 517-528.

Felker, P. and J. C. Guevara. 2003. Potential of commercial hardwood forestry plantations in arid lands-and economic analyses of *Prosopis* lumber production in argentina and the united states. *Forest Ecology and Management*, 186 (1-3): 271- 286.

Hernández Reyna, A. y J. Villanueva Díaz. 2001. Establecimiento y manejo de un módulo agrosilvopastoril de mezquite en la zona media de San Luis Potosí. Campo experimental Palma del a Cruz, Centro de Investigación regional del noreste, Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 15. pp 2 – 7.

Molina Maldonado, C. y R. Armendáriz Olivas. 1989. Aprovechamiento del mezquite (*Prosopis juliflora* swartz) en terrenos propiedad de la Tribu Yaqui. Memorias de la Primera Reunión Nacional Sobre Dendrología, Chapingo, México. Pp 156 – 165.

Molina Maldonado, C., Villa-Ibarra, M., Ruíz-Hernández, I., Félix-Armendáriz, L., Armenta-Ruíz, A.C., Alvarez-López, S. E., Díaz-Esquer, S., Osuna-Yocupicio, A., Leyva-García, N., Rodríguez-Vázquez, L. A. y Valenzuela-Navarro, M. 2004. Produccion de harina de mezquite (*Prosopis* spp) en una plantacion en el sur de Sonora. Memorias del Primer Congreso Regional de Ciencias Ambientales, Instituto Tecnológico Agropecuario No. 21 e Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora.

Ortega, N. M., L. Vázquez and M.R. Robles. 1966. Protein Quality and Antinutritional Factors of Wild legume Seeds from the Sonoran Desert. *J. Agric. Food. Chem.* 1966, 44, 3130-3132.

Rosas Ortiz, José Luís Benito. 1992. La producción de carbón vegetal en el estado de Sonora. Seminario de Titulación. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Villa-Ibarra, M., H. Herrera Andrade, S. Castro Reyes, G. Bojórquez, 2007. Taller de aprovechamiento integral de mezquite para la comunidad de Tórim. Informe Técnico SEMARNAT – ITESCA.

SECCIÓN III
“Bienestar Social, Aspectos Ambientales y de Salud Pública”

José Alfredo Arreola Lizárraga
Jaime Garatuza Payán
Enrico Arturo Yépez González
Agustín Robles Morúa
(Editores)

3.1 Biomásas de fitoplancton y macroalgas como indicadores biológicos de impacto ambiental de las aguas residuales vertidas a Bahía de Lobos

Por Jorge Manuel Partida-Flores^{1a}, Thelma Michelle Ruiz-Ruiz^{2a}, Alba Rocío Ochoa-Meza^{1b}, Alejandra Piñón-Gimate³, José Alfredo Arreola-Lizárraga^{2b}

¹Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Km. 25 Carretera a San Ignacio Río Muerto, block 611, Valle del Yaqui, Bácum, Sonora. CP. 85275.^a d-jorge@outlook.com, ^b arochoam@gmail.com

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Km. 2.35 Camino al Tular, Estero de Bacoichampo, Guaymas, Sonora. CP. 85454.^a tmruiz2@gmail.com, ^b aarreola04@cibnor.mx

³Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). Av. IPN s/n, La Paz, B.C.S. CP. 23096.

Email: apinong@ipn.mx

Resumen

El comportamiento de las biomásas de fitoplancton y macroalgas resulta de interés para detectar procesos de eutrofización en cuerpos de aguas costeros. El objetivo de este estudio es conocer el comportamiento de las biomásas de fitoplancton y macroalgas como indicadores biológicos del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales urbanas

y agrícolas en Bahía de Lobos, Sonora. El periodo de estudio comprendió abril, junio y octubre de 2016. Los resultados mostraron que la clorofila *a* tuvo concentraciones de 3–17 mg m⁻³, con valores más altos en junio y más bajos en octubre. La biomasa de macroalgas fue más alta en octubre (~25,000 g ps m⁻²) y más baja en junio (<5 g ps m⁻²); las especies *Gracilaria lemaneiformis*, *Ulva lactuca* y *Codium amplexiculatum* contribuyeron con >95 % de la biomasa. Se observó que el aporte de nutrientes y la temperatura del agua en la laguna explicaron el incremento de biomasa de fitoplancton en verano y de macroalgas en otoño.

Introducción

Las aguas residuales descargadas a los ambientes costeros son una de las principales causas del enriquecimiento de nutrientes y de propiciar el proceso de eutrofización (Vollenweider, 1992), el cual se define como el incremento en la tasa de suministro de materia orgánica a un ecosistema (Nixon, 1995).

La eutrofización es un tema importante a nivel mundial por los efectos adversos que causa, incluyendo proliferaciones algales nocivas, hipoxia y afectaciones a la cadena alimenticia acuática (Valiela et al. 1992; Smith et al. 1999). El manejo de la eutrofización y el cumplimiento de metas de calidad del agua son a menudo obstaculizados por falta de datos regionales y de monitoreo, lo cual limita la caracterización de los signos, grado y magnitud del problema (McLaughlin et al. 2014). Entre las variables usadas para describir la calidad del agua y las condiciones de eutrofización se encuentran la biomasa de fitoplancton como concentración de clorofila *a* (Boyer et al. 2009) y la biomasa de

macroalgas, como indicadores primarios de enriquecimiento por nutrientes, los cuales se han utilizado para evaluar diversos sistemas costeros alrededor del mundo, como por ejemplo los estuarios del sur de California, E.U.A. (McLaughlin et al. 2014) y lagunas del Estado de Sonora (Ruiz-Ruiz, 2016; 2017).

La clorofila *a* ha resultado un excelente indicador del estado trófico de cuerpos costeros (Boyer et al. 2009) y puede revelar rápidamente un disturbio o potencial enriquecimiento de nutrientes, indicando cambios en los primeros niveles tróficos y consecuentemente en todo el ecosistema (Cloern y Jassby, 2010). Por lo tanto, ha sido incorporada como indicador en múltiples índices y modelos de eutrofización.

Las macroalgas además de su importancia biológica y ecológica, también han sido utilizadas como indicadoras de calidad ambiental (Diekmann, 2003), incluyendo procesos de eutrofización (Quan-Young et al. 2004). Algunas especies son reconocidas como indicadoras de contaminación por enriquecimiento de nutrientes provenientes de descargas urbanas y agrícolas (McGlathery, 2001; Kollmann y Fischer, 2003; Kennish et al. 2005). Los incrementos de biomasa de macroalgas son inducidos por enriquecimiento de nutrientes en estuarios someros, como en Bahía Waquoit (Valiela et al. 1992) donde se observó que los incrementos de nitrógeno de origen antropogénico aceleraron el crecimiento de las macroalgas. En el Golfo de California, Piñón-Gimate et al. (2008; 2012), observaron que la concentración de nutrientes en el agua, particularmente el fósforo, incide en el incremento de la biomasa de las macroalgas *Gracilaria vermiculophylla* y *Caulerpa sertularioides*.

Paez-Osuna et al. (2013) estudiaron el comportamiento de la clorofila *a* y la biomasa de macroalgas durante la estación de secas, lluvias y fría en lagunas costeras del SE del Golfo de California, donde las granjas camaroneras fueron la principal fuente puntual de nitrógeno y fósforo. Los resultados mostraron que la biomasa conjunta (fitoplancton + macroalgas) seguía la misma tendencia que los aportes de nutrientes que ingresan a las lagunas costeras.

Con base en lo expuesto, comprender el comportamiento de las biomásas de fitoplancton y macroalgas resulta de interés para detectar procesos de eutrofización en cuerpos de aguas costeros receptores de aguas residuales, con el propósito de tomar medidas de precaución ambiental para que las actividades humanas sean efectivamente sostenibles. En particular, en el caso de las lagunas costeras, además de su reconocida importancia ecológica y biológica, representan una fuente de ingresos de las poblaciones que se encuentren alrededor de estas. Bahía de Lobos recibe aguas residuales agrícolas y urbanas y se han observado cambios estacionales en su estado trófico, indicando procesos de eutrofización (Ruiz-Ruiz 2017). El presente trabajo pretende dar a conocer la influencia del vertimiento de aguas residuales en la laguna, mediante el análisis del comportamiento de la calidad del agua y las biomásas de fitoplancton y macroalgas.

Bahía de Lobos

Bahía de Lobos está ubicada en la costa oriental del Golfo de California en el Estado de Sonora (27° 18'-27° 21' N y 110° 26'-110° 36' O) tiene una superficie aproximada de 102 km² y una profundidad media de 1 m (Fig. 1). El clima es muy seco y extremo con una

temperatura ambiental media anual de 18–26 °C y oscilación térmica (diferencia de temperatura promedio entre el mes más cálido y el mes más frío) mayor a 14 °C (INEGI, 2000).

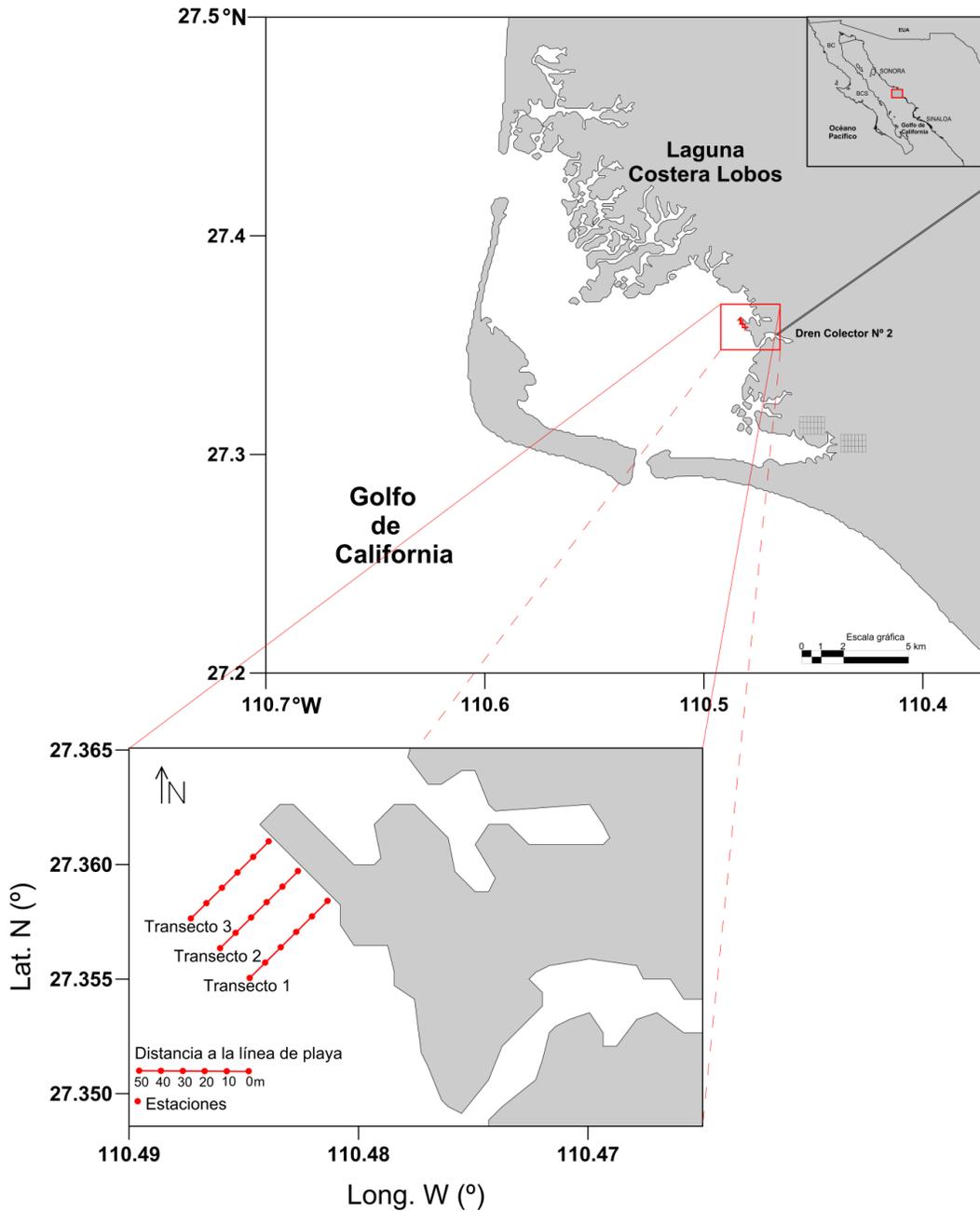


Figura 1. Localización de la laguna Lobos mostrando la ubicación de los transectos y estaciones de muestreo.

Esta laguna se caracteriza por: (1) tener comunicación permanente con el mar abierto a través de dos bocas (N: 2.4 km, S: 0.8 km de ancho), (2) circulación inducida por mareas mixtas semidiurnas con amplitud de 1 m, (3) estar influenciada por un patrón estacional de vientos que provienen del noroeste durante octubre-marzo con velocidades de 8-10 m s⁻¹ y del sureste durante junio-septiembre con velocidades de 2-10 m s⁻¹ (Badan-Dangon et al. 1991; Reyes y Lavín,1997), (4) ser un sistema bien mezclado verticalmente derivado de la influencia de mareas y vientos, (5) ser un sistema antiestuarino resultante de las condiciones ambientales áridas cálidas (rango de temperatura entre 16 y 48 °C), con una tasa anual de evaporación (2,100 mm) superior a la precipitación (320 mm) (Sánchez-Carrillo et al. 2009), (6) tener un origen de sedimentación terrígena diferencial derivada del prisma deltaico del Río Yaqui (Lankford, 1977) y (7) ser una laguna del tipo “restringida” de acuerdo con los criterios de Kjerfve y Magill (1989). Las lluvias (< 300 mm año⁻¹) de verano e invierno y sus escorrentías, así como el Dren Colector agrícola No. 2 proveniente del Valle del Yaqui, son las únicas fuentes de agua dulce.

Es un importante sitio desde el punto de vista de la conservación, debido a que forma parte de la lista RAMSAR de humedales prioritarios (<http://ramsar.conanp.gob.mx/lsr.php>). Isla Lobos es la barrera arenosa de esta laguna, donde se encuentra una “lobera” de *Zalophus californianus*, que da nombre a la bahía y a la isla (Arreola-Lizárraga, 1994) y funge como la principal zona de pesca del territorio de la etnia Yaqui (Arreola-Lizárraga, 1994). El poblado Bahía de Lobos tiene 2,879 habitantes, de los cuales el 40% son de la comunidad Yaqui y son los usufructuarios exclusivos de los recursos pesqueros de la laguna (INEGI, 2000).

La influencia antropogénica sobre la laguna se deriva fundamentalmente del aporte de aguas residuales del Dren Dolector No. 2 proveniente del Valle del Yaqui que aporta agroquímicos, metales pesados y nutrientes (Castillo, 2002). El gasto de agua anual promedio del dren colector es de $65 \text{ mm}^3 \text{ año}^{-1}$ y la estimación del aporte de nitrógeno es de $\sim 1,000 \text{ ton NT año}^{-1}$ (Valenzuela-Siu et al. 2007).

Metodología

Se estableció un sitio de muestreo en el dren colector (sitio previo a la descarga en la laguna), en el cual se tomaron muestras de 1 litro de agua superficial en botes de plástico en abril y junio, para determinar las concentraciones de nutrientes. Dentro de la laguna, en la zona de influencia del dren, se estableció una red de 18 sitios de muestreo localizados a lo largo de tres transectos, los muestreos se llevaron a cabo en abril, junio y octubre (Fig. 1). En cada sitio y con un equipo autónomo multisensor (Data Sonde; Hydrolab, Hach Hydromet, Loveland, CO, USA) se registraron *in situ*, la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto. Además, se recolectó manualmente una muestra de agua sub-superficial, con un recipiente de plástico con cierre hermético (1 L). Estas muestras fueron conservadas en hielo para su traslado al Laboratorio de Calidad del Agua del CIBNOR, campus Guaymas, para la determinación de nutrientes: nitrógeno inorgánico disuelto (NID; nitritos, nitratos y amonio), fósforo inorgánico disuelto (FID; ortofosfatos) y clorofila *a*, mediante las técnicas compiladas por Contreras-Espinosa (1984) y Strickland y Parsons (1972).

Se realizó previamente un muestreo prospectivo para detectar sitios de muestreo de macroalgas en función de la presencia de florecimientos (abundancia $>1 \text{ g m}^{-2}$) en la

laguna. Una vez detectados los sitios se ubicaron 3 transectos que fueron muestreados en abril, junio y octubre (Fig. 1) y se dispusieron seis puntos equidistantes a lo largo de cada uno de ellos, el primero ubicado al límite de la línea de costa y el último en la frontera del florecimiento, donde las macroalgas fueron recolectadas en cuatro cuadrantes (0.25 m^2) colocados al azar sin superponerse. El área muestreada fue de 6 m^2 por transecto. Un ejemplar de cada especie fue separado para llevar a cabo su identificación hasta el nivel taxonómico más bajo posible con apoyo de un especialista, la cual se realizó mediante la observación de la forma del talo, tipo de ramificaciones y cuando fue posible la observación al microscopio de las células. Para ello se utilizaron las claves dicotómicas y monografías disponibles para las costas del Pacífico oriental subtropical (Abbot y Hollenberg, 1976; Readdie et al. 2006; Aguilar-Rosas et al. 2007). Una vez identificadas, se tomó su peso húmedo con una balanza analítica y se secaron en un horno de secado a 90° C por 24 horas y se pesaron nuevamente hasta obtener peso seco constante y así poder calcular su peso seco y biomasa, el cual se expresa en g m^{-2} PS (peso seco).

Para determinar la existencia de diferencias significativas en los parámetros del agua entre las tres condiciones del año estudiadas (abril, junio y octubre) se realizó un análisis de varianza no paramétrico y se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis considerando una significancia de $p < 0.05$. Se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus 4.1, los resultados se presentan mediante gráficos de cajas y bigotes.

Calidad del agua

Dren colector

Las concentraciones de NID y FID fueron de 0.17 μM y 0.40 μM en abril y de 24.34 μM y 22.82 μM en junio, respectivamente. Las concentraciones fueron mayores en junio que en abril, a razón de $>20:1$, esta diferencia se atribuyó a que en abril no hubo aporte de aguas residuales y correspondió al agua que ingresa desde la laguna; en junio, sí hubo aporte de aguas residuales provenientes de fuentes urbanas. Esto implicaría que el aporte de nutrientes a la laguna por estas fuentes antropogénicas es variable a través del año.

Laguna Lobos

La temperatura del agua en la laguna presentó variabilidad estacional, con temperaturas de 25°C en abril, 29°C en junio y 18°C en octubre (Fig. 2a). La variabilidad de la temperatura del agua en la laguna coincidió con lo observado en estudios previos (Valenzuela-Siu et al. 2007; Ruiz-Ruiz, 2017) y se atribuyó a la influencia de la temperatura del aire que en esta región árida tiene oscilaciones anuales $>14^\circ\text{C}$ (García 1988), así como a las masas de agua del mar adyacente caracterizadas por valores de temperatura superficial de 26°C en verano y de 17°C en invierno (Roden y Emilsson, 1980).

La salinidad varió entre 33 y 41 ups, siendo mayor ($p<0.05$) en abril (39) con respecto a octubre (36 ups) (Fig. 2b). Los valores promedio de salinidad correspondieron a un cuerpo de agua eurihalino, condición característica de lagunas costeras de Sonora como

Las Guásimas, Lobos, Yavaros, Tóbari, La Cruz y Guaymas (Ochoa-Araiza, 1979; Valdés-Holguín, 1994; Valenzuela-Díaz, 2008; León-López, 2012).

