



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

COORDINACIÓN DE DESARROLLO PROFESIONAL E INSTITUCIONAL

SUBCOORDINACIÓN DE POSGRADO

Estimación y dispersión de contaminantes en el río Yaqui (Sonora, México); evaluación y riesgos ambientales DP1912.1





Responsable del proyecto Dra. Sofía E. Garrido Hoyos

Participantes Dr. Ariosto Aguilar Chávez
Dra. María Vicenta Esteller Alberich
Dr. Carlos Díaz Delgado
Dr. Martín E. Jara Marini
Dra. Pilar Saldaña Fabela
Dra. Ma. Antonieta Gómez Balandra
Dr. Rubén Morales Pérez
Dr. Héctor David Camacho González
M. en I. Martha Avilés Flores
M. en I. Víctor Mejía Astudillo (Finado)

Colaboradores M. en I Ángel Mendoza González
M. en I Ariadna Ocampo Astudillo
M. en I Karina García Mendoza
M. en I. Beatriz González Pérez
Q. Ignacio Zuñiga Pérez
Ing. Jorge Solís Tamayo
Ma. Teresa Rodríguez García



RESUMEN EJECUTIVO

El presente constituye el informe final del segundo año de actividades del proyecto **Estimación y dispersión de contaminantes en el río Yaqui (Sonora, México); evaluación y riesgos ambientales**, en él se muestra el inventario preliminar sobre la contaminación del río Yaqui, también se exponen los preliminares del modelo de dispersión y transporte de los contaminantes a través del río hasta el Golfo de California, y finalmente el estudio de la posible bioacumulación y/o biomagnificación de los contaminantes en la cadena trófica del ecosistema acuático.

En la elaboración de este proyecto se realizaron dos visitas de campo efectuadas en los meses de julio y noviembre de 2017, marzo y diciembre 2018 y marzo 2019, en la primera, de tipo prospectiva, se logró identificar y acotar la zona de estudio, a la par, se tomaron muestras el agua, sedimento y organismos, en la segunda visita, se dio continuidad a aquellos puntos de interés que resultaron en el primer muestreo. La información se procesó y se determinó concentración, el origen y la forma físico-química de cada contaminante identificado. Se compararon con la normatividad vigente para cada caso.

La finalidad de elaborar un inventario de la contaminación es identificar y determinar la posible bioacumulación y/o biomagnificación de los contaminantes en la cadena trófica del ecosistema, evaluado y monitoreando el impacto de contaminantes, para proponer medidas de mitigación que contrarrestar daños ambientales y de salud pública.

Por otra parte, el estudio de metales realizado se enfocó en la interacción agua, sedimento y organismos que están presentes en la laguna Tóbari, la cual fue declarada por la Red Hemisférica de Reservas para las Aves Playeras en la categoría “Internacional”.

El desarrollo de este trabajo y los resultados obtenidos podrán ser considerados como de referencia por los tomadores de decisiones para la definición de nuevos y/o de mejoras de los criterios de evaluación y monitoreo medioambiental en las cuencas hidrológicas. La contaminación difusa presente en la zona de estudio se atribuye al transporte y transformación de desechos presentes e incorporados de manera no puntual, esto nos



muestra un panorama de acumulación de contaminantes, como resultado del estudio de la dispersión y transporte de los contaminantes inorgánicos-orgánicos presentes en la cuenca del río Yaqui

La aportación de este proyecto a la seguridad hídrica en tema agrícola y de salud pública, ha sido por primera vez, la identificación de los puntos más críticos de contaminación en la zona de estudio: Descarga de agua del DCA16 a la laguna Tóbari (Sólidos, salinidad, aniones, metales, fertilizantes y plaguicidas); Vertido de aguas residuales porcícolas; Zona camaronera; Pozos de abastecimiento de agua para consumo humano; Hipersalinidad de la laguna Tóbari.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ing. Eduardo Rochin Villegas, Subdirector de Operación y Mantenimiento OOMAPAS de Cajeme y al Distrito de Riego del Río Yaqui Ings. Humberto Borbón Valencia Director General, Humberto Yocupicio Soto Gerente de Operación de la Sociedad de Responsabilidad Limitada, Juan Carlos Nieblas Valderrama de Operación y Lic Efraín Ruíz Jefe de Hidrometría, por su valiosa ayuda durante los muestreos en el Dren Colector Arroyo 16.



1 CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1 ANTECEDENTES.....	4
1.1 Descripción de la zona de estudio.....	4
1.1.1 Sonora	4
1.1.1.1 Cuenca del Río Yaqui.....	5
1.1.1.1.2 Clima	6
1.1.1.1.3 Fisiografía	7
1.1.1.1.4 Edafología	8
1.1.1.1.5 Geología	9
1.1.1.1.6 Hidrología superficial	11
1.1.1.1.7 Hidrología subterránea.....	12
1.1.1.1.8 Uso de suelo.....	13
1.1.1.2 Distrito de riego río Yaqui (DR041).....	14
1.1.1.2.1 Red de drenaje.....	15
1.1.1.2.2 El agua en el DR041 Río Yaqui	16
1.1.1.3 Bahía del Tóbari.....	17
1.1.1.3.1 Descargas del drenaje agrícola a la Bahía del Tóbari.....	20
1.1.1.4 Delimitación de la zona de estudio	21
1.1.2 Problemática.....	23
1.1.3 Investigaciones previas realizadas en la zona de estudio	29
2 INVENTARIO DE LA CONTAMINACIÓN.....	40



2.1	Metodología	40
2.1.1	Muestreo preliminar	40
2.1.1.1	Selección de puntos de muestreo.....	41
2.1.2	Campañas de muestreo.....	43
2.1.3	Métodos y técnicas experimentales.....	44
2.2	Resultados.....	67
2.2.1	Agua.....	67
2.2.1.1	Parámetros de campo	67
2.2.1.2	Parámetros físicos de laboratorio.....	79
2.2.1.3	Aniones.....	80
2.2.1.4	Cationes disueltos.....	80
2.2.1.5	Mercurio.....	87
2.2.1.6	Carbono Orgánico Total COT.....	92
2.2.1.7	Plaguicidas	97
2.2.1.8	Compuestos de método cromatográfico.....	99
2.2.1.8.1	Compuestos obtenidos resultado de cromatograma.....	102
2.2.2	Sedimentos.....	102
2.2.2.1	Metales	102
2.2.3	Organismos	113
2.2.3.1	Metales	113
2.3	Distribución de carga contaminación respecto arsénico, COT, Cromo, Plomo, Sólidos Disueltos Totales y Zn.....	117
3	REPORTE DE AFORO EN DRENES.....	122



3.1	Puntos de aforo y resultados, noviembre 2017	122
3.1.1	Puntos de aforo.....	122
3.1.2	Resultados.....	123
3.1.2.1	Punto AR-16-1	123
3.1.2.2	Punto AR-1-3	124
3.1.2.3	Punto AR-1-5	125
3.1.2.4	Punto AR-16-7	126
3.1.2.5	Punto AR-16-9	128
3.1.2.6	Punto AR-16-11	129
3.1.2.7	Punto AR-16-13	130
3.1.2.8	Punto AR-16-15	131
3.2	Hidrodinámica	132
3.3	Mareas	134
3.4	Modelo hidrodinámico y determinación del campo de masa	136
3.4.1	Formulación.....	136
3.5	Modelo de transporte.....	141
3.6	Condiciones Iniciales.....	143
3.7	Condiciones de Frontera.....	144
3.8	Forzantes.....	145
3.9	Mediciones de los parámetros (Desarrollo de la investigación)	146
3.9.1	Flujos de Corrientes Boca norte	146
1.1	Flujos de Corrientes Boca sur.....	147



3.10	Comportamiento de la laguna	148
3.11	Determinación del Campo de masa en la laguna del Tóbari	148
3.12	Equipo CTD	149
3.13	Análisis de las mediciones con CTD	150
3.14	Batimetrías.....	152
3.15	Modelación numérica de la laguna (Resultados).....	156
4	Campaña de muestreo marzo 2019	160
4.1	Procedimiento para determinación del gasto	162
4.2	Sitios de aforo	165
4.3	Aforos	165
4.4	Resultados.....	166
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	169
6	BIBLIOGRAFÍA.....	173
7	Anexos	¡Error! Marcador no definido.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización Cuenca Río Yaqui.....	5
Figura 1.2 Tipo de Clima en Cuenca Río Yaqui	6
Figura 1.3 Provincias fisiográficas en Cuenca Río Yaqui	7
Figura 1.4 Edafología superficial de la Cuenca del Río Yaqui.....	9
Figura 1.5 Geología de la Cuenca del Río Yaqui	10
Figura 1.6 Grupos geomorfológicos de la Cuenca del Río Yaqui	11
Figura 1.7 Ríos en la cuenca Río Yaqui	12
Figura 1.8 Acuíferos en la Cuenca Rio Yaqui	13
Figura 1.9 Uso de suelo en Cuenca del Rio Yaqui.....	14
Figura 1.10 Localización y configuración del DR041 (sin escala)	15
Figura 1.11 Volumen combinado de riego suministrado en el DR041 Fuente: CONAGUA (2011).....	16
Figura 1.12 Bocanarras Norte y Sur comunicación al mar (SAGARPA, 2008).....	18
Figura 1.13 Principales Sitios en la Bahía del Tóbari (SAGARPA, 2008).....	19
Figura 1.14 Celdas de División de la Zona de Estudio	20
Figura 1.15 Localización de drenes en la Bahía del Tóbari (Fuente: GS Ingeniería Integral S.A. de C.V., 2008).....	21
Figura 1.16 Diagrama de la zona de estudio	22
Figura 1.17. Modelo de posibles vías de incorporación de contaminantes en el curso bajo de la cuenca del río Yaqui (elaboración propia)	27
Figura 2.1 Vista de los drenes sin caudal (junio 2017)	41



En la Figura 2.2 se muestran los puntos del recorrido (imagen de satélite usando Google Earth y posicionando las coordenadas obtenidas en cada punto).....	42
Figura 2.3 Puntos de recorrido durante la visita prospectiva.....	43
Figura 2.4 Montaje Experimental.....	51
Figura 2.5 Técnica D-SPME aplicada GC-MS para el análisis IMTA	52
Figura 2.6 y Figura 2.7 Técnica HSPME Aplicada GC MS Sobre Filtrado	53
Figura 2.8 Diagrama de muestreo dren arroyo 16.....	55
Figura 2.9 Galería de la ubicación de los diferentes puntos de muestreo en (Drenes, Pozos, Plantas potabilizadoras y Plantas de tratamiento)	63
Figura 2.10 Puntos del recorrido en la zona de estudio	64
Figura 2.11 Puntos de muestreo en Bahía del Tóbari	65
Figura 2.12 Puntos de muestreo en el dren Arroyo 16	65
Figura 2.13 Puntos de muestreo en pozos	66
Figura 2.14 Puntos de muestreo plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales.....	67
Figura 2.15 Comparativo de pH los puntos muestreados en la Bahía del Tóbari	68
Figura 2.16 Comparativo de pH los puntos muestreados en el DCA16	69
Figura 2.17 Comparativo de pH los puntos muestreados en pozos de agua potable	70
Figura 2.18 Comparativo salinidad (PSU) en la Bahía del Tóbari	71
Figura 2.19 Comparativo salinidad (PSU) en la Bahía del Tóbari	72
Figura 2.20 Comparativo de Salinidad (PSU) en pozos de agua potable.....	73
Figura 2.21 Comparativo de Oxígeno Disuelto (mg/L) en la Bahía del Tóbari	74
Figura 2.22 Comparativo de Oxígeno Disuelto (mg/L) en el DCA16	75



Figura 2.23 Comparativo de Oxígeno Disuelto (mg/L) en pozos	76
Figura 2.24 Comparativo de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en la Bahía del Tóbari	77
Figura 2.25 Comparativo de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en el Dren Colector Arroyo 16	78
Figura 2.26 Comparativo de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en pozos de agua potable ..	79
Figura 2.27 Comparativo de boro (mg/L) en los puntos de muestreo de la Bahía del Tóbari	81
Figura 2.28 Comparativo de Mn en los puntos de muestreo de la Bahía del Tóbari	81
Figura 2.29 Comparativo de hierro (mg/L) en los puntos de muestreo de la Bahía del Tóbari	82
Figura 2.30 Comparativo de Al en los puntos de muestreo de la Bahía del Tóbari	83
Figura 2.31 Comparativo de Al en los puntos de muestreo en drenes	84
Figura 2.32 Comparativo de Boro en los puntos de muestreo en drenes	84
Figura 2.33 Comparativo de hierro (mg/L) en los puntos de muestreo en drenes	85
Figura 2.34 Comparativo de Mn en los puntos de muestreo en drenes	85
Figura 2.35 Comparativo de Na en los puntos de muestreo en pozos	86
Figura 2.36 Comparativo de Pb en los puntos de muestreo en pozos	86
Figura 2.37 Comparativo de mercurio en las diferentes campañas de muestreo en Bahía del Tóbari	88
Figura 2.38 Concentración de mercurio (mg/L) en DCA16 en pozos de agua potable	89
Figura 2.39 Concentración de mercurio (mg/L) en influentes y efluentes en plantas potabilizadoras	90
Figura 2.40 Concentración de mercurio (mg/L) en canales del sistema de distribución del DR041	91



Figura 2.41 Concentración de mercurio (mg/L) en canales del sistema de distribución del DR041	92
Figura 2.42 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en la Bahía del Tóbari	93
Figura 2.43 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en DCA16	94
Figura 2.44 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en pozos de agua potable .	95
Figura 2.45 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en influentes y efluentes en plantas potabilizadoras	96
Figura 2.46 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en plantas de tratamiento	97
Figura 2.47 Comparativo glifosato con presencia en muestras de drenes y tributarios.	98
Figura 2.48 Envase de Glifosato encontrado en la zona de muestreo.....	98
Figura 2.49 Envase de 2,4-D encontrado en la zona de muestreo.....	99
Figura -2.50 Método Instrumental GC-MS empleado	99
Figura 2.51 Etapa de calibración de tiempos de retención.....	100
Figura 2.52 Resultado de cromatograma en la muestra P6 a pH 6.78.....	101
Figura 2.53 Concentración de cobre en sedimentos de la Laguna Tóbari.....	103
Figura 2.54 Concentración de cromo en sedimentos de la Laguna Tóbari.....	103
Figura 2.55 Concentración de níquel en sedimentos de la Laguna Tóbari.....	104
Figura 2.56 Concentración de plomo en sedimentos de la Laguna Tóbari.....	104
Figura 2.57 Concentración de zinc en sedimentos de la Laguna Tóbari	104
Figura 2.58 Concentración de cadmio en sedimentos de la Laguna Tóbari	105
Figura 2.59 Concentración de mercurio en sedimentos de la Laguna Tóbari.	105
Figura 2.60 Concentraciones de arsénico total en sedimentos de la Bahía Tóbari.	106
Figura 2.61 Concentración de cadmio total en sedimentos de la Bahía Tóbari.	107



Figura 2.62 Concentración de cobre total en sedimentos de la Bahía Tóbari.....	107
Figura 2.63 Concentración de cromo total en sedimentos de la Bahía Tóbari.	108
Figura 2.64 Concentración de mercurio total en sedimentos de la Bahía Tóbari.	108
Figura 2.65 Concentración de níquel total en sedimentos de la Bahía Tóbari.....	109
Figura 2.66 Concentración de plomo total en sedimentos de la Bahía Tóbari.....	109
Figura 2.67 Concentración de zinc total en sedimentos de la Bahía Tóbari.	110
Figura 2-68. Análisis de componentes principales en la Bahía Tóbari para la concentración total de metales en sedimentos.....	113
Figura 2-69 Concentraciones de metales pesados en organismos capturados en la Laguna Tóbari	116
Figura 2-70 Distribución de carga respecto arsénico	117
Figura 2-71 Distribución de carga respecto a COT	118
Figura 2-72 Distribución de carga respecto Cromo	118
Figura 2-73 Distribución de carga respecto Cobre	119
Figura 2-74 Distribución de carga respecto arsénico Plomo	120
Figura 2-75 Distribución de carga respecto Sólidos Disueltos Totales.....	120
Figura 2-76 Distribución de carga respecto a Zn.	120
Figura 3-1. Mapa de puntos de aforo	122
Figura 3-2. Resultados en punto de aforo AR-16-1.....	124
Figura 3-4. Resultados en punto de aforo AR-16-3.....	125
Figura 3-5. Resultados en punto de aforo AR-16-5.....	126
Figura 3-6. Resultados en punto de aforo AR-16-7.....	127
Figura 3-7. Resultados en punto de aforo AR-16-9.....	129



Figura 3-8. Resultados en punto de aforo AR-16-11	130
Figura 3-9. Resultados en punto de aforo AR-16-13	131
Figura 3-10. Resultados en punto de aforo AR-16-15	132
Figura 3-11. Malla de Análisis incluyendo dragados y pedraplén	133
Figura 3-12 Simulación Hidrodinámica con Batimetría	134
Figura 3-13 Simulación de Salinidad	134
Figura 3-14 Programa MAR CICESE 2008 Pronostico de Mareas de la Zona de Estudio 2008	135
Figura 3-15 Tabla de Mareas Laguna de Yavaros y Guaymas Fecha: junio 2017	135
Figura 3-16 Figura Esquemática donde se produce la interacción de las aguas internas de la laguna con la marea	136
Figura 3-17 Variación del Nivel de las aguas.....	136
Figura 3-18 Esquema de la malla tipo σ (derecha) y malla tipo Z (izquierda), imagen de Manual Deltares (2013a).....	138
Figura 3-19 Definición del Nivel Aguas ζ , Profundidad h y profundidad Total H	139
Figura 3-20 Ejemplo malla Manual Software Delf 3D	143
Figura 3-21 Mapeo del espacio fisico al espacio Computacional (Discretizacion de la Malla) (Manual DELF3D)	143
Figura 3-22 Escalonado de Malla, Vista 3D (izquierda) y Superior (Derecha), Manual DELF 3D	143
Figura 3-23 Ejemplo de Mapas Cotidales para la componente S_2 (R.A. Morales y G. Gutiérrez, 1988) y Marea Mixta Obtenida con ayuda de script MATLAB (Calculado con los números de Doodson)	146
Figura 3-24 Ruta de Navegación Boca Norte y perfil del transecto Boca Norte	147



Figura 3-25 Ruta de Navegación Boca Sur y Perfil del transecto Boca Sur	148
Figura 3-26 Medición con equipos CTD y Perfilador ADCP en laguna	148
Figura 3-27 Coordenadas de Drenos de descargas y puntos de medición con CTD .	149
Figura 3-28 Simulación de Niveles de Marea (año completo 2017) (Marea Mixta)	149
Figura 3-29 Equipo de Medición CASTAWAY CTD	150
Figura 3-30 Temperatura y Salinidad (Norte, Centro y Sur)	150
Figura 3-31 Datos CTD Temperatura y Salinidad	151
Figura 3-32 Simulación de Salinidad	151
Figura 3-33 Base de datos GEBCON no presenta mediciones en la laguna de Tóbari (fuente: www.gebco.net)	152
Figura 3-34 Sensor Sontek M9	153
Figura 3-35. Modulo PCM (power & Communication)	153
Figura 3-36 Fuente: grafico del área de medición del equipo (Manual River Surveyor M9 2009)	154
Figura 3-37 Perfil Batimétrico del Transecto Norte	154
Figura 3-38 Perfil Batimétrico del Transecto Sur	155
Figura 3-39 Línea de Costa Creada con CIVILCAD y ajuste de puntos con ayuda de puntos de control tomados en diferentes zonas durante las mediciones	155
Figura 3-40 Línea de Costa y puntos Batimétricos exportados Global Mapper 18	156
Figura 3-41 Línea de Costa en extensión .ldb para inicio de creación de malla (DELF3D)	156
Figura 3-42 Ortogonalización de Malla Propuesta	157
Figura 3-43 Interpolación de Batimetrías DELF3D	157
Figura 3-44 Simulación de marea Laguna Tóbari	158



Figura 3-45 Volúmenes de entrada y salida producidos por la marea	159
Figura 3-46 Diferencia de volúmenes producidos por la marea	159
Figura 3-47 Grafica con los volúmenes acumulados por las mareas	160
Figura 4-1 Ubicación de los sitios de aforo en el Dren Arroyo 16 del Distrito de Riego 041 Río Yaqui.....	161
Figura 4-2 Sitios de aforo sobre los canales principales Alto y Bajo del Distrito de Riego 041 Río Yaqui.....	162
Figura 4-3 División de una sección de aforo en dovelas para la medición del gasto global	163
Figura 4-4 Registro de aforo en el sitio Arroyo 16 TD07, en la figura superior se observa la diferencia en la navegación del barco del ADCP con rastreo de fondo (línea azul) y con GPS (línea roja), la diferencia indica el movimiento del sedimento de fondo en la sección; en la figura inferior muestra la variabilidad de las velocidad medidas y los somero e irregular de la sección de aforo.....	167
Figura 4-5 Registro del SNR (rango de 0 a 100 dB) en el Arroyo 16 TD, con una profundidad máxima 0.7m.	167
Figura 4-6 Registro de SNR en el Canal Alto (rango de 0 a 80 dB) y profundidad máxima de 3.5m.....	168
Figura 4-7 Registro de SNR (rango de 0 a 100 dB) en el Canal Alto, con un acercamiento para una profundidad de 0 a 0.7 m.	168
Figura 4-8 Diferencia entre la SNR del Arroyo 16 TD07 (lado izquierdo) y el canal Alto (lado derecho), esta sección se ubica a la mitad del canal.....	169



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Áreas de la bahía del Tóbari	19
Tabla 1-2 Productos de protección química utilizados por hectárea de trigo cultivado en el Valle del Yaqui.....	28
Tabla 1-3 Caracterización de plaguicidas organoclorados (2,4-D, DDT, DDE y DDD)..	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 1-4 Caracterización de plaguicidas piretroides.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 1-5 Caracterización de plaguicidas triasoles.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 1-6 Caracterización de plaguicidas Malation, Dimetoato, Paration y Glifosato ..	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 1-7. Trabajos de investigación en el Valle del Yaqui	33
Tabla 1-8 Concentración de plaguicidas organoclorados, organofosforados y piretroides sintéticos en ecosistemas costeros (García Hernández, y otros, 2018)	37
Tabla 2-1 Sitios propuestos para muestreo	44
Tabla 2-2 Parámetros medidos en campo.....	45
Tabla 2-3 Resumen de los parámetros	46
Tabla 2-4 Parámetros analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de posgrado IMTA.....	47
Tabla 2-5 Parámetros analizados en el laboratorio de Geoquímica Ambiental Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla.....	48
Tabla 2-6 Parámetros analizados en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).....	48
Tabla 2-7 Parámetros analizados en el laboratorio ABC Química investigación y análisis S.A. de C.V.	48



Tabla 2-8 Identificación de las muestras	50
Tabla 2-9 Condiciones experimentales SPME	54
Tabla 2-10 Puntos del muestreo de las diferentes campañas.....	56
Tabla 2-11 Registro de pH los puntos muestreados en la Bahía del Tóbari.....	68
Tabla 2-12 Registro de pH los puntos muestreados en el DCA16	69
Tabla 2-13 Registro de pH los puntos muestreados en pozos de agua potable.....	70
Tabla 2-14 Salinidad (PSU) en la Bahía del Tóbari	71
Tabla 2-15 Salinidad (PSU) en el Dren Colector Arroyo 16	72
Tabla 2-16 Salinidad (PSU) en pozos de agua potable	73
Tabla 2-17 Oxígeno Disuelto (mg/L) en la Bahía del Tóbari.....	74
Tabla 2-18 Oxígeno Disuelto (mg/L) en el DCA16.....	75
Tabla 2-19 Oxígeno Disuelto (mg/L) en pozos.....	76
Tabla 2-20 Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en la Bahía del Tóbari.....	77
Tabla 2-21 Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en el Dren Colector Arroyo 16	78
Tabla 2-22 Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en pozos de agua potable	79
Tabla 2-23 Concentración de mercurio (mg/L) en la Bahía del Tóbari	87
Tabla 2-24 Concentración de mercurio (mg/L) en DCA16 en pozos de agua potable	88
Tabla 2-25 Concentración de mercurio (mg/L) en influentes y efluentes en plantas potabilizadoras.....	89
Tabla 2-26 Concentración de mercurio (mg/L) en canales del sistema de distribución del DR041.....	90
Tabla 2-27 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg de COT/L) en plantas de tratamiento	91



Tabla 2-28 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en la Bahía del Tóbari	92
Tabla 2-29 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en DCA16	93
Tabla 2-30 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en pozos de agua potable .	94
Tabla 2-31 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en influentes y efluentes en plantas potabilizadoras	95
Tabla 2-32 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en plantas de tratamiento	96
Tabla 2-33 Resultados glifosato (ug/L) con presencia en muestras de drenes y tributarios.	97
Tabla 2-34 Estándar de Calibración empleado en GC-MS	100
Tabla 2-35 Condiciones para identificación de compuestos para la muestra P6.....	101
Tabla 2-36 Identificación de compuestos encontrados en P6.....	102
Tabla 2-37 Concentraciones promedio de los tres muestreos de metales totales en sedimentos de la Bahía Tóbari (mg/kg).....	111
Tabla 2-38 Matriz de correlación de los metales pesados en sedimentos de la Bahía Tóbari.	111
Tabla 2-39 Resultados del análisis de componentes principales en la Bahía Tóbari	112
Tabla 2-40 Correlación entre las variables (metales) y los factores.....	112
Tabla 2-41 Resultados de las concentraciones de metales. en mg/kg (promedio y desviaciones estándar de los tres organismos biomonitores).....	114
Tabla 2-42 Resultados de metales en almeja y lisa muestreo noviembre 2017	114
Tabla 2-43 Especificaciones de metales pesados en organismos.....	115
Tabla 3-1. Puntos de aforo.....	122
Tabla 3-2. Resultados en punto de aforo AR-16-1	123



Tabla 3-3. Resultados en punto de aforo AR-16-3	124
Tabla 3-4. Resultados en punto de aforo AR-16-5	125
Tabla 3-5. Resultados en punto de aforo AR-16-7	127
Tabla 3-6. Resultados en punto de aforo AR-16-9	128
Tabla 3-7. Resultados en punto de aforo AR-16-11	129
Tabla 3-8. Resultados en punto de aforo AR-16-13	130
Tabla 3-9. Resultados en punto de aforo AR-16-15	131
Tabla 3-10 Amplitud de los principales Constituyentes o armónicos de la marea en Cabo San Lucas y San Felipe (Marinone, 1997).....	145
Tabla 3-11 Constituyentes de marea en el golfo (Fuente: mapas Cotidiales tomados de (Morales Pérez & Gutierrez de Velasco, 1988)	146
Tabla 4-1 Sitios de aforo, indicando la fecha, latitud, longitud y condición de los registros tomados	165
Tabla 4-2 Gasto promedio en cada sitio de aforo y su coeficiente de variación, para cada serie de registros válidos.....	166
Tabla 7-1 Resultados de campo en la Bahía del Tóbari (visita prospectiva).....	¡Error!
	Marcador no definido.
Tabla 7-2 Resultados de campo en el curso bajo del DR041.¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 7-3 Medición de aniones en laboratorio, muestras Bahía del Tóbari.	¡Error!
	Marcador no definido.
Tabla 7-4 Medición de aniones en laboratorio, muestras curso bajo del DR041.....	¡Error!
	Marcador no definido.
Tabla 7-5 Cationes disueltos en muestras de Bahía del Tóbari.....	182
Tabla 7-6 Cationes muestras agua superficial y subterránea muestreo junio 2017.	184



Tabla 7-7 Resultados de la concentración de metales. en mg/kg (promedio y desviación estándar) en las fracciones de sedimentos superficiales muestreo junio de 2017 en la Bahía del Tóbari.....	184
Tabla 7-8 Resultados de las concentraciones de metales. en mg/kg (promedio y desviaciones estándar de los tres organismos biomonitores)	193
Tabla 7-9 Parámetros de campo en la Bahía del Tóbari (muestreo noviembre 2017 M1).	193
Tabla 7-10 Parámetros de campo en drenes y tributarios del distrito de riego.	194
Tabla 7-11 Parámetros de campo en planta potabilizadora en influente y efluente.....	194
Tabla 7-12 Parámetros de campo en muestras de los pozos	195
Tabla 7-13 Parámetros de campo de la descarga de las plantas de tratamiento de agua residual.	195
Tabla 7-14 Parámetros físicos de laboratorio en Bahía del Tóbari	195
Tabla 7-15 Parámetros físicos de laboratorio en drenes y tributarios del distrito de riego	195
Tabla 7-16 Parámetros físicos de laboratorio en plantas potabilizadoras en influente y efluente.....	196
Tabla 7-17 Parámetros físicos de laboratorio en muestras de los pozos.....	196
Tabla 7-18 Parámetros físicos de laboratorio en descarga de las plantas de tratamiento de agua residual	196
Tabla 7-19 Aniones en Bahía del Tóbari	196
Tabla 7-20 Aniones en drenes y tributarios del distrito de riego	197
Tabla 7-21 Aniones en plantas potabilizadoras en influente y efluente	198
Tabla 7-22 Aniones en muestras de pozo	198



Tabla 7-23 Aniones en plantas de tratamiento de aguas residuales	198
Tabla 7-24 Cationes disueltos en la Bahía del Tóbari	200
Tabla 7-25 Cationes disueltos en drenes y tributarios del DR041	201
Tabla 7-26 Cationes disueltos en pozos.....	203
Tabla 7-27 Cationes disueltos de plantas potabilizadoras influente y efluente	203
Tabla 7-28 Cationes en muestras de la descarga de plantas de tratamiento de agua residual norte y sur.....	204
Tabla 7-29 Metales totales en la Bahía del Tóbari.....	206
Tabla 7-30 Metales totales en drenes y tributarios del DR041.....	207
Tabla 7-31 Metales totales en plantas potabilizadoras	207
Tabla 7-32 Metales totales en pozos de agua potable	207
Tabla 7-33 Metales totales en plantas de tratamiento de aguas residuales.....	208
Tabla 7-34 Resultados de plaguicidas organofosforados, organoclorados y glifosato con presencia en muestras de drenes y tributarios.	208
Tabla 7-35 Resultados de las concentraciones de metales. en mg/kg (promedios y desviaciones estándar), en las fracciones de los sedimentos superficiales colectados en noviembre de 2017 en la laguna El Tóbari.....	209



INTRODUCCIÓN

La necesidad de detectar los cambios e impactos que ocurren en el medio ambiente, causados de manera natural o por la actividad humana, se ha incrementado drásticamente en los últimos 50 años. Con el crecimiento de las fronteras urbanas, agrícola-ganaderas, forestales, pesqueras, mineras e industriales, se ha pasado de una época en la cual era posible localizar la fuente principal de contaminación o disturbio en un tiempo razonablemente corto.

Las sinergias entre los factores naturales y artificiales, autóctonos o externos, o entre los bióticos y abióticos, aunadas a los costos cada vez mayores, hacen que los programas de monitoreo y remediación requieran de una mejor planeación, ejecución, análisis, tratamiento de datos y comunicación a los usuarios y autoridades de cada país o región (Abarca 2007), para con ello definir estrategias de prevención, mitigación o remediación.

De acuerdo con la clasificación de Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), la región Río Yaqui-Cascada Basaseachic (Sonora y Chihuahua) se encuentra dentro de la categoría RHP “Amenazada” con varios aspectos preocupantes, destacando entre ellos la contaminación por abuso de agroquímicos en la planicie costera, los desechos mineros en las partes altas de la cuenca, y las descargas domésticas residuales (CONABIO, 2008).

Esta contaminación ha provocado riesgos asociados a la salud en la región (Guadalupe-Castillo, 2002; Macías-Zamora et al, 2008; Cortés-Jiménez, 2009; Meza-Montenegro et al, 2012, 2013; INE, 2011; Ayala-Mora 2012; Quintanar et al, 2014); (Arvizu-Núñez y González-Enríquez, 2005). Sumado a lo anterior, hay desastres ambientales tal es el caso de la volcadura en el Río Yaqui de un camión que transportaba cianuro de sodio utilizado para extraer oro y plata en agosto 2013.

El estado de Sonora es una importante zona minera con una amplia variedad de recursos energéticos, metalíferos, destacando el cobre, el molibdeno y el oro, y no metálicos como grafito, wollastonita y barita ocupando desde hace muchos años el primer lugar dentro de los principales estados mineros productores, debido principalmente a la explotación de las dos minas más grandes del país: Cananea y La Caridad, está última, ubicada en la cuenca alta del Río Yaqui (SGM, 2014). En materia de saneamiento, a nivel estatal sólo el 68% de las aguas residuales son tratadas (cobertura de alcantarillado de 84% en las ciudades, y 61% en zonas



rurales), por lo que existe una aportación significativa de materia orgánica a los ríos (SEMARNAT, 2011, 2012).

En esta zona se han llevado estudios epidemiológicos en la población que han permitido identificar problemas de salud relacionados con la presencia de metales y plaguicidas en muestras de sangre y leche materna. Ante esta problemática y la falta de un conocimiento se postuló como objetivo de esta investigación analizar las fuentes de aportación de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes (definidos como indicadores) en el sistema complejo del curso bajo del río Yaqui.

La complejidad de la contaminación difusa presente en el río Yaqui y el agua del Dren 16, desemboca en la bahía del Tóbari, que ubica al suroeste de la Ciudad Obregón, Sonora, se encuentra separada del Golfo de California por una barra arenosa (isla de Hiuvulai), ésta formada por dos bocas en cada uno de sus extremos con la laguna, la profundidad promedio está registrada en 1.4 m, las zonas profundas se dan en los canales principales de acceso a las bocas, con profundidades de 5 m en la boca norte y 8 m en la boca sur.