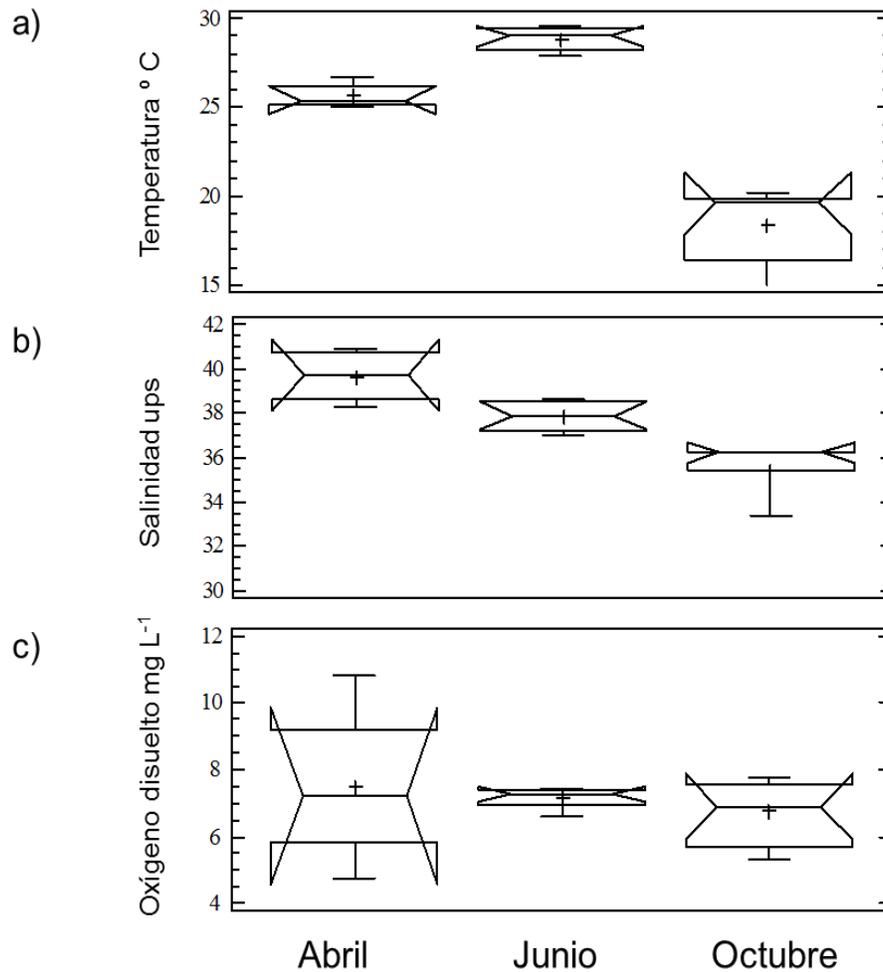


Figura 2. Variabilidad estacional de la temperatura (a), salinidad (b) y oxígeno disuelto (c) en la laguna Lobos.

El oxígeno disuelto tuvo un valor promedio de 5 mg L⁻¹, sin variaciones notables en junio y con un intervalo de 5–11 mg L⁻¹ en abril y de 5–8 mg L⁻¹ en octubre (Fig. 2c). En general, los niveles de oxígeno disuelto >5 mg L⁻¹ que prevalecieron en la laguna se explicaron por el buen intercambio de agua de la bahía con el mar adyacente, indicado por tasas de renovación del volumen de agua de la bahía <14 días (Ruiz-Ruiz, 2017) y a

la influencia del patrón estacional de vientos que favorecen el intercambio gaseoso con la atmósfera (Lavín et al. 1997).

El NID mostró variabilidad estacional, con valores medios $<1 \mu\text{M}$ en abril, $10 \mu\text{M}$ en junio y $3.5 \mu\text{M}$ en octubre. En junio se observó mayor variación, con un intervalo de $1\text{--}25 \mu\text{M}$. (Fig. 3a). De igual forma, el FID presentó variabilidad estacional, con valores medios más altos ($p<0.05$) en junio ($3 \mu\text{M}$) con respecto a abril y octubre ($< 1 \mu\text{M}$) (Fig. 3b).

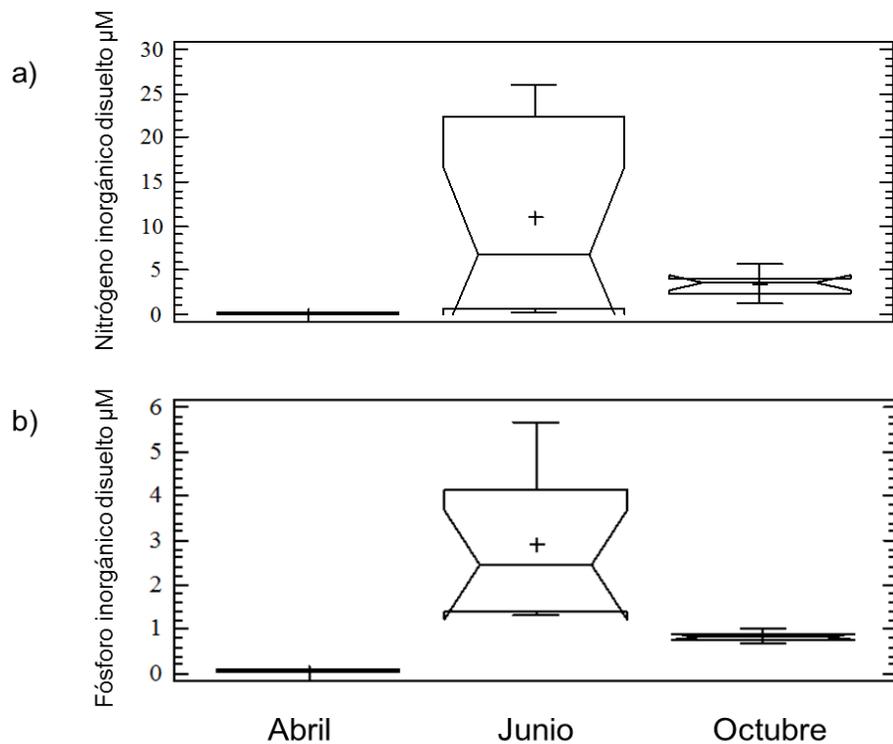


Figura 3. Comportamiento de las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (a) y fósforo inorgánico disuelto (b) en la laguna Lobos.

La relación N:P fue más baja en abril con un promedio de 1.3, incrementándose en junio (2.7) y octubre (4) (Fig. 4). La relación N:P indicó que la laguna estuvo limitada por nitrógeno durante todo el tiempo de muestreo.

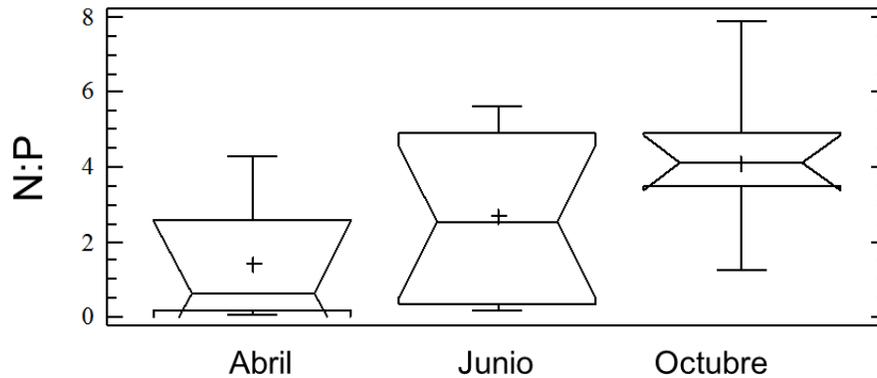


Figura 4. Comportamiento de la razón N:P en la laguna Lobos.

En este estudio, las fuentes de nutrientes en primavera (abril) y otoño se atribuyeron al reciclaje interno y al ingreso de agua desde el mar adyacente. Sobre todo, en otoño se atribuyó a la ocurrencia de surgencias costeras estacionales, éstas son generadas por vientos a lo largo de la costa este del Golfo de California (Lluch-Cota, 2000), las cuales representan una fuente de nutrientes debido al buen intercambio de agua entre laguna y mar; tal como ha sido observado por Ruiz-Ruiz et al. (2017) en esta laguna. Durante el verano (junio) las fuentes de nutrientes fueron las aguas residuales urbanas vertidas a través del dren, además del reciclaje interno, como ha sido observado por Gilmartin y Revelante (1978) y las ocasionales escorrentías derivadas de lluvias. En este estudio previo al muestreo de junio no hubo eventos de lluvias.

La magnitud de los aportes de nutrientes por dichas fuentes cambió a través del año y las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos en el dren de aguas residuales fueron consistentes con lo observado en la zona de influencia de descarga de las mismas. Las mayores concentraciones de nutrientes en el verano fueron debidas al mayor aporte de aguas residuales urbanas, esto se debió a que en esta región semiárida subtropical el uso del agua por las actividades humanas se intensifica en el verano debido a las altas temperaturas ambientales ($>35^{\circ}\text{C}$). Las menores concentraciones se observaron en abril porque los aportes antropogénicos de nutrientes fueron escasos.

Clorofila *a*

Las concentraciones de clorofila *a* presentaron cierta variabilidad estacional, con un valor medio en abril de 9 mg m^{-3} , 17 mg m^{-3} en junio y 3 mg m^{-3} en octubre. Los valores máximos se observaron en junio (Fig.5).

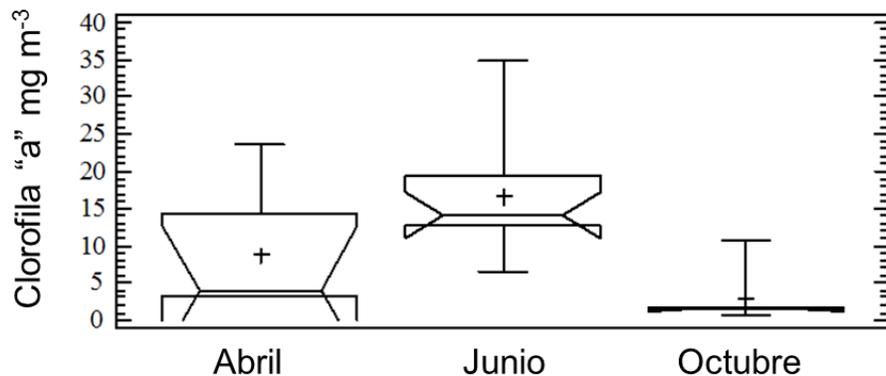


Figura 5. Comportamiento de las concentraciones de clorofila *a* en la laguna Bahía de Lobos.

En verano (junio) se presentaron las mayores concentraciones de clorofila *a*, asociadas a la temperatura del agua más alta ($\sim 30^{\circ}\text{C}$), una mayor concentración de nutrientes y con

una razón N:P de 1.3. Esto también fue observado previamente por Ruiz-Ruiz (2017) en la zona de influencia del dren. En otoño (octubre) se observaron las concentraciones más bajas de clorofila *a*, asociadas a la temperatura del agua más baja (~18°C), una menor concentración de nutrientes que en verano, y con una razón N:P de 4. En otras lagunas del SE del Golfo de California que reciben aportes de nutrientes por efluentes de granjas de camarón, se observó que dependiendo de la estación, la biomasa del fitoplancton oscilaba de entre 40 y 792 mg m⁻² (Paez-Osuna et al. 2013). Un incremento en la biomasa fitoplanctónica puede generar efectos adversos inmediatos, incluso pueden llegar a ser tóxicos dependiendo de las especies que lo conformen (Valiela et al. 1997).

Macroalgas

La composición de la comunidad de macroalgas cambió a través de año. Patrones estacionales que muestran una correlación inversa entre temperatura y diversidad ha sido previamente reportada en varios sitios del Golfo de California (Mendoza-González y Mateo-Cid, 1986; Mateo-Cid et al. 2006; Ayala-Galaz, 2012; Piñón-Gimate et al. 2012). En Bahía de Lobos la mayor diversidad se observó en primavera y la mayor abundancia en otoño, este patrón se debió a que en primavera se tuvieron las temperaturas más bajas en el agua y fue cuando se presentó la mayor diversidad de especies.

Se registraron el número total de especies, 11 especies de macroalgas se encontraron en abril, siendo las especies *Codium amplexiculatum* (150 g m⁻² PS) y *Ulva lactuca* (30 g m⁻² PS) las que aportaron >90% de la biomasa. El resto de las especies tuvieron valores <10 g m⁻² PS (Fig.6). En junio se registraron cuatro especies, siendo *Gracilaria*

lemaniformis la que aportó mayor biomasa con 3.5 g m⁻² PS (Fig.6). En el verano se presentaron las mayores concentraciones de clorofila *a*. En octubre se registraron dos especies de macroalgas y se observó la mayor biomasa aportada por *Gracilaria lemaneiformis* (20,000 g m⁻² ps) y *Ulva lactuca* (~5,000 g ps m⁻²) (Fig.6). En esta estación (otoño) se observaron las concentraciones más bajas de clorofila *a*.

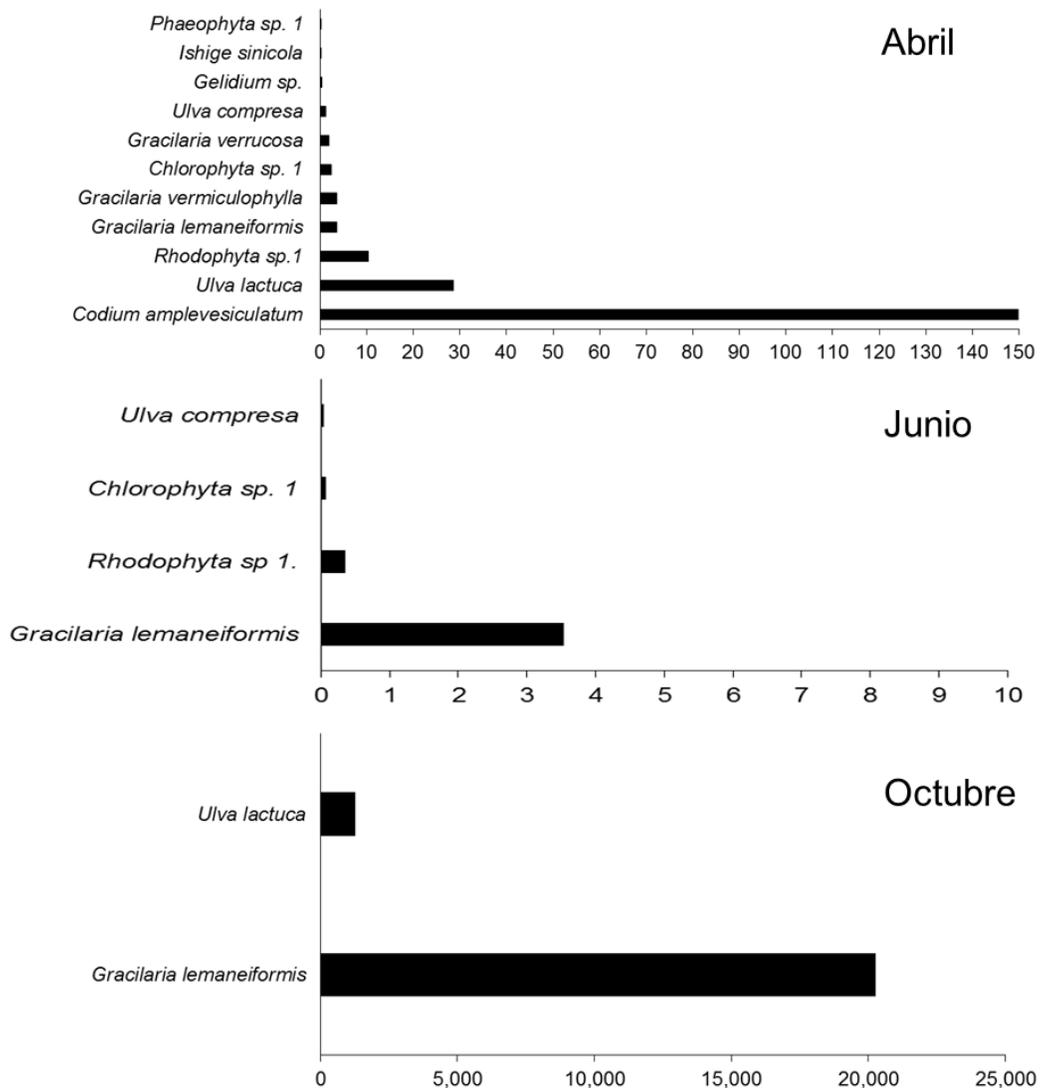


Figura 6. Composición y biomasa de las especies de macroalgas observadas en abril, junio y octubre en la laguna Bahía de Lobos.

Las macroalgas son componentes naturales de aguas marinas poco profundas y de comunidades de sedimento blando de transición (Abbott y Hollenberg, 1976). Su crecimiento está relacionado con los cambios estacionales en la luz, temperatura, salinidad y nutrientes (Fong y Zedler, 1993; Kentula y DeWitt, 2003).

De acuerdo con Mendoza-González et al. (1994) en esta región semiárida, los días más largos y cálidos se presentan en primavera y verano cuando aumenta la disponibilidad de luz solar. En este estudio se observó la mayor riqueza de especies de macroalgas en los meses de abril y junio, pero el mayor aporte de biomasa se observó en octubre, lo cual se atribuyó principalmente a la variabilidad estacional de la temperatura del agua que incide directamente en la variación estacional de las algas marinas (Santelices, 1977). Se ha observado que los florecimientos macroalgales en aguas templadas y relativamente ricas en nutrientes, son caracterizados por un crecimiento extraordinario de biomasa y dominancia de un pequeño grupo de taxa de macroalgas (Valiela et al. 1997), con frecuencia de especies de algas verdes efímeras (Lotze y Schramm, 2000) y algunas veces algas rojas del género *Gracilaria* (McGlathery, 2001). Lo anterior coincide con lo observado en la laguna Bahía de Lobos durante octubre donde ocurrió un incremento extraordinario de biomasa aportado por el alga roja *Gracilaria lemaneiformis* y el alga verde *Ulva lactuca*. Las tendencias del enriquecimiento por nutrientes han estimulado el crecimiento de especies de algas oportunistas (Krause-Jensen et al. 2007), las cuales están incrementando su abundancia y frecuencia en todo el mundo (Valiela et al. 1997; Lapointe et al. 2005; Krause-Jensen et al. 2007); contrario a un *bloom* fitoplanctónico, los florecimientos macroalgales no tienen efectos directos inmediatos.

La baja salinidad del agua, las pendientes ligeras y mareas ligeras generalmente da una ventaja a las algas verdes oportunistas, por el contrario, la existencia de un área con anoxia que atrapa los nutrientes y da lugar a las transformaciones bioquímicas, variabilidad de temperatura y turbidez alta son condiciones desfavorables (Morand y Merceron, 2005). En Lobos, en la zona de descarga del dren, a través del año se manifiestan condiciones tanto favorables como desfavorables y eso parece explicar la presencia y variabilidad de la biomasa del alga verde *Ulva lactuca*.

El género *Ulva* mantienen una elevada tasa de crecimiento cuando la disponibilidad de nutrientes es alta (Geertz-Hansen et al. 1993; Steffesen, 1976; Wallentinus, 1984) por lo que se le relaciona con la eutrofización. Un florecimiento de *Ulva lactuca* puede ser considerado dañino para un ecosistema costero debido a los procesos que conlleva una elevada biomasa de macroalgas ya que cuando esta senescente puede crear un ambiente hipóxico que puede desplazar a otras poblaciones del bentos, también tiene efectos como despedir malos olores y causar una mala imagen. En Lobos se observaron biomásas considerables de esta especie en dos de los tres muestreos realizados y la presencia de *Ulva compressa* en el muestreo restante. La presencia de *Ulva* en todos los muestreos realizados puede atribuirse a que estas algas son consideradas organismos oportunistas, capaces de una rápida colonización y crecimiento debido a su frecuencia y velocidad de reproducción cuando las condiciones son favorables y a su capacidad para absorber los nutrientes disponibles en el medio (Steffensen, 1976). En particular, en áreas costeras prístinas enriquecidas naturalmente con nutrientes del noroeste del Golfo de California, *Ulva* spp. tuvo picos de biomasa de 266 g m⁻² PS (Pacheco-Ruíz et al. 2002).

En abril, fue notable la presencia y biomasa de *Codium amplevesiculatum*, y esto sugiere que durante este periodo del año tiene condiciones de temperatura adecuadas para su crecimiento y desarrollo. Las especies del género *Codium* se encuentran comúnmente en zonas costeras y en la década de los 90's se reportaron como conocidas especies invasoras, capaces de colonizar extensas áreas. Su presencia y abundancia se relacionó con enriquecimiento de nutrientes de tipo antropogénico (Lapointe et al. 2005). Probablemente, este florecimiento que se encontró también esté relacionado con la concentración de nutrientes presentes en la columna de agua. Durante todos los muestreos se observaron especies de algas rojas (Rhodophyta), las cuales pueden llegar a ser más capaces de sobrevivir en el medio acuático debido a su pigmentación, ya que pueden tolerar y adaptarse a vivir en condiciones de poca luz, como el caso del género *Gracilaria*, característica de ambientes tropicales y templadas, con amplia distribución (Abbott y Hollenberg, 1976) y que es el alga roja más implicada en las proliferaciones excesivas (Morand y Merceron, 2005; Thornber et al. 2017).

En estudios como el de Chang-Lian et al. (2007) y Chang-Pen et al. (2013) donde estudian los florecimientos de *Gracilaria* en aguas con descargas de nitrógeno y fósforo reportan que debido a su alta tolerancia de adaptación hacia estos nutrientes se ven favorecidas y por lo tanto se manifiestan con un exceso en su población. Esto pudiera explicar la presencia de *Gracilaria lemaneiformis* en todos los muestreos realizados. Aunque la información acerca de los efectos de *Gracilaria lemaneiformis* en particular en los procesos de eutrofización es muy escasa, sus características son similares a las algas rojas del mismo género por lo que su respuesta a las condiciones del medio fue similar a

la reportada. Su alta tolerancia y adaptación a grandes aportes de nutrientes y poca disponibilidad de luz le permiten sobrevivir a las condiciones de turbidez que imperan en la laguna Bahía de Lobos que es promovida por la acción del viento que resuspende el sedimento lo cual es común todo el año (Ruíz-Ruíz, 2017).