El IMTA dentro de su proyecto estratégico de Huella Hídrica contempla el desarrollo del proyecto DP1712.1-Estimación y dispersión de contaminantes en el río Yaqui (Sonora, México); evaluación y riesgos ambientales, considera de gran importancia el estudio de la dispersión y transporte de los contaminantes inorgánicos-orgánicos presentes en la cuenca del río Yaqui, así como los impactos ambientales sobre los organismos de agua dulce y marina, con la finalidad de mostrar un inventario de la contaminación, determinando la concentración, el origen y la forma físico-química de cada contaminante, para identificar y determinar la posible bioacumulación y/o biomagnificación de los contaminantes en la cadena trófica del ecosistema acuático. De esta manera se pretende plantear estrategias de control y en su caso la mitigación de la contaminación presente en la zona de estudio.



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES



1 ANTECEDENTES

1.1 Descripción de la zona de estudio

1.1.1 Sonora

México posee una extensión superficial de 1, 959, 248 km²; de este total el estado de Sonora, representa el 9.16% del territorio nacional (179, 503 km²) lo que la hace la segunda entidad estatal con mayor superficie; se localiza al noreste del país, colinda con Estados Unidos de América en el norte, al sur con Sinaloa y el Golfo de California, al este con Chihuahua y Sinaloa y finalmente al oeste con el Golfo de California y Baja California (INEGI, 2000).

Las principales actividades económicas del estado de Sonora son, por orden de importancia, el comercio la minería no petrolera, los servicios inmobiliarios y de alquiler, la fabricación de maquinaria y equipo, la construcción y la agricultura. La aportación de Sonora al Producto Interno Bruto (PIB) nacional, lo coloca en el décimo segundo lugar, con un 2.9%. En relación con su participación al PIB nacional para las actividades del sector primario, Sonora aporta el 6.22%; según valores preliminares reportados por el Sistema de Cuentas Nacionales de México (INEGI, 2016).

En términos de agricultura, es el principal productor de trigo en grano, papa, sandía, uva, espárrago y dátil; en cuanto a la producción pesquera es el principal productor de sardina, camarón, calamar, corvina, sierra y berrugata. También, es el principal productor de carne porcina, mientras que en cuanto a la extracción minera, son los principales productores de oro, cobre y el único productor de molibdeno (INEGI, 2000), en él se ubican dos de las minas más grandes del país: Cananea y La Caridad, está última, ubicada en la cuenca alta del Río Yaqui (Servicio Geológico Mexicano, 2016).

El estado de Sonora está integrado por 72 municipios, con una población de 2, 850, 330 habitantes, lo que representa un 2.4% del total del país. El 86% de la población es considerada como urbana, mientras que el 14% como rural. En los últimos años el índice de migración internacional para este estado ha crecido, de cada 100 migrantes, 96 se van a Estados Unidos, lo que hace de Sonora, el octavo estado de mayor migración. En este estado aún se preservan diferentes asentamientos nativos, el 2.5% de la población sonoreNSE aún habla una lengua indígena, siendo las más habladas el Mayo, el Yaqui, el Náhuatl y el Triqui (INEGI, 2015).

En materia de la calidad de los servicios en vivienda, el 89.0% disponen de agua entubada, el 98.0% cuentan con energía eléctrica y el 87.3% de los ocupantes disponen de drenaje conectado a la red pública. En materia de saneamiento, a nivel estatal sólo el 68% de las aguas residuales son tratadas (cobertura de alcantarillado de 84% en las ciudades, y 61% en zonas rurales), por lo que existe una aportación significativa de materia orgánica a los ríos (CONAGUA, 2015).

1.1.1.1.1 Cuenca del Río Yaqui

En el estado de Sonora se localizan alrededor de 14 cuencas hidrológicas, siendo la del Río Yaqui la de mayor extensión, aunque ésta también comparte su territorio con el estado de Chihuahua. Esta cuenca conforma una amplia franja de orientación norte-sur suroeste, ubicada al oriente del estado de Sonora, tal como se muestra en la Figura 1.1. Existen distintas estimaciones de la extensión total de la cuenca, pero la mayoría de ellas varían entre los 72,000 km² (Muñoz-Hernández y Mayer, 2006; Hendrickson et al., 1981; McCullough, 2005; Addams, 2005) y 79,172 km² (Revenge, et. al., 1998).

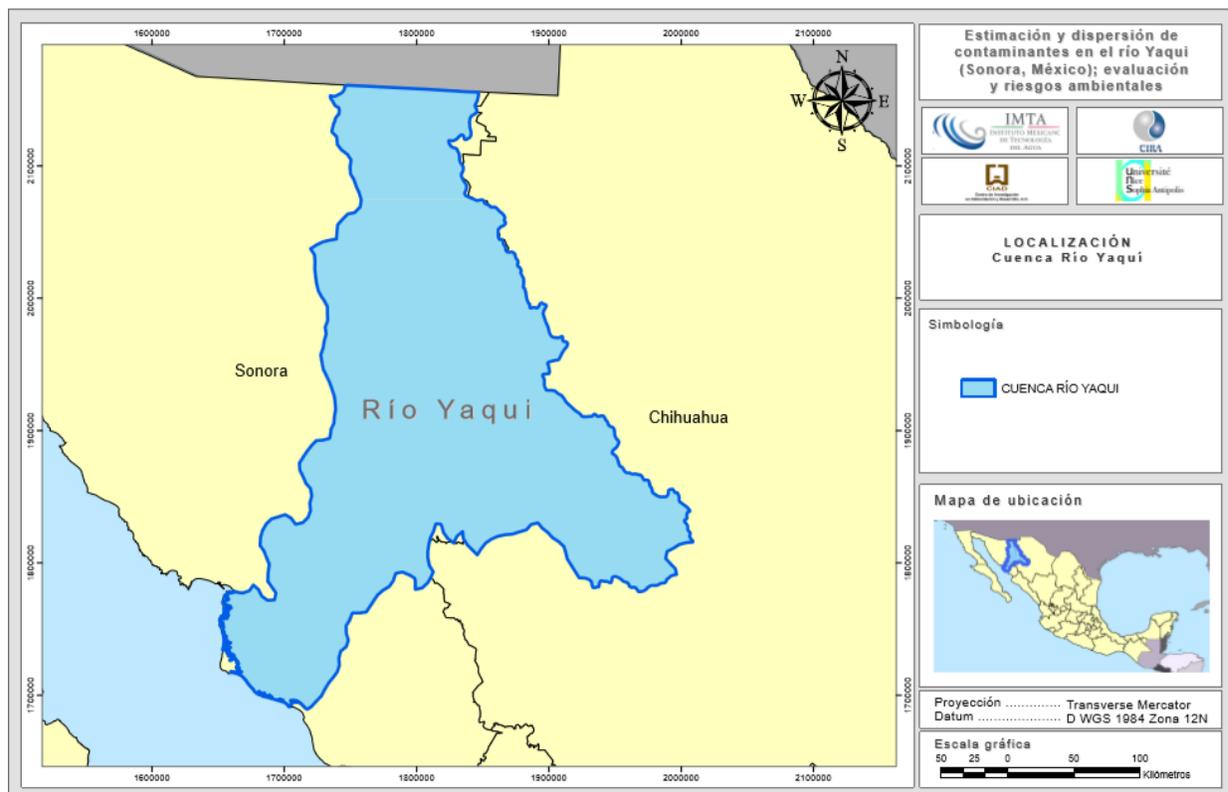


Figura 1.1 Localización Cuenca Río Yaqui

La precipitación media anual es de 527 mm y posee una pendiente general que varía de fuerte a baja, conforme se avanza hacia el oeste de la entidad. Las corrientes superficiales más

importantes son los ríos Yaqui, Bavispe y Moctezuma. El río Yaqui es el colector principal de la cuenca, nace de la unión de los ríos Bavispe y Aros, y a partir de esta confluencia discurre hasta la desembocadura en el golfo de California (INEGI, 1993).

1.1.1.1.2 Clima

De acuerdo con la información del Atlas nacional del medio físico (UNAM, 2013) y según la clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García, en el Valle del Yaqui predomina el clima seco y muy seco, aunque también se presentan subtipos como cálido, muy cálido, con lluvias de verano. En la Figura 1.2, se muestran los climas identificados para la Cuenca del Río Yaqui, misma que se generó a partir de la información publicada por CONABIO (1998).

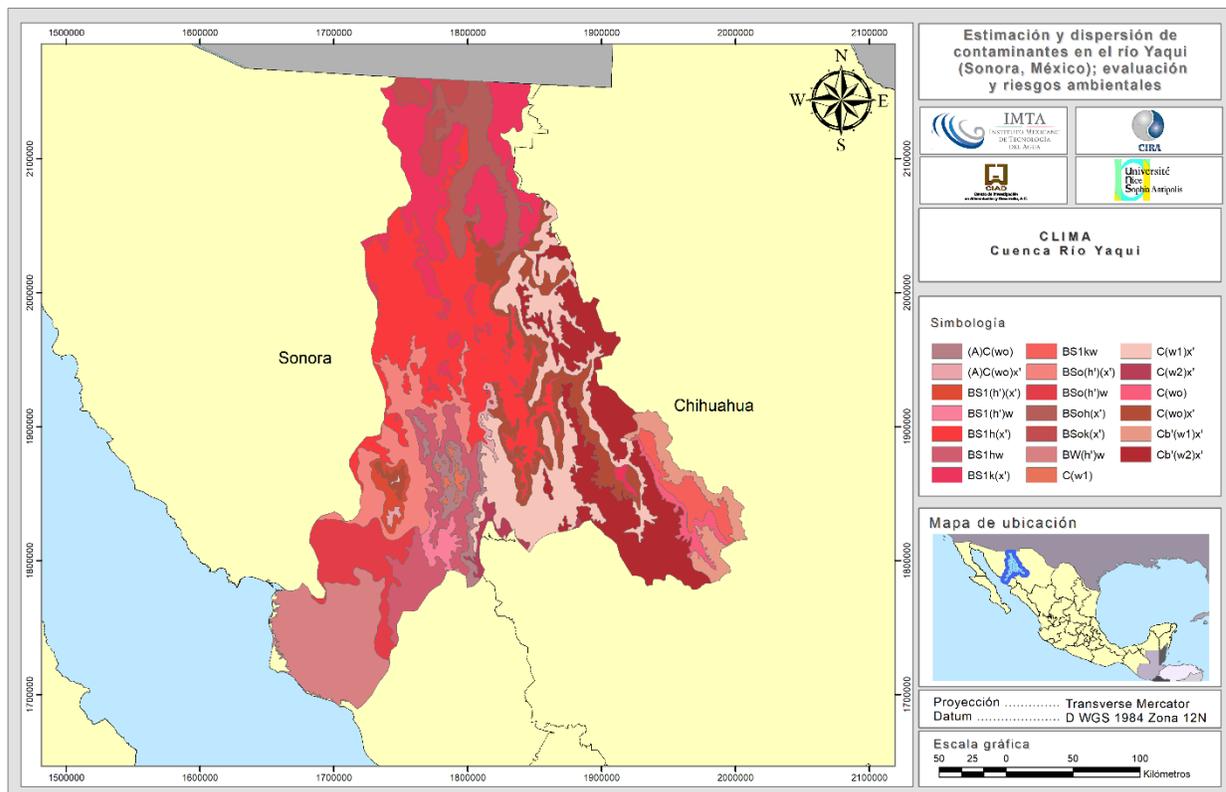


Figura 1.2 Tipo de Clima en Cuenca Río Yaqui

Según esta información, el clima que predomina, alrededor de un 18% de la superficie de la Cuenca Río Yaqui es BS1h(x') semiárido-semicálido con una temperatura media anual mayor a 18° C, mientras que para el mes más frío se alcanzan temperaturas menores a 18° C y en el mes más cálido superiores a 22° C, con lluvias repartidas en todo el año. El siguiente clima predominante (9%) en esta zona es muy árido-cálido, con una temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18° C, con lluvias de verano.

1.1.1.1.3 Fisiografía

La fisiografía de la Cuenca del Río Yaqui (Figura 1.3) está constituida por 8 subprovincias fisiográficas: Sierras y Canadá del Norte, Sierras y Valle del Norte, Sierras y Llanuras Sonorenses, Llanuras y Médanos del Norte, Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa, Sierras y Llanuras Tarahumaras, Pie de la Sierra y finalmente la provincia Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses (INEGI, 2000).

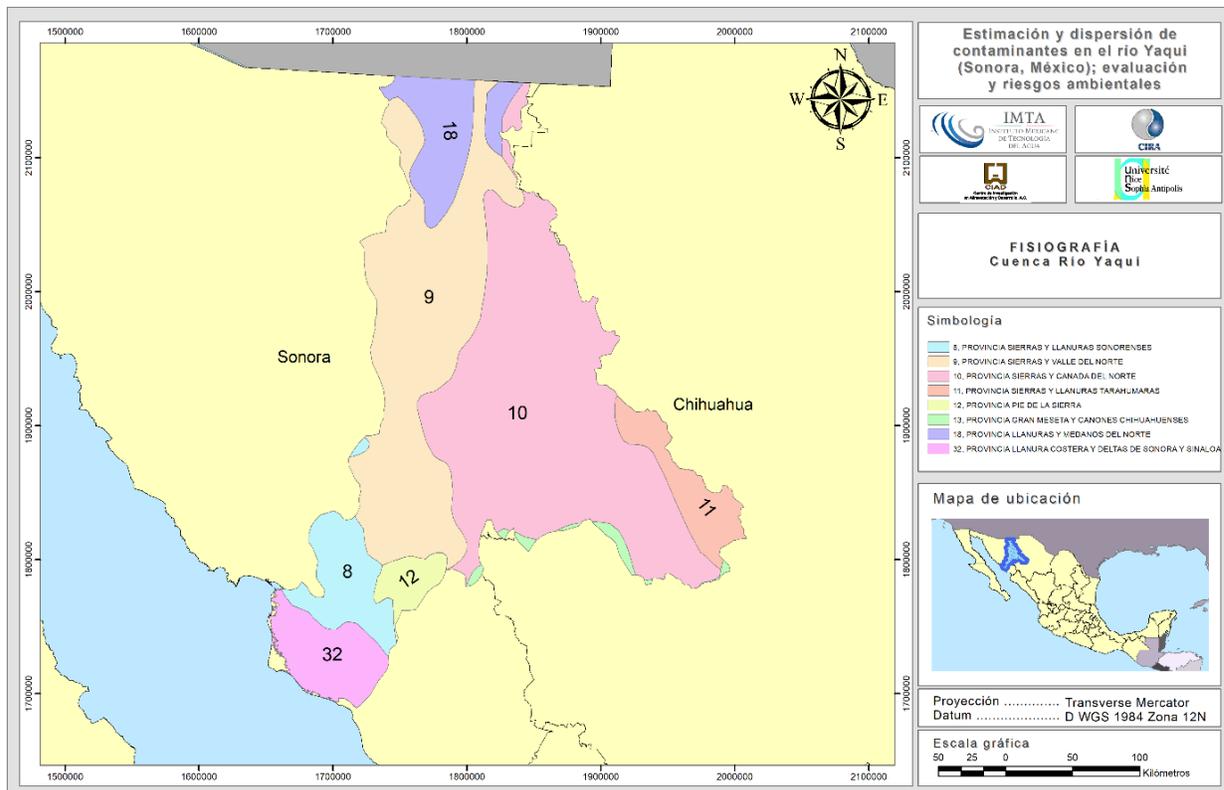


Figura 1.3 Provincias fisiográficas en Cuenca Río Yaqui

La subprovincia de *Sierras y Canadá del Norte* representa la mayor parte de la Cuenca del Río Yaqui, dominando un 43% de la superficie de la cuenca. En su parte occidental todas las cimas se levantan por arriba de 1 000 msnm y por arriba de 2 000 msnm, en el oriente. Las sierras de laderas escarpadas, están constituidas principalmente de rocas volcánicas acidas, pero existen también grandes franjas basálticas orientadas norte-sur. Los ríos que nacen en el norte de esta región drenan hacia el sur, y hacia el norte los que se originan en el sur, de tal manera que se reúnen sus corrientes en el río Aros, afluente del Bavispe, y por tanto del río Yaqui.

La subprovincia *Sierras y Valle del Norte* está constituida por sierras con amplios valles de orientación norte-sur. La altitud de los sistemas montañosos decrece hacia el sur donde la



mayor altitud es 2 620 m, pero prevalecen las elevaciones de 1 000 msnm, en esta subprovincia dominan las rocas volcánicas ácidas, aunque en los valles abundan los materiales sedimentarios continentales.

La subprovincia *Sierras y Llanuras Sonorenses*, está formada por sierras bajas separadas por llanuras. En el Oriente las elevaciones de las sierras varían ente los 700 a 1, 400 msnm y son estrechas menores a 6 km de ancho, mientras que en occidente son más bajas, menores a los 700 msnm y más amplias, con anchos que varían de 13 a 24 km. En ella se localizan extensas llanuras con amplios abanicos aluviales de pendientes suaves.

La subprovincia *Llanuras y Médanos del Norte* está constituida principalmente por valles, en esta predominan las rocas sedimentarias, aunque también se encuentran pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas ácidas.

La subprovincia *Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa* está integrada por tres grandes deltas de material aluvial, las de los ríos Yaqui, Mayo y Fuerte, casi toda la superficie se encuentra a nivel del mar, condición que permitió el asentamiento de los Distritos de Riego (DR) 038 Río Mayo y 041 Río Yaqui. La línea de costa es sinuosa con un buen número de bahías y esteros.

La subprovincia *Sierras y Llanuras Tarahumaras* se localiza totalmente en Chihuahua y se trata de toposformas que han sido clasificadas fisiográficamente como sierra alta, con mesetas, están separadas por valles y llanuras.

La subprovincia *Pie de la Sierra* está caracterizada por sierras, mesetas, llanuras aluviales y lomeríos con presencia de granitos y algunas rocas metamórficas. Las sierras son poco elevadas, levantan a más de 700 m sobre los terrenos bajos que las rodean. Presenta incisiones o hendiduras originadas por cursos de agua erosionantes.

La subprovincia *Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses* representa una mínima superficie de la Cuenca del Río Yaquí, se trata de una enorme meseta de rocas volcánica y en la que los ríos de la vertiente occidental han labrado profundos cañones.

1.1.1.1.4 Edafología

Según lo reporta Conagua a través del Programa Nacional Contra la Sequía, en esta región se tienen suelos en la capa superficial del tipo Cambisol, Castañozem, Foezem, Fluvisol, Gleysol, Litosol, Luvisol, Planosol, Regosol, Rendzina, Solonchak, Vertisol, Xerosol, Yermosol y ZU,

distribuidos como se muestra en la Figura 1.4. El 75% de estos suelos poseen textura media, el 13% es de textura gruesa y finalmente el 12% de textura fina (PRONACOSE, 2014).

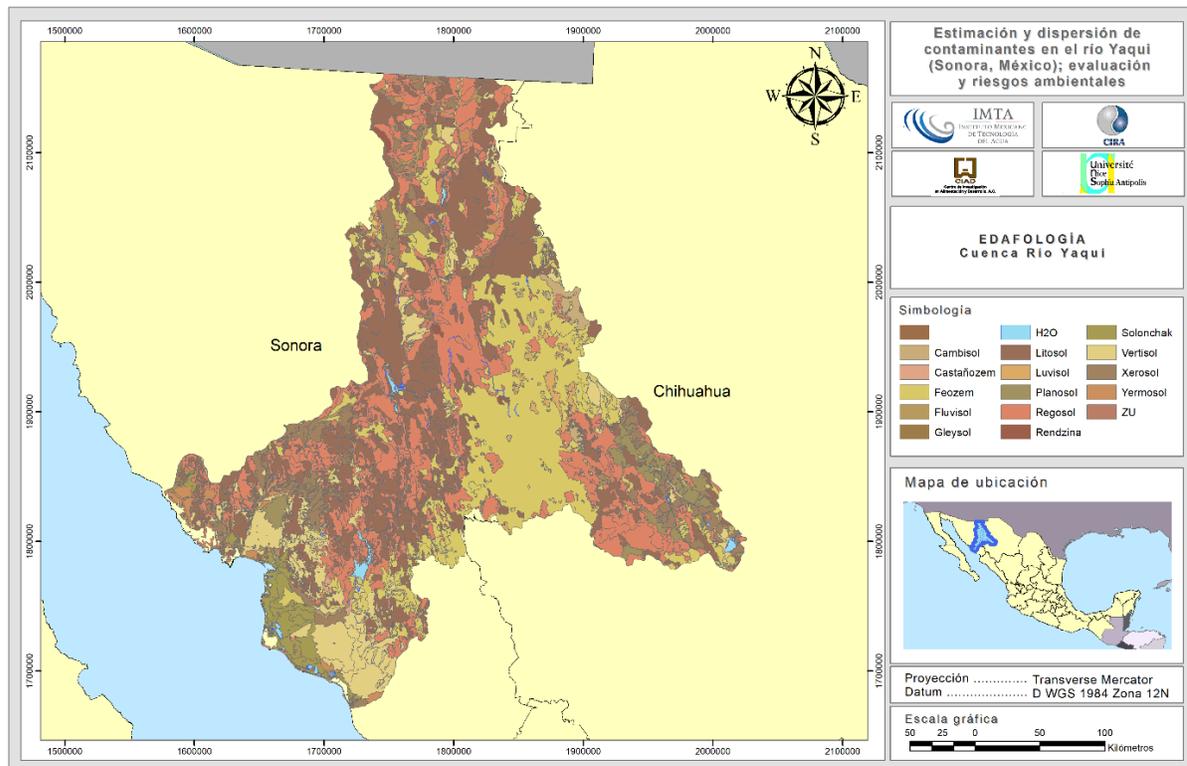


Figura 1.4 Edafología superficial de la Cuenca del Río Yaqui

1.1.1.1.5 Geología

La geología de esta zona está caracterizada principalmente por Riolita-Toba acida lo que representa un 61% de la superficie de la cuenca, el suelo Aluvial representa un 19%, otros materiales de relevancia son que el Conglomerado (6%), el Basalto (3%), la Arenisca-Toba ácida (2%), Toba ácida (2%), Granito (2%), Basalto-Brecha volcánica básica (2%), Arenisca-Conglomerado (1%), Andesita (1%), Caliza (1%), Lutita-Arenisca (1%), Granodiorita (1%), por último otros de menor relevancia representan en conjunto 1%, tales como Lacustre, Arenisca, Andesita-Toba intermedia, Riolita, Caliza-Lutita, Limolita-Arenisca, Palustre, Eólico, Lutita, Brecha volcánica ácida, Volcano sedimentaria, Riodacita, Porfido dacitico, Caliza-arenisca, Riodacita-Toba acida, Esquistos, Diolita, Toba intermedia, Volcano clastico, Limolita-Caliza, Residual, Brecha volcánica básica, Dacita, Traquita-Andesita, Porfido riolitico, Gabro, Cataclasita; así lo reporta PRONACOSE (2016), en la Figura 1.5, se puede apreciar la distribución de los mismos. En la Figura 1.6, se muestra la geomorfología de la zona, como

puede apreciarse la mayor parte de la superficie es relieve volcánico y tiende a formar zonas muy permeables. Ésta se encuentra influida por la forma y disposición del delta del Río Yaqui.

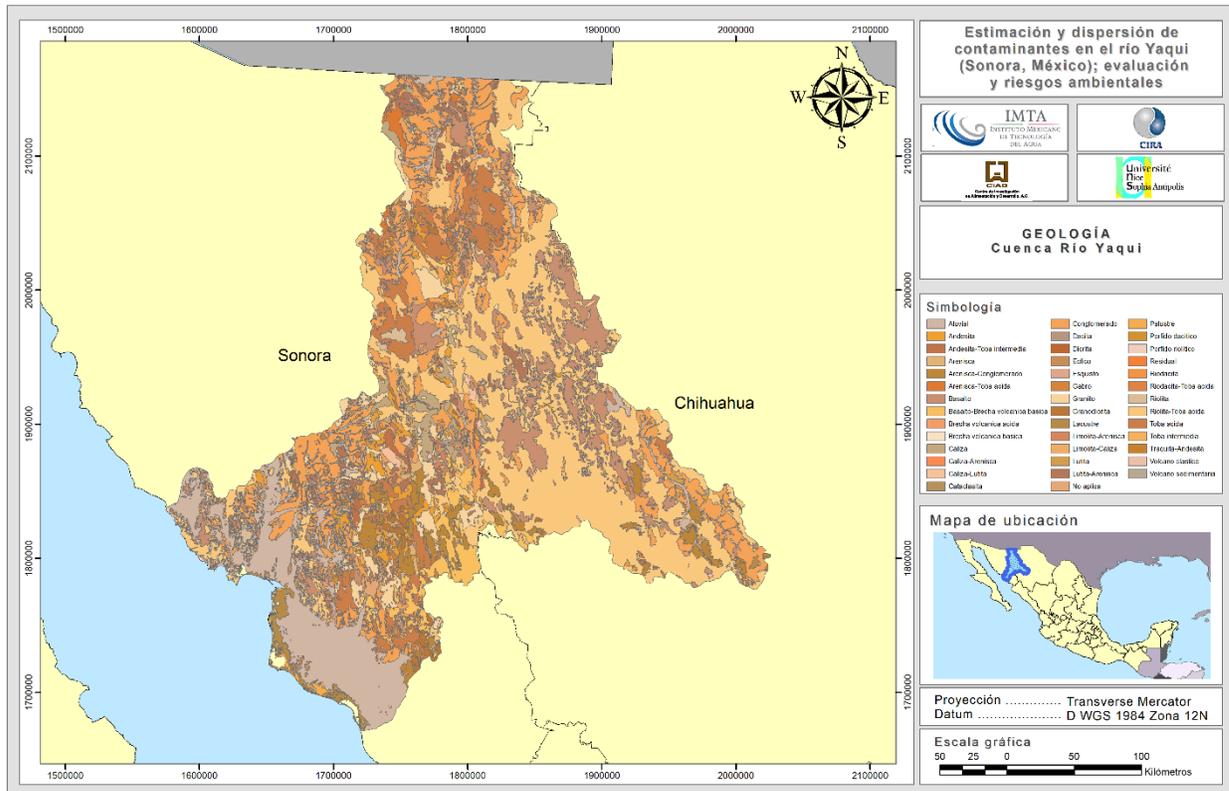


Figura 1.5 Geología de la Cuenca del Río Yaqui

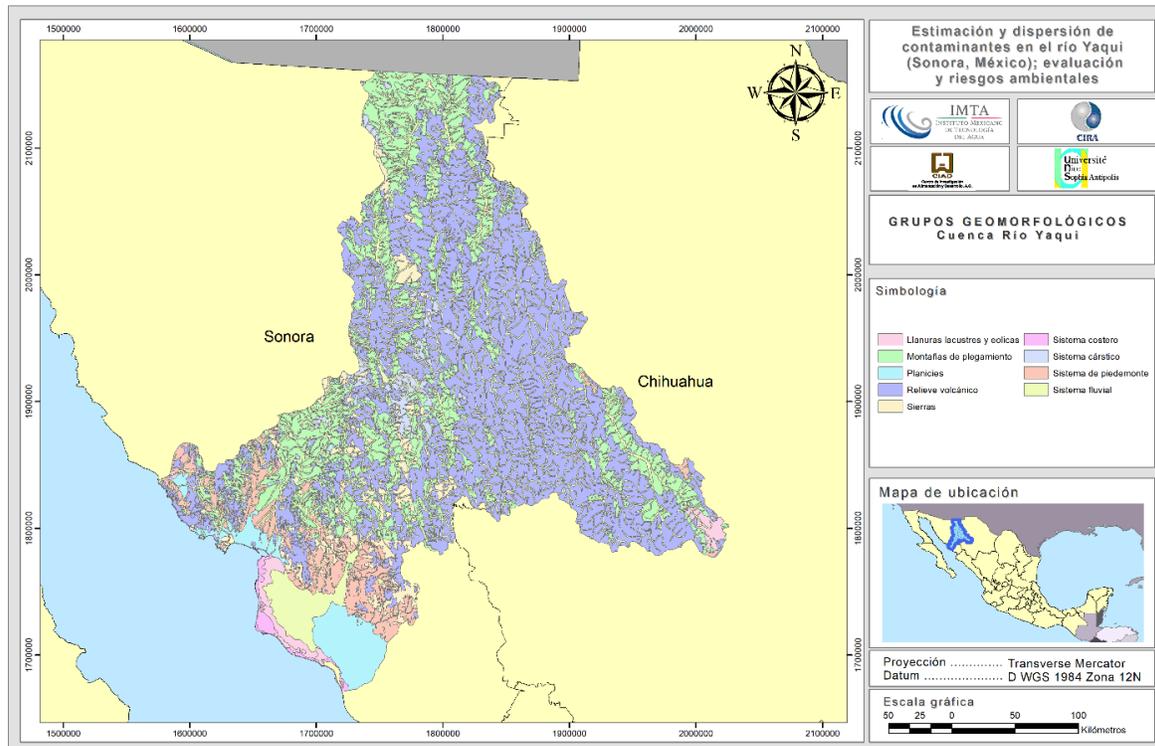


Figura 1.6 Grupos geomorfológicos de la Cuenca del Río Yaqui

1.1.1.1.6 Hidrología superficial

El Río Yaqui drena la cuenca del mismo nombre, en una superficie de 69,590 km² la cual llega a presentar elevaciones del terreno de hasta de 3,000 msnm. Tiene una precipitación promedio que varía de 1,800 mm en la parte alta, a 200 mm en la parte media y baja. Su gasto medio regulado por el sistema hidráulico del control de presas es de 200,000 m³ /mes. El Río Yaqui tiene dos principales tributarios, los cuales nacen en la parte alta de la Sierra Madre Occidental, ambos son corrientes perennes; el primero, con el nombre del Río Papigochic y el segundo el Río Sirupa (Chihuahua), tomando el nombre de Río Aros (Sonora) y uniéndose a la corriente del Río Bavispe, aguas arriba de la Presa Plutarco Elías Calles y formando el Río Yaqui. En la Figura 1.7 se muestran los principales ríos perenes e intermitentes de la Cuenca del Río Yaqui.

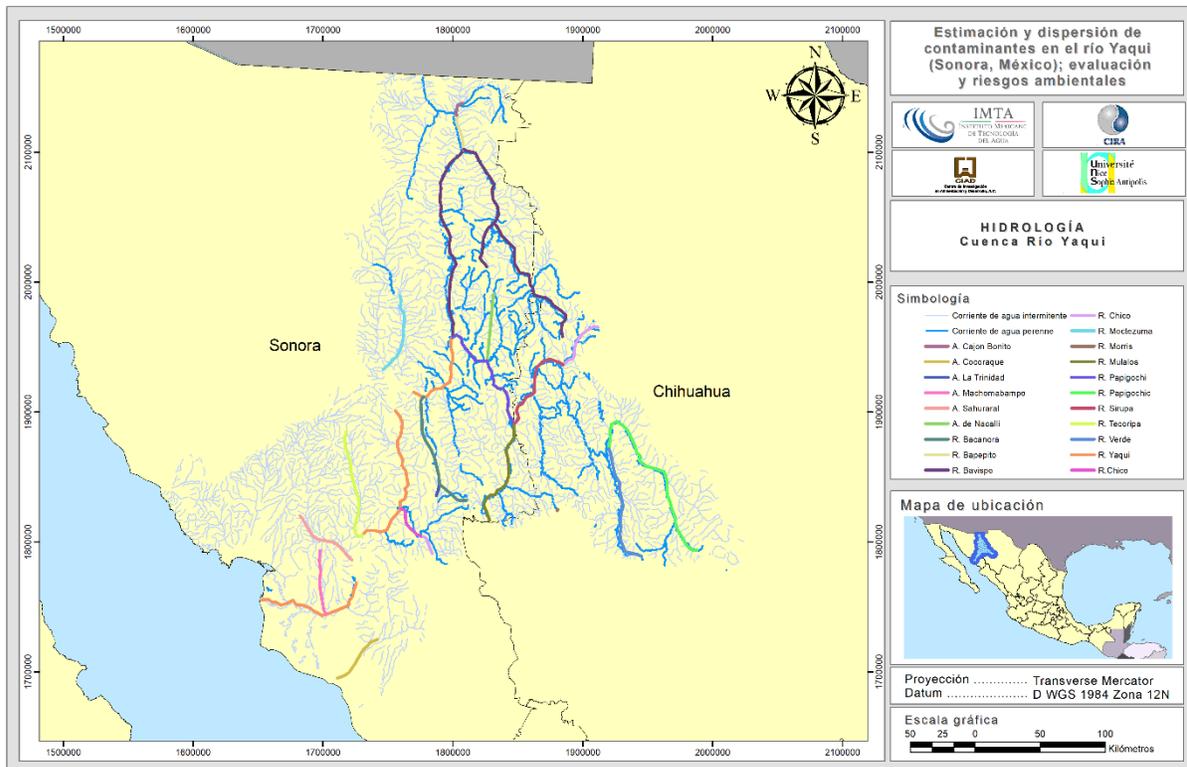


Figura 1.7 Ríos en la cuenca Río Yaqui

La infraestructura de esta Región Hidrológica incluye tres grandes presas: La Angostura (Lázaro Cárdenas) localizada en el río Bavispe en la cuenca alta (con capacidad de 880 hm³); El Novillo (Plutarco Elías Calles) ubicada en la confluencia de los ríos Yaqui y Moctezuma (con una capacidad de 2,799 hm³) y originalmente construida principalmente para generación de energía eléctrica para los distritos de irrigación de los Valles Yaqui y Mayo; y El Oviáchic (Álvaro Obregón) situada a 35 km al norte de Ciudad Obregón, en la cuenca baja (capacidad de 2,782 hm³). También existen dos grandes Distritos de Riego: Río Yaqui (DR041) y Colonias Yaquis (DR018).