La información disponible sobre diversidad y abundancia de macroalgas en Sonora es limitada (Ayala-Galaz 2012) y no existen monitoreos constantes de las comunidades de macroalgas, por lo que es necesario mayor esfuerzo de muestreo y la generación de series largas de tiempo en las lagunas de Sonora, para tener mayor conocimiento acerca de la dinámica poblacional de estos productores primarios (Ruiz-Ruiz, 2017).

Comportamiento del fitoplancton y macroalgas

En Bahía de Lobos, las temperaturas elevadas del agua y el enriquecimiento de nutrientes atribuido a las aguas residuales urbanas en verano favorecieron el incremento de biomasa de fitoplancton, pero la temperatura alta limitó el incremento de biomasa de macroalgas, por el contrario, la moderada concentración de nutrientes y bajas temperaturas en otoño favoreció el incremento de biomasa de macroalgas y limitó el incremento de la biomasa de fitoplancton.

La temperatura y los nutrientes juegan un papel importante en los florecimientos de macroalgas y fitoplancton debido a que dependiendo de la estación del año y la descarga de nutrientes éstas se manifestarán de distintas maneras. Un modelo conceptual propuesto por McGlathery et al. (2007), para cuerpos de agua costeros someros, expone que

dependiendo de la cantidad de descarga de nutrientes y la tasa de renovación del agua se puede manifestar una dominancia de macroalgas o de fitoplancton. A una tasa de renovación del agua corta las macroalgas muestran una dominancia en competencia con el fitoplancton, el cual muestra dominancia cuando la tasa de renovación del agua es larga. En el caso de la laguna Bahía de Lobos la tasa de renovación del agua es en corto tiempo (<14 días; Ruiz-Ruiz, 2017), y su concentración de nutrientes es moderada, por lo tanto se debiera favorecer la dominancia de macroalgas, pero esto fue observado exclusivamente en otoño. De tal forma que la temperatura del agua es una variable clave que controla la biomasa de macroalgas. Cabe mencionar que este estudio se llevó a cabo en la zona de influencia de las aguas residuales del dren colector por lo tanto los resultados están delimitados sólo a dicha área. Sin embargo, los resultados obtenidos se ajustan a lo observado para otras lagunas costeras.

Conclusiones

El aporte de nutrientes a la laguna Lobos por las aguas residuales del colector No. 2 del Valle del Yaqui varió a través del año, siendo mayor en junio. Las concentraciones de NID y FID fueron mayores en junio y octubre.

La biomasa de fitoplancton expresada a través las concentraciones de clorofila *a* tuvo valores promedio de 9 mg m⁻³ en abril, 17 mg m⁻³ en junio y 3 mg m⁻³ en octubre. El valor máximo observado fue en junio.

La composición de la comunidad de macroalgas varió durante el año. La mayor biomasa fue aportada por *Codium amplexiculatum* (150 g ps m⁻²) y *Ulva lactuca* (30 g peso seco

m⁻²) en abril; *Gracilaria lemaneiformis* (3.5 g ps m⁻².) en junio y *G. lemaneiformis* (20,000 g ps m⁻²) y *U. lactuca* (~5,000 g ps m⁻²) en octubre. Las condiciones de aporte de nutrientes y temperatura del agua en la laguna Bahía de Lobos favorecieron el incremento de biomasa de fitoplancton en verano y de macroalgas en otoño.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, al M. en C. Christian Neyoy Siari. Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, a la M. en C. María Sara Burrola Sánchez, M. en C. Edgar Alcántara Razo, Ing. Andrés Hernández Ibarra, Geol. Mar. Gustavo Padilla Arredondo, M. en C. Josué Valenzuela Díaz y M. en C. María del Refugio López Tapia.

Literatura citada

- Abbott, I. A., Hollenberg, G. 1976. Marine Algae of California Stanford CA. Stanford University Press. 827 pp
- Arreola-Lizárraga, J. A. 1994. Bahía de Lobos Sonora un ecosistema costero candidato para el sistema de áreas naturales protegidas de México. *Ecológica* 3:19–24
- Ayala-Galaz, J. M. 2012. Estudio comparativo de la biomasa de macroalgas en varias localidades de la costa central del Estado de Sonora. Tesis de licenciatura, Universidad de Sonora Hermosillo, Sonora, México, 77 p
- Badan-Dangon, A., Koblinsky, C. J., Baumgartner, T. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: Observations of surface thermal patterns. *Oceanológica Acta* 8:13–22

- Boyer, J. N., Kelbe, C. R., Ortner, P. B., Rudnick, D. T. 2009. Phytoplankton bloom status: Chlorophil *a* biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of FloridaUSA. *Ecological Indicators*9: 56–67
- Castillo, L. G. 2012. Estimación de la contaminación por nitrógeno derivada de actividad humana en las aguas superficiales y subterráneas del Valle del YaquiSonora. Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, 67 p
- Chang-Lian, P., Xue, W., Zhi-Fang, L., Hou-Cheng, Z., Shao-Wei, C., Gui-Zhu, L. 2007. Response of *Gracilaria lemaneiformis* to Nitrogen and Phosphorus eutrophic seawater. *Chinese Journal of Plant Ecology*31:505–512
- Chang-Pen, Y., Meng-Cheng, Z., Jian-Gang, Z., Yu-Feng, Y., Ya, Z. 2013. Photosyntetic response of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rodophyta) to various N and P levels at different temperatures. *International Review of Hidrobiology*98:245–252
- Cloern, J. E., Jassby, A. D. 2010. Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems. *Estuaries and Coasts*33:230–241
- Contreras-Espinosa, Castañeda-López, F. O., García-Nagaya, A. 1994. La clorofila a como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y LimnologíaUNAM*21:55–66
- Diekmann, M. 2003. Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review. *Basic and Applied Ecology*4:493–506
- Fong, P., Zedler, J. B. 1993. Temperature and light effects on the seasonal succession of algal communities in shallowcoastal lagoons. *Journal of Experiments in Marine Biology and Ecology*171:259–272

- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México D.F. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 pp
- Geers-Hansen, O., Sand-Jensen, K., Hansen, D. F., Christiansen, A. 1993. Growth and grazing control of abundance of the marine macroalga *Ulva lactuca* in a eutrophic estuary. *Aquatic Botany* 46:101–109
- Gilmartin, M., Revelante, N. 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Estuarine and Coastal Marine Science* 7:29–47
- INEGI 2000. Síntesis de información Geográfica del Estado de Sonora. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. 88 pp
- Kennish, M. J., Haag, S. M., Sakowicz, G. P. 2005. Submersed aquatic vegetation: tier 2 monitoring in the Jacques Cousteau National Estuarine Research Reserve. Technical Report National Estuarine Research Reserve System. Silver Spring, Maryland, USA
- Kentula, M. E., De Witt, T. H., (2003). Abundance of seagrass (*Zostera marina* L.) and macroalgae in relation to the salinity temperature gradient in Yaquina Bay Oregon USA. *Estuaries* 26:1130–1141
- Kjerfve, B., Magill, K. E. 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology* 88:187–199
- Kollmann, J., Fischer, A. 2003. Vegetation as indicator for habitat quality. *Basic and Applied Ecology* 4:489–491
- Krause-Jensen, D., Middelboe, A. L., Carstensen, J., Dahl, K. 2007. Spatial patterns of macroalgal abundance in relation to eutrophication. *Marine Biology* 152:25–36

- Lankford, R. R. (1977). Coastal lagoon of Mexico, their origin and classification En: Wiley M (eds) Estuarine process. Academic Press Inc. New York. Pp 182—215
- Lapointe, B., Barile, P. J, Littler, M. M, Littler, D. 2005. Macroalgal blooms in Southeast Florida coral reefs II Cross shelf discrimination of nitrogen sources indicates widespread assimilation of sewage nitrogen. *Harmful Algae* 4:1106—1122
- Lavín, M. F., Beier, E., Badán, A. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual. En: LavínM F. (eds). Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No3. Unión Geofísica Mexicana.pp141—171
- León-López, C. E. 2012. Variabilidad estacional e interanual de los parámetros fisicoquímicos del agua en la Bahía de Guaymas Sonora México. Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, 53 p
- Lluch-Cota, S. 2000. Coastal upwelling in the eastern Gulf of California. *Oceanologica Acta* 23:731—740
- Lotze, H. K., Schramm, W. 2000. Ecophysiological traits explain species dominance patterns in macroalgal blooms. *Journal of Phycology* 36:287—295
- Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, A. C., Galicia García, C., Huerta Múzquiz, L. 2000. Contribución al estudio de las algas marinas bentónicas de Punta Arena y Cabo Pulmo Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana*. Octubre:55—73
- McGlathery, K. J. 2001. Macroalgal blooms contribute to the decline of seagrass in nutrient-enriched coastal waters. *Journal of Phycology*37:453—456
- McGlathery, K. J., Sundbäck, K., Anderson, I. C. 2007. Eutrophication in shallow coastal bays and lagoons: the role of plants in the coastal filter. *Marine Ecology Progress Series* 348:1—18

- McLaughlin, K., Sutula, M., Busse, L., Anderson, S., Crooks, J., Dagit, R., Gibson, D., Johnston, K., Stratton, L. 2014. A regional survey of the extent and magnitude of eutrophication in mediterranean estuaries of southern California USA. *Estuaries and Coasts* 37:259–278
- Mendoza-González, A. C., Mateo-Cid, L. E., Huerta-Musquiz, L. 1994. Algas marinas bentónicas de Mazatlán, Sinaloa, México. *Acta Botánica Mexicana* 27:9–115
- Mendoza-González, A. C., Mateo-Cid, L. E. 1986. Flora marina bentónica de la costa Noroeste del Estado de Sonora, México. *Phytologia* 60:414–427
- Morand, P., Merceron, M. 2005. Macroalgal population and sustainability. *Journal of Coastal Research* 21:1009–1020
- Nixon, S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes and future concerns. *Ophelia* 41:199–219
- Ochoa-Araiza, G. 1979. Distribución superficial de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH en cuatro bahías del Estado de Sonora, México durante un ciclo anual. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México, 68 p.
- Ochoa-Izaguirre, M. J., Rosas, R. A, Aguilar-Rosas, L. E., 2007. Catálogo de Macroalgas de las Lagunas Costeras de Sinaloa Mazatlán Sinaloa. 1ra edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. 117 pp
- Pacheco-Ruiz, I., Zertuche-González, J. A, Chee-Barragán, A., Arroyo-Ortega, E. 2002. Biomass and potential commercial utilization of *Ulva lactuca* (Chlorophyta Ulvaceae) beds along the North-West coast of the Gulf of California. *Phycologia* 41:199–201

- Páez-Osuna, F., Piñón-Gimate, A., Ochoa-Izaguirre, M. J., Ruiz-Fernández, A. C., Ramírez-Reséndiz, G., Alonso-Rodríguez, R. 2013. Dominance patterns in macroalgal and phytoplankton biomass under different nutrient loads in subtropical coastal lagoons of the SE Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 77:274–281
- Parson, T. R., Maitia, Y., Lalli, C. M. 1984. A manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Pergamonn Press. Oxford
- Piñón-Gimate, A., Páez-Osuna, F., Serviere-Zaragoza, A., Casas-Valdez, M. 2012. Macroalgal blooms in coastal lagoons of the Gulf of California eco-region: a summary of current knowledge. *Botanica Marina* 55:129–142
- Piñón-Gimate, A., Serviere-Zaragoza, E., Ochoa-Izaguirre, M. J., Páez-Osuna, F. (2008). Species composition and seasonal changes in macroalgal blooms in lagoons along the southeastern Gulf of California. *Botanica Marina* 51:112–123
- Quan-Young, L. I., Díaz-Martín, M. A., Espinoza-Avalos, J. 2004. Floristics cover and phenology of marine macroalgae from Bajo Pepito - Isla Mujeres, Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 75:11–25
- Readdie, M. D., Ranelletti, M., McCourt, R. M. 2006. Common seaweeds of the Gulf of California Sea. *Challengers Universidad de California*. 104 pp
- Reyes, H. C., Lavín, M. F. 1997. Effects of the autumn-winter meteorology upon the surface heat loss in the Northern Gulf of California. *Atmósfera* 10:101–123
- Roden, G.I., Emilsson, I. 1980. *Oceanografía física del Golfo de California*. Centro de Ciencias del Mar y Limnología UNAM. Contribución No. 90. 67 pp
- Ruiz-Ruiz, T. M., Arreola-Lizárraga, J. A., Morquecho, L., Mendoza-Salgado R. A., Martínez-López, A., Méndez-Rodríguez, L. C., Enríquez-Flores, J. 2016. Assessment of

eutrophication in a subtropical lagoon in the Gulf of California. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 19:382–392

Ruiz-Ruiz, T. M., Arreola-Lizárraga, J. A., Morquecho, L., Méndez-Rodríguez, L. C., Martínez-López, A., Mendoza-Salgado, R. A. 2017. Detecting eutrophication symptoms by means of three methods in a subtropical semi-arid coastal lagoon. *Wetlands*. doi 10.1007/s13157-017-0944-y

Sánchez-Carrillo, S., Sánchez-Andrés, R., Alatorre, L. C., Angeler, D. G., Álvarez-Cobelas, M., Arreola-Lizárraga, J. A. 2009. Nutrient fluxes in a semi-arid microtidal mangrove wetland in the Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 82:654–662

Santelices, B. 1977. *Ecología de las algas marinas bentónicas*. Santiago de Chile. Universidad Católica de Chile. 384 pp

Smith, V. H., Tilman, G. D., Nekola, J. C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100: 179–196

Steffensen, D. A. 1976. Morphological variation of *Ulva lactuca* in the Avon- Heathcote Estuary Christchurch NZJ. *Marine and Freshwater Research* 10:329–341

Strickland, J. D., Parsons, T. R. 1965. *A manual of sea water analysis*. Bull Fisheries Research Board of Canada. No 125. 2da edición. Ottawa, Canadá. 203 pp

Thornber, C. S., Guidone, M., Deacutis, C., Green, L., Ramsay, C. N., Palmisciano, M. 2017. Spatial and temporal variability in macroalgal blooms in a eutrophied coastal estuary. *Harmful Algae*, 68, 82-96.

- Valdez-Holguín, J. E. 1994. Variaciones diarias de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila "a" en una laguna hipersalina del Golfo de California. *Ciencias Marinas* 20:123—137
- Valenzuela-Díaz, J. 2008. Variabilidad ambiental de una laguna costera semiárida subtropical: Las Guásimas, Sonora, México. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Bacum, Sonora, México, 35 p
- Valenzuela-Siu, M., Arreola-Lizárraga, J. A., Sánchez-Carrillo, S., Padilla Arredondo, G. 2007. Flujos de nutrientes y metabolismo neto de la laguna costera Lobos, México. *Hidrobiológica*. 17:193—208
- Valiela, I., Foreman, K., LaMontagne, M., Hersh, D., Costa, J., Peckol, P., De Meo-Anderson, B., D'Avanzo, C., Babione, M., Sham, C., Brawley, J., Lajtha K. 1992. Couplings of watersheds and coastal waters: sources and consequences of nutrient enrichment in Waquoit Bay, Massachusetts. *Estuaries* 15:433—457
- Valiela, I., McClelland, J., Hauxwell, J., Behr, P., Hersh, D., Foreman, K. 1997. Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography* 42:1105—1118
- Vollenweider, R. A. 1992. Coastal marine eutrophication: principles and control En: Vollenweider, R. A., Marchetti, R., Viviani, R. (Eds). *Marine coastal eutrophication. Proceedings of an International Conference, Bologna, Italy. 21-24 March. 1990-1992.* Elsevier Science. Primera edición. U S A. pp 1310
- Wallentinus, I. (1984). Comparisons of nutrient uptake rates for Baltic macroalgae with different thallus morphologies. *Marine Biology*. 80: 15—225

3.2 Sistemas alternativos para el tratamiento de aguas residuales en Comunidades Yaquis

Jaqueline García Hernández¹, Fabiola Bejarano Rebolledo¹, Juan Gabriel García Maldonado², German Leyva García¹ y Daniela Aguilera Márquez¹

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Carretera al Varadero Nacional Km 6.6 Guaymas, Sonora, México, C.P. 85480. Tel (622) 2252828.

²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Subcoordinación de Hidráulica Ambiental e Hidrometría. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550, Tel (777) 3293600

Email: jaqueline@ciad.mx

Resumen

Los servicios municipales de drenaje y alcantarillado de las comunidades Yaquis del sur de Sonora son en general muy deficientes o inexistentes, esto genera condiciones de insalubridad y contaminación ambiental. Por lo tanto, se propone la instalación de un sistema de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en la comunidad Yaqui de Vícam, Sonora. Nuestros resultados indican que las descargas de Vícam tienen un caudal de 12 l/s, con altas concentraciones de materia orgánica, nutrientes y carga bacteriana, excediendo la NOM-001-SEMARNAT-1996 que

especifica los límites máximos permisibles para contaminantes básicos de descargas a estuarios. Por lo tanto, para el tratamiento de estas descargas se requerirá de un humedal construido de 3 ha con un tiempo de retención hidráulica de 7 días, un costo estimado de inversión de 18 millones de pesos y de mantenimiento de 140 mil pesos anuales. Este sistema de tratamiento garantizará que la calidad del agua de descarga cumpla con la NOM-001.

Introducción

La etnia Yaqui es un pueblo originario del noroeste de México que ha luchado históricamente por recuperar sus derechos territoriales y del agua. Después de años, estos derechos fueron reconocidos por el presidente Lázaro Cárdenas y publicados en el Diario Oficial de la Federación del 22 de octubre de 1940 y el 16 de diciembre de 1955 en donde se les otorga un territorio con los derechos al agua para el cultivo de sus tierras (Moreno Vázquez, 2014). Sin embargo, los intereses privados y comerciales no han permitido que los acuerdos estipulados en el DOF se cumplan en su totalidad. El pueblo Yaqui ha recuperado su territorio y de alguna manera ha podido conservar su identidad, pero no se les han otorgado los derechos del agua tal como se estipula en el DOF de 1940. Esto ha ocasionado, por ejemplo, que, de un área de 40,000 hectáreas con potencial de cultivo, solamente se puedan cultivar alrededor de 20,000 hectáreas, principalmente por falta de infraestructura de riego; además el distrito de riego correspondiente no ha podido pasar a manos de los pueblos Yaquis, por falta de reconocimiento oficial de esta comunidad ante la CONAGUA. Recientemente con el paso del acueducto Independencia por su territorio,

estas deficiencias en el cumplimiento de acuerdos se hicieron más evidentes y las comunidades Yaquis están demandando una solución inmediata a este conflicto histórico. En el presente capítulo, se explorará la posibilidad de tratar el agua residual doméstica generada en las comunidades Yaquis, utilizando tecnologías amigables con el medio ambiente, como son los “humedales construidos” (ver cuadro sinóptico), para evitar la contaminación de los drenes agrícolas y esteros en los que descargan y para poder reutilizar el agua residual tratada para riego de cultivos.

Desarrollo del tema

En México únicamente el 50.2% del total de agua residual colectada en los sistemas de alcantarillado es tratada. Los sistemas de tratamiento utilizados son de lodos activados (57.3%) seguidos por lagunas de estabilización (13.43%), primario avanzado (4.21%), lagunas aireadas (6.93%), filtros biológicos (5.16%), dual (5.43%) y otros (7.52%) (CONAGUA, 2014). En Sonora se tienen 82 plantas municipales de tratamiento de aguas residuales con un caudal tratado de 3,651 l/s, lo que equivale a un 34.6% del agua residual generada y una cobertura de tratamiento del 38.6%. La mayoría de las plantas de tratamiento son lagunas de estabilización (70), seguido por lodos activados (7), lagunas aireadas (3), tanque séptico (1), humedal (1) (CONAGUA, 2014). Por lo tanto, existen grandes deficiencias en el tratamiento de agua residual en el estado ya que la mayoría de las localidades tienen un tratamiento primario de sus aguas residuales, o ningún tratamiento.

Las poblaciones asentadas a lo largo del río Yaqui como BÁCUM, TÓRIM, RAHUM, HUÍRIVIS y PITAHAYA, no cuentan con sistemas de alcantarillado o drenaje. Únicamente las poblaciones de PÓTAM y VÍCAM, cuentan con sistema de drenaje, y solamente el de VÍCAM está funcionando. El agua que se colecta en este sistema se libera en drenes agrícolas que termina en el estero Río Muerto. El presente trabajo ofrece una propuesta del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando la tecnología de humedales construidos para la comunidad de VÍCAM. Así como una comparación entre este tipo de sistemas y los sistemas convencionales (lagunas de estabilización) con respecto a requerimientos económicos y eficiencias de remoción.