1.1.1.1.7 Hidrología subterránea

En la Cuenca del Río Yaqui se tienen alrededor de 48 acuíferos (Figura 1.8), de este total se estima que 10 de ellos ya no tienen disponibilidad de agua subterránea, de los cuáles 7 se encuentran en condición de sobreexplotación y 3 con problemas de intrusión salina; el acuífero de mayor relevancia el de Río Fuerte con una superficie de 34946.21 km².

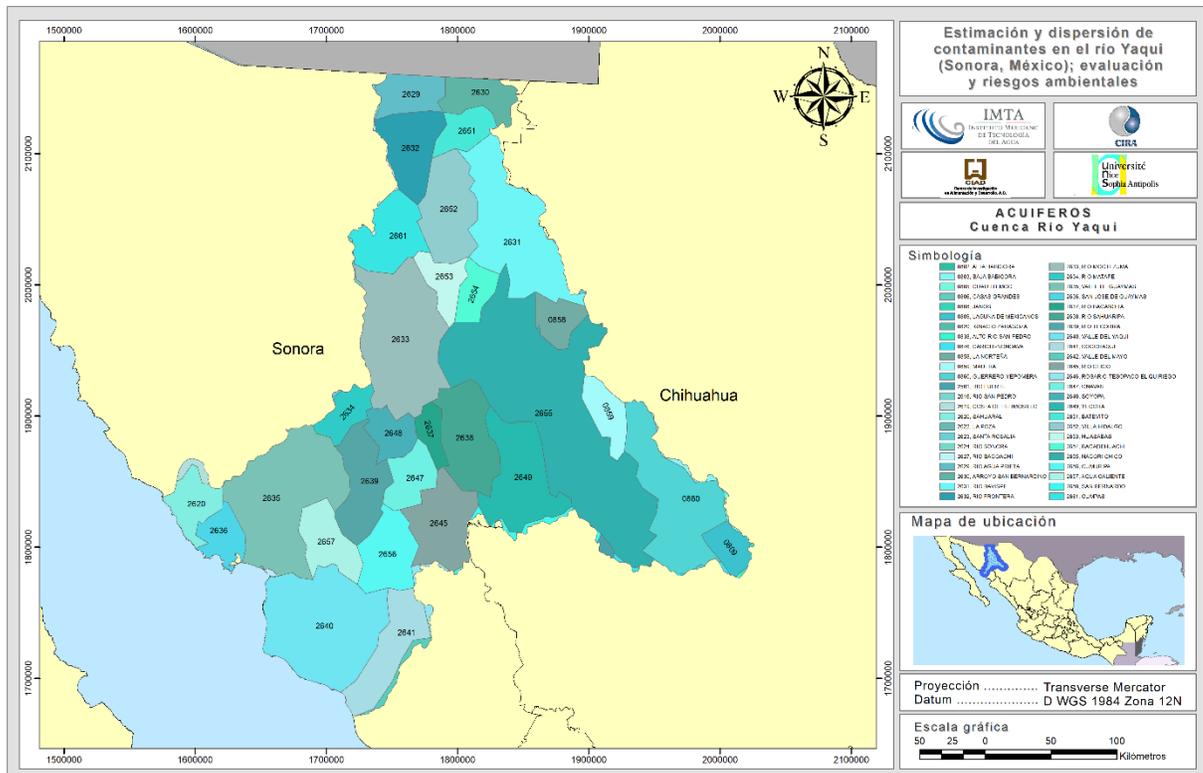


Figura 1.8 Acuíferos en la Cuenca Rio Yaqui

1.1.1.1.8 Uso de suelo

El Bosque de pino es el principal uso de suelo representando el 16% de la superficie, el Bosque de encino representa el 14%, la Selva baja caducifolia el 9%, el Matorral subtropical el 8%, el Pastizal natural el 8%, el Matorral desértico micrófilo el 7%, el Mezquital desértico el 7%, el Bosque de pino-encino el 6%, el Bosque de encino-pino el 6%, el uso para la Agricultura de riego el 5%, el Matorral sarcocaula el 3%, el uso Agrícola de temporal el 2%, el Pastizal cultivado el 2%, la Selva baja espinosa caducifolia el 2%, el Pastizal inducido el 2%, la Vegetación halófila xerófila el 1%, el Mezquital tropicales el 1%, otros el 0.7%, en la Figura 1.9 se muestra la distribución del uso del suelo.

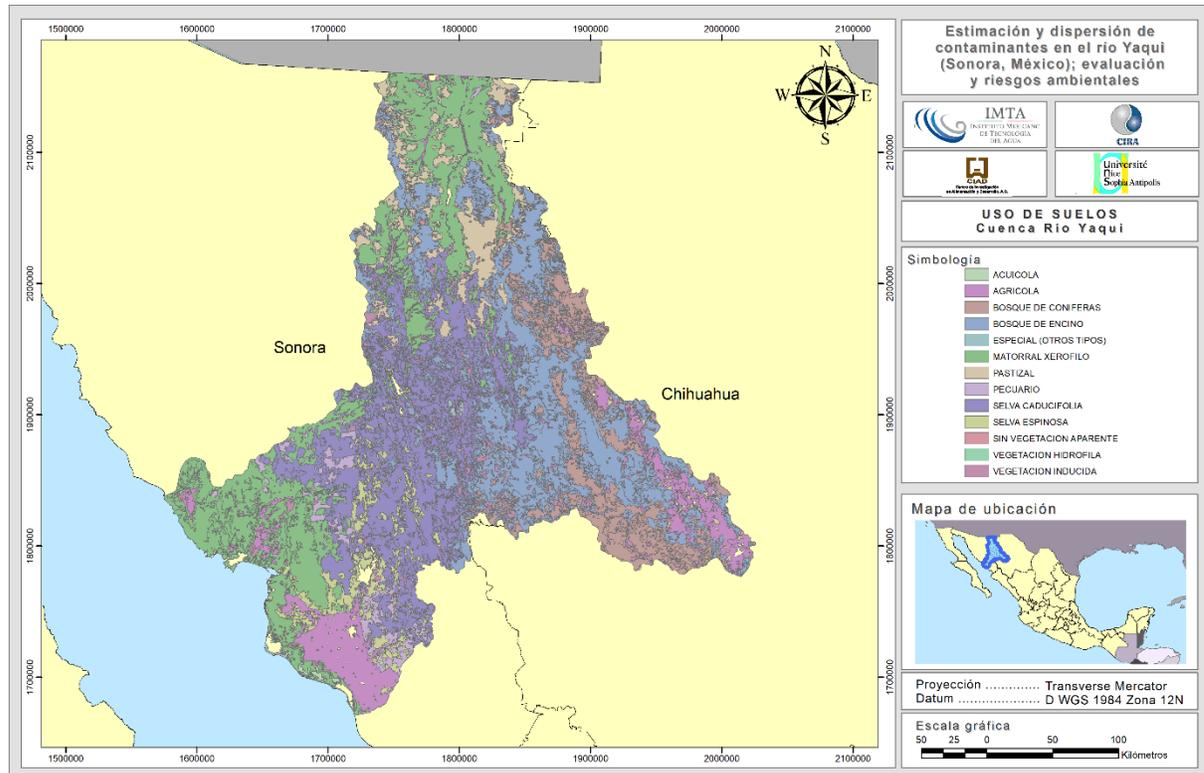


Figura 1.9 Uso de suelo en Cuenca del Río Yaqui

1.1.1.2 Distrito de riego río Yaqui (DR041)

México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en superficie con infraestructura de riego (CONAGUA, 2016). En 2015, el área con infraestructura para riego fue de 6.46 millones de ha, de las cuales 3.28 millones corresponden a 86 Distritos de Riego (DR) (CONAGUA, 2015). Los DR son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros (FAO, 2016) a partir de 1992, comenzó el proceso de transferencia de estos DR a los usuarios organizados en Asociaciones Civiles, y en un nivel superior la Sociedad de Responsabilidad Limitada.

En el estado de Sonora, existen seis distritos de riego, siendo el DR041 el Río Yaqui uno de los principales, el cual está administrado, desde 1992, por una Sociedad de Responsabilidad Limitada, agrupando a un total de 51 Asociaciones Civiles (Pedroza González e Hinojosa Cuéllar, 2014)

El DR041 se localiza en la parte sur del estado de Sonora, específicamente entre los 26° 45' y 27°40' de latitud norte y 109°45' y 110°20' de longitud oeste, abarcando parcialmente los municipios de Cajeme, BÁCUM, San Ignacio Río Muerto, Benito Juárez, Etchojoa y Navojoa. Aprovecha los escurrimientos del río Yaqui a través de sistema de presas, aproximadamente 2,900 hm³ anuales, además de cerca de 300 hm³ de agua subterránea extraída mediante varios pozos. Con estos volúmenes se riegan más de 200,000 ha, las que mediante segundos cultivos equivalen a unas 302,000 ha físicas regadas, principalmente de trigo, soya, cártamo y maíz (Distrito de Riego del Río Yaqui, 2017).

La presa Álvaro Obregón cuenta con dos obras de toma: una en la margen izquierda (operada por el DR041) y más alta, que da origen al canal Alto del Yaqui; y otra, en la margen derecha, conocida como canal Bajo del Yaqui operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que se debe ajustar sus planes de generación de energía eléctrica en función de los requerimientos de riego solicitados por el DR041. El Distrito de riego, en general dominado por el canal principal Alto, está dividido en unidades, después en zonas, módulos y finalmente en secciones de riego (Figura 1.10).

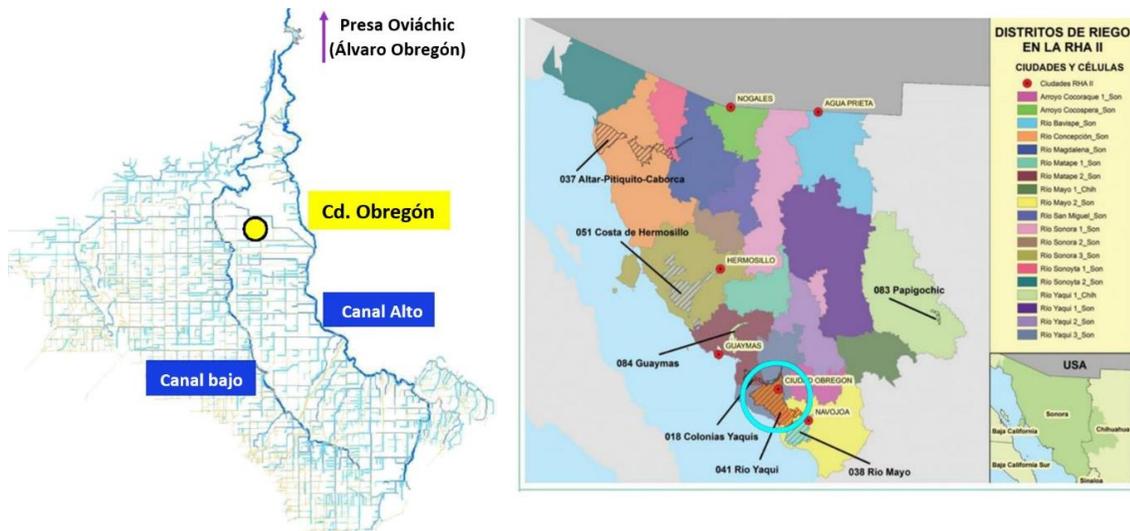


Figura 1.10 Localización y configuración del DR041 (sin escala)

1.1.1.2.1 Red de drenaje

De acuerdo con la información oficial de la administración del DR041, se han construido a la fecha 431 km de drenes colectores; 1,920 km de drenes primarios y secundarios, además de 668 km de drenes parcelarios para dar salida a los volúmenes de agua procedentes de la

infiltración y el manejo del agua de riego. Se tiene una infraestructura de drenaje que consta de colectores, drenes y canales; mismos que permiten abatir los problemas de salinidad en el Distrito (Distrito de Riego del Río Yaqui, 2017)

La configuración del conjunto de drenes es la siguiente: corren paralelos y contiguos a las calles, excepto en algunas áreas de topografía irregular adyacente al río Muerto en el Canal Bajo y los adyacentes al arroyo Cocoraque en el Canal Alto. Esta disposición de las vías de agua permite hacer un eficiente suministro de agua de riego y facilita el drenaje superficial y profundo para cada manzana de 400 hectáreas, aunque algunos predios necesitan drenes interiores o "bayonetas" al nivel parcelario

Valenzuela Borbolla (2013) recopiló información de la infraestructura agrícola, la cual digitalizó para generación de un sistema de información geográfica del DR041, obteniendo como resultado la digitalización de 1,797 km de los drenes principales. Para la zona de estudio a delimitar, esta longitud total de drenes se reducirá significativamente, y en esta longitud resultante se elegirán los puntos de muestreo.

1.1.1.2.2 El agua en el DR041 Río Yaqui

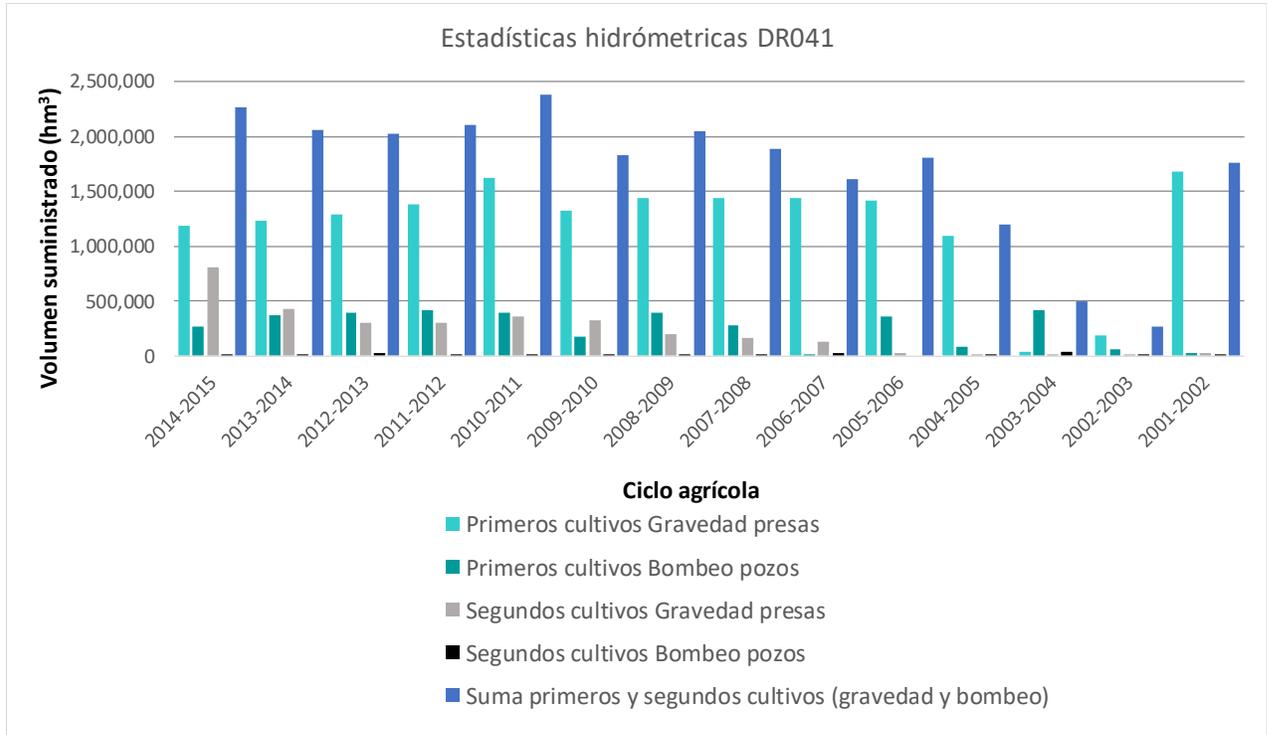


Figura 1.11 Volumen combinado de riego suministrado en el DR041 Fuente: CONAGUA (2011)



1.1.1.2.2.1 Volumen anual de riego

De acuerdo con la administración del DR041, cada año se distribuyen por la red de canales más de 2,000 hm³ de agua. La Comisión Nacional del Agua a través de la Gerencia de Distritos de Riego publica anualmente las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego en forma impresa y electrónica, a partir del año 2010. Con base en los registros existentes en el portal se obtuvo un gráfico del agua suministrada en 14 ciclos agrícolas en una superficie regada promedio de 191,371.64 ha (CONAGUA, 2016).

En la Figura 1.11 se puede observar que el ciclo prioritario es el de los primeros cultivos (ciclo otoño-invierno), para el cual es necesario la mezcla de agua proveniente de la presa y agua subterránea (para satisfacer la demanda). Mientras que en los segundos cultivos (ciclo primavera-verano), la extracción de agua subterránea es casi nula.

El promedio de agua utilizada de acuerdo con el histórico registrado es de 1,461,568.79 hm³/año para los primeros cultivos, mientras que para los segundos cultivos es de 234,349.34 hm³/año. Este patrón de riego incide en la cantidad de agua que discurre por los drenes en cada ciclo agrícola.

1.1.1.2.2.2 Volúmenes infiltrados y drenados

Se estima que el acuífero recibe aportaciones de 400 a 500 hm³ al año en relación con el retorno de regadíos (Distrito de Riego del Río Yaqui, 2017)

Por otro lado, en relación con los volúmenes por drenaje son estimados indirectamente, ya que a la fecha no se ha realizado un aforo o medición (GS Ingeniería Integral, S.A de C.V., 2008). Por su parte, Escofet Giansone y Bravo Peña (2007) estima en 350 hm³/año, mientras que Schopus et al., (2005) valora estos volúmenes en 435 hm³/año.

Para dar salida a estos volúmenes de agua y evitar la salinidad de los suelos, se diseñó una red de drenaje que conduce volúmenes importantes de agua ligeramente salina, mismos que son recuperados en diferentes estaciones de retorno que tienen instaladas 158 bombas, alcanzando un aprovechamiento medio de 41 hm³/año (Distrito de Riego del Río Yaqui, 2017)

1.1.1.3 Bahía del Tóbari

El complejo lagunar de la Laguna Tóbari tiene componentes ambientales que lo definen como un humedal con las características de un estuario mezclado que en ocasiones funciona como

anti estuario, debido a que las salinidades son mayores al interior de la bahía que en la porción marina y en otras como estuario en la época cuando precipitación intensa en la zona

La laguna se comunica con el golfo de california o mar de cortés a través de dos bocabarras, la norte de aproximadamente 650 m y la sur de 940 m de amplitud, de manera particular se observa en la boca norte la formación de un delta que ocasiona un bajo que divide la circulación o comunicación bahía mar a dos canales principales como se puede observar en la Figura 1.12



Figura 1.12 Bocabarras Norte y Sur comunicación al mar (SAGARPA, 2008)

La profundidad promedio es de 1.4 m. las zonas profundas se dan en los canales principales de acceso a las bocas, con profundidades de 5 m en la boca norte y 8 m en la boca sur.

La ubicación de la laguna es entre los $26^{\circ}54'$ y $27^{\circ}10'$ de la latitud norte y los $109^{\circ}50'$ y $110^{\circ}24'$ de longitud oeste. El sistema estuario se encierra casi en su totalidad con la isla de Hiuvulai y se comunica al sureste con el estero Burabampo en su porción más sureña, su extensión ha sido calculada en 8,274 ha, aunque dicha superficie varía en función de los niveles de inundación y de los componentes considerados para su integración o delimitación, los zonas o componentes principales de la laguna se muestran en la Tabla 1-1.



Figura 1.13 Principales Sitios en la Bahía del Tóbari (SAGARPA, 2008)

Tabla 1-1 Áreas de la bahía del Tóbari

COMPONENTE	Ha	%
Tóbari	6,421.10	77.61
Ensenada La Batea	7.7	0.09
Estero El Chilico	1.1	0.01
Giamora	65.90	0.80
La Liebre	23.40	0.28
La Pitahaya	144.2	1.74
Ensenada El Gallo	29.9	0.36
Estero Punta Verde	14.60	0.18
El Conchalito	55.10	0.67
El Tóbarito	1038.10	12.55
La Península	111.80	1.35
Cubula	118.6	1.43
Cumora	13.60	0.16
El Diablo	38.20	0.46
El Siari	190.70	2.30
TOTAL	8,274.00	100.00

En el estudio realizado en 2008, por la SAGARPA, en la zona consideró la división el 3 sectores o celdas (Norte, Central y Sur) y las acciones que se implementaron tienen como objetivo mejorar las condiciones para el subsistema pesquero mediante el mejoramiento del sistema en general, estas condiciones se muestran en la Figura 1.14.

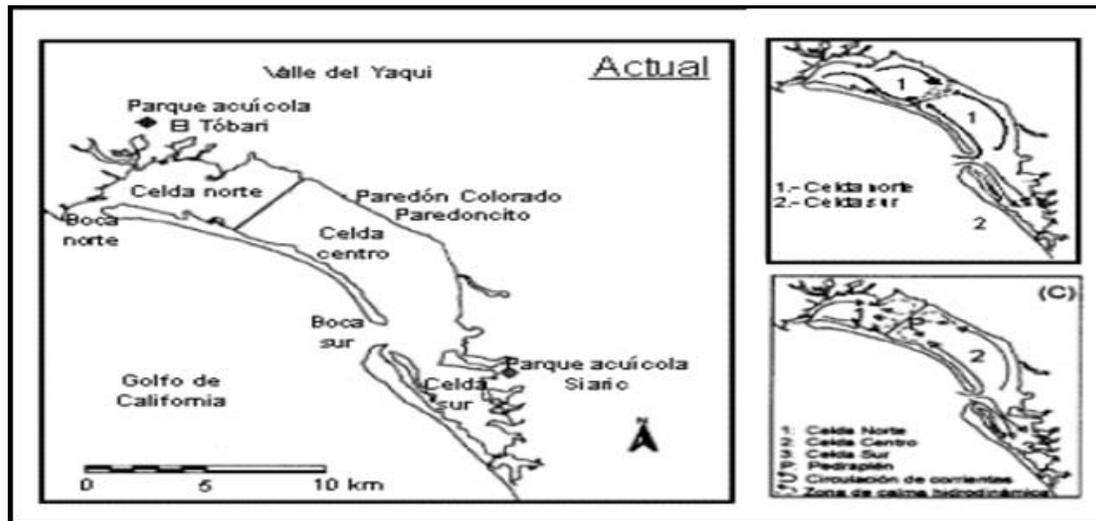


Figura 1.14 Celdas de División de la Zona de Estudio

1.1.1.3.1 Descargas del drenaje agrícola a la Bahía del Tóbari

En la zona sur del DR, las descargas agrícolas, urbanas e industriales son transportadas hacia al mar por diversos drenes distribuidos entre la Bahía del Tóbari y Bahía Lobos. De acuerdo con Estrada (2006), los drenes de descarga son de sur a norte:

- a) un dren que es conducido por el cauce del arroyo Cocoraque y que descarga en los márgenes del puente que comunica con la isla Huivulai,
- b) el Canal Secundario Meridiano que descarga a la misma altura que el arroyo Cocoraque (se conectan parte de las aguas de recambio del parque El Tóbari), y
- c) el Dren Colector Principal Número 1 que descarga parte de las aguas de recambio de las granjas acuícolas de La Atanasia y del Parque Santo Domingo, así como aguas de desecho del Valle Agrícola del Yaqui. Por su parte, GS Ingeniería Integral (2008), reporta 15 drenajes a lo largo de la Bahía del Tóbari, los cuales se detallan en la Figura 1.15.



Dren	X	Y
1	601527	2998565
2	602117	2997959
3	602740	2997708
4	603171	2997392
5	603710	2996779
6	603841	2996725
7	604379	2996399
8	606186	2995009
9	606726	2994632
10	607397	2994632
11	607397	2993759
12	607864	2992108
13*	608011	2991407
14*	607992	2990772
15	608909	2988701

* Drenes acuícolas

Figura 1.15 Localización de drenes en la Bahía del Tóbari (Fuente: GS Ingeniería Integral S.A. de C.V., 2008).

1.1.1.4 Delimitación de la zona de estudio

De acuerdo con el análisis de la información que se mostró anteriormente de la cuenca del Río Yaqui se determinó como zona de estudio el área de influencia del Dren Colector Arroyo 16 (DCA16), (Figura 1.16).

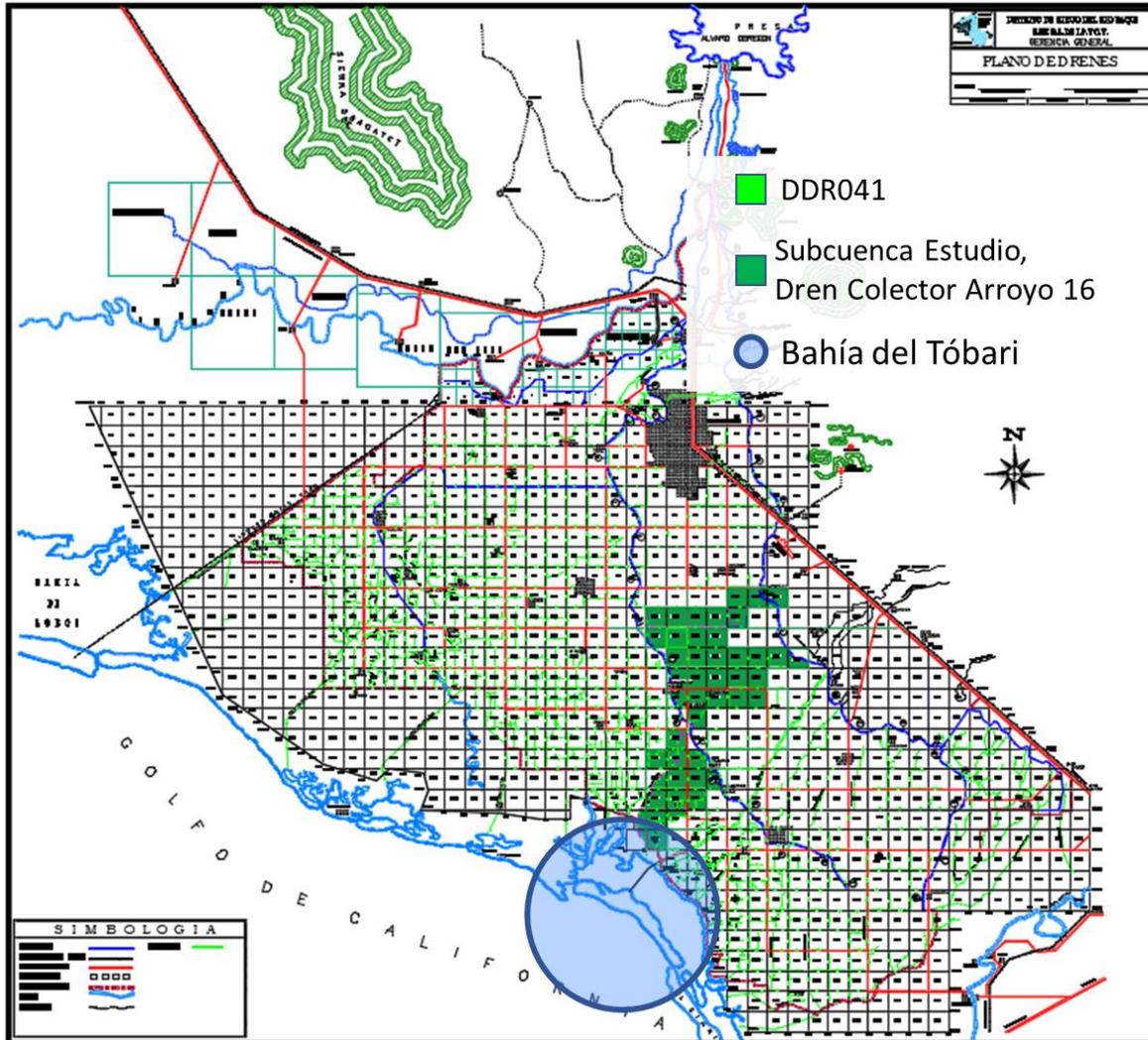


Figura 1.16 Diagrama de la zona de estudio

La zona de estudio corresponderá al área que comprenden los bloques cuyos drenajes son tributarios del Dren Colector Arroyo 16 (DCA16).

El DCA16, corre paralelo al canal bajo (por la margen izquierda), con una longitud de 10.82 km, distancia en la cual cruza el canal y sigue su curso ahora por la margen derecha, con una longitud de 15.50 km; recorriendo una longitud total de 26.41 km, más la longitud de las aportaciones de cada tributario que es 121.41 km, siendo en total 147.82 km. El área de aportación es de 184 km², equivalentes a 46 bloques de 4 km² (cuadrícula del DR041).

Los módulos comprendidos en el área seleccionada son K-70, K-73.8, K-79, K-73.5, Dieciocho y Diecinueve. La zona de estudio se encuentra dentro del municipio de Cajeme a una distancia



aproximada (en línea recta) de 19 km de Ciudad Obregón (Cabecera Municipal). La población estimada en la zona de estudio es de 4,638 habitantes, asentados en las localidades Col. Allende, Col. Sonora, El Bosque, Altos de Jecopaco y Quetchehueca; siendo esta última localidad en la cual se ha detectado presencia de contaminantes en diferentes matrices ambientales (Meza-Montenegro et al., 2012, Cantú Soto et al., 2011).

1.1.2 Problemática

En los sistemas ambientales de alta complejidad, la mayor parte de los contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos, provienen de fuentes no localizadas, conocidas anteriormente con el nombre de contaminación "difusa". Esta contaminación es resultado de un amplio grupo de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben. Convencionalmente, en la mayor parte de los países, todos los tipos de prácticas agrícolas y formas de utilización del suelo, incluidas las operaciones de alimentación animal (granjas de engorde), se consideran como fuentes no localizadas (Ongley, 1997).

Los principales ríos de los países en desarrollo y emergentes sufren la degradación, cada vez más grave, de la calidad de su agua como consecuencia del crecimiento de la población y el desarrollo económico. Esta degradación de la calidad del agua es una amenaza para los ecosistemas y la salud humana (Steinfeld et al., 2006, Schaffner et al. 2009).

Elementos traza, especialmente los llamados "metales pesados", están entre los más comunes contaminantes medioambientales, siendo su origen tanto natural (geogénico) como antrópico (Singh et al., 2005). En México se han hecho algunos estudios sobre el nivel de contaminación de las cuencas hidrológicas, como es el caso del Río Atoyac (Saldaña y Balandra, 2006), Río San Pedro (Guzmán-Colis et al., 2011) y Río Maconí (Santos-Jallath et al., 2013); por citar algunos ejemplos, pero en estas investigaciones solo se suelen llevar a cabo la cuantificación de la presencia de contaminantes y valoraciones a través de un índice de calidad.

Durante mucho tiempo las consecuencias de la contaminación difusa pasaron desapercibidas; hoy en día, la intensidad de las actividades humanas y el efecto acumulativo de los contaminantes en los ríos y cuerpos de agua han tomado tales proporciones que ponen en riesgo la salud de los ecosistemas, la salud humana y las actividades productivas en áreas terrestres y marinas muy extensas. Debido a ello, existe una creciente preocupación por la contaminación no localizada principalmente desde áreas agrícolas (Collins y Mc Gonigle, 2008;



Hanson y Trout, 2001). Además, algunos países de la Unión Europea y Estados Unidos comenzaron a establecer políticas para enfrentar este fenómeno (Collins y McGonigle, 2008; Hopkins, et al. 2007), con costos que han llegado a alcanzar los 597 millones de dólares (Secchi et al., 2007), citado en Cotler e Iura (2010).

La contaminación no localizada resulta entonces de un efecto acumulativo que es producto de pequeños aportes individuales realizados desde sitios diversos, que terminan afectando los cuerpos de agua superficial, las aguas subterráneas y muchas veces también el área marina asociada, ya que sus impactos no se restringen a las cuencas hidrográficas, sino que impactan a las costas y a los cuerpos de agua dulce, salobre y marina; como lo demuestran algunos estudios realizados sobre los procesos de eutrofización en los sistemas costeros de Yucatán (Herrera-Silveiro et al., 2004) y de hipoxia en zonas del Golfo de México (Rabalais, 2002).

En la zona costera hay una gran diversidad de ecosistemas; sin embargo, para el presente análisis, los ecosistemas lagunares-estuarinos (Bahía del Tóbari) resulta de especial importancia debido a que los estuarios son las zonas en las que el agua de mar se diluye significativamente con el agua dulce proveniente del drenaje terrestre (Pritchard, 1967). Se trata de ecosistemas dinámicos, complejos, con muchas fronteras, en los que hay grandes variaciones de salinidad, nutrientes, temperatura, oxígeno disuelto y sustratos; con patrones de circulación determinados por la geomorfología, los vientos, la descarga de los ríos y que además son fuertemente afectados por las mareas (Yáñez Arancibia, et al., 1995).

La actividad pesquera de los Mayos de Sonora se desarrolla principalmente en la zona costera del municipio de Benito Juárez, en las localidades conocidas como Paredón Colorado (Paredón Viejo), Paredoncito y Aceitunitas (Sube y Baja), localizados en la Bahía del Tóbari, la cual tiene problemas de contaminación principalmente por el azolvamiento de la Bahía debido a la descarga de drenes agrícolas que aportan además de sólidos, aguas contaminadas por plaguicidas, fertilizantes y metales, así como de las descargas acuícolas de las granjas camarones instaladas en la Bahía (Sanpedro, 2004); aunado a que la red de drenes agrícolas ha ocasionado que las localidades los utilicen también como medio de desalojo de aguas residuales domésticas. Además de tener una deficiente circulación hidrodinámica ocasionada por la disminución de entrada de agua dulce del río Mayo ocasionando también que exista una mayor salinidad en la Bahía.