CUADRO SINÓPTICO

Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales domésticas o industriales se pueden tratar bajo tres tipos de sistemas principales (Artiola, 1996):

1. *Tratamiento primario*: separación de sólidos de líquidos, involucran más que nada procesos físicos.
2. *Tratamiento secundario*: es la oxidación biológica de los constituyentes orgánicos solubles a CO₂ y biomasa microbiana, resultando en la producción de lodos, mediante procesos biológicos.
3. *Tratamiento terciario*: estabilización química del agua residual para su reutilización o descarga en aguas nacionales, utilizando procesos avanzados.

Los sistemas más comunes de tratamiento en México son las *plantas de lodos activados* (Fig. 1) y *lagunas de estabilización* (Fig. 2)



Fig. 1. Planta de tratamiento de Lodos activados localizada en Quetchehueca al sur de Cd. Obregon, Sonora.



Fig. 2. Lagunas de estabilización, Guaymas, Sonora. Se observa la pluma de descarga en el mar.

Una tecnología alternativa de tratamiento de aguas residuales, son los *humedales construidos*. Estos sistemas son poco usados en México ya que en 2013 representaban tan sólo el 8.4% en los tipos de procesos utilizados en plantas de tratamiento municipales a nivel nacional (CONAGUA, 2014). Desde que en 1950 Käthe Seidel comenzara a realizar en Alemania experimentos para tratar aguas residuales con plantas y lo llamara “método hidrobotánico”, estos sistemas han evolucionado y tomado diferentes nombres. En 1996 Kadlec y Knight definieron a los llamados “humedales de tratamiento” como sistemas que imitan a los humedales naturales para mejorar la calidad del agua a través de mecanismos físicos, químicos y biológicos.

Humedales construidos

Los humedales construidos son sistemas de tratamiento de aguas residuales, conformados por estanques poco profundos (normalmente menos de 1 m de profundidad) o canales en los que se han establecido plantas acuáticas (Fig. 3). Estos sistemas se basan en procesos microbianos, biológicos, físicos y químicos para el tratamiento de aguas residuales. Cuentan comúnmente con arcilla impermeable o revestimientos sintéticos, así como con estructuras de ingeniería para controlar la dirección del flujo, tiempo de retención del líquido y control del nivel de agua. Estos sistemas se han utilizado para tratar una variedad de aguas residuales incluyendo escurrimiento urbano, municipal, industrial, agrícola y drenaje ácido de minas (EPA, 2000). En base a su hidráulica, los humedales construidos se clasifican en dos tipos, los de flujo inundado, en donde el agua fluye a través de las hojas y tallos de las plantas, tal como ocurre en los humedales naturales; y

los de flujo subsuperficial, que contienen un medio poroso filtrante, como piedra, grava, arena, entre otros. En este medio poroso se siembran las plantas acuáticas.



Fig. 3. Humedal construido de flujo inundado (*Sweetwater wetland*) en Tucson, Arizona.

Sitio de estudio

El poblado de Vícam Switch forma parte del municipio de Guaymas, se localiza a $27^{\circ}38'32''$ N , $110^{\circ}17'23''$ O y a una altitud de 10 metros sobre el nivel del mar; su acceso es por la carretera federal 15, que lo comunica al norte con Guaymas y Hermosillo, y al sur con Ciudad Obregón y Navojoa (Fig. 4).

Es una de las principales poblaciones de la etnia Yaqui, y gracias a la historia de su pueblo, esta localidad tiene gran importancia turística, siendo considerada como una localidad indígena por la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) (CONAPO, 2010). En la actualidad, a pesar de ser la segunda población más grande del municipio de Guaymas y una de las principales poblaciones del territorio Yaqui, no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales son vertidas al dren agrícola conocido como El Pescado, que desemboca en el humedal Río Muerto.

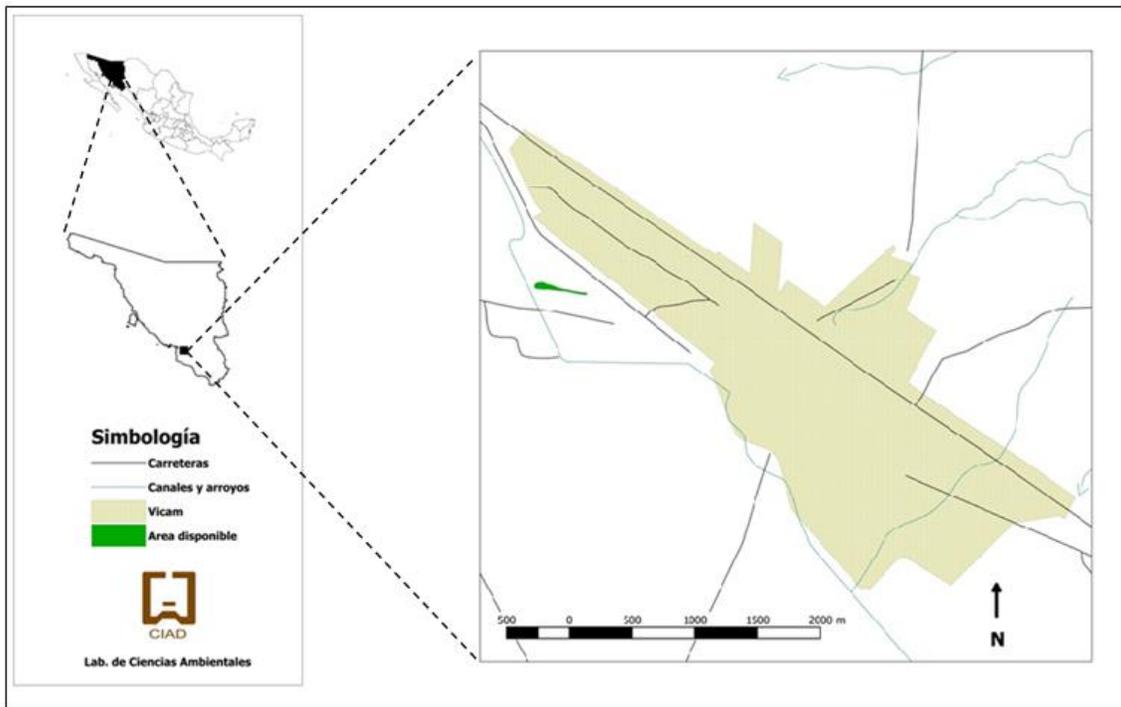


Fig. 4. Localización del poblado Vicam Switch, en territorio Yaqui.

Características de las descargas residuales de Vícam

Caudal

El 21 de febrero de 2014 se realizaron mediciones de caudal en los últimos pozos de visita del sistema de drenaje de Vícam antes de su descarga al dren, utilizando el método de velocidad/superficie en donde se multiplica el área hidráulica de la tubería (m^2) por la velocidad (m/s). El resultado del caudal del agua residual de Vícam fue de $0.01 m^3/s$ o 10 L/s. Es posible que haya variaciones a lo largo del año y del día, por lo que este valor es una aproximación del valor real. Por lo que también se calculó el caudal en función de la población de Vícam, ya que de acuerdo a CONAGUA (2007) el 75% del agua consumida se transforma en agua residual, por lo tanto, para 9,364 habitantes que reciben en teoría 16 L/s (CONAGUA, 2007), generarían un caudal de 12 L/s, lo cual es cercano a lo medido en campo. Sin embargo, para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual, la CONAGUA recomienda que se realice el cálculo en función de la población estimada a 15 años para obtener la mayor utilidad del sistema de tratamiento. Por lo tanto, para este estudio se calculó una descarga de 16 L/s, considerando una tasa de crecimiento de la población en los próximos 15 años del 1.76 (INEGI 2005, 2010) (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de cálculos de caudales de agua residual generados por la población de Vícam.

Variables	Datos para Población	Datos para Población
	Actual ¹	Proyectada 2029 ²
Habitantes totales	9,364	12,181
Dotación (L/s)	16	21
Aporte a drenaje sanitario teórico (L/s)	12	16
Caudal medido en campo (L/s)	10	-

¹INEGI, 2010.

²Bejarano- Rebolledo, 2014.

Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

Se realizaron muestreos estacionales de las aguas residuales, durante las temporadas de verano, otoño e invierno del 2013 y 2014. El muestreo correspondiente a verano se realizó el 9 de septiembre, los correspondientes a otoño se realizaron el 7 de octubre y 5 de noviembre, y finalmente el de invierno se llevó a cabo el 22 de enero del 2014. Los muestreos fueron de 24 h, con intervalos de 4 h, que corresponde a los horarios de 11:00, 15:00, 19:00, 23:00, 3:00 y 7:00 horas.

Las muestras fueron colectadas (en envases de plástico) del último pozo de visita del sistema de alcantarillado, el cual capta todas las aguas residuales generadas por la población de Vícam, ya que a partir de este punto no recibe ningún tipo de aporte en cuanto a calidad ni cantidad. En cada uno de los horarios, se tomaron muestras simples de

agua para el análisis de nutrientes y metales. Únicamente en el último horario se tomaron muestras simples para la determinación de coliformes, materia flotante, DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), grasas y aceites. Esto debido a que la lejanía entre el punto de muestreo y el laboratorio de análisis, además de las altas temperaturas de la región, podían causar una alteración en la concentración de los contaminantes. Una vez colectadas, las muestras fueron guardadas en una hielera con hielo para su conservación hasta su llegada al laboratorio. En el punto de muestreo se midieron los parámetros de temperatura, OD (oxígeno disuelto), pH, salinidad, conductividad y SDT (sólidos disueltos totales) del agua, las cuales se realizaron con un equipo portátil YSI 556 MPS (sistema de sonda múltiple). Los análisis de DBO₅, materia flotante, coliformes, y grasas y aceites se realizaron en el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad (LAC), y los análisis de nutrientes y metales en el Laboratorio de Ciencias Ambientales (LCA), ubicados en la Coordinación Regional Guaymas del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).

Los resultados indican que las aguas residuales de Vícam contienen altas concentraciones de materia orgánica, nutrientes y carga bacteriana (Tabla 2). Estos valores son comunes en aguas residuales domésticas (Metcalf et al. 1991), los valores de metales pesados fueron bajos ya que no existen aportaciones industriales importantes en esta población. Al comparar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de la descarga, se observa que no cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 para ser liberados a cuerpos de agua nacionales, por lo que se está incumpliendo con esta normatividad ambiental.

Tabla 2. Resultado de parámetros de calidad de agua en la descarga residual de Vícam.

Parámetro analizado	Resultados (rango)¹	Rango típico de aguas residuales²	NOM-001³
DBO ₅ (mg/L)	32-422	110-400	75
SST (mg/L)	229-816	100-350	75
NT (mg/L)	9-100	20-85	15
NH ₃ (mg/L)	16-49	dic-50	NE
NO ₃ (mg/L)	0-9	0	NE
NO ₂ (mg/L)	0-10	0	NE
PT (mg/L)	sep-27	abr-15	5
PO ₄ (mg/L)	jun-24	03-oct	NE
C. Fecales (NMP/100 ml)	2.1x10 ⁴ -2.4x10 ⁷	1x10 ⁴ -1x10 ⁶	1x10 ³
Grasas y aceites	0	50-150	15
Hg	0.001-0.007	NE	0.005
Cd	0-0.01	NE	0.1
Cu	0.008-0.15	NE	4
Fe	3.2-4.3	NE	-
Zn	0.0-0.15	NE	10
Pb	0-0.093	NE	0.2

¹Valores típicos para aguas residuales domésticas (Metcalf et al., 1991).

²NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos de descargas a estuarios.

³Resultados obtenidos (Bejarano- Rebolledo, 2014).

NE = No especificado en norma.

Opciones de tratamiento de agua residual para Vícam

Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son los métodos más comunes de tratamiento de aguas residuales en Sonora. Por lo tanto, se calculó el área requerida y el costo para un sistema de este tipo, en función de las características del efluente. Los cálculos se realizaron utilizando la siguiente ecuación (Metcalf et al. 1991):

$$\text{Area superficial} = \frac{(Q)(TRH)}{D}$$

Q = caudal a tratar, L/s

TRH = tiempo de retención hidráulica, días

D = profundidad recomendada para la laguna, metros

Para el cálculo de costos, se tomó en cuenta referencias en CompraNet (2011) para construcción de lagunas de estabilización con características similares.

Los resultados indican que se requiere de la construcción de una laguna de estabilización de 4 ha con 30 días de tiempo de retención hidráulica (TRH), para poder tratar un efluente de la población de Vícam de 16 l/s. El costo aproximado de inversión sería de 14 millones de pesos, con un costo de mantenimiento de 1.8 millones de pesos al año, considerando aireación (Tabla 4). Sin embargo, las lagunas de estabilización tienen eficiencias variables que van del 75 al 90% para eliminación de DBO₅, de 30 a 50% para nitrógeno total (NT), entre 20 y 60% para fósforo total (PT) y de 60 a 99% para coliformes (Von Sperling, 1996). Esta variabilidad se puede deber a la baja disponibilidad de O₂ en la columna de agua. Aunque estos sistemas son los más usados en

los países en desarrollo debido a sus bajos costos de inversión, así como de operación y mantenimiento, si no son diseñados y operados adecuadamente (i.e. no aplicar aireación), el resultado son bajas tasas de remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo (Kivaisi, 2001). Esta situación puede provocar problemas de eutrofización en cuerpos de agua, como el que ocurre en la bahía “La Salada” en Guaymas Sonora con las descargas de la laguna de estabilización (Vargas-González, 2012). Otra desventaja de estos sistemas es la generación de malos olores derivado del proceso de tratamiento, lo cual también se da en Guaymas, afectando a un sector amplio de la población.

Humedales construidos

La segunda opción de tratamiento que se propone es la de un humedal construido de tipo subsuperficial horizontal, por tener mejores eficiencias en menor área. En los sistemas de tratamiento subsuperficial los compuestos orgánicos son degradados de forma tanto aerobia como anaerobia por las bacterias unidas a las raíces y rizomas de las plantas y a la superficie del medio filtrante. El oxígeno requerido para la degradación aeróbica es suministrado directamente de la atmosfera por difusión desde las raíces y rizomas de la macrófita a la rizósfera, pero como la capacidad de transporte de oxígeno es insuficiente, la descomposición anaeróbica también juega un papel importante (Brix, 1990). Los organismos patógenos son eliminados en los humedales construidos por factores físicos, químicos y biológicos. Los físicos incluyen filtración mecánica, exposición a radiación UV y sedimentación. Los químicos son oxidación, exposición a biocidas excretados por algunas plantas y absorción por materia orgánica. Los mecanismos biológicos incluyen

antibiosis, predación por nematodos y protistas, ataque por virus y bacterias líticas y muerte natural (Gersberg et al., 1989).

Todas estas especies se pueden utilizar para los sistemas de flujo inundado, pero sólo las que pertenecen a las primeras tres categorías (Fig. 5) se pueden implementar en los humedales de flujo subsuperficial. Con excepción de las plantas de ornato, las demás macrófitas de la Figura 5 ya existen en la región y lo más recomendable es trasplantarlas de los alrededores, ya que están adaptadas a las condiciones climáticas de la región.

Los tipos de macrófitas, o plantas adaptadas a sobrevivir en los humedales pueden ser:

- a) Plantas emergentes de tejidos blandos: *Phragmites australis* (carrizo), *Typha* spp. (tule) y *Scirpus lacustris* (junco).
- b) Plantas leñosas emergentes: *Taxodium* spp. (Ciprés), *Thuja* spp. (Cedro blanco), *Salix* spp. (Sauce), *Sesbania herbacea*, *Populus* spp. (álamo)
- c) Plantas de ornato: *Zantedeschia aethiopica* (alcatraz), *Strelitzia reginae* (ave del paraíso)
- d) Plantas acuáticas sumergidas: *Naja* spp (naja), *Potamogeton crispus* (espiga de agua).
- e) Plantas flotantes: *Lemna minor* (lenteja de agua), *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).

Para el caso de las comunidades Yaquis, el carrizo es un material muy importante para la construcción de sus viviendas tradicionales (Fig. 6), por lo tanto, su cultivo sería un beneficio adicional al tratamiento del agua, ya que estas plantas se deben cosechar periódicamente para poder mantener un sistema eficiente de tratamiento. Las plantas de ornato también pudieran cultivarse en el humedal y cosecharse para su venta, ya que tienen un excelente precio en el mercado.



Fig. 5. Ejemplos de plantas macrófitas para humedales de flujo subsuperficial.

En los sistemas con flujo subsuperficial, el medio puede ser suelo, arena o grava, y los espacios libres del medio sirven como canales para el flujo del agua. Sobre la superficie del medio crece la masa de microorganismos semejante a lo que ocurre en un filtro percolador, sin embargo, se considera que el crecimiento microbiano en estos sistemas no debe provocar obstrucciones como ocurre en los filtros percoladores (Rodríguez, 2003).

El medio de soporte realiza varias funciones:

- a) Servir de material para el enraizamiento de la vegetación,
- b) Ayuda a coleccionar y distribuir uniformemente el flujo de entrada y salida
- c) Proporciona un área superficial para el crecimiento microbiano, y
- d) Filtra y atrapa partículas.



Fig. 6. Construcción de carrizo comunidades Yaquis.

Aunque los humedales artificiales son principalmente sistemas de tratamiento de aguas residuales, proporcionan también otro tipo de beneficios, ya que aumentan la estética del

sitio, mejoran el paisaje y sirven como hábitat de una rica diversidad de invertebrados, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Davis, 1995).

Por otro lado, los humedales construidos tienen una mayor tasa de actividad biológica que la mayoría de los ecosistemas y pueden transformar muchos de los contaminantes comunes presentes en aguas residuales a subproductos inofensivos o nutrientes esenciales para las plantas. Estas transformaciones se logran gracias a que el ambiente en el que está el humedal cuenta con energías inherentes como la del sol, viento, suelo, plantas y animales. Por lo que se requieren mínimas cantidades de energía basada en combustibles fósiles, que típicamente son utilizados para alcanzar los objetivos de tratamiento en otras tecnologías (Kadlec y Wallace, 2009). Ejemplos de eficiencias de remoción de contaminantes en los humedales construidos son de 75% de DBO₅, 43% de NT, 50% de PT, y 92% de coliformes fecales (Vymazal, 2005a; Vymazal, J.; Kröpfelová, 2008). Sin embargo, en países con climas más tropicales las eficiencias de remoción se incrementan, por ejemplo en Tailandia, un sistema plantado con *Typha augustifolia* alcanzó hasta el 86% de remoción de NT (Kooattatep y Polprasert, 1997) y en Kenya, un sistema diseñado para 1200 personas, tuvo una eficiencia de hasta 98% para DBO₅, 90% para NT, 88% para PT y 99.9% para coliformes fecales (Nyakang'o y Van Bruggen, 1999). Por lo tanto, es posible que los humedales construidos en esta región tengan eficiencias similares a las de países tropicales, al menos durante los meses de calor y que disminuyan un poco durante los meses más fríos. El diseño del humedal se deberá hacer en función de la temperatura más baja del año ya que es la época de mayor estrés para la vegetación y la comunidad bacteriana.

Diseño del humedal construido para Vícam, Sonora

Para la estimación del área del humedal de flujo subsuperficial para Vícam, se utilizó el modelo k-C* (Kadlec y Knight, 1996) para lograr una remoción de los contaminantes de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT 1996), utilizando las siguientes fórmulas:

$$k = k_{20} \theta^{T-20}$$

$$A = \left(\frac{0.0365 \cdot Q}{k} \right) \cdot \ln \left(\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right)$$

En donde:

C*= Concentración de fondo del contaminante, mg/ L

Ci= Concentración del contaminante en el influente, mg/ L

Ce= Concentración del contaminante en el efluente, mg/ L (en base a lo requerido por la NOM-001)

k= Constante cinética de Arrhenius, adimensional

T= temperatura, °C (temperatura mínima del agua)

θ = 1.1, adimensional

A= Área superficial requerida, ha

Q=caudal promedio, l/s

El área final se calcula para cada contaminante y se seleccionó el área mayor resultante, asumiendo que al seleccionar esta se eliminan también el resto de los contaminantes.

Los resultados indican que se requiere de un área de 3.0 hectáreas de humedal construido para eliminar los coliformes fecales de la descarga de Vícam (Bejarano-Rebolledo, 2014)

Tabla 3. Área total requerida para un humedal construido en función del tipo de contaminante a remover (Bejarano-Rebolledo, 2014).

Contaminantes	Ci (mg/L)	Ce (NOM-001)	K	Pre-tratamiento	[] de entrada (mg/L)	C* (mg/L)	Área requerida (Ha)
DBO ₅	300	75	289.89	126.6	295.4	19.15	0.28
SST	522	75	4831.53	156.6	365.4	30.82	0.02
NT	61	15	43.48	0	61	1.5	1.72
PT	15	5	19.32	0	15	0.02	2.88
CF	1.6x10 ⁷	1000	152.99	0	1.6x10 ⁷	10	3.00

El TRH para el humedal de 3 ha sería de 7 días. Este tiempo se calculó con los resultados de conductividad hidráulica obtenidos de muestras de grava de diferentes tamaños, colectadas en una mina localizada en la carretera a Cd. Obregón a 40 minutos de Vícam, la cual sería la mejor opción para el material del medio filtrante del humedal. En la Fig. 5, se puede apreciar un corte transversal de la celda de tratamiento.