Debido a la problemática de contaminación de la Bahía del Tóbari, se realizaron dos muestreos de sedimentos y organismos, éstos últimos aprovechados por los pescadores para la venta y



autoconsumo. Los organismos colectados para los análisis de metales pesados fueron el pez Mugil cephalus y dos almejas; la china y pata de mula (*Chione gnidia*, *Anadara tuberculosa* respectivamente) que están directamente en contacto con los sedimentos por ser organismos bentónicos.

De acuerdo con la EPA (1997), se considera que los sedimentos proporcionan un hábitat para muchos organismos acuáticos y funcionan como un componente importante del ecosistema acuático. El sedimento también es el repositorio principal para los contaminantes químicos tóxicos persistentes liberados en el entorno. En el ambiente acuático los químicos de origen antropogénico (humano) que no son degradados fácilmente pueden acumularse en el sedimento.

De hecho, el sedimento ha sido descrito como el "último sumidero, o el destino final de los contaminantes (Salomons et al., 1987), los cuales desafortunadamente, pueden ser reincorporados a la columna de agua y ser también una fuente de contaminantes al ambiente acuático.

Efectos adversos en organismos que están cerca o en contacto con los sedimentos puede ocurrir aún a niveles bajos de contaminantes en la superficial entre el agua y los sedimentos. Los organismos bentónicos (que viven en el fondo) pueden estar expuestos a contaminantes a través de contacto, ingestión de partículas de sedimentos o absorción de contaminantes presentes en el agua intersticial (poro).

Evidencia de pruebas de laboratorio han mostrado que el sedimento contaminado puede causar letalidad inmediata (mortandad) (toxicidad aguda) y efectos nocivos a largo plazo (toxicidad crónica) para los organismos bentónicos. Los estudios de campo han revelado otros efectos, tales como tumores y otras lesiones, en peces que se alimentan de otros organismos.

Alrededor del 70–75% de la contaminación marina global es producto de las actividades humanas que tienen lugar en la superficie terrestre. La importancia de la contribución de los ríos como vía de ingreso de contaminantes al mar fue reconocida por primera vez en la Conferencia Técnica de la FAO sobre Contaminación Marina y sus Efectos en los Recursos Vivos (Roma, 8–9 de noviembre de 1970) (Escobar, 2002).

Los ríos contribuyen en una serie de funciones tales como el transporte de agua, la acuicultura, la agricultura de riego, fuente de agua para uso doméstico y el turismo (Liao et al., 2016). Desde el comienzo de la industrialización y la urbanización descontrolada en muchas cuencas, los ríos



cuentan con problemas de calidad en agua y sedimentos (Ohe et al., 2004, Martínez-Santos et al., 2015).

Hay que considerar que la zona de estudio es un sistema complejo medioambiental en donde los drenes del sistema de riego del DR041 son una red hidrográfica artificial que transportan contaminantes al océano. Además, esta complejidad se incrementa porque existen diversos focos que aportan contaminantes; tales como:

- Zonas mineras. En la cuenca del río Yaqui existen centros mineros de los más importantes a nivel nacional e internacional (Estado de Sonora, primer lugar a nivel nacional y octavo internacional en producción de oro (Servicio Geológico Mexicano, 2016)).
- Producción agrícola. Se considera el Valle del río Yaqui como uno de los más productivos en el país, responsable de cerca de dos quintas partes de la producción anual de trigo de México (Naylor et al., 2001, Lobell et al., 2005).
- Producción porcina. El municipio de Cajeme es uno de los tres principales municipios en producción porcina ya que concentra el 80% del total de la producción estatal (COLSON, 2016). Durante los últimos diez años (2006-2016) el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Cajeme, clave 148 (integrado por 10 municipios), ha producido un promedio 87,000 ton de carne de cerdo, de los cuales el municipio de Cajeme produce más del 60% (SIAP-SAGARPA, 2017).
- Zona de acuacultura y pesca. La Bahía del Tóbari forma un parte del Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) “Islas del Golfo de California,” bajo la responsabilidad y manejo de la Comisión Nacional para Áreas Naturales Protegidas (CONANP), siendo el primer sitio sonorense en ser reconocido por la Red Hemisférica de Reservas para las Aves Playeras, categoría “Internacional” (Carmona et al., 2015). En esta bahía y sus inmediaciones existen numerosos centros de producción camaronera, además de ser zona de pesca para las poblaciones asentadas en sus orillas. El estado de Sonora aporta el 62.8% de la producción nacional de camarones.

En cuanto al saneamiento, de acuerdo con CONAGUA, (2015), la cobertura de alcantarillado en la zona de estudio (municipio de Cajeme) es del 88% en la zona urbana y 46% en la zona rural. Existen cuatro plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) con una capacidad instalada de 1,648.5 L/s (eficiencia de operación del 73%), estimándose así que 429 L/s se descarga sin

tratar. Tanto el caudal sin tratar como el tratado se incorpora a la red de drenaje del sistema de riego del DR041.

GS Ingeniería Integral (2008), señaló que la Bahía del Tóbari se ha convertido en el cuerpo receptor de las aguas residuales de diversas actividades ajenas a la pesca que se desarrollan en o alrededor de la bahía, principalmente actividades turísticas, acuícolas, agrícolas y porcícolas. Los efectos acumulados de dichas actividades significan una agresión importante al modelo de circulación hidrodinámica de este cuerpo de agua.

El sistema de presas y los módulos de riego han ocasionado que el volumen de agua dulce estacional que descargaba en la bahía sea de agua de retorno después de haber regado los terrenos del DR, incrementando así la cantidad de sólidos en el agua que se descarga en la bahía. Además, la red de drenes del DR ha sido aprovechado por las localidades ubicadas en las márgenes para verter las aguas residuales urbanas y que tienen como destino final la Bahía del Tóbari. Así, el problema es complejo y además hay que añadir la deficiente circulación hidrodinámica de la bahía ocasionada por la restricción hidráulica continental, la construcción del bordo camino y el avanzado proceso de azolve de la propia bahía.

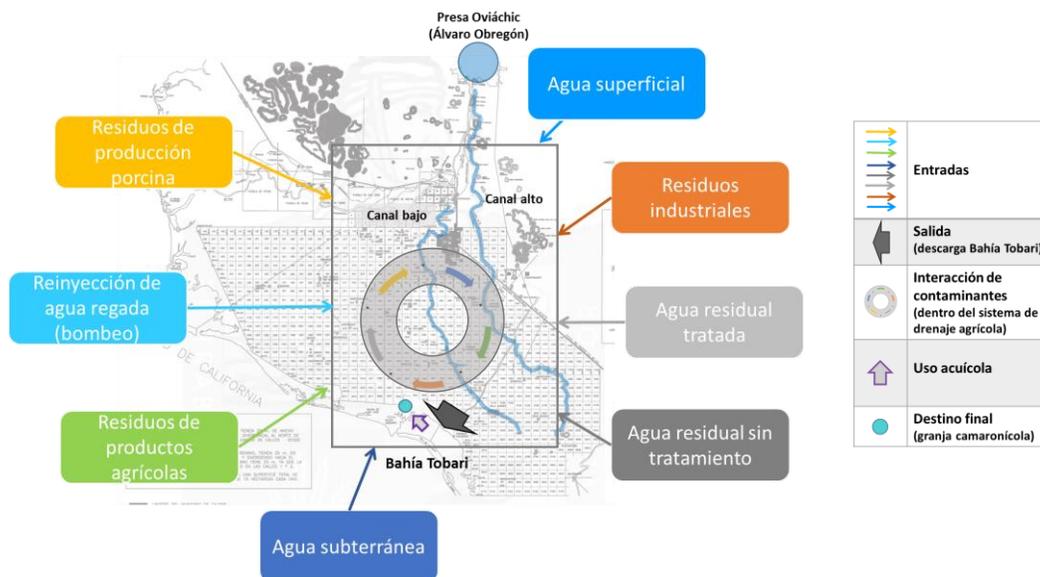


Figura 1.17. Modelo de posibles vías de incorporación de contaminantes en el curso bajo de la cuenca del río Yaqui (elaboración propia)

El destino final de los contaminantes son las granjas camaronícolas localizadas en los márgenes de las bahías. El agua de producción de estas granjas es un agua salobre resultado de la mezcla entre el agua que se toma directamente de la bahía y el agua dulce de origen superficial. Estas granjas están expuestas a diversos contaminantes, entre los cuales hay que destacar los

metales, de gran preocupación en el ambiente acuático (Páez-Osuna, 2001; Wu & Yang, 2011). La Figura 1.17 muestra el modelo de las posibles vías de incorporación de contaminantes en el curso bajo de la cuenca del río Yaqui.

Dentro de los insumos que se utilizan en la agricultura se tienen detectados de gran uso y más importantes los presentados en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2 Productos de protección química utilizados por hectárea de trigo cultivado en el Valle del Yaqui

Tipo de insumo	Producto comercial	Ingrediente activo	Grupo químico	Cantidad aplicada
Insecticida	Dimetoato 400 CE	Dimetoato	Organofosforado	2 L/ha
Herbicida	Topik 240 EC	Clodinafop-propargilo+Cloquintocet-mexilo	Ácido ariloxifenoxipropiónico + Derivado quinolínico	1 L/ha
Herbicida	Situi	Metsulfurón metil+Thifensulfurón metil	Sulfonilureas	0.03 kg/ha
Fungicida	Folicur 250 EW	Tebuconazole	Triazoles	1 L/ha
Herbicida	Faena	Glifosato	Organofosforado	3 L/ha
Herbicida*	DMA-6, Arco 2-4	24-D	Ácido fenoxiacético	0.8-1.2 L/ha 1-1.5 L/ha

Fuente: Adaptada de Lares-Orozco et al., (2016).

*Recomendación del personal Sanidad Vegetal, obtenido en visita prospectiva

En las Tablas 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6, se muestra un resumen de la caracterización de diferentes plaguicidas en el que se incluye su estructura y grupo químico, su persistencia en agua, aire y suelo, algunos efectos a la salud y algunas generalidades de interés sobre el plaguicida.

Caracterización de plaguicidas organoclorados (2,4-D, DDT, DDE y DDD)

Nombre del plaguicida	2,4-D	DDT, DDE y DDD
No CAS	94-75-7	DDT: 50-29-3, DDE: 72-55-9, DDD: 72-54-8
Estructura química		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> DDT </div> <div style="text-align: center;"> DDE </div> <div style="text-align: center;"> DDD </div> </div>
Generalidades	El suelo y los cuerpos de agua son sus medios receptores directos, pero se dispersa en el ambiente. Su bioconcentración en los organismos es baja.	
Persistencia en Aire	En el aire persiste por horas y puede ser eliminado por precipitación junto con la lluvia.	El DDT entra al ambiente cuando se usa como pesticida. El DDE entra al ambiente como contaminante o producto de degradación del DDT; el DDD entra como producto de degradación del DDT.
Persistencia en Agua	En agua es degradado en poco tiempo (vida media menor de 7 días) por hidrólisis, fotólisis y por la acción en los microorganismos	El DDT, DDE, y DDD son degradados rápidamente en el aire por la luz solar.
Persistencia en Suelo	Su movilidad varía de baja a moderada, puede lixiviarse hasta aguas subterráneas. La biodegradación puede durar varios meses Puede ser absorbido por las plantas a través de hojas, tallos y raíces y transformado por distintas rutas metabólicas.	No se disuelven fácilmente en agua.
Efectos o daños a la salud	Una exposición intensa o continua (pero no crónica) podría causar incapacidad temporal o posibles lesiones residuales, a menos de que se proporcione un rápido tratamiento médico.	Se adhieren al suelo; la mayor parte es degradado por microorganismos; la mitad del DDT en el suelo se degradará en 2-15 años. Sólo una pequeña cantidad pasará al agua subterránea; El DDT, y especialmente el DDE, se acumulan en plantas y en tejidos grasos de peces, aves, y otros animales.

Tabla 1-3 Caracterización de plaguicidas piretroides

Nombre del plaguicida	Cialotrina	Deltametrina	Ciflutrina	Cipermetrina
No CAS	91465-08-6	52918-63-5	68359-37-5 ^{Ph}	52315-07-8
Estructura química				
Generalidades	Baja volatilidad, prácticamente no entra en la atmósfera	Es un piretroide sintético con actividad insecticida y acaricida de amplio espectro.	Es un compuesto orgánico complejo, y el producto comercial se vende como mezcla de sus isómeros.	Biodegradado en condiciones aerobias y vida media en suelo varía de 2 a 4 semanas
Persistencia en Aire	No se volatiliza fácilmente a la atmósfera, fuerte tendencia de unión con el suelo reduce el potencial de volatilización.	Se degrada fácilmente en el ambiente, por acción de la luz solar y microorganismos, puede llegar incluso a la mineralización, depende de la temperatura	Poco persistente en el ambiente, hasta 9 semanas. Se encuentra en el aire en la fase de partículas	En el aire se encuentra asociado a las partículas, las cuales se depositan con el polvo y la lluvia.
Persistencia en Agua	Es estable a la hidrólisis en aguas ácidas y neutras , pero no así en aguas alcalinas (pH 9) se une a los sólidos suspendidos y sedimentos puede bioconcentrarse, pero no se bioacumula.	En los cuerpos de agua se elimina por adsorción a los sedimentos, absorción por las plantas y por evaporación. Se bioconcentra, pero sólo temporalmente.	Es degradado rápidamente por hidrólisis en aguas de pH básico , se adsorbe a los sólidos suspendidos y sedimentos. Potencial de bioacumulación elevado.	Su vida media en agua es de aproximadamente 2 semanas y sus concentraciones disminuyen rápidamente debido a la adsorción a sedimentos, sólidos suspendidos y plantas
Persistencia en Suelo	Persistencia en suelo moderada vida media entre 4 a 12 semanas y un valor típico de 30 días para la mayoría de los suelos. Potencial de lixiviación es mínimo	En suelo se une fuertemente a las partículas y a la materia orgánica, lo cual reduce su movilidad y lixiviación hasta las aguas subterráneas. Vida media en suelo entre 11 y 72 días.	En suelo permanece inmóvil, con baja posibilidad de lixiviación . La biodegradación y la fotólisis son sus mecanismos más importantes de eliminación	En el suelo, es estable a la luz del sol, se adsorbe a las arcillas y materia orgánica del suelo, es estable a la hidrólisis, pero no a la biodegradación, ni a las reacciones fotoquímicas
Efectos o daños a la salud	Los piretroides interfieren con el funcionamiento normal de los nervios y el cerebro. A la exposición puede experimentar sensaciones de adormecimiento, comezón, ardor, escozor, hormigueo o calor que pueden durar horas; pueden causar temblores musculares, pérdida de energía y la conciencia, convulsiones			

Tabla 1-4 Caracterización de plaguicidas triasoles

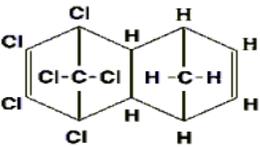
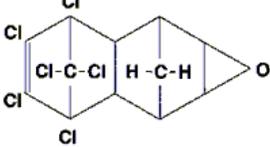
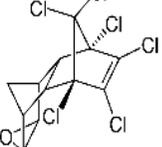
Nombre del plaguicida	Aldrin	Dieldrin	Endrin
No CAS	309-00-2	60-57-1	72-20-8
Estructura química			
Generalidades	<p>En el pasado, el aldrín y el dieldrín entraron al ambiente cuando los agricultores usaron estos compuestos como plaguicidas en cosechas y cuando los exterminadores los usaron para matar termitas. El aldrín y el dieldrín aún están presentes en el ambiente como consecuencia de estos usos en el pasado.</p>	<p>En el pasado, el aldrín y el dieldrín entraron al ambiente cuando los agricultores usaron estos compuestos como plaguicidas en cosechas y cuando los exterminadores los usaron para matar termitas. El aldrín y el dieldrín aún están presentes en el ambiente como consecuencia de estos usos en el pasado.</p>	<p>Su persistencia en el medio ambiente depende en gran parte de las condiciones locales. Ciertos cálculos indican que la endrina puede permanecer en el suelo por más de 10 años.</p>
Persistencia en Aire	<p>La luz solar y las bacterias pueden transformar al aldrín a dieldrín en el ambiente. Se puede encontrar dieldrín en lugares donde originalmente se liberó aldrín.</p>	<p>En el aire, se transforma a fotodieldrín en unos pocos días. Las plantas pueden incorporarlo del suelo y acumularlo en las hojas y en las raíces.</p>	<p>En el aire se asocia con materia particulada, pueden existir pequeñas cantidades en fase de vapor, reaccionando con radical hidroxilo con una vida media de 1,45 horas y foto degradándose a γ-cetoendrina con una vida media de 7 días</p>
Persistencia en Agua	<p>No se fotoliza directamente en el agua en una medida significativa.</p>	<p>El agua no remueve al dieldrín del suelo. no se disuelve muy bien en agua no se encuentra en agua en altas concentraciones.</p>	<p>No se hidroliza ni biotransforma en el agua y la vida media puede variar desde 16 semanas a muchos años. Se absorberá extensivamente en el sedimento.</p>
Persistencia en Suelo	<p>En el suelo y las plantas se volatiliza de la superficie del suelo o se transforma lentamente en dieldrin en el suelo. Biodegradación lenta y no se lixivia.</p>	<p>Se degrada lentamente, se adhiere al suelo y a sedimentos en el fondo de lagos, lagunas y arroyos,</p>	<p>Se absorbe fuertemente al terreno, donde queda inmóvil y persiste con una vida media de 12 años.</p>
Efectos o daños a la salud	<p>Puede producir opresión del pecho, salivación excesiva, calambres abdominales, diarrea, visión borrosa, temblores y la muerte</p>	<p>Puede producir graves lesiones al sistema nervioso central, convulsiones y la muerte.</p>	<p>Puede producir graves lesiones al sistema nervioso central, convulsiones y la muerte.</p>

Tabla 1-5 Caracterización de plaguicidas Malation, Dimetoato, Paration y Glifosato

Nombre del plaguicida	Malation	Dimetoato	Paration	Glifosato
No CAS	121-75-5	60-51-5	No. CAS: 56-38-2	38641-94-0
Estructura química				
Persistencia en Aire	En el aire, el malatión es degradado por la luz solar.	En el aire húmedo es degradado fotoquímicamente por reacciones de hidrólisis y oxidación.	El paratión en el aire es transformado rápidamente por la luz solar y ozono en un producto más toxico (paraoxón)	Es removido de la atmósfera por acción de la gravedad (sedimentación)
Persistencia en Agua	Se degrada rápidamente por hidrólisis a niveles de pH alcalinos, pero es estable a la hidrólisis a pH ácidos. La temperatura también	A pH básicos su hidrólisis es rápida , aunque es moderada con pH neutro o ácidos. Se degrada rápidamente en los sedimentos del agua.	En el agua, puede ser degradado por luz solar y microorganismos. La reacción con otras sustancias químicas y con la luz solar produce paraoxón.	En los cuerpos de agua se disipa rápidamente debido a su adsorción y posible biodegradación
Persistencia en Suelo	Se degrada rápidamente en el suelo , se ha reportado que la vida media del malatión en el suelo varía desde horas hasta 1 semana	Es rápidamente degradado por microorganismos del suelo. no tienen efectos ecotoxicológicos significativos, no se acumula ni se concentra en el suelo.	En el suelo, el paratión puede ser degradado por reacciones químicas, la luz solar, o microorganismos.	Se adsorbe fuertemente a los suelos, bajo potencial de lixiviación. vida media de aproximadamente 60 días.
Efectos o daños a la salud	Puede causar dificultad para respirar, opresión del pecho, vómitos, calambres, diarrea, visión borrosa, dolores de cabeza, mareo, pérdida del conocimiento y posiblemente la muerte.	Enrojecimiento en piel y ojos, aspereza, contracción pupilar, calambres musculares, salivación excesiva, vértigo, dificultad, respiratoria, náuseas, pérdida del conocimiento.	Afecta al sistema nervioso, visión borrosa, calambres estomacales, diarrea, dificultad para respirar, temblores, convulsiones y muerte;	Efecto cancerígeno y tóxico sobre el material genético

1.1.3 Investigaciones previas realizadas en la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en una región de importancia a nivel nacional por sus actividades económicas y en el aspecto social, por la prevalencia de población Yaqui. Todo ello ha despertado interés de científicos de diferentes áreas en evaluar las condiciones socio-medio-ambientales. En la Tabla 1-6 se citan algunos de las investigaciones realizadas en la zona de estudio y los principales resultados y/o conclusiones reportadas.

Tabla 1-6. Trabajos de investigación en el Valle del Yaqui

Autor/Año	Resultados/Conclusiones
Reyes-Blanco 1990*	Determinó presencia de POC en leche materna de mujeres provenientes de Pueblo Yaqui, Sonora. Los resultados mostraron que el 86% de las muestras presentaron de 1 a 3 plaguicidas. Compuestos encontrados: aldrín, α -HCH, γ -HCH (lindano), δ -HCH, DDT-técnico y DDE con una concentración promedio de 0.06, 0.08, 0.11, 0.17, 0.27 y 1.90 ppm respectivamente.
García Bañuelos 1991*	Determinó en la comunidad de Pueblo Yaqui, Sonora, la presencia de POCs en leche materna y sangre de neolactantes a los 0, 3 y 6 meses de vida. Encontró en el 100% de las muestras analizadas la presencia de DDE. Los principales contaminantes que se detectaron en la leche materna fueron: DDE, lindano, aldrín, DDT y o,p'-DDT, entre otros (concentraciones de 6.31, 0.027, 0.2363, 0.2089 y 0.0002 ppm respectivamente).
Ramírez-Pardo 1997*	Determinó la presencia de POCs en muestras de sangre intravenosa antes (mes 7-9 mes de gestación) y después del parto (sexto mes de posparto), muestras de líquido amniótico (8-9 mes de gestación), y muestra de sangre del cordón umbilical o intravenosa del neonato. Los contaminantes que se encontraron presentes en todas las muestras analizadas fueron principalmente: lindano, dieldrin, HCB, α -HCH, p,p0-DDE, y endrin, entre otros. La presencia de estos compuestos en los recién nacidos indica que nacen con una carga inicial originada en parte por el pasaje trasplacentario de dichas sustancias por la madre hacia el feto y cuyas concentraciones obtenidas fueron mucho mayores en la sangre del cordón umbilical que en la sangre materna.
García-Calleja 1998*	Determinó la presencia de plaguicidas organoclorados y organofosforados en agua potable y de uso general en tres comunidades del Valle del Yaqui (Bácum, Quetchuehueca y Pueblo Yaqui), entre los POC detectados en el agua se encuentra: lindano presente en las tres comunidades, DDT y dieldrin en Pueblo Yaqui y DDD en Quetchuehueca.
Guillette et al, 1998*	El propósito del estudio fue determinar si niños que viven en un entorno agrícola estaban en riesgo en términos de crecimiento y desarrollo normal, evaluando el desempeño físico y mental de niños entre 4-5 años de edad de tres comunidades Yaquis (Bácum, Quetchuehueca y Pueblo Yaqui) y de una comunidad de referencia (Cd. Obregón) mediante juegos interactivos. Como resultado destaca que los niños del valle tienen menor resistencia al salto, menor sentido del equilibrio, menor capacidad para atrapar la pelota

Autor/Año	Resultados/Conclusiones
Tapia-Quirós 2006*	<p>(disminución de la coordinación ojo-mano), menor capacidad para recordar una frase significativa después de 30 minutos y la diferencia más notoria entre los niños de las comunidades evaluadas fue la capacidad de dibujar una persona.</p> <p>Identificó y cuantificó la presencia de POCs en el suero sanguíneo de niños residentes del Ej. Guadalupe Victoria, en el Valle del Yaqui. Encontró la presencia del DDE en el 66.66% de las muestras, con un intervalo de concentración menores a 0.1 ppb hasta 443 ppb.</p>
RAMSAR, 2006.	La zona costera del Valle del Yaqui, sus manglares y los diferentes sistemas de pesca, están sujetos a considerables entradas de contaminantes en la cuenca del río Yaqui
Villareal- Barrón 2007*	Determinó POCs en suero sanguíneo de niños residentes del Tobarito, Valle del Yaqui, Sonora. Encontrando solo p,p'-DDE en el 40% de las muestras analizadas, en un intervalo de concentración desde 5.54 hasta 14.825 ppb. En la zona de referencia (Cd. Obregón Son.) se encontró la presencia de DDE en el 42.65% en un intervalo de concentración de 1.98 a 14.88 ppb.
Flores-Casillas 2008*	Determinó POCs en el agua de consumo del Valle de Yaqui y Valle del Mayo, encontrando DDE, endosulfán y DDT en niveles traza (<3 ppb y <30 para los restantes) con una incidencia del 76%, 80% y 77% de las muestras.
Ahrens et al., 2008	Revisó la información de varios autores durante 15 años de investigación en campos de trigo, canales de drenaje, estuarios y aguas costeras de la región del Valle del Yaqui. Como principal conclusión se señaló que los insumos totales de N que se exportan a través de las aguas superficiales a la costa representan consecuencias ecológicas significativas. Los flujos de N gaseoso y disuelto de los campos agrícolas están entre los más altos observados, y el agua de escorrentía rica en N favorece la reproducción del fitoplancton en las aguas costeras.
Ponce 2008	La zona costera concentra alrededor de 2/3 de la producción de peces, y es un área conocida por la proliferación de algas tóxicas llamadas "Floraciones de algas nocivas" (FAN). Dichas FAN causan daños severos tales como la mortalidad de peces, aves, y mamíferos marinos, por la acumulación de biomasa y anoxia o la alteración del hábitat resultante de la misma. Diferentes tipos de florecimientos algares se destacaron por la costa de Sonora.
Rodríguez- Valle 2009*	Realizó un estudio de colecta de información para determinar cuáles eran los plaguicidas más empleados en el Valle del Yaqui y Mayo durante el ciclo 2007-2008. Acorde con el análisis de información los plaguicidas más vendidos en la región en orden decreciente fueron: paration metílico, metamifdofós, dimetoato, paraquat y metsufurón.
Orduño- Valenzuela 2010*	Determinó niveles de POCs en suero sanguíneo de niños y muestras de suelo de la comunidad Yaqui de Potam encontrando en el suelo la presencia de DDT en el 91.66% de las muestras al igual que el lindano, y los metabolitos del DDT (DDE y DDD) en el 100% de las muestras. En el suero sanguíneo se encontró la presencia de DDE en el 100% de las muestras en

Autor/Año	Resultados/Conclusiones
Cuevas-Robles 2010*	<p>una concentración de 1.3 µg/L, DDD y DDT en 1.6 y 0.8 µg/L respectivamente.</p> <p>Determinó el daño genotóxico por exposición no ocupacional a POCs mediante un biomarcador de efecto en muestras de sangre de niños residentes del ejido Guadalupe Victoria en el valle Yaqui, para estimar el nivel de daño de ADN por arriba del valor basal establecido.</p>
Aguilar- Apodaca et al., 2010	La calidad química del agua para consumo humano en Potam, Río Yaqui, mostró alta nivel de contaminación en As(78 mg/L), Cu, Cd, Ba, Mn y Pb asociado con el aumento de la salinidad en algunas localidades
García-Rico et al.,2011	Evaluaron niveles de Cd, Pb, Hg, Cu, Fe, Mn y Zn en las costas de Sonora, y reportaron que las concentraciones más altas de estos metales fueron observadas en la zona costera, relacionándolas con fuentes urbanas.
Moreno Villa et al., 2012	<p>El objetivo del estudio fue evaluar la presencia de cialotrina, ciflutrina, cipermetrina, fenvalerato y deltametrina en agua y suelo de los valles del Yaqui y Mayo, Sonora. Para el análisis de piretroides se empleó el método de dispersión de matriz en fase sólida (DMFS) y de cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Se recolectaron un total de 194 muestras (123 de suelo y 71 de agua). Se obtuvieron 14 muestras con residuos de piretroides (11 de agua y 3 de suelo). La mayor concentración detectada fue en suelo con 65.6 µg/kg de cialotrina, mientras que en agua fue de 29.4 µg/L de cipermetrina.</p>
Meza- Montenegro et al., 2012	<p>El objetivo de este estudio fue evaluar la exposición de los niños a diferentes POC, As y Pb en los valles Yaqui y Mayo de Sonora para generar una línea base de los niveles de estas toxinas. Todas las muestras tenían niveles sanguíneos detectables de p,p'-DDE, concentraciones de 0.25 a 10.3 µg/L, mientras que p,p'-DDT, aldrin y endosulfan se detectaron en menos de la población estudio. El valor medio de Pb en fue 3.2 mg / dL (rango de 0.17 a 9.0) con 8.5% de las muestras que tienen niveles de <5,0 mg Pb / dL. Los niveles urinarios oscilaron entre 5.4 y 199 mg As / L con un valor promedio de 31.0 mg As / L. Niveles> 50 mg / L en 12,7% de las muestras se observaron. Los resultados muestran que es importante iniciar un programa de reducción de riesgos para disminuir la exposición a toxinas.</p>
Meza- Montenegro et al., 2013	<p>Se estudió el grado de contaminación por metales del suelo debido a las actividades agrícolas y los riesgos asociados para la salud en la zona agrícola más importante de México. Este estudio perfila la distribución espacial de metales (Ni, Cr, Pb, Cu, Fe, Cd, V, Hg, CO, P, Se, y Mn) en el suelo y fracciones de grano fino (polvo del suelo derivado) en 22 pueblos (Valle Yaqui). La contaminación del suelo se evaluó mediante el uso de un índice de geoacumulación (Igeo) y el índice de contaminación (PI). Los resultados de este estudio detectaron suelos de moderados a altamente contaminados por contiene Be, Co, Hg, P, S, V, Zn, As, Cr y Pb en ambas fracciones de suelo (grueso y fino). El índice de peligrosidad en la fracción fina (HIchildren = 2.1) muestra que en el riesgo basado en Co, Mn, V, y Ni está espacialmente relacionado con las centrales eléctricas, y que tiene el potencial de representar a los residentes locales riesgos para la salud, especialmente los</p>



Autor/Año	Resultados/Conclusiones
Jara-Marini et al., 2013.	<p>niños. Este estudio muestra que el riesgo basada en el contenido de metal en el suelo fracción gruesa podría ser sobreestimado en comparación con la fracción de grano fino. Estos resultados son útiles para establecer el riesgo asociado a suelos residenciales dentro de las zonas agrícolas, donde los niños pueden ingerir e inhalar el polvo.</p> <p>Examinó la presencia de Cd, Cu, Hg, Pb y Zn en sedimentos superficiales de la Bahía del Tóbari. El FE para Cd rangos de 4.10-10.29, para Hg rangos de 2.77-12.89 de contaminación antropogénica, mientras que Cu rangos de 0.43-2.54 de contaminación antropogénica. Las concentraciones más altas de Cd, Cu y Hg fueron encontradas en sitios de descarga de efluentes de agricultura y acuacultura.</p>
Cantú Soto, 2013	<p>Detectó plaguicidas organoclorados (lindano), en tres localidades del Valle del Yaqui, el pp-DDD que se encontró en Quetchehueca y el pp-DDT y dieldrin detectados en Pueblo Yaqui. Los POC detectados en el agua del drenaje Quetchehueca y Pueblo Yaqui fueron malatión y paratión metílico.</p>
Murrieta-Ruiz, 2014.	<p>Detectó concentraciones de plaguicidas organoclorados (POC) en invertebrados filtradores (Crustacea: Balanidae) de la zona de descarga de drenes agrícolas del Valle del Yaqui y hasta la Isla San Pedro Mártir en la parte central del Golfo de California. Dentro del grupo de POC se encuentra el Endosulfan 12µg/g en la Bahía del Tóbari.</p>
Vargas-González et al., 2017.	<p>Reportó índices de ICM y de Igeo en la Bahía de Lobos y Tóbari que refieren contaminación por manganeso principalmente cerca de zonas de efluentes agrícolas. Índice FE refieren moderada contaminación de las mismas bahías con Zn, Cu y Pb.</p>

* En Ayala Mora (2012)

En un reciente artículo García Hernández et al. (2018) exponen el estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México, en éste se analizan los diferentes trabajos que se han realizado en el país con relación al uso y efecto de los plaguicidas en el ambiente y la salud humana. Reporta en cuanto al patrón de uso de plaguicidas en el Valle de Yaqui, se tiene un uso anual de 270 toneladas de ingredientes activos de fungicidas, insecticidas, herbicidas, entre otros, de éstos, los organofosforados son los de mayor uso. Respecto a los efectos en el ambiente, los autores reportan diversos estudios que muestran los residuos en ecosistemas costeros, en la Tabla 1-7 se han recopilado y sintetizado aquellos que son de interés para la zona de estudio.

Tabla 1-7 Concentración de plaguicidas organoclorados, organofosforados y piretroides sintéticos en ecosistemas costeros (García Hernández, y otros, 2018)

Fuente	Localidad (Sonora)	Matriz	Analito	Concentración
Osuna-López et al. (2014)	Bahía de Lobos	-	endrín alehido	1.110
García Hernández et al. (2015)	Laguna Agiabampo	Callinectes bellicosus	endosulfán i	0.563
	Laguna Yavaros		β-HCH	0.316
	Bahía de Lobos		heptacloro	0.264
Vargas-González et al. (2016)	Yavaros	Chione californiensis	heptacloro	0.073
Burgos-Hernández et al. (2006)	La Atanasia	Camarón de granja	malation	0.035
			paration	0.012
		Sedimento de granja	clorpirifos	0.013
			clorpirifos	2.850
González-Farías et al (2002)	Agiabampo	Sedimento	4,4-DDD	2.150
			heptacloro	0.064
Rosales y Escalona (1983)	Yavaros	Mugil cephalus	4,4-DDD	0.051
			endrin	0.032
			dieldrin	0.033

En cuanto a los residuos en suelos, los autores indican que Leal-Soto *et al.* (2013), reportan que en zonas agrícolas se tiene presencia de 17 compuestos organoclorados, siendo el diclorodifenildicloroetileno (DDE) el de mayor concentración (Valle de Guaymas), además para el Valle del Yaqui, Moreno-Villa *et al.* (2012) detectaron residuos de piretroides sintéticos, con mayores concentraciones de cialotrina. Por otro lado, para los residuos en fauna silvestre, se ha detectado DDE en huevos de bobos cafés (*Sula leucogaster*) en las islas de San Jorge y San Martín en Sonora (Mellink *et al.*, 2009), así como concentraciones en el zanate (*Quiscalus mexicanus*) del Valle del Yaqui (Mora y Anderson, 1991). Los estudios sobre los residuos en alimentos muestran la presencia de piretroides en hortalizas recolectadas en los mercados de Sonora, aunque, según lo reportan Aldana-Madrid *et al.* (2011), las concentraciones encontradas no representan riesgo para la salud por el consumo de dichos productos.



El mismo artículo señala los efectos de la exposición en la población humana, particularmente en mujeres y niños se han realizado investigaciones que evidencian presencia de DDE en el plasma sanguíneo de madres en la ciudad de Obregón (Rodríguez Dozal *et al.* (2012) y en el Valle del Yaqui (Guillette *et al.*, 2006); mientras que los niños expuestos presentaron una disminución de energía, así como una débil coordinación en ojo-mano, así como en disminución de memoria y la habilidad de dibujar una persona.



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

CAPÍTULO 2

INVENTARIO DE LA CONTAMINACIÓN



2 INVENTARIO DE LA CONTAMINACIÓN

A continuación, se presenta el inventario de la contaminación de la Cuenca Baja del Río Yaquí, producto del estudio de monitoreo y evaluación de calidad del agua, sedimentos y organismos en la zona de estudio. En el presente capítulo se incluye la metodología y resultados de los monitoreos realizados en junio y noviembre de 2017.

2.1 Metodología

Se realizó la búsqueda y clasificación de información sobre las características de la cuenca como hidrología, climatología, geología, el uso de suelo, la vegetación, información cartográfica (SIG, modelos de elevación). y del medio socioeconómico como las principales actividades económicas, así como la recopilación de estudios de investigación realizados en la región.

Con base en el análisis de la información se realizó la delimitación de la cuenca de estudio, se realizó la localización de las principales ciudades, las industrias, las descargas de aguas residuales y se identificaron los puntos de muestreo. A través del software Arc Gis se hicieron los mapas necesarios para la representación espacial de la zona de estudio.

2.1.1 Muestreo preliminar

En esta etapa de la investigación se llevó a cabo la primera visita prospectiva (JUN 2017) a la zona de estudio, los días del 26 al 29 de junio del 2017. Se visitaron las oficinas de la Comisión Estatal del Agua en Hermosillo, Sonora, también las oficinas del Organismo Operador de Agua Potable de Cajeme y las oficinas de la administración del DR041, además se hizo la presentación del proyecto, se recopiló información y se llevó a cabo un recorrido de campo.

Entre la información recopilada cabe destacar:

- Plano general del DR041
- Información sobre agroquímicos utilizados en la agricultura
- Calendario de cultivos
- Guía de riego del trigo

En la visita prospectiva se realizó un recorrido en el Distrito de Riego 041 en el curso bajo de los drenes que conducen el agua de riego hacia la Bahía del Tóbari. Se identificaron 14 puntos de muestreo en la Laguna Tóbari, los cuales se seleccionaron con base en la información recopilada y 18 puntos de muestreo en el DR041 que incluye canales de riego, pozos, drenes,

plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento. Se observó que los drenes de riego tienen un caudal bajo por lo cual no fue posible tomar muestra (Figura 2.1).



Figura 2.1 Vista de los drenes sin caudal (junio 2017)

2.1.1.1 Selección de puntos de muestreo

Se realizó una visita prospectiva para definir los sitios adecuados de muestreo y análisis, definido esto, se procedió a la identificación y cuantificación de los metales pesados en diferentes matrices ambientales (agua, sedimentos y organismos). Dichos análisis se realizaron en combinación con el CIRA (Centro Interamericano de Recursos del Agua), IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) y el CIAD (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.) Unidad Hermosillo, Sonora. A continuación, se muestran algunas ilustraciones la laguna del Tóbari, mencionando los sitios de muestreo.



Toma y transporte de muestras



Sitios de muestreo de agua y sedimento en la laguna



Etiquetas Filtración de muestras y preservación de muestras

En la Figura 2.2 se muestran los puntos del recorrido (imagen de satélite usando Google Earth y posicionando las coordenadas obtenidas en cada punto).



Figura 2.3 Puntos de recorrido durante la visita prospectiva

2.1.2 Campañas de muestreo

Se realizaron 4 campañas de muestreo posteriormente a la visita prospectiva de acuerdo con las fechas de siembra y la guía de riego, como se muestra en la Tabla 2-1. Se asignaron los periodos para el muestreo (NOV2017) del 27 de noviembre al 01 de noviembre de 2017, el segundo muestreo (MZO 2018) se realizó del 18 a 20 de marzo de 2018, el tercer muestreo (DIC 2018) se realizó 10 al 13 de diciembre de 2018 y la 4 campaña de muestreo (MZO 2019) se realizó del 25 al 29 de marzo de 2019 con el fin de asegurar la mayor cantidad de agua en el dren principal, tributarios del Dren Colector el Arroyo 16 (DCA16) y laguna del Tóbari.

Se consideraron para (NOV 2017) la toma de 39 muestras de agua, que incluyen 14 puntos en la Bahía del Tóbari, 15 puntos en el Arroyo Dren 16, 4 pozos de agua, 4 puntos del influente y efluente de 2 plantas potabilizadoras y 2 efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas

para (MZO 2018) la toma de 48 muestras de agua, que incluyen 14 puntos en la Bahía del Tóbari, 15 puntos en el Arroyo Dren 16, 11 pozos de agua, 2 canales, 4 puntos del influente y efluente de 2 plantas potabilizadoras y 2 efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas



para (DIC 2018) la toma de 41 muestras de agua, que incluyen 15 puntos en la Bahía del Tóbari, 15 puntos en el Arroyo Dren 16, 9 pozos de agua y 2 puntos del influente de 2 plantas potabilizadoras.

para (MZO 2019) la toma de 49 muestras de agua, que incluyen 15 puntos en la Bahía del Tóbari, 15 puntos en el Arroyo Dren 16, 10 pozos de agua, 3 canales, 4 puntos del influente y efluente de 2 plantas potabilizadoras y 2 efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Tabla 2-1 Sitios propuestos para muestreo

Muestreo	JUN 2017	NOV 2017°	MZO 2018°	DIC 2018	MZO 2019
Mes de muestreo	Junio	Noviembre	Marzo	Diciembre	Marzo
Año de muestreo	2017	2017	2018	2019	2019
Laguna	14	14	14	15	15
Dren	1	15	15	15	15
Pozos	3	4	11	9	10
Canal	2	0	2	0	3
Planta potabilizadora	4	4	4	2	4
Plantas de tratamiento	2	2	2	0	2
Total de muestras	26	39	48	41	49

2.1.3 Métodos y técnicas experimentales

Para el muestreo preliminar JUN 2017, NOV 2017, MZO 2018, DIC 2018, MZO 2019 se tomaron muestras de agua, sedimento y organismos. En el caso de las muestras de agua en el DCA16 y en la laguna, se consideraron los siguientes de parámetros de campo: pH, temperatura, potencial redox, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, salinidad, presión, sólidos disueltos totales, mismos que se identificaron y determinaron con una sonda multiparámetro marca HANNA HI 9829 (Tabla 2-2) así como alcalinidad, mientras que, para el análisis en laboratorio, se tomó muestras para determinación de cationes, aniones, plaguicidas, COT y Hg.

Para los análisis en laboratorio, se recolectaron dos muestras, una para determinación de aniones y otra para el análisis de cationes, la cual fue preservada con ácido nítrico hasta un pH menor o igual a 2, todas las muestras se tomaron en botellas de polietileno de ≥ 250 ml, se filtraron con una membrana de 0.45 micras y se refrigeraron (4°C) hasta su análisis.

Los análisis de aniones disueltos, cationes totales y cationes disueltos se realizaron en el laboratorio de geoquímica de la Universidad Nacional Autónoma de México y los aniones totales se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental del posgrado del Instituto Mexicano de Tecnología del agua.



Tabla 2-2 Parámetros medidos en campo

Parámetro	Determinación o Técnica	Equipo
pH	NMX AA-008-SCFI-2011	
Temperatura (°C)	NMX-AA-007-SCFI-2013	
Potencial redox (mvORP)	Adapdato de <i>Estandar Methods</i> . Método 2580 B.	
Conductividad eléctrica (µs/cm)	NMX-AA-093-SCFI-2000	Sonda multiparamétrica
Oxígeno disuelto (mg/L)	NMX-AA-012-SCFI-2001	a HANNA HI 9829
Salinidad (UPS)	Adapdato de <i>Estandar Methods</i> . Método 2520.	
Presión (PSI)	SD ¹	
Sólidos disueltos totales (mg/L)	SD	

1 SD: Sin dato

Para el caso de los sedimentos, los muestreos se efectuaron con el apoyo de los pescadores, realizándose el recorrido en la Laguna del Tóbari para la colecta de sedimentos en 14 y 15 estaciones. Se utilizó una lancha con motor fuera de borda de 70 HP, los sedimentos fueron obtenidos con una draga Van-Veen y almacenados en bolsas Ziplot con su respectiva identificación, y mantenidos en refrigeración a 4°C para el análisis posterior en el laboratorio. Los organismos fueron colectados por los pescadores y entregados para su etiquetado, almacenamiento en refrigeración para su traslado al laboratorio y preparación para su análisis.

En el laboratorio Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD) se realizó el análisis de los metales en sedimentos y se hizo una extracción secuencial para cuantificar los metales biodisponibles en 4 fracciones, de acuerdo a la técnica del BCR reportada por Sutherland y Tack (2002) y Kartal et al. (2006). Los metales fueron cuantificados en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian Modelo SpectrAA-240 FS, de acuerdo a las especificaciones del fabricante; cinco metales fueron cuantificados por flama aire-acetileno (Cu, Fe, Mn, Ni y Zn), uno por flama aire-óxido nitroso (Cr), dos por horno de grafito (Cd y Pb) y uno por generador de vapor frío (Hg). Las primeras 3 fracciones son las consideradas como biodisponibles, mientras que la fracción 4 es considerada la residual.

Para el análisis en el laboratorio de los organismos colectados por los pescadores, la almeja china *Chione gnidia* y pata de mula *Anadara tuberculosa* y el pez lisa adulta *Mugil cephalus*, son las tres especies de organismos considerados como biomonitores, ya que son filtradores u



omnívoros, y pueden acumular los metales pesados a través de su alimentación. Las muestras fueron procesadas (lavadas con agua bidestilada y diseccionadas) y secadas por liofilización. Luego, fueron digeridas por vía húmeda de la siguiente manera: se pesaron 0.3 ± 0.003 g de muestra liofilizada, se agregaron 7 mL de NH_3 concentrado y se calentó a 120°C por 4 h; se enfriaron, se añadieron 2 mL de H_2O_2 al 30% y se calentaron a 120°C por otras 4 h. Se enfriaron y se aforaron a 50 mL para la cuantificación de metales. Los metales fueron cuantificados en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian Modelo SpectrAA-240 FS.

Para el muestreo NOV 2017, MZO 2018, DIC 2018, MZO 2019 se midieron parámetros de campo y se tomó muestra de agua para el análisis en laboratorio de metales totales, cationes, aniones, alcalinidad, isótopos de nitrógeno, isótopos de azufre, 2,4 D, piretroides, plaguicidas organoclorados, organofosforados y glifosato; también se tomó muestra de sedimento y especies de organismos biomonitores (Almeja China, Almeja pata de mula y Lisa adulta) en la Bahía del Tóbari para la medición de metales. El resumen de los parámetros analizados en los diferentes puntos de muestreo se presenta en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3 Resumen de los parámetros

Matriz	Sitio de muestreo	Determinación de parámetros	Lugar de análisis
Agua	Bahía del Tóbari Arroyo Dren 16 Potabilizadoras Pozos PTAR	Alcalinidad Sulfatos Cloruros Nitratos Fosfatos Hierro	Laboratorio de Ingeniería Ambiental del posgrado IMTA
Agua	Bahía del Tóbari Arroyo Dren 16 Potabilizadoras Pozos PTAR	Aniones Cationes	Laboratorio de Geoquímica Ambiental Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla
Agua	Bahía del Tóbari Arroyo Dren 16 Potabilizadoras Pozos PTAR	Isotopos de Nitrógeno Isotopos de Azufre	Laboratorio Geoazur- Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Niza-Sophia Antipolis
Sedimentos	Bahía de Tóbari Bahía del Tóbari	Metales totales	
Agua	Arroyo Dren 16 Potabilizadoras Pozos PTAR	Elementos disueltos	



Matriz	Sitio de muestreo	Determinación de parámetros	Lugar de análisis
Agua	Bahía del Tóbari Arroyo Dren 16 Potabilizadoras Pozos PTAR	Elementos totales	
Agua	Bahía del Tóbari Arroyo Dren 16 Potabilizadoras Pozos PTAR	Metales totales	Laboratorio de calidad del agua del IMTA
Agua	Bahía del Tóbari Arroyo Dren 16 Potabilizadoras Pozos PTAR	COT	
Agua	Arroyo Dren 16	2, 4, D	
Biológico	Laguna de Tóbari	Metales totales en organismos biomonitores (Almeja China, Almeja pata de mula y Lisa adulta)	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)
Sedimento Agua	Laguna de Tóbari Arroyo Dren 16	Metales totales Piretroides	
Agua	Arroyo Dren 16	Plaguicidas organoclorados, organofosforados y glifosato	Laboratorios ABC Química investigación y análisis S.A. de C.V.

Los equipos y las técnicas utilizadas para medir los parámetros de campo y los análisis en los distintos laboratorios se presentan en la Tabla 2-4, Tabla 2-5, Tabla 2-6 y Tabla 2-7.

Tabla 2-4 Parámetros analizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de posgrado IMTA

Parámetro	Determinación o Técnica	Materiales y/o equipos
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	Turbidímetro portátil HACH 2100Q
Color Aparente	Adapdato de <i>Estandar Methods</i> . Método estandar APHA de platino cobalto 8025.	Colorímetro portátil HACH DR900
Color Verdadero	Adapdato de <i>Estandar Methods</i> . Método estandar APHA de platino cobalto 8025.	Colorímetro portátil HACH DR900
Hierro total	Método USEPA FerroVer 8008 (rango: 0.02 - 3.00 mg/L)	
Nitratos (mg/L NO ₃ -N)	Método Nitratos - reducción de cadmio 8039 (rango: 0.3 - 30.0 mg/L NO ₃ -N)	Espectrofotómetro portátil DR1900
Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	Método USEPA SulfaVer4 8051 (rango: 2 - 70 mg/L SO ₄ ²⁻)	

Parámetro	Determinación o Técnica	Materiales y/o equipos
Fosfatos (mg/L)	Método USEPA PhosVer3 de ácido ascórbico 8048 (rango: 0.02 - 2.5 mg/L)	
Cloruros (mg/L)	Método Cloruro Tiocianato Mercúrico 8113 (rango: 0.1 - 25.0 mg/L)	
Arsénico (µg)	NOM-117-SSA1-1994/ EPA 6010C-2007	Arsenator (medidor digital) rango: 2-100 ppb, resultados en 40 min. modelo WAGTECH

Tabla 2-5 Parámetros analizados en el laboratorio de Geoquímica Ambiental Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla

Parámetro	Determinación o Técnica	Materiales y/o
Cationes (Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, V, Aniones (Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Br ⁻ , I ⁻ , F ⁻))	Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado por inducción Cromatografía de Líquidos de alto desempeño (HPLC)	Equipo de plasma acoplado por inducción (ICP-Cromatógrafo de líquidos

Tabla 2-6 Parámetros analizados en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD)

Parámetro	Determinación o Técnica
Metales totales en organismos	Extracción secuencial BCR
Metales totales en sedimento	Extracción secuencial BCR

Tabla 2-7 Parámetros analizados en el laboratorio ABC Química investigación y análisis S.A. de C.V.

Parámetro	Determinación o Técnica
	Plaguicidas organoclorados
Clordano (57-74-9)	US EPA 8081B-2007
Endrin (72-20-8)	US EPA 8081B-2007
Heptacloro (76-44-8)	US EPA 8081B-2007
Heptacloroepoxido (1024-57-3)	US EPA 8081B-2007
Hexaclorobenceno (118-74-1)	US EPA 8081B-2007
Metoxicloro (72-43-5)	US EPA 8081B-2007
Toxafeno (8001-35-2)	US EPA 8081B-2007
Alfa endosulfan	US EPA 8081B-2007
Alacloro	US EPA 8081B-2007
Aldrín	US EPA 8081B-2007
Atrazina	US EPA 8081B-2007
Beta endosulfan	US EPA 8081B-2007



Parámetro	Determinación o Técnica
Cyanazina	US EPA 8081B-2007
Clorotalonil	US EPA 8081B-2007
Delta-BHC	US EPA 8081B-2007
Dieldrin	US EPA 8081B-2007
Deltametrina	US EPA 8081B-2007
Endrín Aldehído	US EPA 8081B-2007
Endrín cetona	US EPA 8081B-2007
Endosulfan sulfato	US EPA 8081B-2007
Gama BCH (Lindano)	US EPA 8081B-2007
Metolaclor	US EPA 8081B-2007
Mirex	US EPA 8081B-2007
Pendimetalina	US EPA 8081B-2007
Simazina	US EPA 8081B-2007
Terbutilazina	US EPA 8081B-2007
Trifluralin	US EPA 8081B-2007
DDD (4,4 DDD)	US EPA 8081B-2007
DDE (4,4 DDE)	US EPA 8081B-2007
DDT (4,4 DDT)	US EPA 8081B-2007
BHC (ALFA, BETA Y DELTA)	Calculo
Plaguicidas organofosforados	
Bolstar	US EPA 8141 B-2007
Bromacil	US EPA 8141 B-2007
Clorpirifos	US EPA 8141 B-2007
Coumafos	US EPA 8141 B-2007
Demeton-S	US EPA 8141 B-2007
Diazinon	US EPA 8141 B-2007
Diclorvos	US EPA 8141 B-2007
Dimetoato	US EPA 8141 B-2007
EPN	US EPA 8141 B-2007
Etoprop	US EPA 8141 B-2007
Fenitrotion	US EPA 8141 B-2007
Fensulfotion	US EPA 8141 B-2007
Fention	US EPA 8141 B-2007
Forato	US EPA 8141 B-2007
Malation	US EPA 8141 B-2007
Merfos	US EPA 8141 B-2007
Metilazinfos	US EPA 8141 B-2007
Meltiparation	US EPA 8141 B-2007
Metribuzin	US EPA 8141 B-2007
Mevinfos	US EPA 8141 B-2007
Molinato	US EPA 8141 B-2007
Paration	US EPA 8141 B-2007
Piriproxifen	US EPA 8141 B-2007
Ronnel	US EPA 8141 B-2007



Parámetro	Determinación o Técnica
Sulfotep	US EPA 8141 B-2007
Terbufos	US EPA 8141 B-2007
Tokution	US EPA 8141 B-2007
Trialato	US EPA 8141 B-2007
Triclorfon	US EPA 8141 B-2007
Tricloronato	US EPA 8141 B-2007
	Glifosato
Glifosato	US EPA 547 - 1990

Respecto al análisis de plaguicidas se realizó en el laboratorio Intertek ABC Analytic, se determinó la presencia de plaguicidas organoclorados y organofosforados.

Método cromatográfico

Para el análisis las muestras fueron recolectadas por parte del personal del laboratorio de Ingeniería Ambiental del INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA –IMTA. Dichas muestras se encontraban en condiciones de refrigeración al momento de ser analizadas.

Tabla 2-8 Identificación de las muestras

Identificación de Muestra	pH inicial	T	pH Básico	pH ácido	Volumen inicial	Volumen Final
Pozo PP1y 2	7.01	25	10.020	2.056	74	96
Pozo PP 3y4	7.24	25	10.032	2.045	73	95
P-10	7.377	25	10.004	2.062	74	87.5
P-11	7.358	25	10.062	2.026	76	94
TD-12	7.97	25	10.043	2.051	74	96
TD-2	7.25	25	10.00	2.098	77	132
P TERAS	7.909	25	10.158	2.083	74.5	130
AR 16-15	7.078	25	10.528	2.085	72	135
TD-14	7.326	25	10.086	2.032	74.5	96
P6	6.708	25	10.048	2.023	77	87
P-QCTA	7.046	25	10.004	2.024	76 mL	88 mL
Blanco Control	4.047	25	10.296	2.1	74 mL	95 mL

Muestreo de agua

Las muestras de agua fueron colectadas en frascos ambar de 80mL aproximadamente siguiendo los procedimientos de muestreo normalizados para agua potable y subterránea del laboratorio de Ingeniería Ambiental

Proceso de extracción sometido a análisis

El volumen de muestra fue promedio de 74mL la muestra se procesó a temperatura constante de 25°C con agitación constante por exposición de la fibra durante 15 minutos

Montaje experimental

Se procedió a realizar montaje experimental conforme lo observado en la siguiente imagen



Figura 2.4 Montaje Experimental

Las muestras se procesaron bajo microextracción en fase sólida (solid-phase microextraction SPME), la fibra del SPME se expuso a la solución que contenía el xenobiótico dentro de un vial, por un tiempo de 5 min, dicha exposición de la fibra se realizó con el criterio de la concentración presente del xenobiótico en la muestra acuosa. En algunos casos por niveles de sólidos suspendidos totales en la matriz fue necesaria la filtración a vacío.

Se procedió la técnica DSPME (SPME Directa) empleando el CUSTODION™ con tiempos de exposición en la muestra de 5 min. Aunque la D-SPME es una técnica de equilibrio y por eso no extrae exhaustivamente la DSPME se desarrolló bajo técnica cualitativa e informativa, con el equipo TORION 6 GC-MS portátil, para la identificación de los compuestos químicos posibles, durante el proceso análisis desarrollado. Las especificaciones técnicas de la fibra SPME empleada en este análisis corresponde a fibra de Divinylbenceno/Polimetilsiloxano (PDMS-DVB) de 65 μm .

Luego de desarrollar el método de D-MSFE o D-SPME, se procede a introducir la fibra en el puerto inyector a 270°C y dichos componentes sean desorbidos por temperatura internamente en el equipo y con el gas de acarreo Helio (He 99.9999% puro) realizar la separación cromatográfica a través de la columna de marca Elite-5, de dimensiones 5 m x 0.1mm x 0.4 μm .

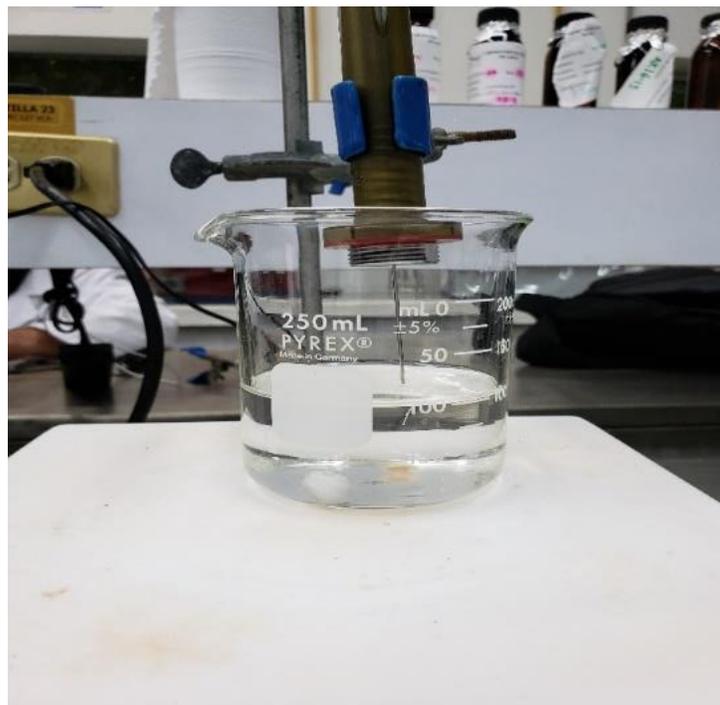


Figura 2.5 Técnica D-SPME aplicada GC-MS para el análisis IMTA

En el caso de muestras con contenido muy alto de SST se procedió a realizar la filtración y se adelantó análisis tanto de la matriz acuosa como del filtrado. (Ver Figura 2.6 y 2.7)



Figura 2.6 y Figura 2.7 Técnica HSPME Aplicada GC MS Sobre Filtrado

Criterios seleccionados para el método de SPME

Temperatura de extracción

La temperatura de extracción fue crítica para la cualificación. Se aplicó siempre una temperatura constante (25°C), en todas las extracciones, para obtener buena precisión, pese a que se utilizó la muestra en extracción de inmersión. Pero para efectos de fijar algunos componentes no volátiles o semivolátiles, de alto punto de ebullición, una pequeña cantidad de calor aplicada a la muestra puede acortar el tiempo de equilibrio.

Agitación

La agitación de la muestra (35 rpm) fue el criterio seleccionado para reducir el tiempo de equilibrio y mejorar su exactitud y precisión. Siendo crucial cuando se analizan compuestos semivolátiles por 5 de 20 min en el muestreo de inmersión. Se mantuvo una agitación constante, en todas las extracciones, para obtener una buena precisión.

La agitación magnética de la muestra se incluyó como factor constante para favorecer la difusión del analito entre las fases. Incluyendo el paso del analito de la muestra acuosa hacia la fibra. En principio solo se espera un efecto significativo (siempre positivo) si nos encontramos bajo condiciones cinéticas de interacción por la influencia del pH, ya que los coeficientes de difusión de moléculas en fase gaseosa dentro de la muestra pueden ser hasta 4 órdenes de



magnitud superior a las presentes en el agua. Igualmente, esta acelera el fenómeno de transferencia de masa y por tanto va disminuir el espesor de la capa límite sobre la fibra seleccionada.

Ajustes de pH

Ajustando el pH con soluciones 0.1 - 0.01 N de NaOH y H₂SO₄ se pretendía cambiar la solubilidad de los analitos en la muestra. No se hicieron ajustes en fuerza iónica debido a que se pretendía encontrar compuestos de analitos no polares en agua. Se reguló el pH de la muestra para disminuir la solubilidad de los analitos, mejorando la volatilidad de ácidos y bases manteniendo constante el pH en las extracciones.

Para los analitos ácidos se reguló la muestra bajo pH 2 y para los analitos básicos en pH 10. Conforme a los rangos de operación del CUSTODION™ empleado en el análisis.

Para el estudio de los resultados se utilizaron las condiciones experimentales optimizadas que se resumen en la Tabla 2-9.

Tabla 2-9 Condiciones experimentales SPME

Parámetro	Valor
Fibra	PDMS-DVB
Temperatura	25°C
Modo de Muestreo	DSPME
Volumen de muestra	75 mL
Volumen empleado	75 mL promedio
Agitación	Si (magnética) 35 rpm
Adición de sal	0%
Tiempo de Extracción	15 minutos

Los sitios fueron identificados de acuerdo con la información analizada conforme a los planos. La Figura 2.8 indica los sitios de muestreo dentro de la zona de estudio Dren Colector Arroyo 16.

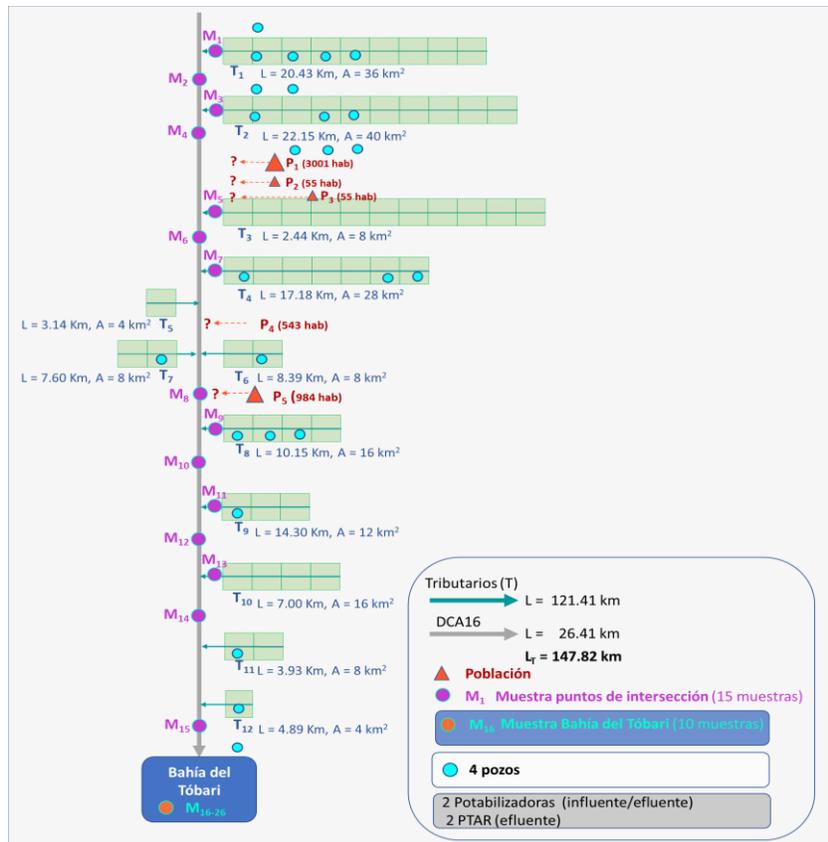


Figura 2.8 Diagrama de muestreo dren arroyo 16

En las Tabla 2-10 se presentan las coordenadas de los 15 puntos monitoreados en el DCA16, así como los 4 pozos, los 4 puntos del influyente y efluente de las plantas potabilizadoras y las 2 plantas de tratamiento.



Tabla 2-10 Puntos del muestreo de las diferentes campañas

ID	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
P1	27° 06' 50.1"	110° 02' 33.3"
P2	27° 07' 17.7"	110° 01' 58.7"
P3	27° 06' 19.1"	110° 02' 09.4"
P4	27° 06' 36.7"	110° 01' 37.8"
P5	27° 06' 15.3"	109° 59' 34.6"
P6	27° 06' 06.5"	109° 59' 01.1"
P7	27° 05' 39.5"	109° 58' 22.6"
P8	27° 05' 07.1"	109° 57' 32.3"
P9	27° 04' 10.6"	109° 56' 01.3"
P10	27° 03' 42.1"	109° 55' 20.6"
P11	27° 03' 22.4"	109° 55' 06.1"
P12	27° 01' 54.6"	109° 55' 10.5"
P13	27° 00' 13.3"	109° 54' 46.1"
P14	26° 59' 45.2"	109° 55' 41.2"
P15	27° 04' 41.3"	110° 02' 00.2"
AR16-1	27° 19' 03.7"	109° 58' 25.8"
TD-2	27° 16' 51.1"	109° 57' 08.9"
AR16-3	27° 16' 50.4"	109° 57' 08.6"
TD-4	27° 14' 38.1"	109° 56' 37.3"
AR16-5	27° 14' 32.9"	109° 56' 36.3"
TD-6	27° 13' 49.0"	109° 55' 29.6"
AR16-7	27° 13' 31.3"	109° 55' 40.3"
TD-8	27° 12' 29.5"	109° 56' 36.1"
AR16-9	27° 12' 28.9"	109° 56' 34.8"
TD-10	27° 11' 23.3"	109° 56' 59.2"
AR16-11	27° 11' 22.6"	109° 57' 00.7"
TD-12	27° 10' 17.6"	109° 57' 12.3"
AR16-13	27° 10' 17.0"	109° 58' 03.3"
TD-14	27° 08' 09.5"	109° 58' 44"
AR16-15	27° 07' 47.0"	109° 58' 52.6"
CÓCORIT	27° 34' 32.9"	109° 57' 33.9"
QUETCHEHUECA	27° 15' 47.3"	109° 57' 00.2"
TERAS	27° 13' 35.4"	109° 57' 12.6"
PUEBLO YAQUI	27° 21' 43.0"	110° 01' 58.9"
BÁCUM	27° 35' 08.5"	110° 05' 07.3"
BUENAVISTA	27° 48' 04.8"	109° 53' 59.8"
VÍCAM	27° 36' 02.9"	110° 18' 09.7"
VÍCAM ACUED.	27° 33' 44.6"	110° 17' 18.0"
PÓTAM	27° 37' 43.5"	110° 24' 44.9"
PÓTAM ACUED.	27° 37' 21.0"	110° 24' 51.0"
PP 3 Y 4	27° 28' 59.0"	109° 52' 11.0"
EPP 3 Y 4	27° 28' 56.0"	109° 54' 13.0"
PP 1 Y 2	27° 30' 20.0"	109° 57' 16.0"
EPP 1 Y 2	27° 30' 07.0"	109° 57' 11.0"
CANAL ALTO	27° 41' 44.5"	109° 54' 26.9"
CANAL BAJO	27° 48' 32.5"	109° 53' 13.0"
*CANAL PORFIRIO DÍAZ	27° 36' 62.3"	109° 51' 47.33
PTAR NORTE	27° 30' 49.0"	109° 58' 25.0"
PTAR SUR	27° 26' 28.0"	109° 58' 29.0"

A continuación, se muestran las imágenes de los puntos de muestreo mencionados en la Tabla 2-10



AR 16-1



TD-2



AR 16-3



TD-4



AR 16-5



TD-6



AR 16-7



TD-8



AR 16-9



TD-10



AR 16-11



TD-12



AR 16-13



TD-14



AR 16-15



PP 1 Y 2 INFLUENTE



PP 1 Y 2 EFLUENTE



PP 3 Y 4 INFLUENTE



PP 3 Y 4 EFLUENTE



Pozo PP 3 y 4



Pozo PY-N



Pozo Teras



Pozo QTCA



PTAR- NORTE



PTAR -SUR

Figura 2.9 Galería de la ubicación de los diferentes puntos de muestreo en (Drenes, Pozos, Plantas potabilizadoras y Plantas de tratamiento)

En la Figura 2.10 se muestran los puntos del recorrido en la zona de estudio de la Bahía del Tóbari, Arroyo Dren 16, pozos, plantas potabilizadoras canales y plantas de tratamiento de aguas residuales.