El área total del sistema de tratamiento será de 4 ha y estaría compuesta por un área de pretratamiento, la cual consiste en cribas y canales desarenadores para la remoción de material grueso y arenas respectivamente, un sedimentador de 6.5 m de ancho x 20 m de largo x 2 m de profundidad. Del mismo modo, se instalará un segundo humedal de flujo vertical para tratar los lodos generados en el sedimentador, en éste, también se sembrarán plantas macrófitas como el carrizo, ya que la actividad bacteriana en las raíces convertirá la materia orgánica del sedimento colectado en nutrientes los cuales son aprovechadas por las plantas. El agua una vez conducida por el pretratamiento y tratamiento primario, pasaría al tratamiento secundario que en este caso serían dos celdas de humedales de flujo subsuperficial que trabajarán en paralelo, tratando cada una la mitad del caudal total. Las

dimensiones de cada celda serían de: 158 m de largo x 158 m ancho y 0.6 m de profundidad (Bejarano-Rebolledo, 2014).

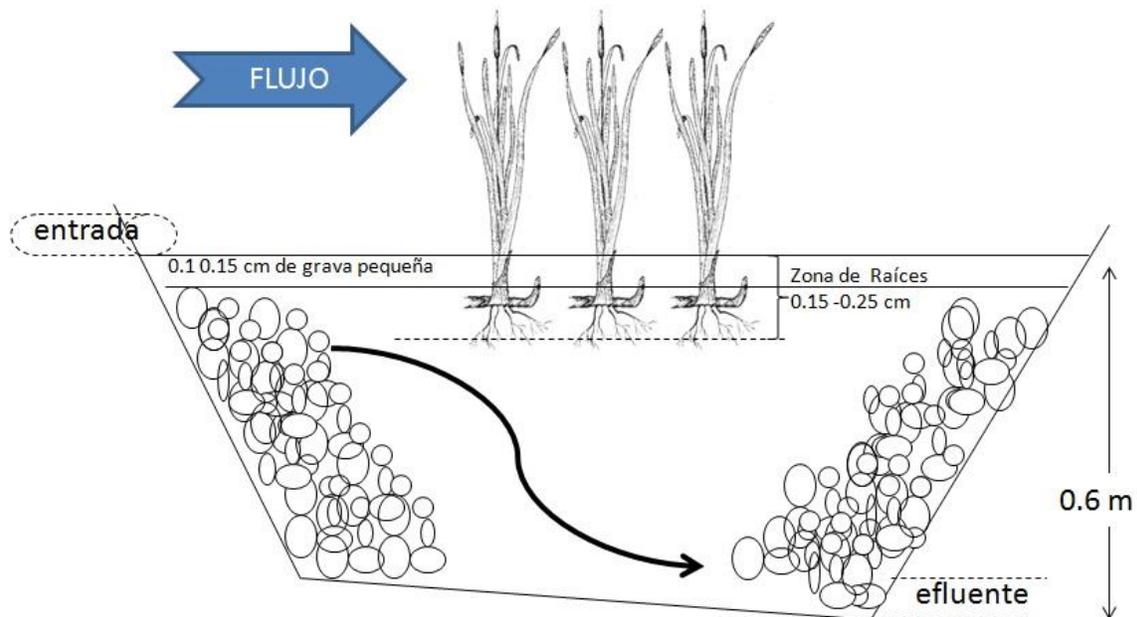


Fig. 7. Corte transversal del humedal construido (basado en diseño de U.S. EPA, 2000).

Mantenimiento del humedal

Los puntos de control de calidad del agua serían a la entrada del pre-tratamiento, a la salida del pre-tratamiento y a la salida del tratamiento secundario. En cada punto se recomienda medir cuando menos DBO_5 , SST, NT, PT y CF de manera mensual. El mantenimiento que se daría al sistema de tratamiento consistiría en limpieza del área, limpieza y mantenimiento constante del pretratamiento (cribas y canales desarenadores) para así evitar problemas de colmatación por sedimentos y alargar la vida del humedal, purga del sedimentador hacia el humedal de tratamiento de lodos, cosecha de plantas

macrófitas en cuanto las eficiencias de tratamiento disminuyan, así como la verificación del sistema de distribución y recolección del agua.

Estructuras y materiales complementarios

Además del diseño central, los humedales construidos deberán contar con estructuras y materiales complementarios con especificaciones adecuadas. Los diques deben estar contruidos con suelos que tengan un adecuado material de grano fino que se compacte a un terraplén relativamente estable e impermeable, también deben ser lo suficientemente altos para contener el volumen esperado, además de amplios bordos que prevean los flujos altos ocasionales, así como para la acumulación de basura y sedimentos (Davis, 1995). En el caso de Vícam, se hizo un estudio de coeficiente de permeabilidad por el método de la cabeza variable y en este caso los suelos de los alrededores de la población, tienen una clasificación S.U.C.S como arena arcillosa en color café oscuro y plasticidad media a alta, una humedad del 7.5% y un grado de compactación del 85% (Lanz Sánchez, 2013). Estos valores muestran que es un suelo con las características adecuadas para la construcción de diques para las celdas del humedal.

Los humedales construidos también deben ser impermeabilizados para evitar la posible contaminación de las aguas subterráneas, así como para evitar que las aguas subterráneas se infiltren en el sistema. Los revestimientos usados para los humedales son los mismos que se usan comúnmente en lagunas, estos materiales incluyen cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), y polipropileno. La mayoría de los sistemas usan típicamente cloruro de polivinilo de 30 milésimas de pulgada o polietileno de alta densidad (HDP)

(EPA, 2000a). En el caso de Vícam será necesario utilizar un revestimiento en las celdas de tratamiento para evitar la contaminación de aguas subterráneas y para prevenir infiltraciones de los campos de cultivo circundantes.

Los niveles de agua están controlados por las estructuras de control de flujo, las cuales deben ser fáciles de ajustar. Además, deben ser flexibles, de modo que los procesos se puedan optimizar, respondiendo a los cambios en el sistema. Las estructuras deben ser de tamaño suficiente para manejar los flujos máximos de diseño y deben estar situadas en un lugar de fácil acceso, que minimice el cortocircuito (Davis, 1995).

Las estructuras de entrada en los sistemas de flujo subsuperficial incluyen colectores tanto superficiales como subterráneos, zanjas abiertas perpendiculares a la dirección del flujo, y un punto único de vertimiento de las cajas (Davis, 1995). Mientras que, las estructuras de salida ayudan a controlar el flujo de forma uniforme a través del humedal, así como al buen desempeño de la profundidad. El diseño del humedal de flujo subsuperficial debe permitir la inundación controlada de 15 cm para fomentar el crecimiento de plantas deseables y controlar las malezas. Un colector subterráneo perforado conectado a una salida ajustable ofrece la máxima flexibilidad y fiabilidad como dispositivo de salida (Nations y Settlements, 2008).

Disponibilidad de terreno

Las descargas de aguas residuales domésticas de Vícam se localizan entre campos agrícolas (Fig. 8), por lo que existe la disponibilidad de terreno, sin embargo, habrá que

negociar con los dueños de esas tierras la compra de un área adyacente al canal central de alcantarillado (Fig. 8) para la construcción de la planta de tratamiento, ya que actualmente la Comisión Estatal del Agua (CEA) cuenta solamente con el área central donde se localiza el alcantarillado.

Costos de inversión y mantenimiento

Para el cálculo de los costos de inversión de un humedal construido de tipo subsuperficial se tomó como referencia un humedal similar instalado en Puebla (CompraNet, 2012). Los costos de inversión serían de aproximadamente 18 millones de pesos, sin embargo, los costos de mantenimiento serían muy bajos comparados con otras tecnologías, éstos serían de aproximadamente 140 mil pesos al año. La Tabla 4 muestra un comparativo entre los distintos sistemas de tratamiento de aguas residuales.



Figura 8. Localización de la planta de tratamiento de aguas para Vicam, Sonora.

Tabla 4. Comparación entre laguna de estabilización y humedal construido en cuanto a áreas requeridas, eficiencias y costos.

Tipo de tratamiento	Área de sistema de tratamiento (ha)	Área total de la planta (ha)	Eficiencias (%)	Costos de inversión	Costos de operación y mantenimiento
Laguna de estabilización	4	4.5		\$13,970,000.00	\$1,894,931.00
DBO ₅			75-90		
NT			30-50		
PT			20-60		
CF			60-99		
Humedal de flujo subsuperficial	3	3.5		\$18,000,000.00	\$140,000.00
DBO ₅			75		
NT			43		
PT			50		
CF			92		

Para evaluar cuál sería la opción más viable económicamente se realizó el cálculo del Valor Presente Neto Incremental (VPNI) a 15 años y con una tasa de interés del 12.5 %, el cuál es el CAT anual para proyectos de inversión según el Banco de México (Bancomext, 2014). Con este análisis se llegó a la conclusión de que la mejor alternativa de inversión es la del humedal construido, ya que con el ahorro en mantenimiento, en el primer año se recuperaría la inversión (Bejarano Rebolledo, 2014).

Conclusiones

El presente estudio demuestra la necesidad de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad Yaqui de Vicam, Sonora, ya que los efluentes no cumplen con la NOM-001 para descargas de aguas residuales a bienes nacionales. Sin embargo, la opción tradicional de lagunas de estabilización, aunque

tendría una menor inversión, tiene desventajas como problemas de remoción de nutrientes, altos costos de operación y mantenimiento, el consumo de combustibles fósiles, proliferación de mosquitos y malos olores. Por lo tanto, se está proponiendo un método de tratamiento alternativo, en donde se utilicen los sistemas naturales para el tratamiento de aguas, en un sistema de humedales construidos. Las ventajas de este sistema son sus altas eficiencias de remoción de contaminantes y sus bajos costos de operación y mantenimiento, además de contribuir con la economía local al proveer agua tratada para cultivos y plantas para diferentes propósitos (carrizo, tule, ornato), sus desventajas son el área requerida y los costos de inversión. Sin embargo, los autores consideramos que este sistema de tratamiento pudiera ser una alternativa viable para esta comunidad y un ejemplo que se pudiera implementar en todas las comunidades Yaquis.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por CONACYT a la estudiante Fabiola Bejarano para la realización de su tesis de maestría en CIAD Guaymas, al Dr. Edgar Lanz Sánchez del Instituto Tecnológico de Guaymas, por el asesoramiento al equipo de trabajo. A la CEA Guaymas y Vícam por su autorización para tomar muestras en las descargas. Al Dr. Ali Asaff Torres, y a la M.C. María de la Cruz Paredes por su asesoría. Al Ing. Germán A. Ibarra Encinas del ITSON por su apoyo en las pruebas hidráulicas del material filtrante. Y finalmente al CIAD por su apoyo durante la realización de este proyecto.

Literatura citada

Artiola, 1996. Waste Disposal. En: Pollution Science. Eds: Pepper, I., Gerba, Ch., Brusseau, M. Academic Press. Pp. 135-149.

Bancomext .2014. (<http://www.bancomext.com/>)

Bejarano-Rebolledo, F. 2014. Escenarios de tratamiento de aguas residuales para una comunidad indígena en base a tecnologías de ingeniería ecológica. Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Guaymas, Sonora, México, 106 p

Brix, H. y Schierup, H. H. 1990. Soil oxygenation in constructed reed beds: the role of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport. Constructed wetlands in water pollution control 53–66

CompraNet. 2011; 2012. (<https://compranet.funcionpublica.gob.mx/web/login.html>)

CONAGUA. 2007. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de lagunas de estabilización (<http://www.conagua.gob.mx>)

CONAGUA. 2014. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2014. Consultado en Junio del 2015 en: (<http://www.conagua.gob.mx>)

CONAGUA. 2014. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Consultado en Junio del 2015 en: (<http://www.conagua.gob.mx>).

CONAPO. 2010. Consejo Nacional de Población. Índices de marginación (<http://www.conapo.gob.mx>)

Davis, L. 1995. A handbook of constructed wetlands: a guide to creating wetlands for: agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage, stormwater in the Mid-Atlantic Region

EPA. 2000. Constructed Wetlands Manual. Treatment of Municipal Wastewaters. (<http://water.epa.gov/>)

Gersberg, R. M., Gearheart, R. A., Ives, M. 1989. Pathogen removal in constructed wetlands. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural. Lewis Publishers: 431-445

INEGI. 2005; 2010; 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo general de población y vivienda (<http://www.inegi.gob.mx>)

Kadlec, R. H. y Knight, R. L. 1996. Treatment wetlands. Lewis Publ. Primera edición.

Boca Ratón, Fl. USA Tchobanoglous, G. y Burton, F. L. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. Metcalf & Eddy, Inc. Tercera edición

Kivaisi, A. K. 2001. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. Ecological Engineering 16: 545–560

Koottatep, T. y Polprasert, C. 1997. Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics. Water Science and Technology. 36: 1–8

Lanz Sanchez, E. 2013. Reporte determinación coeficiente de permeabilidad. Instituto Tecnológico de Guaymas.

Moreno-Vázquez J.L. 2014 Despojo de agua en la cuenca del Río Yaqui. El Colegio de Sonora. ISBN 978-607-7775-54-6.

Nations U., Settlements H. 2008. Constructed wetlands manual Kadlec RH y Wallace SD (2009) Treatment wetlands. CRC Press. Segunda edición. Boca Ratón, Fl. USA. 965 pp

Nyakang'o, J. B. y Van Bruggen, J. J. A. 1999. Combination of a well functioning constructed wetland with a pleasing landscape design in Nairobi, Kenya. *Water Science and Technology* 40: 249–256.

Rodríguez, C. 2003. Humedales construidos. Estado del arte (I)

Vargas González, H. H. 2012. Vertimientos de aguas residuales urbanas y sus efectos en la condición ambiental de la Ensenada La Salada, Sonora, México.

Von Sperling, M. 1996. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. *Water Science and Technology* 33: 59–72

3.3 Pótam, comunidad yaqui del Sur de Sonora, México: ¿justicia ambiental por exposición a contaminantes?

Por María Mercedes Meza*¹, Diana Ma. Meza F², Ana L. Cejudo E¹, Raymundo Orduño V², José J. Balderas C¹, Iram Mondaca F¹, Anacleto Félix F¹.

¹Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Dirección de Recursos Naturales, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 sur, 85000, Cd. Obregón, Sonora, México.

²Departamento de Geología, División de Cencas Exactas y Naturales, Universidad de Sonora, Rosales y Encinas, 83000, Hermosillo, Sonora, México.

Email: mmeza@itson.edu.mx; dmeza@ciencias.uson.mx; rayo21@mcern.itson.mx;
jose.balderas@itson.edu.mx; iram.mondaca@itson.edu.mx;
anacleto.felix@itson.edu.mx;

Resumen

Pótam, es un pueblo yaqui, localizado en el sur de Sonora, clasificado como una comunidad de pobreza extrema, donde la “justicia ambiental” por la presencia de diversos contaminantes detectados en la región ha sido subestimada, a pesar de que reportes recientes, evidencian la presencia de plaguicidas en suelo y agua. Además de arsénico en el agua, en niveles que ponen en riesgo la salud de sus pobladores. Por

otra parte, la biodisponibilidad de estos contaminantes se confirma con su detección en suero y orina de los niños de la etnia. Aunado a lo anterior, Pótam no cuenta con sistema de drenaje, por lo que la prevalencia de *Helicobacter pylori*, en sus habitantes es mayor comparada con otros países de Latinoamérica. Por último, la falta de cloración del agua permite la presencia de coliformes fecales, provocando diferentes enfermedades gastrointestinales en los residentes, siendo contundente concluir que la “justicia ambiental” en esta comunidad no está siendo atendida.

Introducción

La justicia ambiental se refiere al tratamiento justo y la participación significativa de todas las personas sin importar su raza, color, origen, cultura, educación o ingreso, con respecto al desarrollo y la aplicación de las leyes, reglamentos y políticas ambientales (USEPA, 2013). Justicia ambiental significa que ningún grupo de personas, incluyendo grupos étnicos o socioeconómicos, deben sobrellevar desproporcionadamente la carga de las consecuencias ambientales negativas como resultado de operaciones industriales, municipales, agrícolas, o de la ejecución de programas ambientales y políticas a nivel federal, estatal, local y tribal.

En la búsqueda de la justicia ambiental es necesario partir de la identificación y cuantificación del riesgo ambiental, la identificación de la percepción del riesgo, la comunicación del mismo y la participación comunitaria significativa, misma que contempla tres aspectos fundamentales; oportunidad apropiada para participar en las decisiones sobre una actividad que afecta su ambiente y salud, la contribución de ésta

para influir en el proceso de toma de decisiones reglamentarias y por último, la opinión de la misma, para participar activamente en los programas de prevención y disminución de la exposición al riesgo.

En México, el tema de Justicia Ambiental ha sido muy poco estudiado, y generalmente ha sido abordado desde el punto de vista jurídico. La integración de información sobre riesgo socio-ambiental es un área que no ha sido desarrollada aún en México. En nuestro país, la interpretación del concepto de Justicia Ambiental se basa en dos tipos de control de la legalidad de los actos de la autoridad ambiental: el autocontrol que ejerce la propia autoridad ambiental a través del recurso administrativo de revisión y el control externo de naturaleza jurisdiccional. El derecho al medio ambiente saludable es por primera vez reconocido en 1972 a partir de la Declaración de Estocolmo en la cual se sientan las bases y criterios comunes a escala internacional para mejorar la protección del medio ambiente humano. En México, este derecho se enuncia en el artículo 4º Constitucional, que indica *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”* (DOF, 2015). En la búsqueda de la procuración de la justicia ambiental se han involucrado Organizaciones no Gubernamentales (ONGs) generalmente enfocadas a la evaluación de los impactos ambientales en las comunidades, sin embargo, no existen muchos programas efectivos de comunicación de riesgos en el que se involucre a la comunidad, llevando con ello a una interpretación errónea del concepto de Justicia Ambiental.

Actualmente, las Universidades en México, en diferentes regiones del país, aunque participan activamente en la resolución de diversos problemas ambientales, la mayoría de sus intervenciones no han sido defendidas o fundamentadas asociándolas a la justicia ambiental, tema que a la fecha en nuestro país es poco o nulamente abordado.

¿Justicia ambiental en Pótam?

La comunidad yaqui de Pótam, es una población localizada al Sur del estado de Sonora y pertenece a uno de los ocho pueblos tradicionales yaquis (Fig.1). Esta comunidad cuenta con una población aproximada de 6417 personas de las cuales 3,333 son hombres y 3,084 mujeres, de éstos 2,780 personas hablan la lengua indígena. El poblado cuenta con 3,880 ciudadanos mayores de 18 años, y 495 residentes tienen 60 años de edad o más. El grado promedio de escolaridad de sus habitantes es de 6.98 años (solo estudios de primaria) y 596 personas mayores de 15 años tienen educación post básica (secundaria), además en este mismo rango de edad se reportan aproximadamente unos 464 analfabetos. Por otro lado, existen un total de 1346 viviendas construidas en su mayoría por carrizo y adobe, con un solo cuarto y con piso de tierra, mismas que son habitadas en promedio por aproximadamente cinco personas. Por otra parte, más del 90% de las viviendas cuentan con servicio de energía eléctrica y agua entubada (aunque no potable), por el contrario menos del 7% de las viviendas cuenta con algún sistema de drenaje. En base a sus condiciones económicas y sociodemográficas esta comunidad está catalogada como “comunidad altamente marginada y de pobreza extrema” (INEGI, 2010).