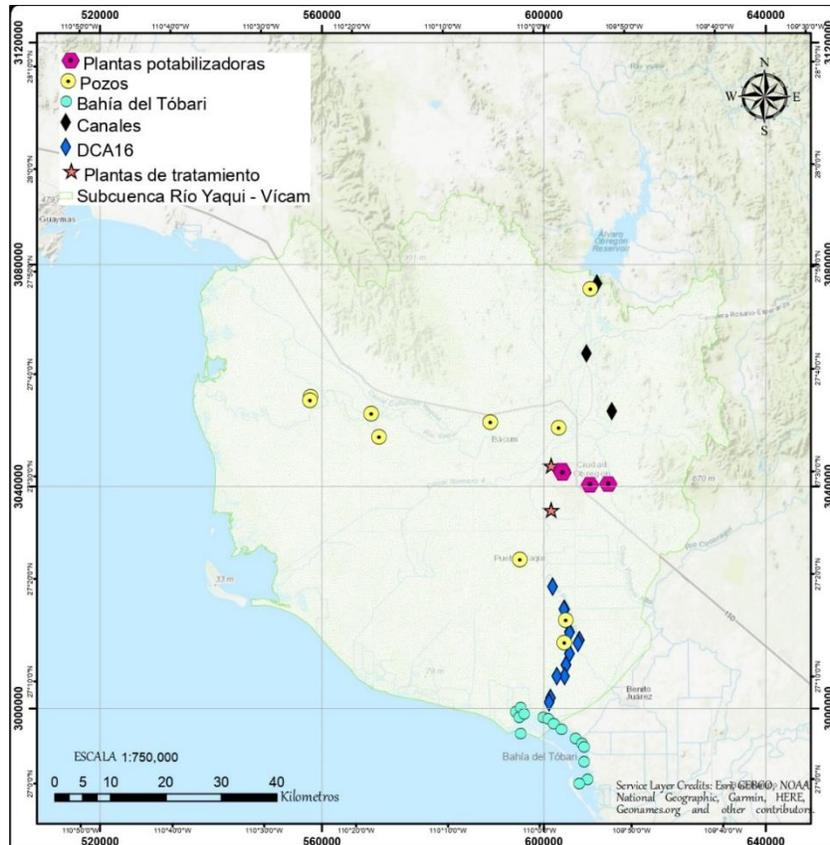


Figura 2.10 Puntos del recorrido en la zona de estudio

El muestreo que se realizó en la Bahía del Tóbari, corresponden a los 14 puntos ubicados en el recorrido prospectivo que se realizó en NOV 2017, MZO 2018, y 15 puntos en DIC 2018, MZO 2019 como se observan en la Figura 2.11. De acuerdo con la información suministrada por autoridades del Distrito de Riego “DR041”, el distrito tiene cinco drenes colectores que descargan a la bahía del Tóbari; los puntos de muestreo se ubican desde la boca norte hasta la boca sur y próximos a los drenes de descarga. El muestreo y procesamiento de éstos, se realizó tal cual se expuso para el muestreo preliminar.

Por otro lado, en la Figura 2.12 se observan los 15 puntos de muestreo del Dren Arroyo 16. El orden de los puntos de muestreo es de norte a sur, comenzando con AR16-1 y finalizando con AR16-15 que desemboca en la bahía del Tóbari. Entre cada muestra del dren se tomaba una muestra del tributario que alimentaba el caudal del dren.



Figura 2.11 Puntos de muestreo en Bahía del Tóbari

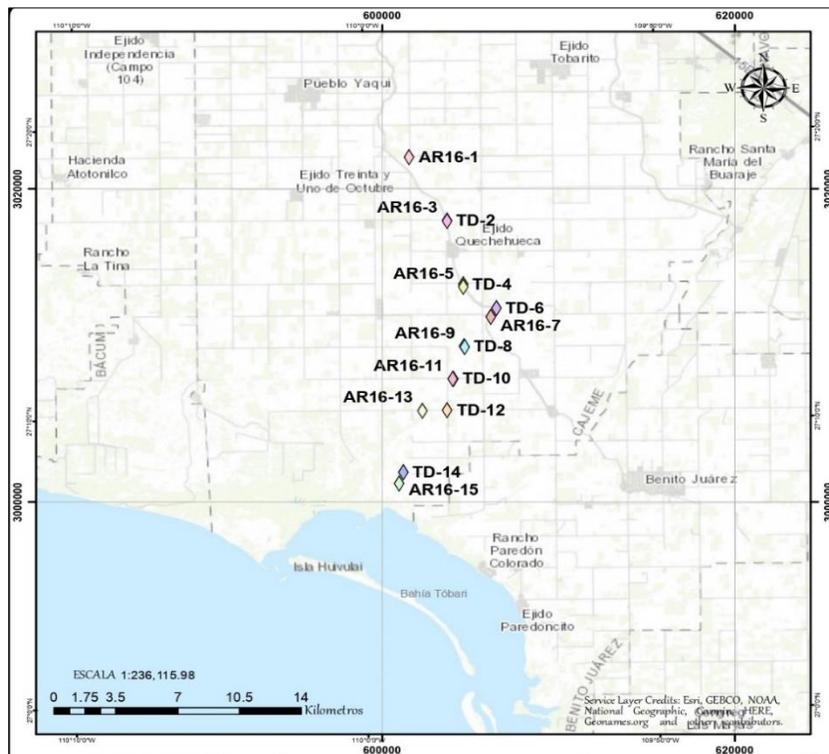


Figura 2.12 Puntos de muestreo en el dren Arroyo 16

En la Figura 2.13 se muestran los pozos de abastecimiento público urbano analizados (PP 3-4, PY-N, QTCA y TERAS); los cuatro pozos se encuentran dentro de la cuenca de Valle de Yaqui. Los pozos PY-N y QTCA abastecen las comunidades Pueblo Yaqui, Pueblo Quetchehueca, respectivamente. El pozo PP 3-4 se ubica en el norte del área de estudio, a un costado del canal alto que sirve como influente de la planta potabilizadora PP 3-4. El pozo TERAS está ubicado en el sur de la zona de estudio, dentro del distrito de riego DR 041. Los puntos de muestreo están distribuidos desde la zona norte (Cd. Obregón) hasta la zona sur del distrito de riego para observar y analizar los cambios en la composición química del agua subterránea que puede atribuirse a la contaminación por influencia de los drenes o por motivos naturales como la geología de la zona. También se pueden observar los pozos Pótam, Vícam, Bácum, Cócorit y acueducto Pótam y Vícam, los cuales se encuentran en los las comunidades Pueblo Yaqui.

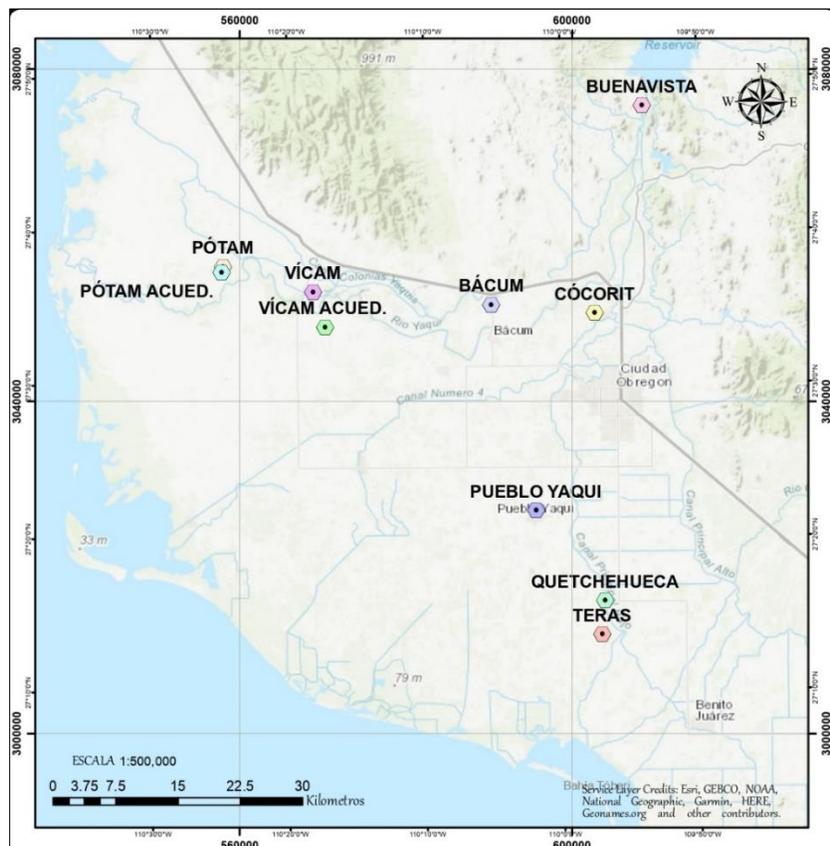


Figura 2.13 Puntos de muestreo en pozos

En la Figura 2.14 se presenta la ubicación de las plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento de aguas residuales de las cuales se tomó muestra. Para el monitoreo de las plantas potabilizadoras se consideró la Planta 1-2 que se encuentra en el norte de la ciudad Obregón y toma como influente el agua del canal bajo, la Planta 3-4 se ubica en el sur de la ciudad de Puebla

y el influente se toma del canal alto. Con respecto a las plantas de tratamiento de aguas residuales se muestrearon la PTAR norte y PTAR sur para analizar las descargas en el extremo norte y sur de la ciudad Obregón.

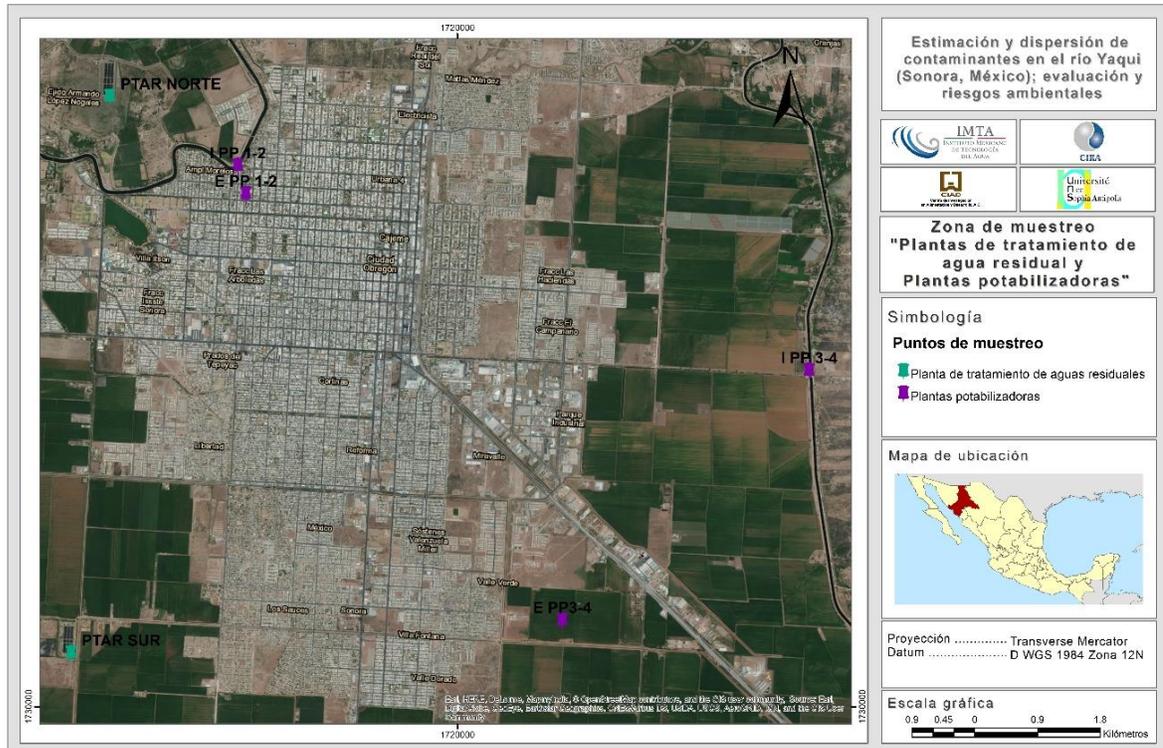


Figura 2.14 Puntos de muestreo plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales

2.2 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la visita prospectiva, se han organizado en función de las matrices analizadas: agua, sedimento y organismos.

2.2.1 Agua

En este apartado se detallan los resultados de las muestras de agua que se recolectaron en las diferentes campañas de muestreo determinándose: parámetros de campo, aniones, cationes, metales totales, parámetros físicos de laboratorio y plaguicidas.

2.2.1.1 Parámetros de campo

Con una sonda multiparamétrica marca HACH (DR 1900) se hicieron mediciones de campo (pH), conductividad eléctrica (C.E), temperatura (T), porcentaje de salinidad, oxígeno disuelto (OD) y potencial redox (ORP) para las muestras de la Bahía del Tobarí y en el caso de los Drenes se agregó Solidos Totales Disueltos (SDT). Los resultados de parámetros de De acuerdo con los

valores recomendados por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua- CONAGUA (CE-CCA 01/89), el pH en aguas costeras se debe presentar en un rango de entre 5 y 9 unidades. Los valores medidos en la Bahía del Tóbari se encuentran dentro de las recomendaciones; los organismos presentes en el sitio de mediciones pueden tolerar.

Tabla 2-11 Registro de pH los puntos muestreados en la Bahía del Tóbari

PUNTO DE MUESTREO	JUN 2017	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
P1	8.39	7.50	8.72	8.14	8.94
P2	8.40	7.70	8.00	8.09	9.28
P3	8.37	7.08	8.36	8.06	8.95
P4	8.43	7.78	7.95	8.20	9.57
P5	8.41	8.18	8.36	8.17	9.80
P6	8.36	8.26	8.45	8.46	9.33
P7	8.38	8.44	7.92	8.38	8.90
P8	8.39	8.59	8.21	8.26	9.30
P9	8.32	8.52	8.03	8.31	9.58
P10	8.30	8.43	8.26	8.20	8.90
P11	8.34	8.51	8.13	8.25	8.90
P12	8.42	8.13	8.41	8.27	8.90
P13	8.40	8.48	8.23	8.30	8.98
P14	8.44	8.66	7.96	8.44	8.90
P15	NA	NA	NA	8.09	8.78

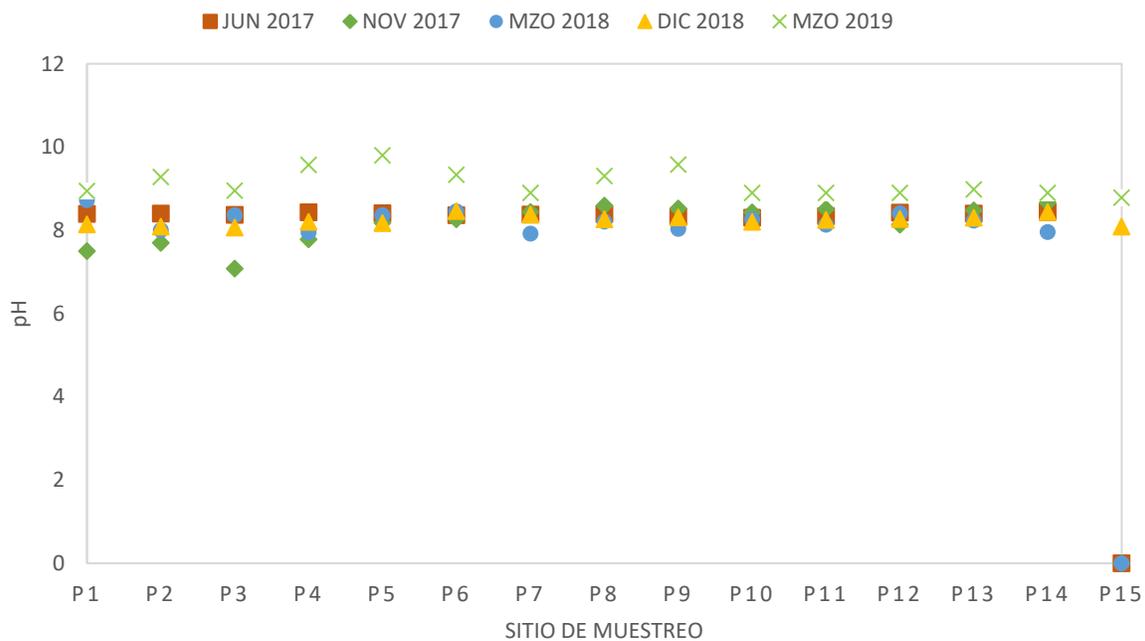


Figura 2.15 Comparativo de pH los puntos muestreados en la Bahía del Tóbari

Tabla 2-12 Registro de pH los puntos muestreados en el DCA16

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
AR16-1	8.70	8.39	7.70	8.80
TD-2	8.27	8.33	7.00	8.34
AR16-3	8.01	7.35	NA	8.47
TD-4	8.22	7.38	7.50	9.01
AR16-5	7.94	8.26	7.10	8.66
TD-6	8.16	8.11	8.00	8.80
AR16-7	7.99	8.08	7.70	8.76
TD-8	9.20	8.48	8.10	9.22
AR16-9	8.22	8.42	7.90	8.85
TD-10	8.56	8.85	8.20	9.80
AR16-11	8.22	8.61	7.80	9.10
TD-12	8.65	9.56	8.70	9.12
AR16-13	8.20	8.61	7.90	8.13
TD-14	8.50	8.76	8.30	9.71
AR16-15	8.18	8.69	8.00	8.15

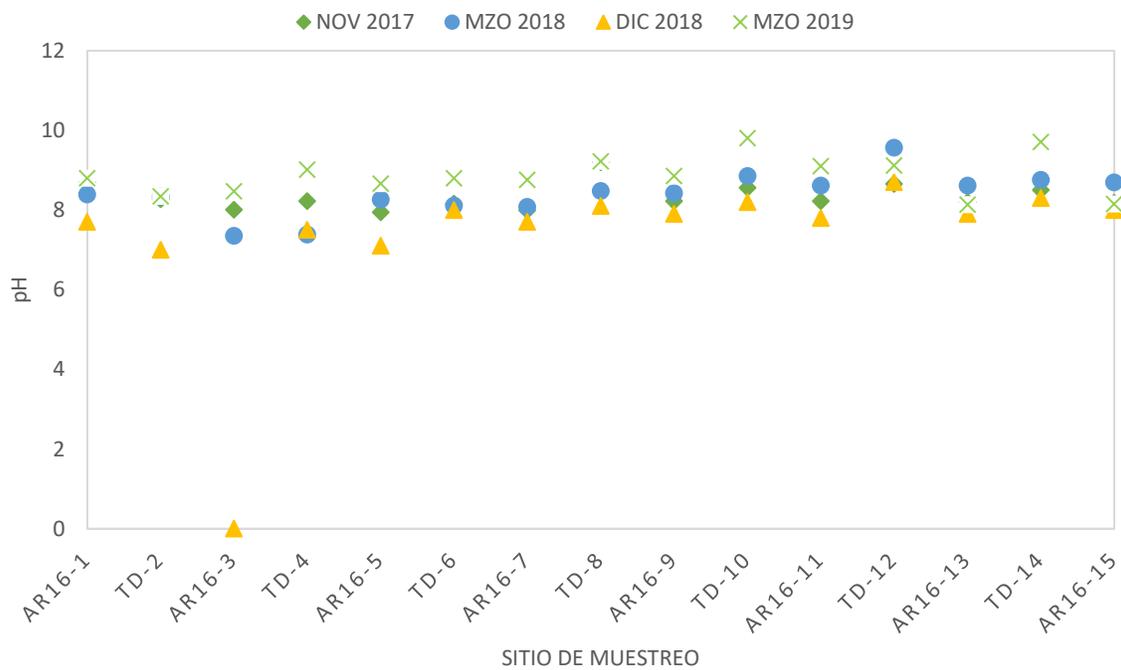


Figura 2.16 Comparativo de pH los puntos muestreados en el DCA16

Tabla 2-13 Registro de pH los puntos muestreados en pozos de agua potable

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
CÓCORIT	NA	7.71	7.40	7.45
QUETCHEUECA	8.55	8.49	8.22	9.13
TERAS	8.33	NA	7.69	8.10
PUEBLO YAQUI	7.88	6.68	7.42	7.02
BÁCUM	NA	7.93	7.60	7.95
BUENAVISTA	NA	8.28	NA	7.05
VÍCAM	NA	7.92	7.50	8.75
VÍCAM ACUED.	NA	7.77	7.40	8.58
PÓTAM	NA	8.96	8.60	8.33
PÓTAM ACUED.	NA	NA	8.60	7.63
POZO 3-4	8.16	7.08	NA	NA

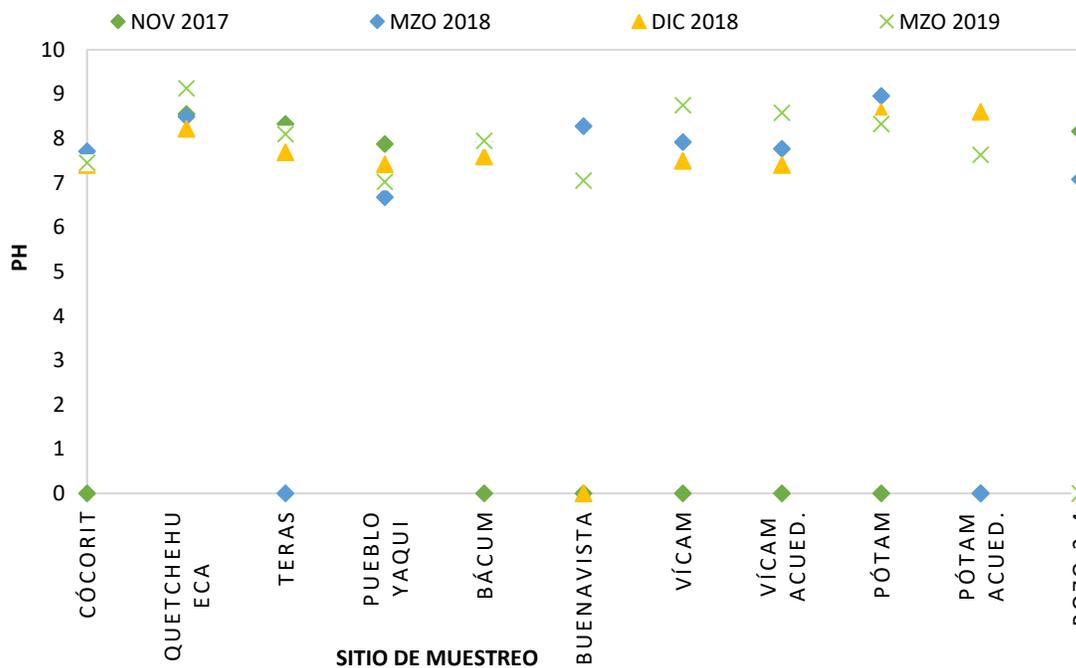


Figura 2.17 Comparativo de pH los puntos muestreados en pozos de agua potable

La temperatura del agua oscilo entre 34 y 39°C ya que las mediciones se hicieron en el mes de junio (temperaturas promedio más altas en los meses junio, julio y agosto). Tomando en cuenta también que la profundidad promedio de la bahía es de 1.4 m (Vargas-González *et al.*, 2017), la poca profundidad hace que la temperatura del agua sea alta, pues esta está controlada por la profundidad, latitud, estación del año y hora del día (Domínguez Lucía, 2010).



La salinidad es el parámetro indicador de ciclos anuales de inundación y sequía del ecosistema. En promedio la salinidad de agua marina para el Golfo de California, de 34.6-35% (De la Lanza, G., 2001). De acuerdo con el criterio citado, en nueve de los puntos muestreados el porcentaje de salinidad se encuentra por encima del rango de salinidad establecido para esta región.

Tabla 2-14 Salinidad (PSU) en la Bahía del Tóbari

PUNTO DE MUESTREO	JUN 2017	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
P1	35.4	35.43	33.74	32.97	70.00
P2	34.3	36.1	33.50	32.86	69.68
P3	34.8	33.8	33.52	32.71	70.00
P4	34.7	33.76	33.69	32.78	70.00
P5	35.6	26.83	32.04	31.59	69.79
P6	36.5	28.8	NA	30.19	57.38
P7	36.5	28.31	29.16	28.29	63.29
P8	36.4	30.49	29.57	28.64	59.64
P9	38	30.68	26.71	27.69	58.76
P10	37.4	27.63	27.13	27.83	57.17
P11	37.5	31.71	26.93	28.68	55.97
P12	39.3	26.56	24.91	28.83	58.81
P13	39.2	30.37	20.01	27.76	52.87
P14	38.4	28.48	29.96	27.17	62.22
P15	NA	NA	NA	32.71	70.00

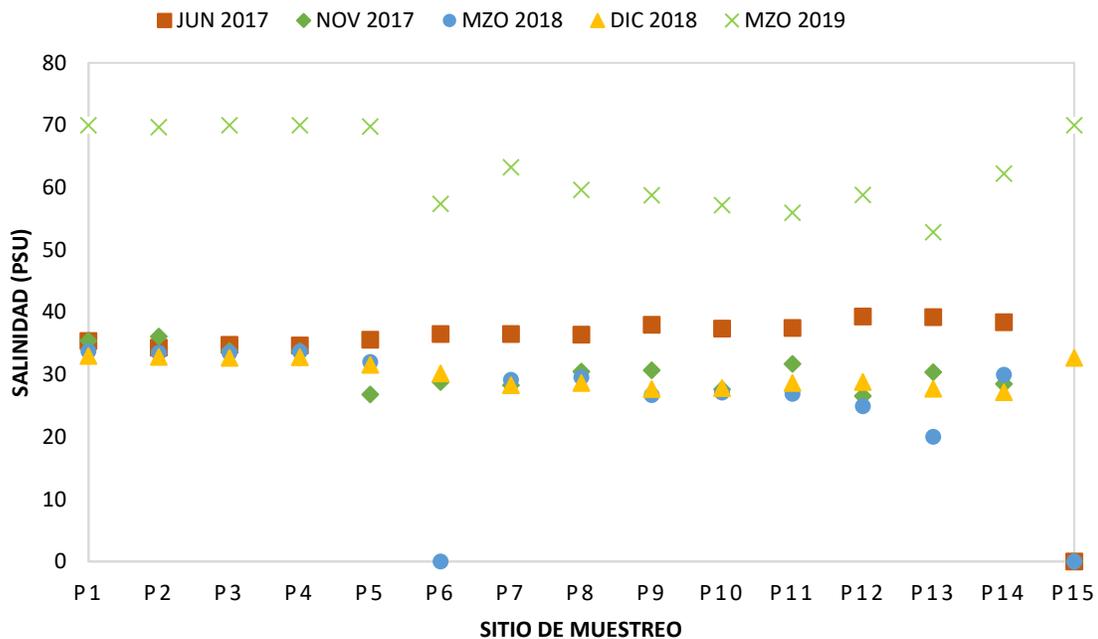


Figura 2.18 Comparativo salinidad (PSU) en la Bahía del Tóbari

Tabla 2-15 Salinidad (PSU) en el Dren Colector Arroyo 16

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
AR16-1	0.51	0.65	0.92	0.62
TD-2	0.41	0.64	1.19	0.63
AR16-3	0.71	0.67	1.10	0.72
TD-4	0.87	0.77	0.79	0.43
AR16-5	0.88	0.74	1.61	0.81
TD-6	0.91	1.30	4.93	1.29
AR16-7	0.94	0.96	2.65	0.92
TD-8	0.75	0.96	2.16	0.99
AR16-9	1.04	0.93	2.57	0.98
TD-10	2.07	1.46	3.31	1.05
AR16-11	1.25	1.06	3.12	1.06
TD-12	3.20	1.17	3.52	1.43
AR16-13	1.46	1.19	3.20	1.35
TD-14	6.76	4.90	19.28	13.38
AR16-15	2.43	2.01	4.98	2.31

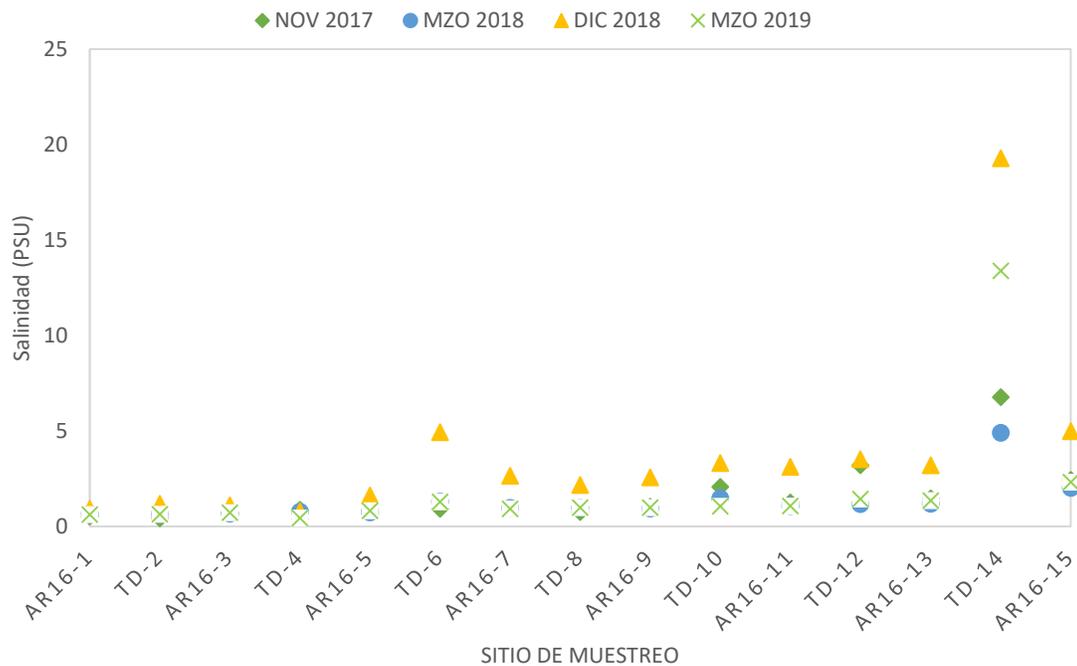


Figura 2.19 Comparativo salinidad (PSU) en la Bahía del Tóbari

Tabla 2-16 Salinidad (PSU) en pozos de agua potable

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
CÓCORIT	NA	0.84	0.84	0.80
QUETCHEHUECA	0.66	0.70	1.10	0.71
TERAS	1.51	2.03	1.02	1.74
PUEBLO YAQUI	1.94	1.06	1.10	1.90
BÁCUM	NA	2.08	2.16	2.04
BUENAVISTA	NA	0.75	NA	0.66
VÍCAM	NA	2.01	1.89	1.90
VÍCAM ACUED.	NA	0.57	1.83	1.44
PÓTAM	NA	1.23	1.60	1.26
PÓTAM ACUED.	NA	0.54	1.57	0.53
POZO 3-4	0.46	0.25	NA	NA

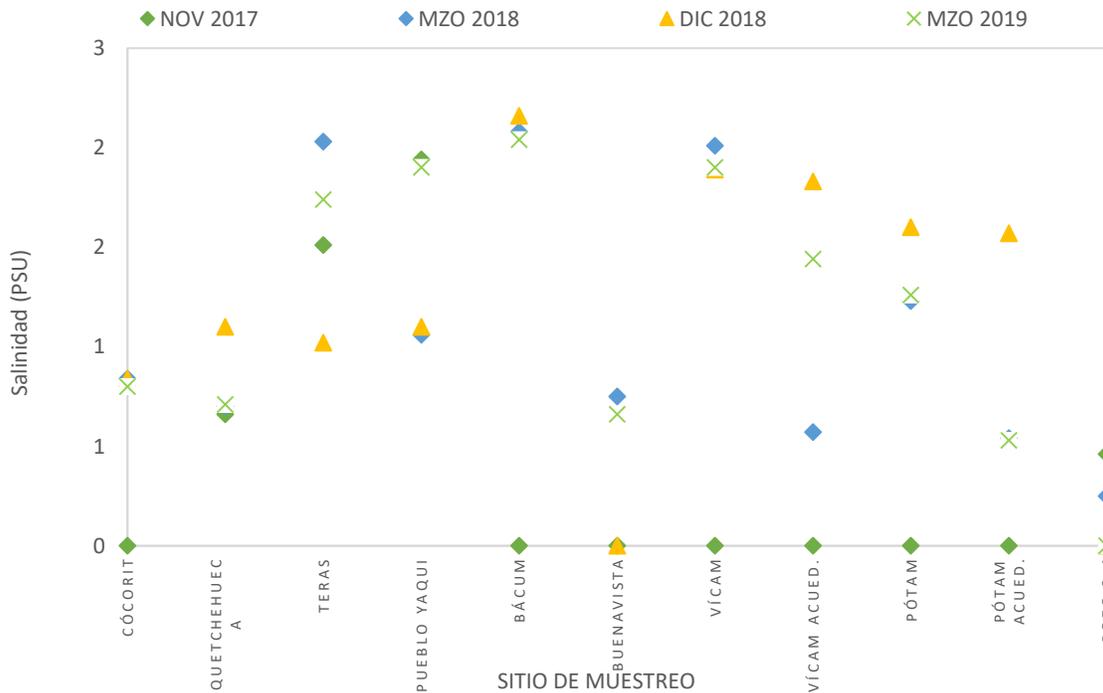


Figura 2.20 Comparativo de Salinidad (PSU) en pozos de agua potable

En cuanto al oxígeno disuelto, el valor recomendado (Criterios Ecológicos de Calidad del Agua-CONAGUA) es igual o mayor a 4 mg/L para el desarrollo de vida acuática. En todos los puntos de muestreo el valor medido se encuentra del rango establecido en los criterios.

Todas las muestras de la laguna superan el límite máximo de oxígeno disuelto (OD) para la protección de la vida acuática marina, ya según los criterios ecológicos la concentración máxima

es 5 mg/L. Los resultados de los sitios muestreados presentan condiciones adecuadas de los demás parámetros según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua- CONAGUA. Los valores medidos en la Bahía del Tóbari se encuentran dentro de las recomendaciones; los organismos presentes en el sitio de mediciones pueden tolerar. La temperatura del agua oscilo entre 24.2 y 26°C de acuerdo con el criterio ecológico.

Tabla 2-17 Oxigeno Disuelo (mg/L) en la Bahía del Tóbari

PUNTO DE MUESTREO	JUN 2017	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
P1	5.47	12.05	5.88	7.29	7.04
P2	5.41	15.90	5.57	7.40	7.05
P3	5.20	12.27	5.84	7.18	7.04
P4	6.05	17.70	5.44	7.70	7.06
P5	5.66	15.90	5.59	8.27	7.08
P6	5.63	17.79	4.79	7.80	7.10
P7	5.61	18.60	5.14	7.78	7.08
P8	5.52	19.50	5.32	7.66	7.09
P9	5.62	18.43	5.20	7.68	7.10
P10	5.41	15.70	5.75	7.71	7.07
P11	5.43	17.98	5.92	7.45	7.08
P12	5.69	18.39	5.97	7.68	7.09
P13	4.98	17.90	7.02	7.62	7.09
P14	5.52	18.70	6.30	7.59	7.08
P15	NA	NA	NA	6.80	7.02

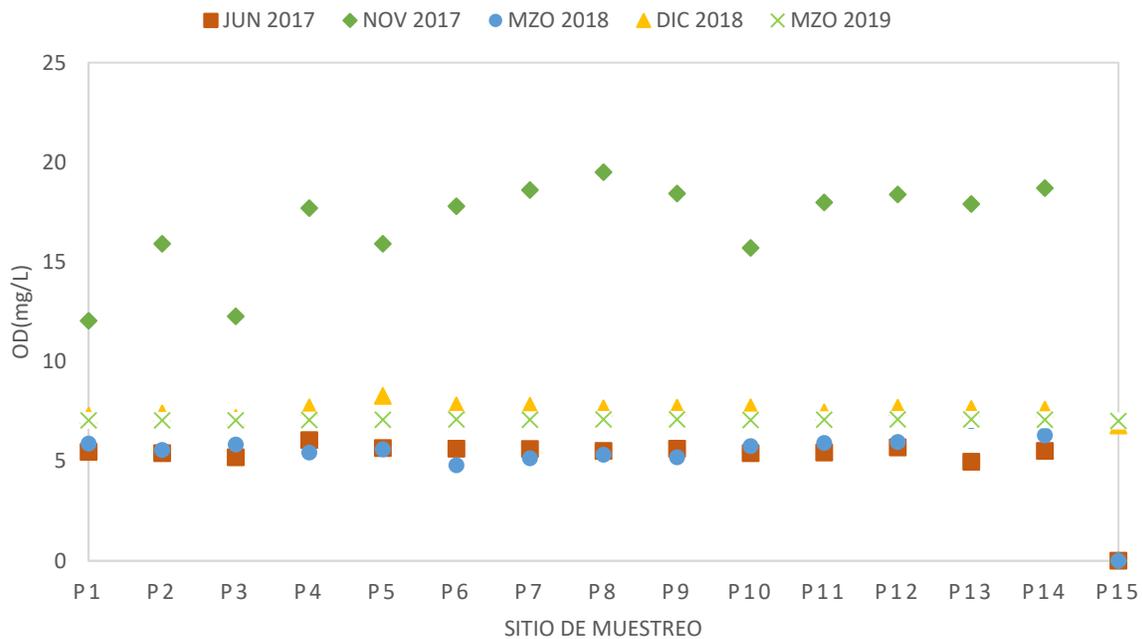


Figura 2.21 Comparativo de Oxigeno Disuelo (mg/L) en la Bahía del Tóbari

Tabla 2-18 Oxígeno Disuelto (mg/L) en el DCA16

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
AR16-1	7.51	10.65	6.48	7.35
TD-2	4.95	8.72	2.75	7.30
AR16-3	3.45	9.67	2.60	7.28
TD-4	7.89	17.63	6.17	7.27
AR16-5	4.03	7.20	1.32	7.28
TD-6	6.23	7.78	6.17	7.26
AR16-7	4.23	6.58	5.11	7.32
TD-8	5.17	9.43	7.30	7.35
AR16-9	6.00	9.54	5.03	7.31
TD-10	5.32	9.49	6.77	7.35
AR16-11	6.19	8.84	5.82	7.35
TD-12	8.61	13.46	9.17	7.33
AR16-13	6.30	9.93	4.87	7.27
TD-14	6.43	11.50	9.10	7.20
AR16-15	5.66	9.98	5.71	7.23

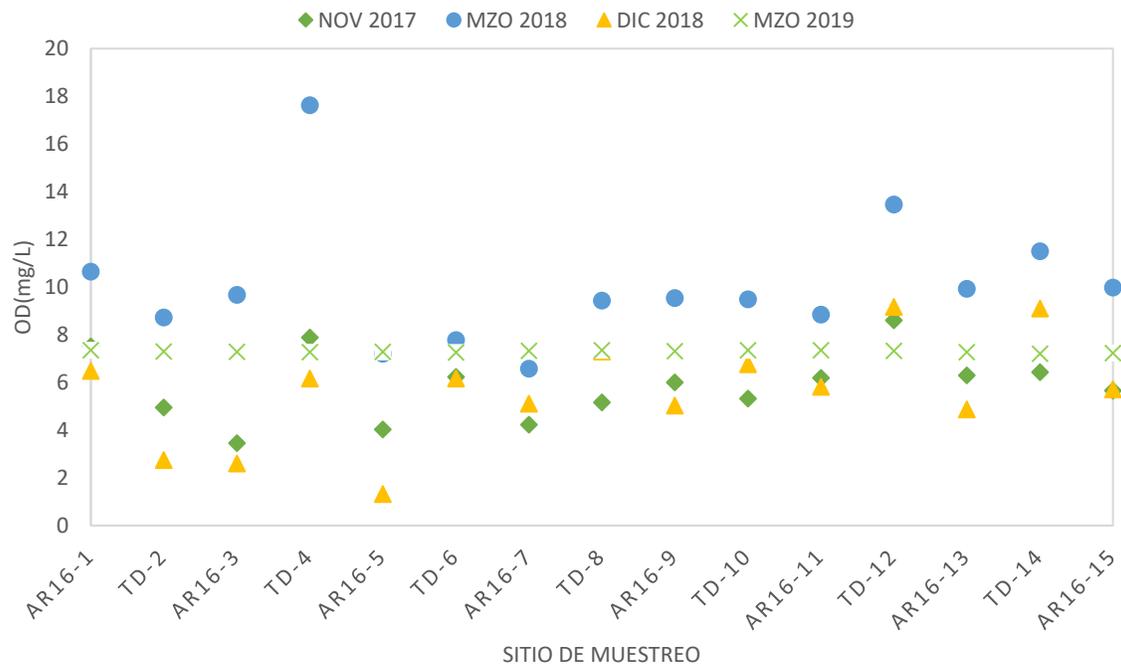


Figura 2.22 Comparativo de Oxígeno Disuelto (mg/L) en el DCA16

Tabla 2-19 Oxígeno Disuelto (mg/L) en pozos de agua potable

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
CÓCORIT	NA	7.31	4.03	7.24
QUETCHEHUECA	3.37	5.52	4.69	7.12
TERAS	5.37	9.25	5.90	7.16
PUEBLO YAQUI	3.65	3.92	5.10	7.15
BÁCUM	NA	5.95	5.59	7.15
BUENAVISTA	NA	7.23	NA	7.16
VÍCAM	NA	6.77	3.28	7.19
VÍCAM ACUED.	NA	9.07	3.00	7.21
PÓTAM	NA	4.33	4.07	7.18
PÓTAM ACUED.	NA	10.00	5.63	7.23
POZO 3-4	4.30	5.20	NA	NA

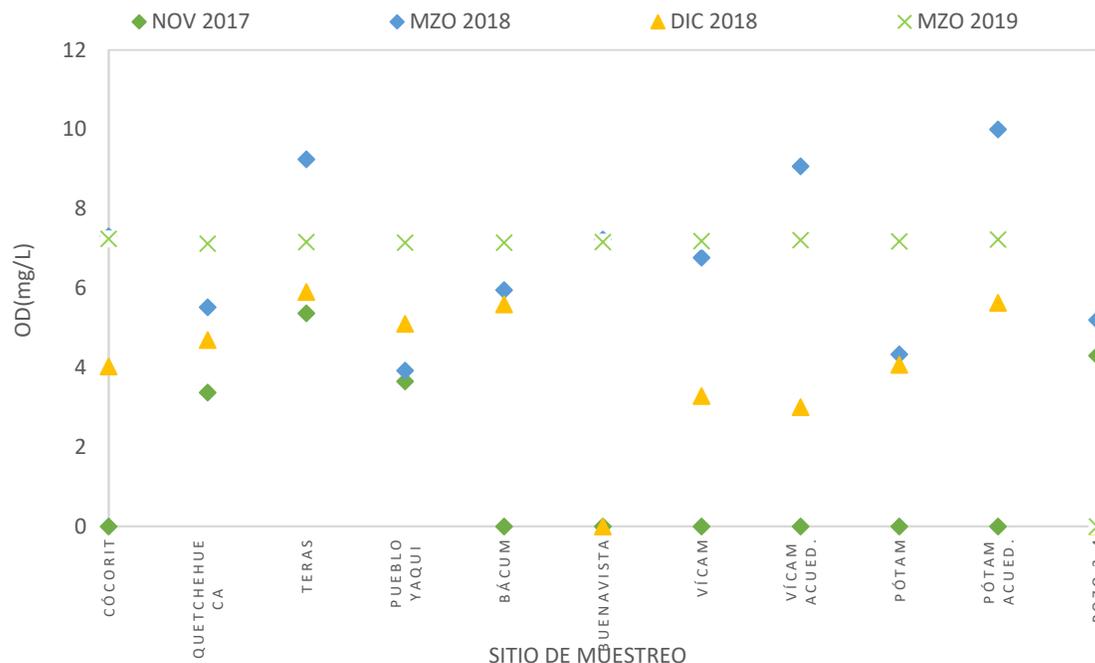


Figura 2.23 Comparativo de Oxígeno Disuelto (mg/L) en pozos

En la Tabla 2-42, se presentan los valores obtenidos para los parámetros de campo en el DCA16, en este caso, se agregaron Sólidos Disueltos Totales (SDT), presión y caudal, en ésta se puede observar que en los puntos AR 16-1, TD-4, TD-6, TD-8, AR 16-9, TD-10, AR 16-11, TD-12, AR 16-13, TD-14 y AR 16-15, superan el valor permisible de Oxígeno Disuelto (OD) de 5 mg/L que se establece en los criterios ecológicos para protección de la vida acuática marina. Los demás valores medidos en drenes y tributarios se encuentran dentro de las recomendaciones

Tabla 2-20 Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en la Bahía del Tóbari

PUNTO DE MUESTREO	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
P1	32320	32650	50100
P2	33120	32550	48290
P3	33140	32400	40630
P4	32290	32470	48670
P5	31830	31420	48350
P6		30140	40890
P7	29250	28460	44500
P8	29620	28790	42310
P9	27030	27880	41740
P10	27410	28050	40070
P11	27230	28740	40040
P12	25380	28890	41860
P13	20800	28160	38100
P14	29960	22450	43910
P15		32400	50150

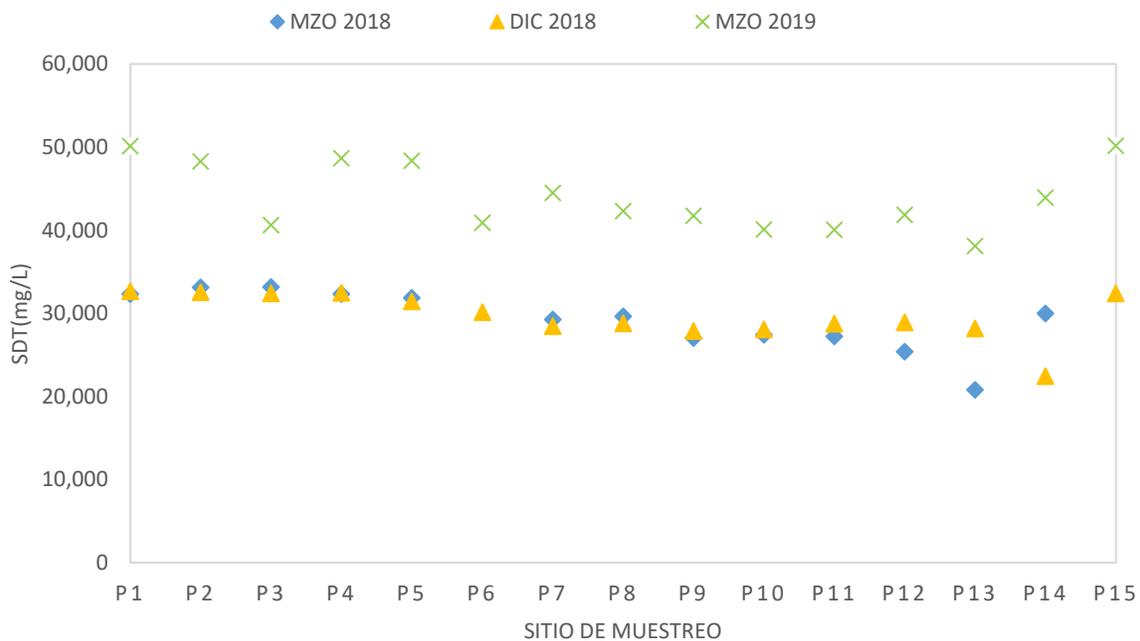


Figura 2.24 Comparativo de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en la Bahía del Tóbari

Tabla 2-21 Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en el Dren Colector Arroyo 16

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
AR16-1	517.00	652.00	908.00	622.00
TD-2	425.00	645.00	1161.00	638.00
AR16-3	709.00	667.00	1077.00	717.00
TD-4	861.00	770.00	785.00	434.00
AR16-5	868.00	744.00	1544.00	809.00
TD-6	900.00	1265.00	4410.00	1256.00
AR16-7	922.00	946.00	2465.00	915.00
TD-8	747.00	941.00	2038.00	975.00
AR16-9	1020.00	916.00	2400.00	965.00
TD-10	1964.00	1402.00	3035.00	1028.00
AR16-11	1217.00	1034.00	2881.00	1041.00
TD-12	2940.00	1145.00	3213.00	1370.00
AR16-13	1400.00	1157.00	2940.00	1304.00
TD-14	5945.00	4383.00	15500.00	11130.00
AR16-15	2278.00	1909.00	4455.00	2171.00

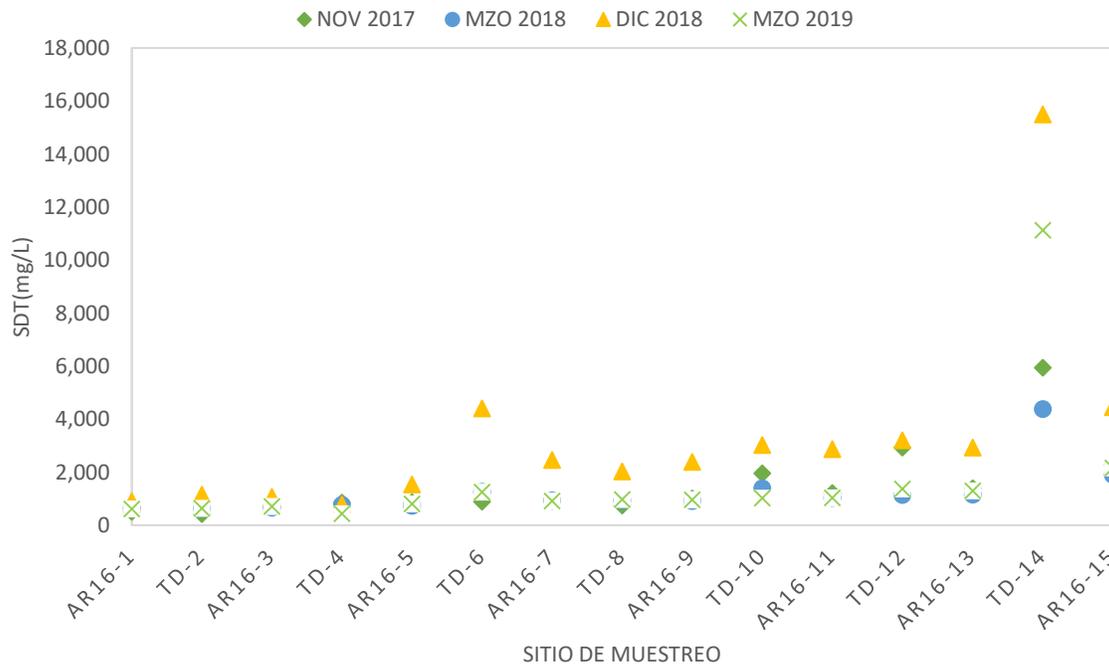


Figura 2.25 Comparativo de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en el Dren Colector Arroyo 16

Tabla 2-22 Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en pozos de agua potable

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
CÓCORIT	NA	835.00	834.00	797.00
QUETCHEHUECA	1362.00	711.00	1276.00	726.00
TERAS	2950.00	1948.00	1319.00	1688.00
PUEBLO YAQUI	3779.00	1372.00	1431.00	1902.00
BÁCUM	NA	1987.00	2040.00	1997.00
BUENAVISTA	NA	750.00	NA	672.00
VÍCAM	NA	1909.00	1802.00	1815.00
VÍCAM ACUED.	NA	577.00	1740.00	1433.00
PÓTAM	NA	1202.00	1542.00	1126.00
PÓTAM ACUED.	NA	547.00	1505.00	538.00
POZO 3-4	938.00	341.00	NA	NA

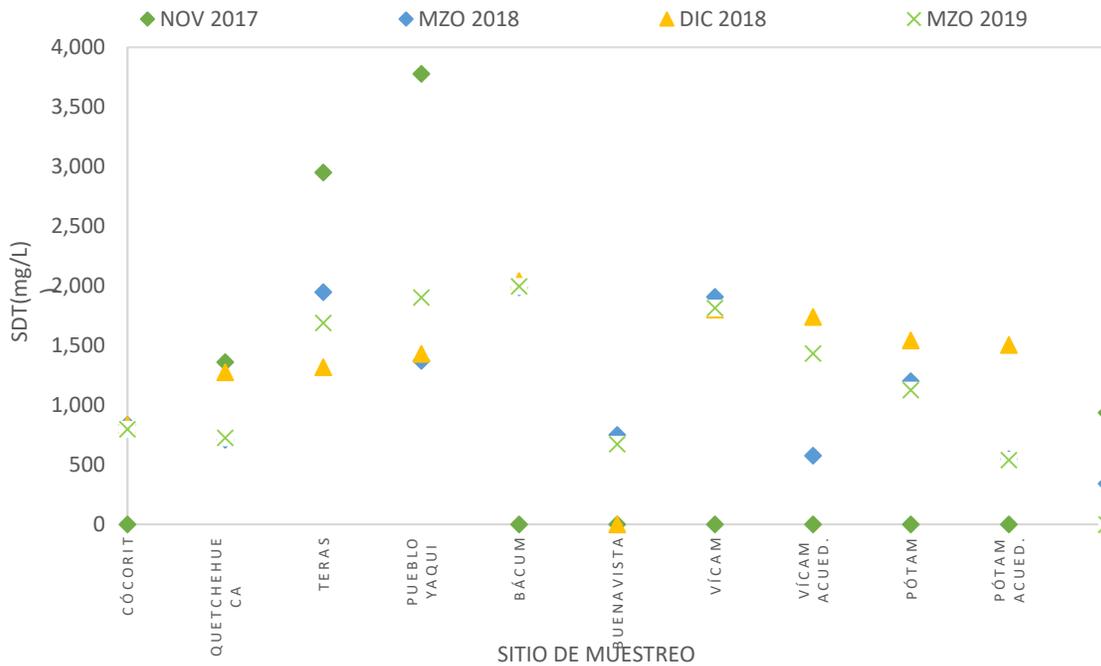


Figura 2.26 Comparativo de Sólidos Disueltos Totales (mg/L) en pozos de agua potable

2.2.1.2 Parámetros físicos de laboratorio

A continuación se presentan los resultados de los parámetros físicos que se analizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental del posgrado IMTA para las muestras de la Bahía del Tóbari, de los drenes de riego, plantas potabilizadoras, pozos y plantas de tratamiento de aguas residuales respectivamente.



2.2.1.3 Aniones

Los valores de se compararon con los criterios ecológicos de calidad del agua para la protección de la vida acuática marina, encontrando una concentración importante de nitratos y fosfatos, ya que como valor de referencia se tiene un límite máximo de 0.04 y 0.002 mg/L, respectivamente, y en todos los puntos de muestreo se supera este valor.

Las concentraciones de aniones de las plantas potabilizadoras se compararon con la LFD y la NOM-127, encontrándose que ningún parámetro sobrepasa los límites permisibles.

El caso de los pozos, se compararon los resultados con la Ley Federal de Derechos, encontrándose que los pozos PY-N y Teras, sobrepasan los límites máximos permisibles para los cloruros (250 mg/L). Además, todos los pozos superan los límites máximos para nitratos (5 mg/L) según los lineamientos de esta ley. Sin embargo, al comprar este último parámetro con la NOM-127, todos ellos estarán dentro de la norma, ya que el límite permisible es de 10 mg/L.

2.2.1.4 Cationes disueltos

Los análisis de cationes se enviaron a laboratorio acreditado (Laboratorio Geoquímica Ambiental, Centro de Geociencias, Campus UNAM Juriquilla, Qro.). Se analizaron 30 elementos, ocho de ellos resultaron por debajo del límite de detección en todas las muestras analizadas (As, Cr, Be, Bi, Cd, Se, Sn y Te).

Por otro lado, los valores establecidos por la LFD para zinc (0.02 mg/L) y para manganeso (0.02 mg/L) son superiores en las muestras P1 y P7, respectivamente. Finalmente, el valor límite establecido para el cobre es de (0.003 mg/L) por los criterios ecológicos, son superados en las muestras de los puntos P1, P6, P7, P8, P9, P10, P11 y P12. muestra el resumen de los valores encontrados en la Bahía del Tóbari, se observa que todos los valores obtenidos de boro sobrepasan el límite máximo permisible de 0.009 mg/L establecido por los criterios ecológicos y LFD (Figura 2.27), también se identifican valores altos de Al, Cu, Fe, Mn, Pb, Tl y Zn para algunos casos.

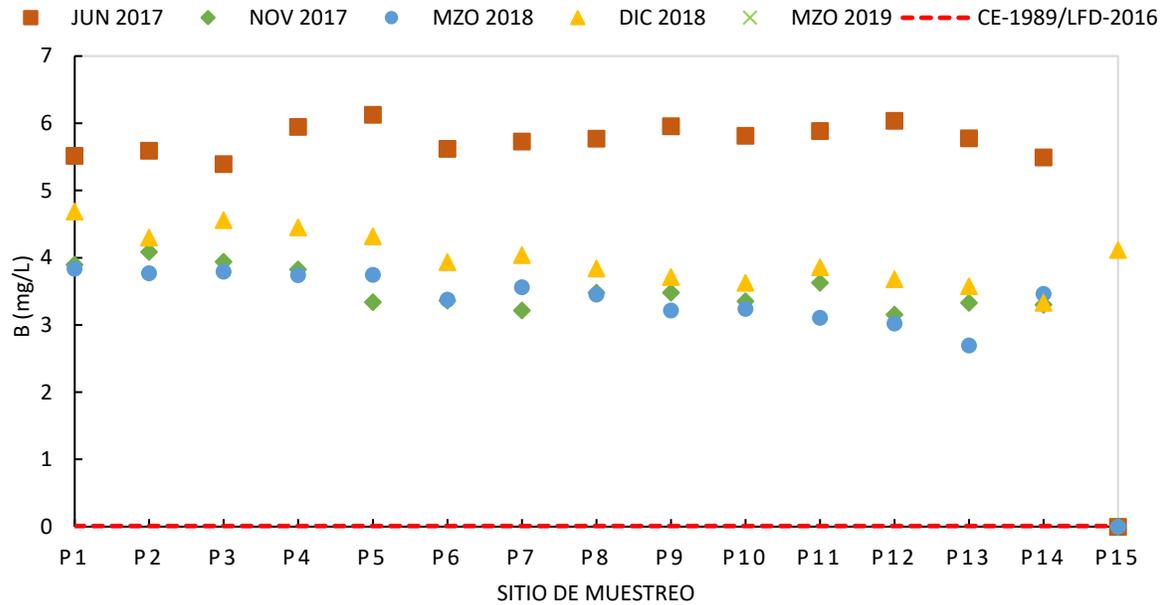


Figura 2.27 Comparativo de boro (mg/L) en los puntos de muestreo de la Bahía del Tóbari

En la Figura 2.28, se muestran los resultados de las muestras de la Bahía del Tóbari, en ella se puede apreciar que todos los valores obtenidos para Mn, sobre pasan los límites permisibles según se establece en la ley federal de derechos y/o en los criterios ecológicos. En el caso del aluminio, prácticamente todas las muestras presentan concentraciones por arriba del límite máximo permisible. Los valores de los criterios y LFD de referencia son para calidad del agua para la protección de la vida acuática marina.

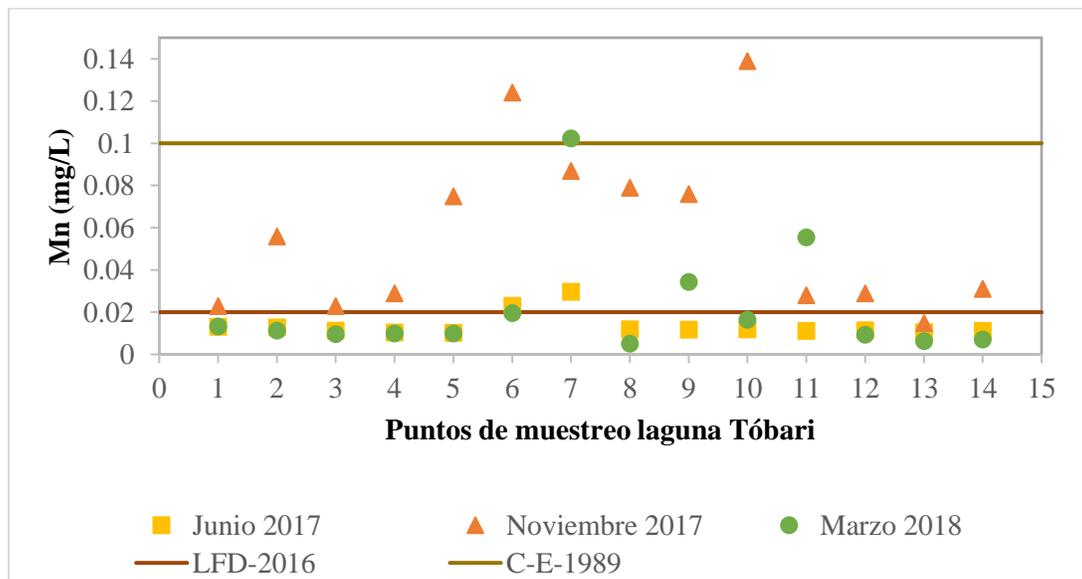


Figura 2.28 Comparativo de Mn en los puntos de muestreo de la Bahía del Tóbari

Los valores obtenidos para hierro sobre pasan los límites máximos permisibles establecido por los criterios ecológicos del agua CE-CCA 01/89 y por la Ley Federal de Derechos (LFD) (0.05mg/L) específicamente para las muestras P1, P2, P6 y P7; en el caso para el plomo los LMP son (criterios: 0.006 mg/L y LFD: 0.01 mg/L) en las muestras P8 y P11; y, para las concentraciones de talio obtenidas en las muestras P1, P2 y P4, (Figura 2.59).

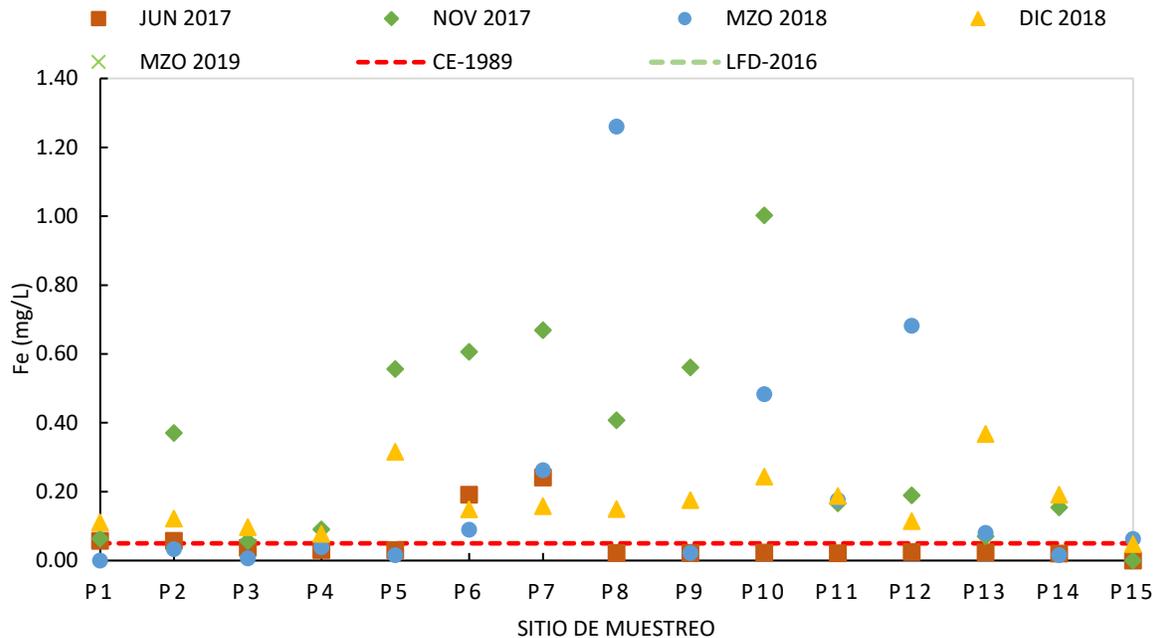


Figura 2.29 Comparativo de hierro (mg/L) en los puntos de muestreo de la Bahía del Tóbari

Los valores indicados en los criterios y en la LFD, se superan en las muestras P6 y P7 de la Bahía para el aluminio (0.2 mg/L) (Figura 2.29); para el hierro(0.05 mg/L) en las muestras P1, P2, P6 y P7; para el plomo (criterios: 0.006 mg/L y LFD: 0.01 mg/L) en las muestras P8 y P11; y, para las concentraciones de talio obtenidas en las muestras P1, P2 y P4. Por otro lado, los valores establecidos por la LFD para zinc (0.02 mg/L) y para manganeso (0.02 mg/L) son superiores en las muestras P1 y P7, respectivamente. Finalmente, el valor límite establecido para el cobre (0.003 mg/L) por los criterios ecológicos del agua son superados en las muestras P1, P6, P7, P8, P9, P10, P11 y P12.

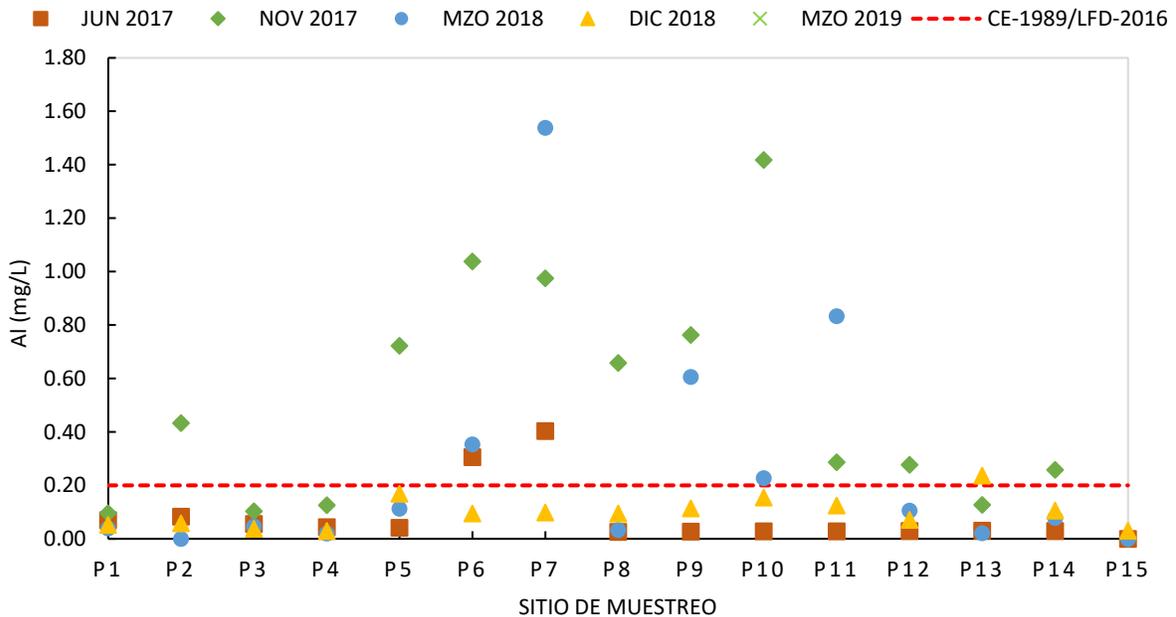


Figura 2.30 Comparativo de As en los puntos de muestreo de la Bahía del Tóbari

Se analizaron 30 elementos para muestras de la Bahía del Tóbari, del Dren Colector Arroyo 16, de las plantas potabilizadoras, de los pozos de agua potable y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, los cationes disueltos se comparan en cada caso con la normatividad correspondiente.