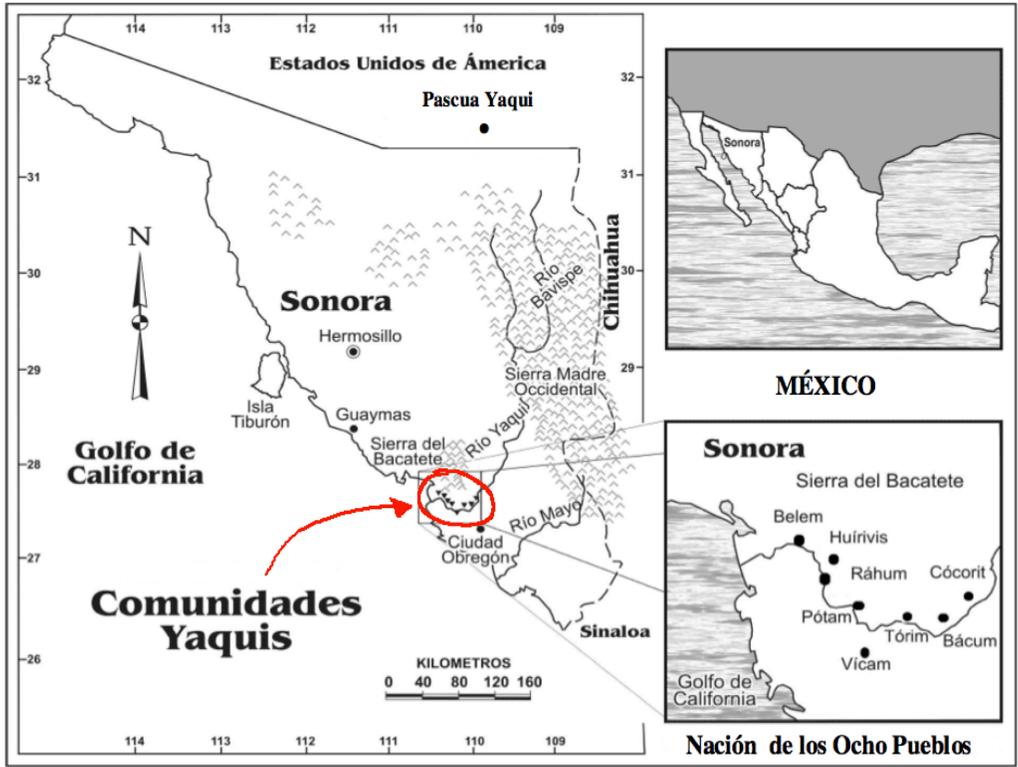


Figura 1. Localización de Pótam en el sur de Sonora, México.

Por otro lado, el 70% de la población recibe servicios médicos en alguna institución de salud pública o privada, de los cuales más del 60% están afiliados al Sistema de Protección de Salud implementado por el gobierno federal, mejor conocido como “Seguro Popular”.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de las principales investigaciones realizadas en los últimos diez años sobre la presencia de contaminantes prioritarios en muestras ambientales y biológicas en la comunidad de Pótam, con el objetivo de: i) determinar las posibles rutas de exposición de diferentes contaminantes ii) determinar sus posibles efectos a la salud iii) comunicar el riesgo iv) proponer alternativas de solución.

Piretroides

Los piretroides son sustancias químicas sintéticas con una estructura similar a la de las piretrinas sustancias que se presentan de forma natural en algunas flores como el crisantemo (ATSDR, 2003), los cuales han heredado de su análogo natural la capacidad de eliminar insectos, pero además cuentan con una mayor estabilidad en el ambiente. Aunque los piretroides son menos tóxicos para el ser humano, al compararlos con otros tipos de plaguicidas como los organoclorados, organofosforados y carbamatos, estos actúan de manera similar en mamíferos e insectos atacando los canales de sodio que regulan los impulsos nerviosos. Además han sido asociados con varios efectos toxicológicos, como carcinógenos y disruptores endocrinos. Debido a su eficiencia, los piretroides son ampliamente utilizados en la agricultura, complejos comerciales y en residencias particulares para el control de plagas, por consiguiente, los residuos de estas sustancias están presentes en alimentos o superficies tratadas las cuales actúan como fuentes de exposición humana.

El nivel del riesgo de exposición del ser humano a piretroides puede ser determinado mediante la presencia de residuos en suelo, agua, alimentos y la presencia del compuesto o sus metabolitos en matrices biológicas y habrán de ser evaluados y corregidos, según lo amerite, con el fin de prevenir efectos graves o daños irreversibles. El monitoreo ambiental es una herramienta valiosa para la evaluación del riesgo de exposición, para la medición integrada de las rutas de exposición y ha sido utilizado efectivamente para evaluar la exposición de las poblaciones a través del tiempo . El monitoreo de residuos de plaguicidas en diferentes matrices sirve de base para una consecuente evaluación de

riesgo, la cual incluye la identificación de los riesgos producidos por eventos naturales o prácticas tecnológicas industriales. La evaluación de riesgo tiene por objetivo la protección de la salud humana y ambiental y se realiza por diversas razones como: establecer si efectivamente existe un riesgo ecológico o para la salud humana, identificar la necesidad de obtener información adicional, el enfoque a los daños reales o potencialmente producidos por un contaminante específico en un sitio determinado y ayudar al desarrollo de planes de contingencia u otro tipo de respuestas ante la liberación no esperada de un contaminante (NRC, 1993).

Los niños han sido el foco de atención de diversas evaluaciones de exposición debido a sus patrones de comportamiento, actividades y dieta, dirigidos hacia el incremento del riesgo de exposición a sustancias tóxicas en comparación con los adultos. El Valle del Yaqui es una zona agrícola donde comúnmente se aplican plaguicidas en ciertas épocas del año. Actualmente, no existe un estudio que asocie el nivel de exposición a piretroides a través del análisis de sus concentraciones en muestras ambientales y biológicas que proporcione información sobre el grado de biodisponibilidad de estas sustancias para personas expuestas. Por otra parte, los plaguicidas utilizados actualmente son comúnmente monitoreados en orina, y en menor frecuencia en sangre. Una ventaja de la aplicación del biomonitoreo en orina es su disponibilidad.

Por lo anterior, y debido que a la fecha no existe reporte alguno sobre los niveles de piretroides en residentes de comunidades del sur de Sonora, el objetivo del presente

trabajo fue determinar la exposición a piretroides en los niños residentes del poblado de Pótam, Sonora, mediante su análisis en orina, considerando como ruta principal el agua.

Muestreo ambiental y biológico

El muestreo de agua potable se realizó acorde a la metodología de la NMX-AA-051-SCFI-2001. Se ubicaron de manera estratégica 20 hogares en la comunidad y se recolectaron en recipientes ámbar, 500 ml de agua directamente de la llave, posteriormente las muestras se almacenaron en refrigeración de 4-8 °C hasta su análisis.

El muestreo biológico se llevó a cabo en niños en un rango de edades entre 6 y 12 años. Se solicitó a los padres su colaboración para el llenado de un cuestionario sobre sus actividades rutinarias y hábitos alimenticios con el fin de obtener las variables sociodemográficas y el perfil del participante. La muestra de orina se recolectó en un recipiente estéril de plástico con capacidad de 100 mL. Las muestras se mantuvieron en congelación a -40 °C hasta su análisis.

Extracción y análisis de muestras

La extracción de piretroides (permetrina, cipermetrina, deltametrina y tetrametrina) en las muestras de agua y orina se realizó acorde a la metodología de dispersión de matriz en fase sólida, desarrollada y modificado por Valenzuela et al. (2006) y la extracción líquido-líquido acorde a Pitarch (2001), respectivamente. El análisis cualitativo y cuantitativo de los cuatro insecticidas, fue posible mediante el uso de un cromatógrafo de

gases marca Agilent modelo 7890A con automuestreador marca Agilent 7693 y microdetector de captura de electrones.

Resultados y discusión

En lo que respecta al análisis de las muestras de agua, el 35% (7/20) presentaron concentraciones detectables de cuando menos uno de los cuatro compuestos en estudio, siendo la permetrina el plaguicida presente con mayor frecuencia (85.7%), seguido por la tetrametrina (57.1%) y la cipermetrina (14.3%) respectivamente. La deltametrina, a pesar de que es el insecticida autorizado por la Secretaría de Salud para el control de enfermedades como el paludismo, dengue, entre otras, no fue detectado en ninguna muestra. Es importante mencionar, que la permetrina es ampliamente utilizada en la región para el cultivo de alfalfa, maíz y calabaza y el poblado de Pótam dedica gran parte de su superficie agrícola a este tipo de cultivos, incluyendo al trigo y algodón, lo que justifica su mayor frecuencia en las muestras de agua. Los niveles encontrados para los piretroides estudiados en las muestras de agua de Pótam estuvieron en el rango de 5.0 a 101 µg/L. Estudios realizados anteriormente en los valles del Yaqui y Mayo por Moreno y col. (2008), reportaron con mayor frecuencia a la cipermetrina en el agua de pozo de las localidades estudiadas, en un rango de concentraciones de 2.8 a 29.4 µg/L. Por otra parte, de los 17 niños participantes, sólo cuatro presentaron en la orina niveles cuantificables de permetrina, deltametrina y cipermetrina, en el rango de 13.9 a 24.9 µg/L, encontrando para cipermetrina los valores más altos, todos por arriba de los 22 µg/L. En un estudio reportado por Lu et al., (2006), en 23 niños de 3 a 11 años, se menciona la presencia de metabolitos urinarios de piretroides, entre ellos: el ácido 3-fenoxibenzoico (3-PBA),

ácido trans-2,2-(dicloro)-2-dimetivinilciclopropanocarboxílico (trans-DCCA), ácido 4-fluoro-3-fenoxibenzoico (FBPA) y ácido cis-2,2-(dibromo)-2-dimetilciclopropanocarboxílico (DBCA) con niveles en el rango de 0.03 y 10 µg/L.

Actualmente, el uso residencial de piretroides es una ruta importante de exposición, como lo mencionan Walker et al., (1999) y Landesamt (1997), ya que varios estudios realizados en Alemania en polvos domésticos se han detectado: ciflutrina, cialotrina, cipermetrina, alfa-cipermetrina, deltametrina, empentrina, d-fenontrina y permetrina, ésta última con mayor frecuencia, al igual que en el presente estudio, pero en muestras de agua. La presencia de piretroides en la orina de los niños se debe al grado de biodisponibilidad que estas sustancias presentan en el ambiente, en este caso el agua de consumo.

Plaguicidas organoclorados

Debido a que la principal actividad económica de la región del sur de Sonora, es la agricultura, durante muchos años se han utilizado grandes cantidades de plaguicidas de manera irracional en los Valles del Yaqui y mayo, por lo tanto, existe una exposición ambiental y ocupacional a estas sustancias, incrementando el riesgo a la salud de sus habitantes.

Actualmente, se dispone de múltiples reportes sobre los efectos de los plaguicidas en la salud, entre los que destacan; daño neurotóxico (Sagiv et al. 2008) daño genotóxico (Martínez y Gómez, 2007), efectos carcinogénicos (Xu et al. 2010), daños reproductivos

(Wang et al. 2009), entre otros. Además en los últimos años se ha establecido una relación positiva entre contaminantes organopersistentes, con diabetes (Codru et al. 2007) y artritis reumatoide. Sin embargo, en México las investigaciones sobre los efectos a la salud producidos por la exposición a plaguicidas en la población no son suficientes, y en relación a niños es muy escasa (Trejo-Acevedo et al. 2009).

Pótam es una comunidad prácticamente rodeada por tierras de cultivo, por lo que la aplicación de estos compuestos por vía aérea permite que sean transportados por el viento y polvos a los canales de riego y a la comunidad en general. Varios reportes coinciden en que, entre las principales rutas de exposición a estos contaminantes se encuentran la ingestión de alimentos, suelo, polvos suspendidos y leche materna. Por tal motivo, Orduño en (2010), realizó un estudio para evaluar la exposición a plaguicidas organoclorados (POCs) de los niños residentes de esta comunidad, evaluando la ruta suelo y analizando como biomarcadores de exposición los plaguicidas en el suero sanguíneo de los menores.

Muestreo ambiental y biológico

Se ubicaron 20 puntos estratégicamente a lo largo y ancho del poblado usando el programa Google Earth, 2007, por medio del cual se obtuvieron las coordenadas geográficas ubicadas posteriormente con la ayuda de un GPS (Global Positioning System). Las muestras de suelo superficial (0-5 cm profundidad) fueron recolectadas acorde a la metodología descrita en la NMX-AA-132-SCFI-2006. El muestreo biológico se llevó a cabo en niños en un rango de edades entre 6 y 12 años. Se solicitó a los padres

y al menor su consentimiento por escrito, además del apoyo para el llenado de un cuestionario para obtener las medidas antropométricas e información de los hábitos alimenticios y actividades de los niños. La muestra de sangre se recolectó por personal especializado del Sector Salud, mediante punción venosa cubital utilizando tubos vacutainer de 5 mL sin anticoagulante. Las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente para la separación del suero, posteriormente éstas fueron centrifugadas para recolectar el suero en crioviales de 2 mL almacenándose a -40 °C hasta el momento de su análisis.

Extracción y análisis de muestras

La extracción de POCs del suero se realizó acorde a la metodología de dispersión de matriz en fase sólida, desarrollada por Valenzuela et al. (2006). El análisis cualitativo y cuantitativo de los plaguicidas se realizó utilizando un cromatógrafo de gases marca Agilent modelo 7890A con automuestreador marca Agilent 7693 y microdetector de captura de electrones.

Resultados y discusión

Los niveles de plaguicidas organoclorados detectados en el suero sanguíneo de los niños residentes de Pótam y en las muestras de suelo de la comunidad, indican su alta persistencia y biodisponibilidad. Los resultados obtenidos mostraron en el 100% de las muestras de suero la presencia de p,p'-DDE con concentraciones promedio de 1.30 µg/L, lindano con niveles de 0.70 µg/L, p,p'-DDD con un valor promedio de 1.60 µg/L, mientras que el p,p'-DDT presentó concentraciones promedio de 0.8 µg/L y por último

para los isómeros α y β - endosulfán se presentaron niveles de 1.0 y 0.50 $\mu\text{g/L}$, respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1. Niveles de plaguicidas organoclorados en suero sanguíneo de niños residentes de Pótam, Sonora.

Nombre del compuesto	Promedio en suero ($\mu\text{g/L}$)	Rango
Lindano	0.7	ND – 1.0
p, p'-DDD	1.6	ND – 3.0
p, p'-DDE	1.3	0.3 – 4.3
p, p'-DDT	0.8	ND – 1.3
Σ DDTs	3.5	ND – 8.7
α -Endosulfán	1.0	ND – 1.4
β -Endosulfán	0.5	ND – 1.3
Σ Endosulfán	1.5	ND – 2.8

ND. No detectado.

Por otra parte, en el suelo se detectaron los mismos plaguicidas que en las muestras biológicas (lindano, endosulfán y DDTs), pero en mayores concentraciones, por ejemplo; el DDT total (Σ p,p'-DDT, p,p'-DDE, p,p'-DDD) estuvo en el rango de 0.92-96.6 $\mu\text{g/Kg}$, con un valor promedio de 34.21 $\mu\text{g/Kg}$ (Tabla 2). La presencia de lindano ambiental y biológico, se puede explicar por el uso de shampoo comercial que se utilizó en este período para erradicar una plaga de piojos que se presentó en las escuelas de la localidad. Por otra parte el endosulfán, es el único plaguicida organoclorado que se permite utilizar en México (en el valle del yaqui y mayo es el más utilizado en su tipo), aunque en otros países su uso ha sido prohibido (Bejarano, 2009). En cuanto a la presencia del DDT y sus metabolitos, su presencia en el ambiente es residual, ya que éstos son altamente persistentes en el ambiente.

Tabla 2. Niveles de plaguicidas organoclorados en suelo de la comunidad de Pótam, Sonora.

Nombre del compuesto	N	Promedio (µg/Kg de suelo)	Rango	MPC* (µg/Kg)
Lindano	12	0.50	ND – 0.6	230.0
α-Endosulfán	12	1.42	ND – 2.7	1.00
β-Endosulfán	12	0.50	ND – 0.9	14.0
∑ Endosulfán		1.92	ND – 3.5	NE
p, p'-DDD	12	7.03	0.6 – 24.8	2.0
p, p'-DDE	12	23.14	0.72 – 54.2	1.0
p, p'-DDT	12	4.05	0.2 – 17.6	9.0
∑ DDTs		34.21	0.92 – 96.6	NE

N

D. No detectado.

NE. No especificado.

*MPC: Maximum Permissible Concentration established by The Ministry of Housing, Physical Planning and the Environment (MHPPE), Holanda, 2009.

Los niveles de plaguicidas organoclorados obtenidos en el suero sanguíneo de los niños de Pótam, estuvieron dentro del rango de los reportados por Meza-Montenegro et al. (2013), en niños de 6 a 12 años residentes de diferentes localidades del Valle del Yaqui y Mayo, donde también se detectó el p, p'- DDE en el 100% de las muestras de suero sanguíneo, en un rango de concentraciones de 0.5 a 10.3 µg/ L, el lindano presentó niveles de 0.25 a 1.0 µg/L y finalmente el endosulfán tuvo una concentración promedio de 0.25 µg/ L. Por lo que, sólo para endosulfán los niños de Pótam presentaron niveles seis veces mayores a la concentración promedio encontrada para los niños residentes de las comunidades del sur de Sonora. Por otro lado, Sexton et al. (2006) reportó en suero sanguíneo para niños de 3 a 6 años de edad residentes de USA, un rango de concentraciones de DDTs (∑ p, p'-DDE y DDT) de 0.70 µg/ L y de lindano de 0.044 µg/ L respectivamente, niveles cinco y quince veces menores respectivamente, a las encontradas en los niños de Pótam. En el presente estudio se observa que la ruta suelo-

polvo resuspendido, representa una fuente importante de exposición a POCs, ya que éstos pueden contaminar fuentes de agua superficial y subterránea, alimentos y además, pueden ingresar a los organismos vivos a través de la cadena trófica, representando esta última una importante ruta de exposición humana.

Niveles de arsénico en el agua de consumo humano

El arsénico inorgánico es la forma más tóxica presente en alimentos y agua, siendo ésta última la principal ruta de exposición. La contaminación de arsénico en agua potable es considerada como un problema global de salud pública (Ng et al. 2003). Por otra parte, el arsénico es reconocido como carcinógeno para el humano (IARC, 2004), ocupando el primer lugar en la lista prioritaria de sustancias peligrosas emitida por la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR) de los Estados Unidos de América (E.U.A.).

En muchos países incluyendo la India, China, Taiwán, México, Argentina y Chile la población está expuesta a concentraciones altas de arsénico a través del agua de consumo y se reportan una gran variedad de efectos adversos a la salud, incluyendo cáncer de piel, vejiga, pulmón y cánceres internos que han sido asociados a exposición crónica, siendo los efectos tóxicos y clínicos más evidentes en regiones donde el agua contiene niveles altos de arsénico. Existen muy pocos estudios asociados al metabolismo de este metaloide en niños y aún más escasos aquellos que involucran niveles de arsénico moderados y bajos (Guo et al. 1998).

Estudios muy recientes demuestran que la exposición crónica a arsénico a través del consumo de agua contaminada por fuentes geológicas se asocia al incremento de la incidencia de enfermedades crónicas de pulmón; incluyendo tos crónica, bronquitis, dificultad para respirar y enfermedad obstructiva y restrictiva de pulmón, además a varios tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares, diabetes, hipertensión, entre otras (Burgess et al. 2013). Por otro lado, existe poca información sobre los efectos a la salud que provoca la exposición crónica a bajos niveles del metaloide ($< 100 \mu\text{g As/L}$), por lo que comunidades que estén expuestas a arsénico en estos rangos de concentración deben ser sujetas de estudio.

Los niños representan un grupo social muy vulnerable a la exposición de diferentes contaminantes, debido a su inmadurez fisiológica. La susceptibilidad genética y ambiental durante periodos críticos de su desarrollo probablemente contribuyan a producir efectos adversos en la niñez o en otras etapas de su vida. Algunas investigaciones muestran que la exposición de niños a arsénico probablemente se asocie a efectos renales, pulmonares y neurológicos (Von Ehrenstein et al. 2007).

Informes de la Secretaria de Salud (2011) indican que la principal incidencia de enfermedades en la población son las enfermedades respiratorias agudas (IRAS) con una incidencia del 80%, seguidas de enfermedades intestinales, alergias de piel, enfermedades crónicas, entre otras. Investigaciones realizadas en el agua de pozo suministrada en la comunidad de Pótam para su consumo y uso doméstico (única fuente de abastecimiento) reporta un valor promedio de $93.8 \mu\text{g As/L}$, rebasando 3.75 veces el límite máximo

permisible del metaloide que establece la NOM-127-SSA1-1994 para agua de consumo humano de 25 $\mu\text{g As/L}$ y 9.38 veces el valor establecido por la EPA de 10 $\mu\text{g As/L}$, por lo que los residentes de ésta comunidad indígena han estado expuestos crónicamente al metaloide prácticamente durante toda su vida ya que por sus tradiciones culturales son personas que difícilmente migran a otros lugares (Meza et al. 2004). Es importante mencionar que recientemente Maldonado (2014), ha evaluado el riesgo a la salud no cancerígeno, en los niños residentes de Pótam, mediante la determinación del cociente de peligro (HQ) usando la metodología establecida por la US-EPA tomando como base la dosis diaria de ingestión de agua, obteniendo un valor de $\text{HQ} = 7.24 \pm 0.794$. Es importante mencionar que el 100% de los niños de Pótam tuvieron un valor de HQ mayor a 1.0, lo que significa que los menores están en riesgo de desarrollar una enfermedad crónica adversa, asociada a la exposición del metaloide.

Prevalencia de *Helicobacter pylori* en adultos de Pótam

México, es un país en desarrollo con características que favorecen la proliferación de *H. pylori* en ciertas regiones. Existen evidencias que señalan que la bacteria *H. pylori* juega un papel fundamental en el desarrollo del 95% de las úlceras duodenales y entre un 60 y 70 % de las úlceras gástricas. Esta bacteria se ha relacionado íntimamente con el desarrollo de gastritis tipo B (ambiental), esta enfermedad es solamente una manifestación clínica que puede preceder al desarrollo de cáncer gástrico. Aunque existen muchos factores que pueden propiciar la aparición de este tipo de cáncer, incluyendo el ambiente, los factores socioeconómicos e incluso el perfil genético de una población específica. La *H. pylori* es la causa más reconocida como responsable de este tipo de

tumores malignos y se cree responsable de aproximadamente 900,000 casos de cáncer por año, así como, principal causa de fallecimiento por cáncer que cualquier otro agente infeccioso (Vega, 2012).

Es sabido que nuestro país presenta una prevalencia alta en enfermedades estomacales. Los estudios sanitarios en la población favorecen la clasificación y el establecimiento de causas de las enfermedades y ayuda a obtener un panorama más amplio en cuanto al tratamiento de diversos problemas de salud.

En el período del 2009-2010, se realizó un estudio clínico para evaluar la erradicación de la bacteria *H. pylori* bajo tres diferentes esquemas de tratamiento en adultos residentes de siete sitios de América Latina entre ellos: Chile, Colombia, Costa Rica, Honduras, Nicaragua y México (Pótam y Tapachula). Los participantes estuvieron en un rango de edad de 21 a 65 años y para participar en el estudio debían dar positiva la prueba de aliento con urea, indicando ser positivos a la presencia de la bacteria *H. pylori* (Greenberg et al. 2011). Participaron un total de 249 personas residentes de Pótam, de las cuales 210 resultaron positivos a esta prueba, lo cual representa el 84.3 % de los sujetos de estudio infectados por esta bacteria. Comparando los resultados obtenidos para los otros sitios de estudio, la prevalencia de este microorganismo resultó ser el más alto en la comunidad de Pótam (Greenberg et al. 2011), valor que no es de sorprender si se considera que la comunidad no cuenta con drenaje, además donde el uso de letrinas y el defecar al aire libre, es una práctica común, aunado a una muy pobre o nula existencia de

infraestructura sanitaria, incluyendo una pobre cultura en las prácticas de higiene personal, y doméstica.

Calidad sanitaria del agua de consumo humano

La enfermedad diarreica aguda (EDA) es un problema mundial que afecta principalmente a los niños menores de 5 años de edad. Estimaciones de la Organización Mundial de la salud atribuye a esta enfermedad el 17% de las muertes a nivel mundial en este grupo de la población. En México durante el 2007, la mortalidad por EDAs fue de 14.2 defunciones por cada 100 mil menores de 5 años; los principales agentes etiológicos causantes de esta enfermedad son: rotavirus, *E. coli* enterotoxicogénica y enteropatógena, *Campylobacter jejuni*, *Salmonella spp.*, y *Shigella spp.*, (Secretaria de Salud, 2009). El agua de consumo humano sirve como vehículo de transmisión de estos agentes vía hídrico-fecal debido a un pobre o nulo tratamiento de desinfección (Félix et al. 2007).

El control de la calidad sanitaria del agua de consumo requiere de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde gastroenteritis simple hasta casos fatales de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea.

En México, las comunidades rurales han estado al margen de la verificación de la calidad del agua que utilizan para consumo humano, ya que existen reportes de comunidades con altas incidencias de enfermedades gastrointestinales y parasitarias,

donde el origen de las mismas se le ha atribuido a la deficiencia en la calidad del agua de pozo que utilizan para consumo (Félix et al. 2007). Las comunidades indígenas del sur de Sonora, utilizan como abastecimiento de agua de consumo, pozos ubicados dentro del mismo poblado; además dichas comunidades no cuentan con infraestructura para la conducción de aguas negras, por lo que el uso de letrinas es muy común, lo que implica un riesgo de intrusión de contaminación por microorganismos de origen fecal. Otro aspecto es que en la gran mayoría de estas comunidades el uso de sistemas de cloración es poco común o nulo. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad microbiológica de agua de pozo para consumo humano, procedente del poblado de Pótam, Sonora, mediante análisis microbiológicos y comparar los resultados obtenidos con las especificaciones de la NOM-127-SSA1-1994 modificada, para determinar si es apta para este uso.

Materiales y Métodos

Los muestreos se realizaron en el periodo comprendido de septiembre de 2009 a agosto de 2010, con una frecuencia mensual, seleccionando estratégicamente seis sitios de muestreo en la comunidad, incluyendo el pozo de abastecimiento. Se obtuvieron un total de 70 muestras. El muestreo, recolección y transporte de la muestra se realizó acorde a la NOM-230-SSA1-2002: también se tomaron 5 L de agua en recipientes de plástico de 10 L previamente desinfectados con cloro al 10%. Los análisis microbiológicos realizados fueron: Número más probable de coliformes totales y fecales de acuerdo a la NOM-112-SSA1-1994, aislamiento e identificación por pruebas bioquímicas de *Salmonella* según la NOM-114-SSA1-1994 y *Vibrio cholerae*

según la NOM-031-SSA1-1993, además se determinaron huevos de helminto como se indica en la NMX-AA-113-SCFI-1999, y por último se analizaron los bacteriófagos MS-2 y PRD-1 acorde a Maier et al. (2000).

Resultados y discusión

El 75.7% (n=53) de las muestras tuvo incidencia de coliformes totales, mientras que el 47.14% (33) coliformes fecales, incumpliendo con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994, la cual establece ausencia de estos indicadores de contaminación en agua de consumo humano. Es importante enfatizar, que en Pótam el agua no recibe tratamiento de cloración, antes de ser distribuida a la población, ya que durante todos los muestreos, el cloro residual en el agua del pozo no fue detectado.

Los resultados en el aislamiento e identificación de organismos patógenos como *Salmonella* y *Vibrio cholerae*, mostraron ausencia total en el 100% de las muestras (n=70). En lo que respecta a huevos de helminto se encontró su presencia solo en una muestra, debido al tamaño del huevecillo mayor a 30 μm aproximadamente, es muy difícil que éste sea arrastrado a través del subsuelo, esto puede explicar los conteos casi nulos encontrados. Las mediciones de campo mostraron que el pH de las muestras se mantuvo entre 6.5 y 8.5, la temperatura del agua osciló en los límites de 24 a 31°C, y el cloro residual fue de 0 mg/L en el total de las muestras, condiciones idóneas para la presencia de estos grupos indicadores en el agua. Por todo lo anterior, se concluye que el agua de pozo del poblado de Pótam, no es apta para consumo

humano acorde a la NOM-127-SSA1-1994 por la presencia de coliformes totales y fecales.

Conclusiones

Los resultados obtenidos de las investigaciones ambientales y de salud realizadas en la comunidad de Pótam, representan una información valiosa, que permite entender de manera global la situación ambiental de la comunidad. Es claro visualizar, que los problemas de contaminación que enfrentan los residentes de la etnia están por demás concentrados en ésta región, no existiendo una distribución justa de esta carga ambiental en sus residentes, mucho menos una participación comunitaria en las decisiones sobre actividades que afectan su ambiente y salud, así como una participación casi nula, en los programas de prevención y disminución de la exposición al riesgo, que prácticamente también están ausentes en la comunidad de Pótam.

Agradecimientos

Al programa PROFAPI-ITSON, por su apoyo en la convocatoria 2014 (PROFAPI_00396) y la convocatoria 2015 (PROFAPI_00483). También al proyecto de investigación apoyado al CA-ITSON-21 como parte de la “Red temática de investigadores y cuerpos académicos para el estudio de contaminantes emergentes y su ecotoxicología SEP-PROMEP” (2010), y sobre todo a la participación voluntaria e invaluable de los residentes de la etnia yaqui.

Literatura citada

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2003. Toxicological profile for pyrethrins and pyrethroids. U. S. Department of health and human services. Public Health Service.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA). Justicia ambiental y Participación comunitaria. <http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/justicia.html>, Mayo 18, 2013.

Bejarano, G. F., Souza, C. J., Miguel, W. J., Guadarrama, Z. C., Escamilla, P. E., Beristáin, R. B., Acosta, M., Cárcamo, M. I., Ramírez, M. F., Pérez, C. N. 2009. El endosulfán y sus alternativas en América Latina. RESUMEN. Reporte 1. Red Internacional de Eliminación de Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN) y Red de Acción sobre Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL). http://www.rap-al.org/articulos_files/Alternativas_12_Julio.pdf.

Burgess, J. L., Kurzius-Spencer, M., O'Rourke, M. K., Littau, S. R., Roberge, J., Meza-Montenegro, M. M., Gutiérrez-Millán, L. E., Harris, R. B. 2013. Environmental arsenic exposure and serum matrix metalloproteinase-9. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*. 23:163-169.

Codru, N., Schymura, M., Negoita, S., Rej, R. y Carpenter, D. 2007. Diabetes in Relation to Serum Levels of Polychlorinated Biphenyls and Chlorinated Pesticides in Adult Native Americans. *Environmental Health Perspectives*, 115:1747-1752.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. DOF. 02-07-2015.

Félix Fuentes, A., O. N., Campas Baypoli, M. G., Aguilar Apodaca y M. M. Meza Montenegro. 2007. Calidad microbiológica del agua de consumo humano de tres

comunidades rurales del sur de Sonora (México). RESPYN. 8: (3). Disponible en la página: http://www.respyn.uanl.mx/viii/3/articulos/calidad_de_agua.htm; Fecha de acceso: Julio 2011.

Greenberg, E. R, Anderson, G. L., Morgan, D. R., Torres, J., Chey, W. D., Bravo, L. E, Dominguez, R. L., Ferreccio, C., Herrero, R., Lazcano-Ponce, E. C., Meza-Montenegro, M. M., Peña, R., Peña, E. M., Salazar-Martínez, E., Correa, P., Martínez, M. E., Valdivieso, M., Goodman, G. E., Crowley, J. J., Baker, L. H. 2011. 14-day triple, 5-day concomitant, and 10-day sequential therapies for *Helicobacter pylori* infection in seven Latin American sites: a randomised trial. *The Lancet*, 378: 507-514.

Guo, H.-R., Lipsitz, S.R., Hu, H. and Monson, R.R. 1998. Using ecological data to estimate a regression model for individual data: the association between arsenic in drinking water and incidence of skin cancer. *Environmental Research* 79:82–93.

International Agency Research Cancer (IARC), 2004. Monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 84, pp. 209–214. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo de Población y Vivienda, principales resultados por localidad. Obtenido de: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est

Lee, D.H., Steffes, M., Jacobs, D. 2007. Positive Associations of Serum Concentrations of Polychlorinated Biphenyls or Organochlorine Pesticides with Self-Reported Arthritis, Especially Rheumatoid Type, in Woman, *Environmental Health Perspective*, 115: 883-888.

Maier Raina M. Pepper Ian I., Gerba Charles P. 2000. Environmental Microbiology. 1ª Edición. Academic Press Inc. China.

Maldonado-Ecalante, J. F., Burgess, L. F., Meza-Figueroa, D. M., Mondaca-Fernández, I., Balderas Cortés, J. J., Elizalde-Meza, D. A, Meza-Montenegro, M. M. 2014. Health Risk Assessment in Children Exposed to Low Arsenic Levels through Drinking Water from the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. ISES. 24th Annual Meeting. October 12th-16th, Cincinnati, Ohio.

Martínez, V. C. y Gómez, A. S. 2007. Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas. Rev. Int. Contam. Ambient. 23:185-200.

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.

Meza-Montenegro, M. M., Valenzuela-Quintanar, A. I., Balderas-Cortés, J. J., Yañez-Estrada, L., Gutiérrez-Coronado, M. L., Cuevas-Robles, A., & Gandolfi, A. J. 2013. Exposure Assessment of Organochlorine Pesticides, Arsenic, and Lead in Children From the Major Agricultural Areas in Sonora, Mexico. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 64:519-527.

Ministry of Housing, Physical, Planning and the Environment (MHPPE). 2009. Soil Remediation Circular, Holanda. Obtenido de <http://www.vrom.nl/37765>.

NRC. 1993. National Research Council. Pesticides in the diets of infants and children. Washington DC: National Academic Press.

NMX-AA-113-SCFI-1999. 1999. Análisis de agua. Determinación de huevos de helminto. Método de Prueba. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial

NOM-112-SSA1-1994. 1994. Bienes y Servicios. Determinación de Bacterias Coliformes. Técnica del Número más Probable. Secretaria de Salud.

NOM-114-SSA1-1994. 1994. Bienes y servicios. Método para la determinación de Salmonella en alimentos. Secretaria de Salud

NOM-031-SSA1-1993. 1993. Bienes y Servicios. Productos de la Pesca. Moluscos Bivalvos Frescos-Refrigerados. Especificaciones Sanitarias. Secretaria de Salud

NOM-127-SSA1-1994. 1994. "Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud.

NMX-AA-051-SCFI-2001. 2001. Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. Norma mexicana disponible en: www.semarnat.gob.mx.

NMX-AA-132-SCFI-2006. 2006. Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. Norma Mexicana disponible en: www.semarnat.gob.mx.

Orduño, Valenzuela, Raymundo. 2010. Niveles de plaguicidas organoclorados en niños de la comunidad de Pótam, Sonora y Evaluación de posibles rutas de exposición. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora, México.

Pitarch, E. 2001. Desarrollo de metodología analítica para la determinación de plaguicidas organofosforados y organoclorados en muestras biológicas humanas. Tesis doctoral. Universidad de Jaume, España.

Sagiv, S., Nugent, J., Brazelton, T., Choi, A., Tolbert, P., Altshul, L., y Korrick, S. 2008. Prenatal Organochlorine Exposure and Measures of Behavior in Infancy Using the

Neonatal Behavioral Assessment Scale (NBAS). *Environmental Health Perspectives*, 116: 666-673.

Secretaria de Salud. 2009. *Enfermedades Diarreicas agudas: Prevención control y tratamiento*. México 159 pp.8.

Sexton, K., Adgate, J. L., Fredrickson, A. L., Ryan, A., Needham, L., y Ashley, D. 2006. *Usin Biologic Markers in Blood to Asses Exposure Multiple Environmental Chemicals for Inner-City Children 3-6 Years Of Age*, *Environmental Health Perspectives*, 114: 453-459.

Trejo-Acevedo, A., Díaz-Barriga, F., Carrizales, L., Domínguez, G., Costilla, R., Ize-Lema, I., Yarto-Ramírez, M., Gavilán-García, A., Mejía-Saavedra, J., y Pérez-Maldonado I. 2009. *Exposure Assessment of Persistent Organic Pollutants and Metals in Mexican Children*, *Chemosphere* 74:974-980.

Valenzuela, A. Armenta, R. Moreno, E. Gutiérrez, L. Grajeda, P. Orantes, C. 2006. *Optimización y validación de un método de dispersión de matriz en fase sólida para la extracción de plaguicidas organofosforados en hortalizas*. *Rec Fac Agron (LUZ)* 2006. 23: 464-474.

Vega Millan, Christian Beatriz. 2012. *Prevalencia de Helicobacter pylori en niños y adolescentes de 5 a 15 años en la comunidad Yaqui de Tetabiate, Sonora*. Tesis. ITSON. Cd. Obregón, Sonora.

Von Ehrenstein, O S.; Poddar, S; Yuan, Y; Mazumder, D G; Eskenazi, B; Basu, A; Hira-Smith, M; Ghosh, N; Lahiri, Si; Haque, R; Ghosh, A; Kalman, D; Das, S; Smith, A. 2007. *Children's intellectual function in relation to arsenic exposure*. *Epidemiology*. 18: 44-51.

Wang, R., Jain, R., Wolkin, A., Rubin, C. y Needham, L. 2009. Serum Concentrations of Selected Persistent Organic Pollutants on a Sample of Pregnant Females and Their Concentrations during Gestation, *Environmental Research Perspectives*. 117:1244-1249.

Xu, X., Dailey, A., Talbott, E., Ilacqua, V., Kearney, G. y Asal, N. 2010. Associations of Serum Concentrations of Organochlorine Pesticides with Breast Cancer and Prostate Cancer in U. S. Adults, *Environmental Health Perspectives*. 118: 60-66.

3.4 Contexto y estrategia para el desarrollo económico y social de la tribu Yaqui

Raymundo Clavero López Velarde¹

¹Comité de Desarrollo de las Comunidades Indígenas, Potam, Sonora, México.

Email: raymundo.clavero@hotmail.com

Resumen:

Los marcos regulatorios estatales en relación con los derechos indígenas, incluidos los relativos a la protección de las tierras y territorios, a la consulta y a la participación en los beneficios, son insuficientes o inexistentes, tal vez porque sigue vivo el persistente y doloroso legado del uso de la doctrina del descubrimiento para justificar el que se ignore la presencia de los pueblos indígenas y sus derechos en los Estados. Es indispensable que los efectos residuales esta doctrina desaparezcan y que los pueblos indígenas prosperen y sean valorados en los países en donde existen.

Aunado a lo anterior, actualmente, prevalece en la Tribu Yaqui una división interna que tiene sus orígenes en la lucha por el reconocimiento y respeto de su territorio, el rescate y conservación de sus recursos y su explotación en su propio beneficio; división que está

permeada por intereses particulares económicos y políticos que benefician principalmente a personas ajenas a la Tribu.

Todo lo anterior implica, no sólo dependencia, sino también cuestiones de despojos territoriales, sobreexplotación de recursos naturales, alto grado de contaminación al medio ambiente en acuíferos, aire y suelos, con inminentes daños en la salud humana, inequidad económica y el consecuente empobrecimiento regional, lo cual pone en riesgo y bajo seria amenaza de supervivencia al sistema cultural yaqui en su conjunto. En este sentido, el presente capítulo plantea algunas estrategias y líneas de acción para impulsar el desarrollo económico y cultural de la Tribu Yaqui.

Introducción

Se toma como marco que contextualiza la situación que priva en los Pueblos Indígenas, donde la Tribu Yaqui no está excluida, las aportaciones que ha hecho el Dr. James Anaya, quien conoció de cerca los problemas y demandas de este Pueblo (Anaya, 2004).

El Dr. James Anaya, Relator Especial de la ONU, centra gran parte de su trabajo en el fortalecimiento y salvaguarda de los derechos de los pueblos indígenas, a través de participar en discusiones con dirigentes indígenas en cuanto a clarificar las dimensiones prácticas del principio del libre consentimiento informado y previo (Anaya, 2013).

Anaya, señala también, con preocupación, que los marcos regulatorios estatales en relación con los derechos indígenas, incluidos los relativos a la protección de las tierras y

territorios, a la consulta y a la participación en los beneficios, son insuficientes o inexistentes.

En cuanto a dicho aspecto y al examinar la situación de los pueblos indígenas en todo el mundo, James Anaya, ha dicho que sigue vivo el persistente y doloroso legado del uso de la doctrina del descubrimiento para justificar el que se ignore la presencia de los pueblos indígenas y sus derechos en los Estados. En su declaración, en la undécima sesión del Foro Permanente de ONU, Anaya (2013), ha expuesto: “[...] Está claro que la *doctrina del descubrimiento de la era colonial*, unida a las doctrinas relacionadas de conquista y de superioridad racial europea, fue”, afirma, “una fuerza que empujó a las atrocidades cometidas contra los pueblos indígenas a una escala global, y sigue teniendo consecuencias hoy en día:

- Dicha doctrina persiste de manera vergonzosa en la jurisprudencia de los sistemas judiciales nacionales y en muchas de las leyes nacionales y regímenes regulatorios que afectan a los pueblos indígenas. Más aún,
- La doctrina del descubrimiento y el desprecio hacia los derechos indígenas que ha promovido ha infectado las percepciones y opiniones de las sociedades mayoritarias respecto a los pueblos indígenas.
- La existencia de actitudes asociadas con la doctrina colonial del descubrimiento, es decir, los sentimientos de superioridad por parte de los actores dominantes y el desprecio hacia las culturas, valores y modos de vida de los pueblos indígenas, sigue permeando diferentes sectores de la sociedad en distintas formas en todo el mundo.

- Esta infección doctrinal de la sociedad tiene como resultado, en muchos lugares, la continuada discriminación contra los pueblos indígenas y la invisibilidad de los pueblos indígenas en las esferas política, económica y social de los estados en los que viven.

A estos procesos y visión global sobre el tema indígena, se suma que el desafío yace en comenzar una nueva era, en la que los efectos residuales de la doctrina del descubrimiento desaparezcan y los pueblos indígenas prosperen y sean valorados en los países en donde existen. En su declaración termina señalando que: “[...] queda mucho por hacer, muchos obstáculos importantes persisten. Considerando lo ya conseguido, existen motivos de gran esperanza en el futuro para los pueblos indígenas.

Ubicación Geográfica de la Tribu Yaqui.

En diciembre del 2005, una comisión de la Tribu Yaqui acompañó a funcionarios y técnicos de la Secretaría de la Reforma Agraria, del Registro Agrario Nacional y del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), en un recorrido por los puntos naturales que delimitan el territorio de este Pueblo Indígena, considerando el Decreto de Lázaro Cárdenas de 1940, habiéndose obtenido como resultado la definición preliminar, pero muy aproximada de los límites reconocidos por los Yaquis. En base a esa definición, se establecieron las coordenadas geográficas de los vértices del polígono. La línea del litoral costero fue definida provisionalmente mediante la digitalización a partir de las cartas 1:250,000, publicadas por INEGI (Velasco, 2015).

El polígono que delimite al territorio así definido se muestra a continuación, mismo que comprende tierras en los municipios de Guaymas, Empalme, BÁCum, San Ignacio Río Muerto y Cajeme. Este territorio queda localizado en el rectángulo formado por los paralelos 27°16'30" y 28°18'30" latitud norte y los meridianos 109°53'00" y 110°37'30" de longitud oeste de greenwich. La superficie estimada es de 5500 km². El territorio queda circundado por el oriente y por el norte por las últimas estribaciones de la sierra madre occidental; al oeste y suroeste por el Golfo de California y al Suroeste por el Valle del Yaqui (Figura 1).

Asentada en un territorio tradicional reconocido oficialmente por el gobierno de México desde 1940 (DAAC, 1972), con una extensión de casi medio millón de hectáreas, extensas, continuas y compactas, su geografía se extiende a lo largo de una cuenca principal con varias afluentes y distintos ecosistemas, propicios entre otras actividades, para práctica de la agricultura, la ganadería y la pesca. En dicho territorio subsisten ocho pueblos tradicionales con alrededor de 30 comunidades, los cuales integran una población de aproximadamente de 32 mil habitantes, poseedores de una de las lenguas originarias más persistentes en la región.

El pueblo Yaqui se rige por leyes internas reconocidas por el derecho positivo como derecho consuetudinario, complementario y a veces en franca oposición al derecho legal mexicano. La representación del Pueblo Yaqui es a través del gobierno tradicional yaqui. La Tribu Yaqui, se reconoce así misma como una sola entidad socio política, representada por sus Ocho Pueblos Yaquis (Moctezuma, 2007).

Los ocho Pueblos en que está organizada políticamente la Tribu Yaqui, se encuentran localizados en los siguientes municipios: Municipio de BÁCUM (Loma de BÁCUM); Municipio de Cajeme (Loma de Guamúchil); Municipio de Guaymas (Tórim, Vícam, Potam, Rahum, Huirivis y Belem).

Actualmente la Tribu Yaqui cuenta con territorio y aguas propias, reconocidas mediante decreto presidencial emitido por Lázaro Cárdenas del Río como Presidente de la República en 1940 (DAAC, 1972).

La superficie del territorio está clasificada de acuerdo a las actividades productivas que realizan de la siguiente manera:

	Hectáreas
El territorio total aproximado:	485,000
Montaña de monte bajo:	307,496
Con monte laborable:	100,000
Montaña de pastizales.	20,500
Llanura litoral:	22,443
Desmontada laborable:	1,400
Superficie para cultivo:	33,396
Riego:	25,000
Bombeo:	8,000
Litoral:	60 km

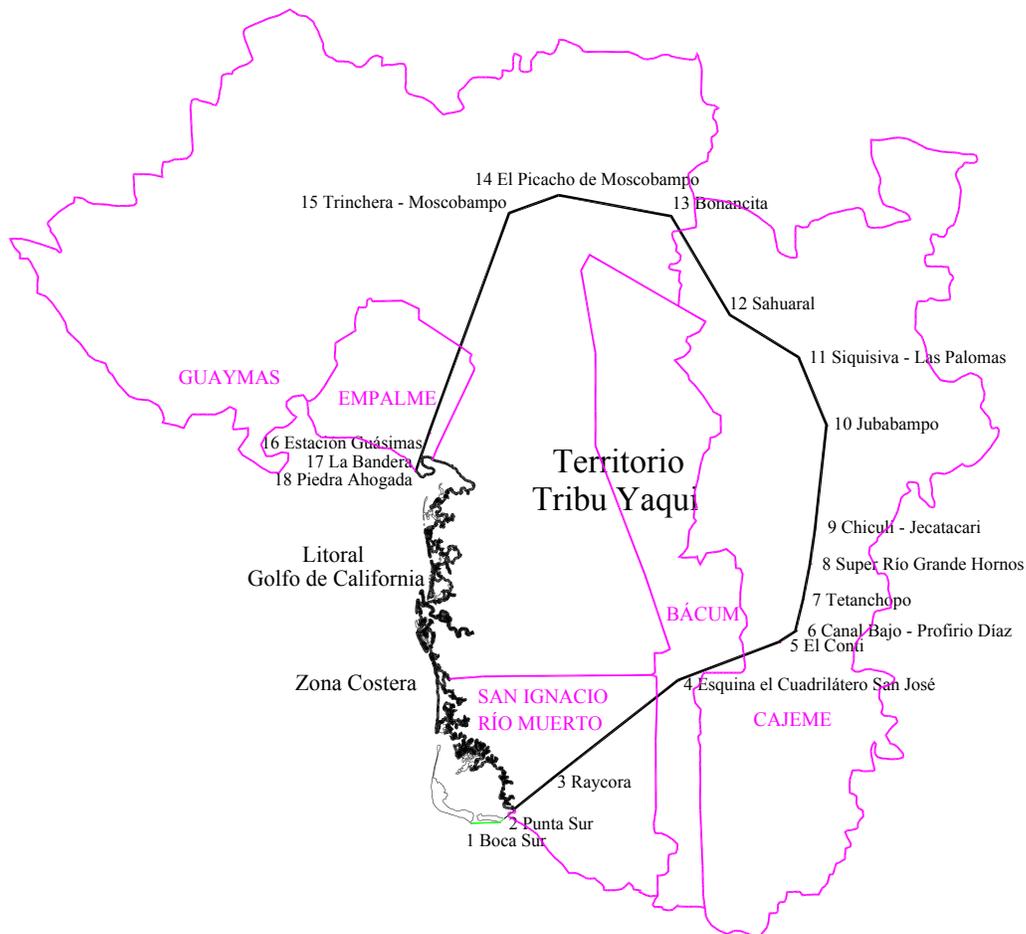


Figura 1. Plano del territorio reconocido actualmente por la tribu yaqui, basado en los datos geográficos localizados de manera física en cada punto natural. Nótese la superposición sobre la jurisdicción de los municipios de Guaymas, Empalme, San Ignacio Río Muerto, BÁCUM y Cajeme

Este decreto no se ha ejecutado a la fecha, lo que ha entorpecido entre otras cosas el desarrollo del territorio, endógeno, con el aprovechamiento de sus recursos de manera sustentable.

Gobierno y División Política.

La Tribu Yaqui tiene una existencia milenaria y a pesar del proceso histórico caracterizado, a partir de la colonización española por lograr su sometimiento e integración cultural, seguido, después de la independencia y revolución por una política de despojo e integración, ha permanecido, conservado prácticas propias en lo social, cultural, político y económico.

Atendiendo al concepto de nación, en sus dos principales acepciones, la Tribu Yaqui se puede considerar como una nación. Desde la acepción política, se tiene en la Etnia: un territorio propio, la población y el Estado Soberano (símbolos –bandera-, gobierno, leyes); desde la acepción cultural: población con una historia, lengua, religión, tradiciones, comunes. El Estado Mexicano sólo la reconoce parcialmente como un Pueblo Indígena Autónomo, sin personalidad jurídica, restándole representatividad al gobierno tradicional.

La organización política se da a través de las Autoridades Tradicionales de la Tribu Yaqui, las cuales encabezan y representan cada uno de sus Pueblos: Este Gobierno Tradicional, está Integrado por el Gobernador, el Pueblo Mayor, Capitán, Comandante y Secretario (Spicer, 1994). En primera instancia son quienes deciden, definen y actúan según los principios, normas y facultades de que son investidos por usos, tradiciones, costumbres, y son los responsables de mantener las relaciones con los distintos Niveles de Gobierno del Estado Mexicano.

Las Autoridades religiosas son tomadas en cuenta para la toma de decisiones, cobrando mayor relevancia durante la cuaresma; pues durante este periodo sustituyen a las Autoridades Tradicionales; existiendo un receso de las actividades y toma de decisiones no religiosas, que desempeña el gobierno civil.

Problemática.

Actualmente, prevalece en la Tribu Yaqui una división interna que tiene sus orígenes en la lucha por el reconocimiento y respeto de su territorio, el rescate y conservación de sus recursos y su explotación en su propio beneficio. Esta división está permeada por los intereses particulares económicos y políticos que benefician principalmente a personas ajenas a la Tribu (inversionistas Yoris o externos) y que han bloqueado un proceso autónomo de este Pueblo para decidir su propio desarrollo, prevaleciendo dichos intereses, siendo causa fundamental de esta división.

Esta situación se agudiza a partir de los años 80 con el cambio de políticas públicas para el desarrollo rural, como la desincorporación de las empresas estatales, (entre otras BANRURAL, CONASUPO, ANAGSA, FERTIMEX, ETC.), el tratado de libre comercio, generando problemas de: migración, organización económica de los productores, cartera vencida; provocando la renta de tierras agrícolas, la sobreexplotación de los recursos silvícolas y del litoral por personas ajenas a la Tribu. A su vez, el que los miembros de la Tribu Yaqui no puedan explotar sus propios recursos naturales trae consigo la migración de su población, con el consecuente proceso de aculturación y pérdida de identidad.

Estrategias

La Tribu Yaqui, ha estado en una permanente lucha por lograr sus aspiraciones fundamentales, buscando o aprovechando las coyunturas políticas, que se han presentado. El movimiento del Bahugo 2001-2003, como estrategia de lucha civil, sentó el precedente de un proceso continuado hasta el día de hoy, en el sentido de enmendar los derechos históricos y políticos relativos a territorio, recurso agua y forma de gobierno tradicional, entendidas como reivindicaciones fundamentales (de la Maza, 2011).

Las reformas constitucionales relativas a la posesión de la tierra, impulsadas por el Estado desde la década de los noventa, han estimulado un distanciamiento político para con los pueblos indígenas, en donde se generan fenómenos como el “rentismo”, parasitario respecto al actual modelo agrícola en la Tribu Yaqui. Lo anterior implica no sólo dependencia sino cuestiones de despojos territoriales, explotación de recursos naturales, alto grado de contaminación al medio ambiente en acuíferos, aire y suelos, con inminentes daños en la salud humana, inequidad económica y el consecuente empobrecimiento regional, lo cual pone en riesgo y bajo seria amenaza de supervivencia al sistema cultural yaqui en su conjunto. Ante este marco, la Tribu Yaqui plantea las siguientes estrategias:

Desarrollo Económico

1. *Reactivación de la actividad agrícola*, con base en las siguientes acciones fundamentales: Reestructuración global de la cartera vencida, generada con BANRURAL, consolidando las cuentas de los productores como un solo sujeto

económico; pago a la cartera vencida previa reestructuración, con la finalidad de elaborar e implementar un proyecto de recuperación de sus tierras actualmente rentadas. El “rentismo” implica una serie de situaciones que impactan de manera negativa la economía yaqui, pero tiene sin embargo su lado más nocivo en diversos campos de lo social y lo político. Toda vez que los titulares de los terrenos son personas de edad avanzada, éstos, ante el bajo ingreso que otorga la renta de sus tierras, se ven obligados a trabajar sobreexplotados en campos vecinos o en los suyos propios. El pago por renta de la tierra es insuficiente para cubrir las necesidades de las familias, lo que se aprovecha por el inversionista para comprometer la tierra por ciclo agrícolas futuros, dificultando la recuperación de la tierra por parte de los titulares yaquis.

Por otro lado, debido a la práctica de una agricultura moderna e intensiva, que realiza el empresariado agrícola, sustituto del agricultor indígena, se han perjudicado principalmente, no sólo los factores fisicoquímicos del suelo, que inciden en un empobrecimiento en su estructura, sino que se han contaminado éstos, elevando los niveles tóxicos en los mantos acuíferos y medio ambiente por residuos provenientes de los agroquímicos.

Creación de un sistema de financiamiento agrícola integral generalizado, orgánico al Gobierno Tradicional; apertura de 15,000-00 hectáreas para el desarrollo de la agricultura; determinación de una estrategia política y técnica, operada en un Plan de Negocios de los ocho Pueblos y para los ocho Pueblos.

2. *Actividad ganadera:* Desarrollo de un proyecto de desarrollo agropecuario integral, como impulso a una cuenca lechera, creación de un programa por Pueblo de engorda y pre-engorda mediante la creación de una Asociación Ganadera en la Tribu Yaqui; Apoyos de proyectos ganaderos que se ubicaran en el punto del lindero conocido como Rey Kora y Moscobampo; corrida extraordinaria de ganado del rancho Agua Caliente, bajo estrategia de reordenamiento administrativo y técnico de los ocho Pueblos.

3. *Actividad Pesquera:* Acciones concretas de reactivación pesquera con proyectos específicos para la Cooperativa Pesquera de las Comunidades Yaquis; creando una comisión de revisión de rezagos financieros a dicha Cooperativa, para solventarlos o compensarlos con estímulos gubernamentales, para darle viabilidad a los nuevos proyectos.

Desarrollo Social

Educación

1. Fortalecer la educación de la Tribu Yaqui, bajo una nueva orientación con una estrategia educativa desde el seno de reuniones de los ocho Pueblos. Creación de una Comisión de diagnóstico y reorientación de la nueva política educativa de la Tribu Yaqui, con miras a la formación del Proyecto Regional de Educación.

2. Crear una Comisión con respaldo presupuestal, para cuantificar los recursos financieros aplicados en los diferentes niveles del territorio en posesión legal de la

- Tribu Yaqui y confrontarlos con la caracterización de la calidad educativa, como diagnóstico para formular un modelo educativo curricular para todos los niveles, empezando con los niveles inicial, preescolar y primaria. Se ocupa una nueva visión Institucional que perciba a la Tribu como una unidad de planeación, para reorientar los trazos jurisdiccionales entre e inter - niveles educativos, así como los contenidos apegados al enfoque de pertenencia cultural.
3. Creación de la Universidad Indígena con adscripción y registro oficial, bajo un esquema de vinculación y acuerdos con el Gobierno Tradicional de los Ocho Pueblos, desde su inicio en la definición de carreras, así como en la planeación, seguimiento y evaluación de las metas de calidad académica a establecerse.
 4. Apoyo para un organismo de deporte de la Tribu Yaqui, que coordine y fomente en todos los pueblos, el deporte popular, el deporte federado, la detección de talentos para proyectarles en el alto rendimiento, campañas de activación física para todas las edades y la capacitación de directivos, jueces y entrenadores, de acuerdo a sus campos de funcionalidad.

Agua Potable

Descentralización operativa mediante creación del Organismo Operador de Agua Potable con la estructura funcional de atención a los ocho Pueblos de la Tribu Yaqui. Realizar acciones de planeación y ejecución de obras que garanticen la dotación de agua potable al 100 % de la Población Yaqui.

Electrificación

Existen comunidades que no tienen resuelto en su totalidad el servicio de energía eléctrica, por lo que las Autoridades Tradicionales han estado gestionando la atención de este rezago.

Vías de comunicación

En la mayoría de los Pueblos se presenta el problema de accesos adecuados, principalmente en épocas de lluvias, se vuelven intransitables los caminos de terracería, hay necesidad de reparación de esos caminos, emparejándolos, utilizando los materiales adecuados que permitan el tránsito fluido en todo el año. Así mismo se presenta esta problemática en los caminos que llevan al mar dificultando la actividad económica de los productores.

Vivienda

Existe un déficit importante de vivienda digna en la mayoría de las comunidades, se plantea el diseño adecuado de construcción de vivienda, combinando el diseño arquitectónico tradicional y materiales de construcción combinados para construir una vivienda sólida, que les de seguridad y respete su cultura.

Salud

En la Tribu Yaqui, hay un fuerte problema de salud caracterizado por una deficiente atención, por un sistema de gobierno que no cuenta con la capacidad para responder a la demanda. Esta situación se ve agudizada por las condiciones de pobreza, por la explotación irracional de sus recursos, agua y tierra que presentan condiciones de contaminación que dañan la salud de la población indígena. Podemos considerar el alto grado de alcoholismo y drogadicción que hay la Tribu Yaqui, como un problema de salud que requiere su debida atención; la drogadicción está afectando a los adolescentes y jóvenes, con un elevado incremento en los problemas de narcotráfico y la violencia que este genera.

Atender estas estrategias para el desarrollo de la Tribu Yaqui, obliga a contar con el marco de referencia, que solo puede proporcionar un diagnóstico que permita conocer a profundidad la problemática y sus causas y poder ubicar y caracterizar los diferentes aspectos, económicos, sociales, culturales y políticos, a tomar en cuenta para el planteamiento, implementación y ejecución de un *Plan Estratégico para el Desarrollo Integral Sustentable de la Tribu Yaqui*.

El alcance de la oferta institucional actual como Desarrollo de Comunidades Indígenas queda limitada, ya que no se cuenta con los suficientes recursos para atender los grandes proyectos que la Tribu plantea, lo que obliga a una acción transversal de coordinación entre las distintas instituciones que tienen como objetivos el desarrollo rural, la que tendría que darse a partir del diagnóstico y proyectos construidos por la propia etnia.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Artículo 2o., en su apartado B señala que: “La Federación, los Estados y los Municipios [...] establecerán las instituciones y determinarán las políticas necesarias para garantizar la vigencia de los derechos de los indígenas y el desarrollo integral de sus pueblos y comunidades, las cuales deberán ser diseñadas y operadas conjuntamente con ellos”.

El Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 establece en sus Estrategias 1.1.5, 2.1.2 y 2.3.2: “Consolidar el derecho a la libre determinación y autonomía de los pueblos indígenas y afroamericano, y su coordinación con los tres órdenes de gobierno; Priorizar las políticas y programas de bienestar que tengan como objetivo salvaguardar los derechos de niñas, niños, jóvenes, mujeres, adultos mayores, personas con discapacidad, pueblos y comunidades indígenas y afroamericanas; y, Articular las políticas y programas orientados a la producción sostenible para promover la oferta de alimentos a precios accesibles de preferencia en localidades de alta marginación, pueblos y comunidades indígenas y afroamericanas, y con altos niveles de violencia”. Aún mas, el Objetivo 3.8 establece: “Desarrollar de manera sostenible e incluyente los sectores agropecuario y acuícola-pesquero en los territorios rurales, y en los pueblos y comunidades indígenas y afroamericanas.” Para poder operar estas estrategias es necesario plantear líneas de acción como: promover el desarrollo económico de los pueblos y comunidades indígenas, a través de la implementación de acciones orientadas a la capacitación, desarrollo de proyectos productivos y la comercialización de los productos generados, que vaya en línea con su cultura y valores, así como impulsar políticas para el aprovechamiento sustentable y sostenible de los recursos naturales existentes en las regiones indígenas y

para la conservación del medio ambiente y la biodiversidad, aprovechando sus conocimientos tradicionales.

Asimismo, la Comisión impulsa a través de sus Centros Coordinadores para el Desarrollo Indígena, la “Planeación y Gestión del Territorio para el Desarrollo con Identidad”, cuyo objetivo principal es orientar la acción pública para que sea la comunidad indígena el espacio donde se lleve a cabo el proceso de planeación de su desarrollo con una participación activa, consciente y congruente con su propia identidad. Finalmente considerando las estrategias, se plantea atender las demandas básicas, implementándolas a través de los programas operativos.

Literatura citada

Anaya, J. 2004. Indigenous Peoples in International Law (Oxford Univ. Press, 1996, 2d. ed. 2004). ISBN 0-19-517350-3

Anaya, J. 2013. Declaración del Relator Especial sobre los derechos de los pueblos indígenas al concluir su visita al Perú. <http://unsr.jamesanaya.org/statements/declaracion-del-relator-especial-sobre-los-derechos-de-los-pueblos-indigenas-al-concluir-su-visita-al-peru>

DACC. 1972. “Acta de deslinde total de los terrenos que se restituyen a la Tribu Yaqui en el Estado de Sonora, 13 de octubre, copia notarial de la original en poder de las autoridades yaquis, Notaría Núm. 8, Guaymas, Sonora, 19 de mayo de 1972”.

de la Maza, F. (2011). Gobierno indígena y política social. Programa de Desarrollo Integral para la Tribu Yaqui, Sonora, México. Cultura - Hombre - Sociedad CUHSO. 21. 10.7770/cuhso-V21N1-art120.

Moctezuma Zamarrón, J. L. 2007. Yaquis: pueblos indígenas de México contemporáneo. Comisión Nacional para el desarrollo de los Pueblos Indígenas. 55 pp. ISBN 978-970-753-132-1.

SPICER, E. (1994). Los yaquis. Historia de una cultura. UNAM, México. 491 pp. ISBN 9683618367

Velasco Toro, J. 2015. Autonomía y territorialidad entre los yaquis de Sonora, México. Diario de campo. CONACULTA/INAH. 8:32-40.



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.