En la Figura 2.31, se muestran los resultados de los 15 puntos de muestreo del DCA16, en ella se aprecia que todos los obtenidos para arsénico, están por encima del límite máximo permisible, de acuerdo con el criterio ecológico recomendado (Criterios Ecológicos de Calidad del Agua- CONAGUA). Mientras que, para el boro, según la LFD y los criterios, se supera el valor límite de 0.009 en todos los casos. En el caso del cromo, se tienen valores superiores al límite indicados en la LFD, en los drenes tributarios TD-4 y TD-12.

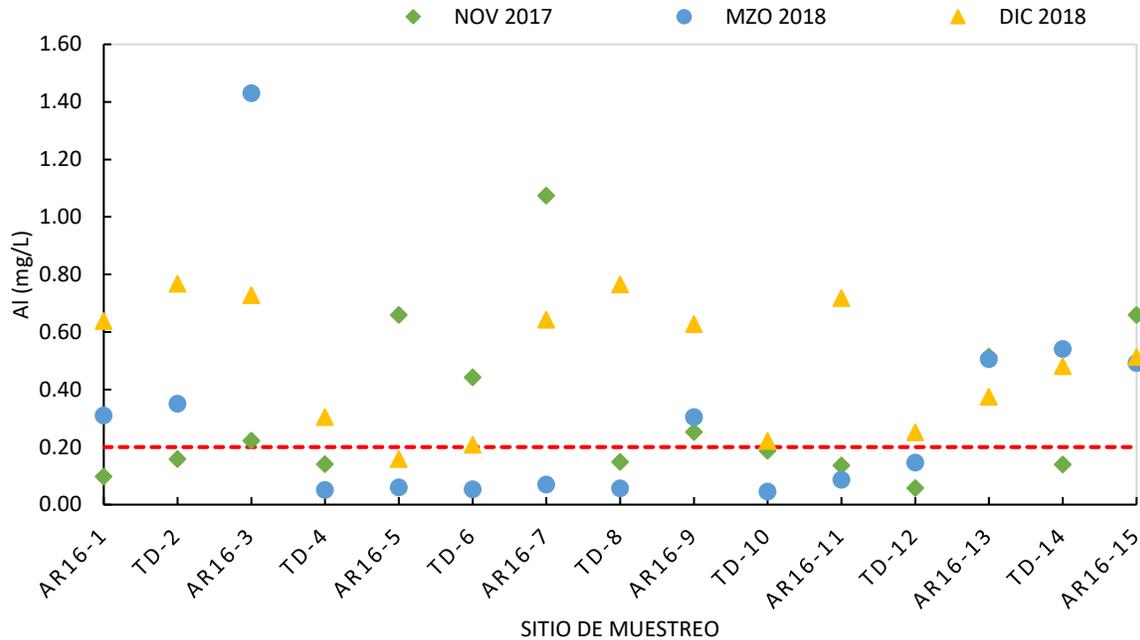


Figura 2.31 Comparativo de Al en los puntos de muestreo en drenes

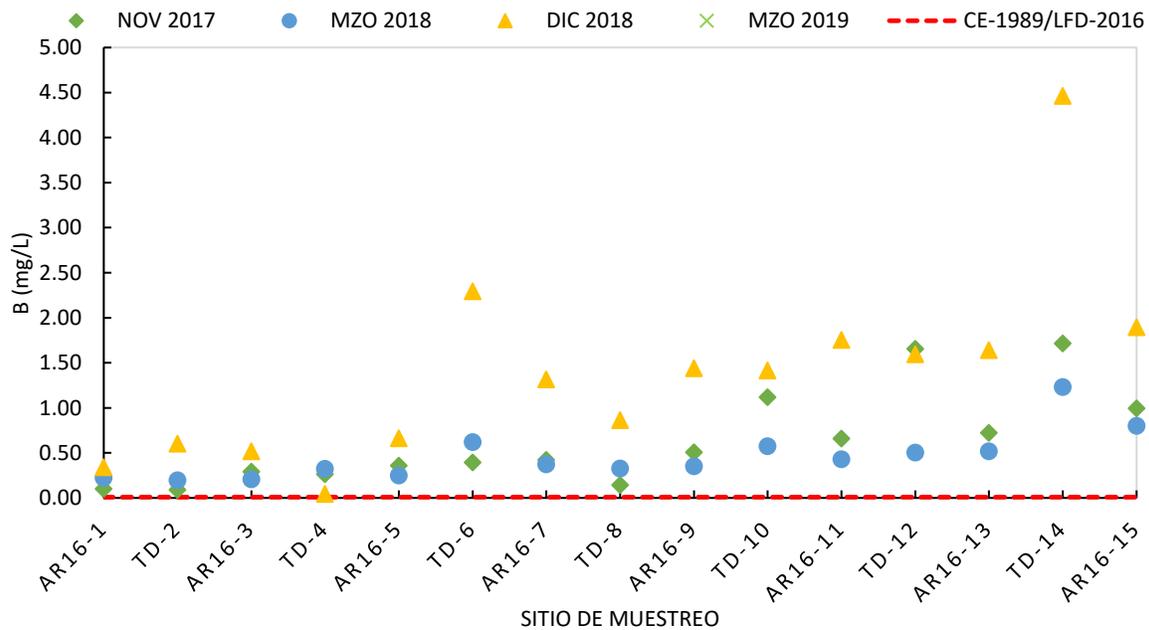


Figura 2.32 Comparativo de Boro en los puntos de muestreo en drenes

En el caso del cobre, se tienen valores arriba del recomendado por los criterios ecológicos para los puntos TD-2, AR 16-5, AR 16-7 y TD-8, en cuanto a las concentraciones de hierro (Figura 2.33), todos los puntos con valores superiores a lo recomendado por los criterios, muestras que al compararse con el establecido por la LFD ninguno supera dicho límite. Los puntos AR 16-1,

TD-4 y AR 16-11, presentan valores superiores a los recomendados por los criterios y la LFD, mientras que para los puntos AR 16-3, TD-4, AR 16-5, AR 16-7, AR 16-11, y TD-12, se tienen valores superiores a la concentración de cinc, recomendada por la LFD.

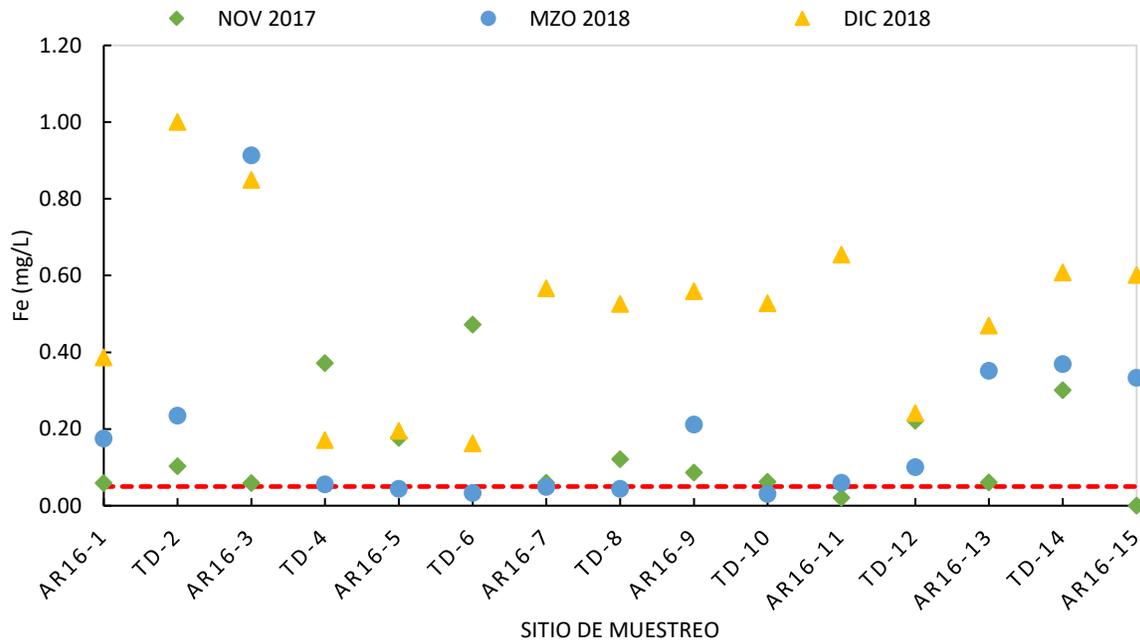


Figura 2.33 Comparativo de hierro (mg/L) en los puntos de muestreo en drenes

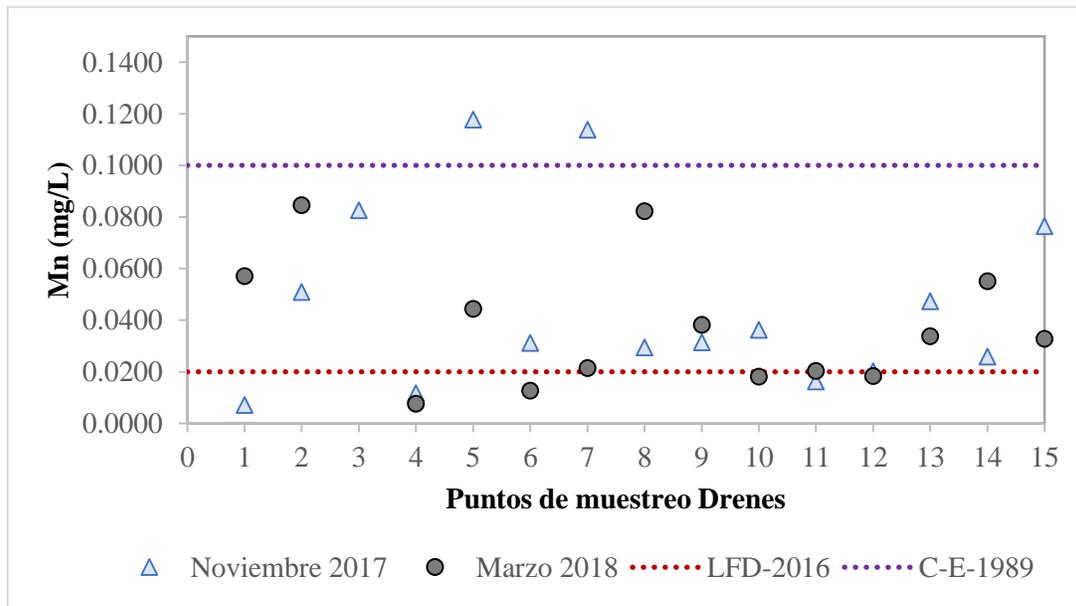


Figura 2.34 Comparativo de Mn en los puntos de muestreo en drenes

Las concentraciones obtenidas para el muestreo de agua de pozos, estos se han comprado con la NOM-127-DDA1-1994, puesto que su disposición final es el consumo humano potable y ninguno de éstos supera los límites máximos permisibles.

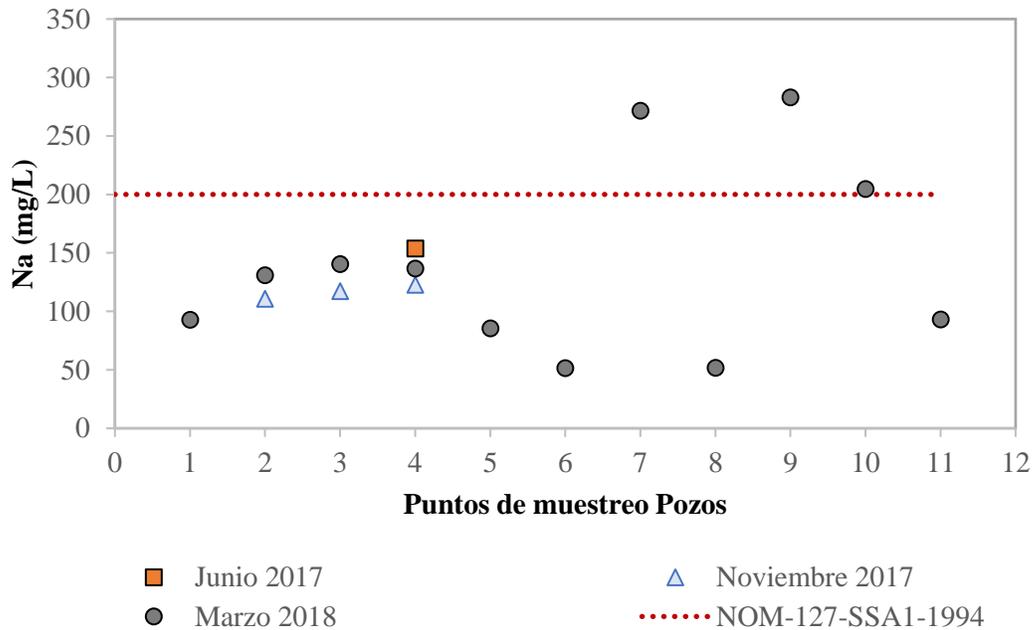


Figura 2.35 Comparativo de Na en los puntos de muestreo en pozos

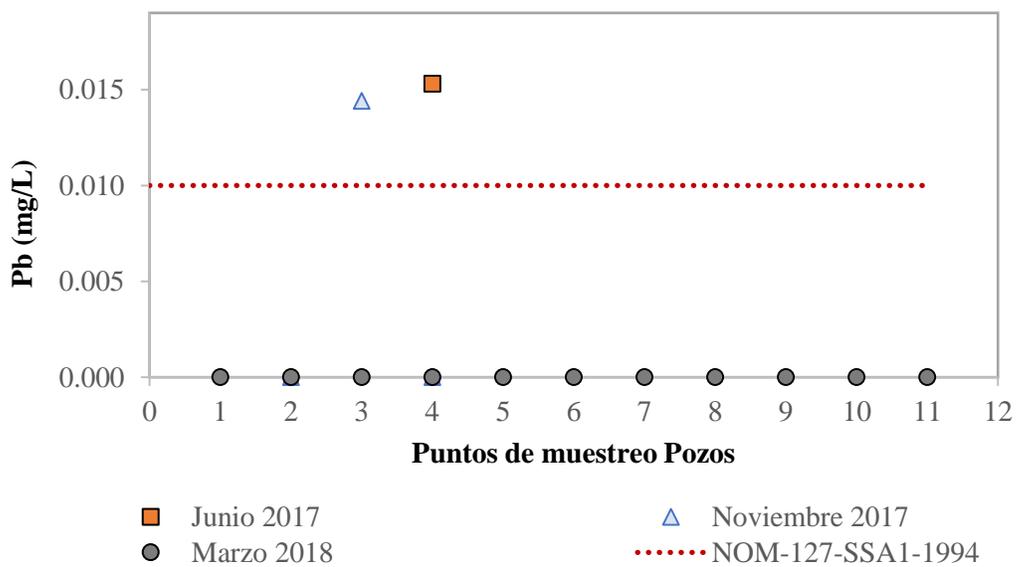


Figura 2.36 Comparativo de Pb en los puntos de muestreo en pozos



Los resultados de los cationes disueltos analizados en las muestras de agua superficial y subterránea se compararon respecto a la norma NOM-127 SSA1-1994 para abastecimiento de agua potable; los puntos de muestreo que sobrepasan los límites máximos establecidos por la norma son: el punto pozo de agua subterránea para As y todos los puntos para la concentración de Pb.

Las muestras de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se comparó con el promedio diario, establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996, por tratarse de descargas a embalses artificiales y/o naturales. Ningún parámetro sobrepasa los establecidos por dicha normatividad.

2.2.1.5 Mercurio

A continuación, se presentan en la Tabla 2-23 los resultados de mercurio en la Bahía del Tóbari, en los 15 puntos del DCA16, en plantas potabilizadoras, en pozos y en las plantas de tratamiento de aguas residuales, respectivamente.

Tabla 2-23 Concentración de mercurio (mg/L) en la Bahía del Tóbari

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
P1	0.00180	0.00070	0.00230
P2	0.00290	0.00070	0.00220
P3	0.00190	0.00060	0.00230
P4	0.00260	0.00070	0.00210
P5	0.00250	0.00060	0.00250
P6	0.00270	0.00060	0.00190
P7	0.00280	0.00060	0.00250
P8	0.00240	0.00070	0.00220
P9	0.00290	0.00080	0.00210
P10	0.00250	0.00080	0.00230
P11	0.00260	0.00050	0.00270
P12	0.00280	0.00050	0.00250
P13	0.00270	0.00060	0.00230
P14	0.00310	0.00040	0.00250
P15	NA	NA	0.00230

1 Criterios Ecológicos para la protección de la vida acuática marina en zonas costeras

2 Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2016, USO 4: Protección a la vida acuática (Aguas costeras y estuarios).

En la Figura 2.37 se observa el comparativo de las campañas de muestreo en la Bahía del Tóbari, con líneas punteadas en color rojo y azul se muestra el límite establecido por la Ley Federal de Derechos y los Criterios Ecológicos, resultados de la campaña de muestreo JUN 2017, NOV 2017 tienen mayor concentración de Hg.

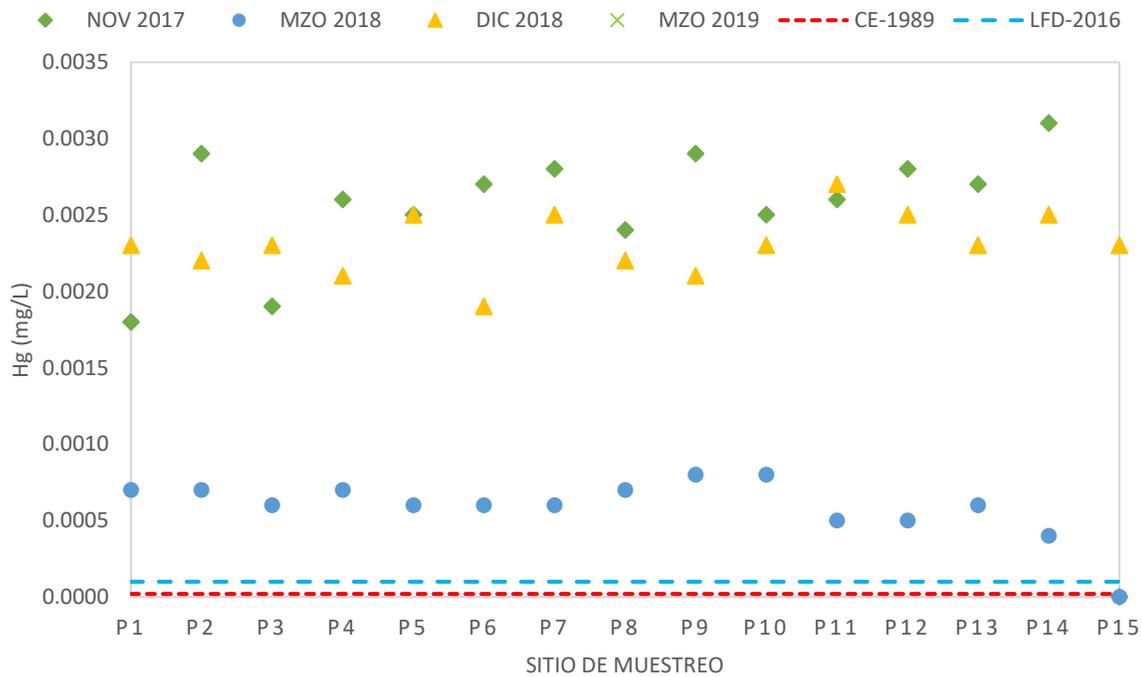


Figura 2.37 Comparativo de mercurio en las diferentes campañas de muestreo en Bahía del Tóbari

Tabla 2-24 Concentración de mercurio (mg/L) en DCA16

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
CÓCORIT	NA	0.0004	0.0012
QUETCHEHUECA	0.0055	0.0006	0.0011
TERAS	0.0058	0.0006	0.0013
PUEBLO YAQUI	0.0043	0.0006	0.0012
BÁCUM	NA	0.0006	0.0014
BUENAVISTA	NA	0.0006	NA
VÍCAM	NA	0.0005	0.0012
VÍCAM ACUED.	NA	0.0004	0.0010
PÓTAM	NA	0.0005	0.0014
PÓTAM ACUED.	NA	0.0005	0.0012
POZO 3-4	0.0045	0.0005	NA

1 Criterios Ecológicos para fuentes de abastecimiento de agua potable

2 Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2016, USO 2: Fuente de abastecimiento para uso público urbano.

3 Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano.

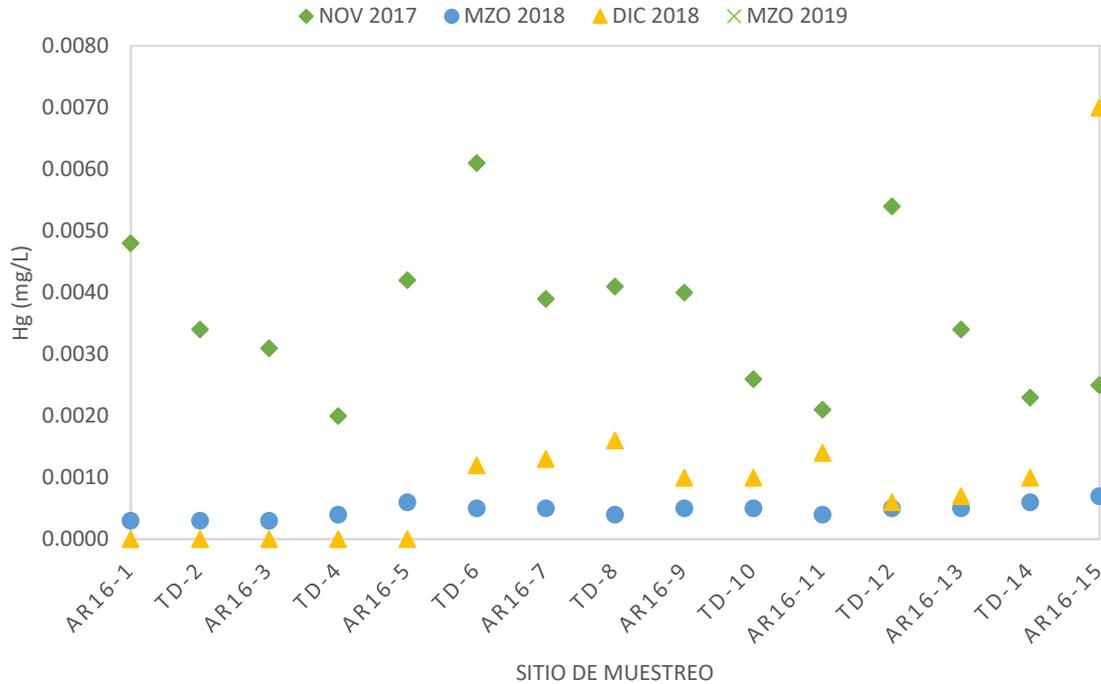


Figura 2.38 Concentración de mercurio (mg/L) en DCA16

Tabla 2-25 Concentración de mercurio (mg/L) en influentes y efluentes en plantas potabilizadoras

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
PP 3 Y 4	0.0021	0.0004	0.0012
EPP 3 Y 4	0.0017	0.0004	NA
PP 1 Y 2	0.0032	0.0005	0.0013
EPP 1 Y 2	0.0047	0.0004	NA

1 Criterios Ecológicos para fuentes de abastecimiento de agua potable

2 Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2016, USO 2: Fuente de abastecimiento para uso público urbano.

3 Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano.

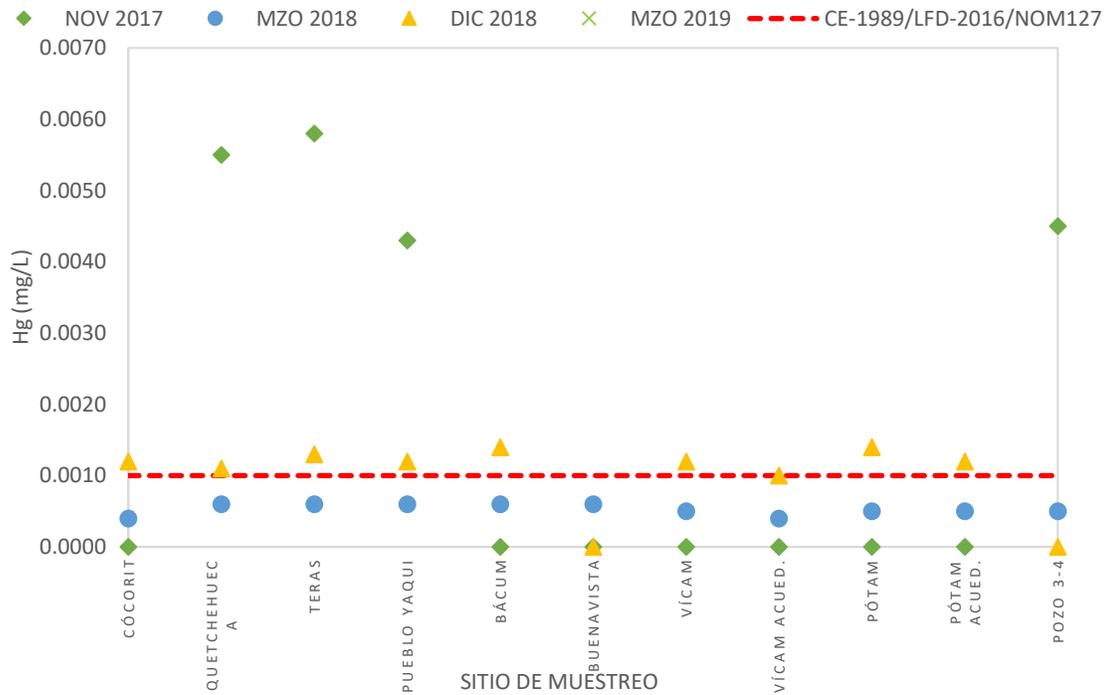


Figura 2.39 Concentración de mercurio (mg/L) en influentes y efluentes en plantas potabilizadoras

Tabla 2-26 Concentración de mercurio (mg/L) en canales del sistema de distribución del DR041

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
CANAL ALTO	NA	0.0005	NA
CANAL BAJO	NA	0.0004	NA
*CANAL PORFIRIO DÍAZ	NA	NA	NA



Figura 2.40 Concentración de mercurio (mg/L) en canales del sistema de distribución del DR041

Tabla 2-27 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg de COT/L) en plantas de tratamiento

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019	NOM-001 ¹
PTAR NORTE	0.0037	0.0006	NA		0.0200
PTAR SUR	0.0062	0.0004	NA		0.0200

¹ Límites máximos permisibles estipulados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, para descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (Uso en riego agrícola)

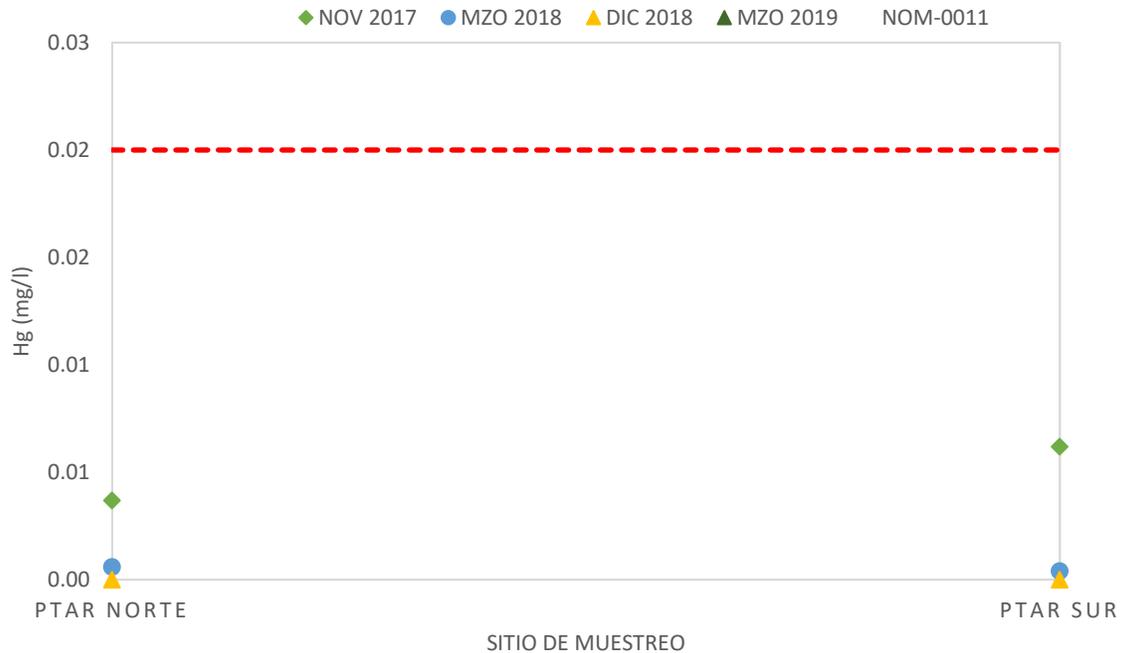


Figura 2.41 Concentración de mercurio (mg/L) en canales del sistema de distribución del DR041

2.2.1.6 Carbono Orgánico Total COT

Tabla 2-28 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en la Bahía del Tóbari

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
P1	3.70	2.42	1.15
P2	4.82	2.44	1.53
P3	3.64	2.14	0.17
P4	3.34	2.71	1.78
P5	5.49	3.22	2.75
P6	5.25	4.08	3.30
P7	5.54	3.06	3.58
P8	4.86	3.96	3.15
P9	4.35	4.29	3.03
P10	4.46	3.45	2.83
P11	4.11	4.21	2.78
P12	4.70	4.10	2.92
P13	4.82	5.73	3.64
P14	4.30	2.98	4.32
P15	NA	NA	1.53

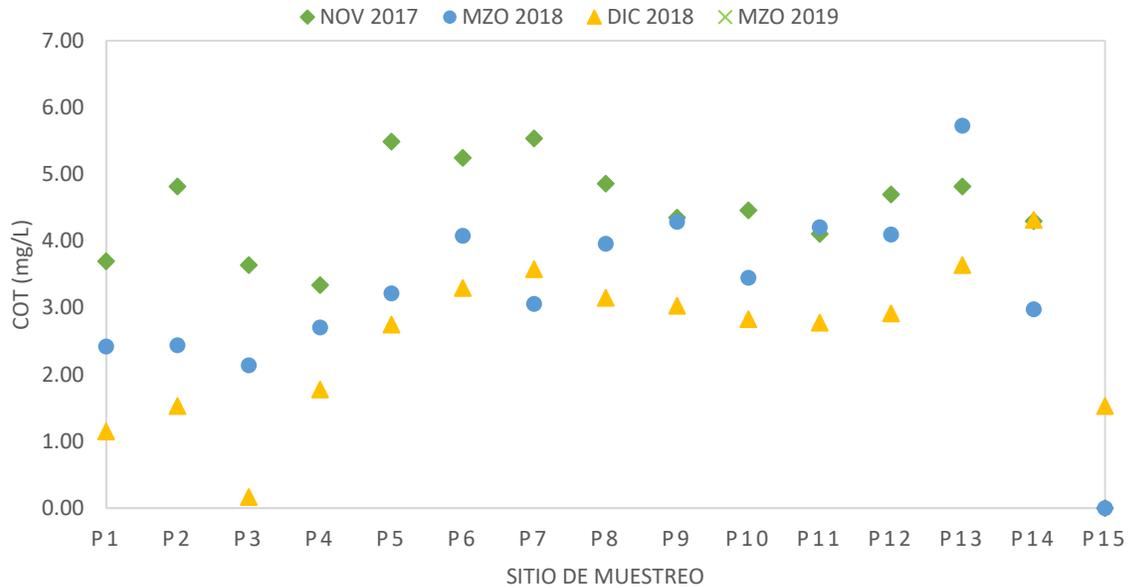


Figura 2.42 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en la Bahía del Tóbari

Tabla 2-29 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en DCA16

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
AR16-1	5.19	6.89	5.14
TD-2	19.29	10.34	32.01
AR16-3	11.57	11.50	21.89
TD-4	6.03	7.33	8.41
AR16-5	7.85	8.18	37.86
TD-6	6.80	6.21	3.59
AR16-7	7.28	7.22	17.09
TD-8	8.51	6.70	7.96
AR16-9	7.29	6.71	5.95
TD-10	6.56	6.27	6.08
AR16-11	7.11	7.39	5.60
TD-12	5.55	6.71	5.02
AR16-13	6.42	7.72	7.79
TD-14	5.11	6.81	4.80
AR16-15	6.28	8.16	6.22

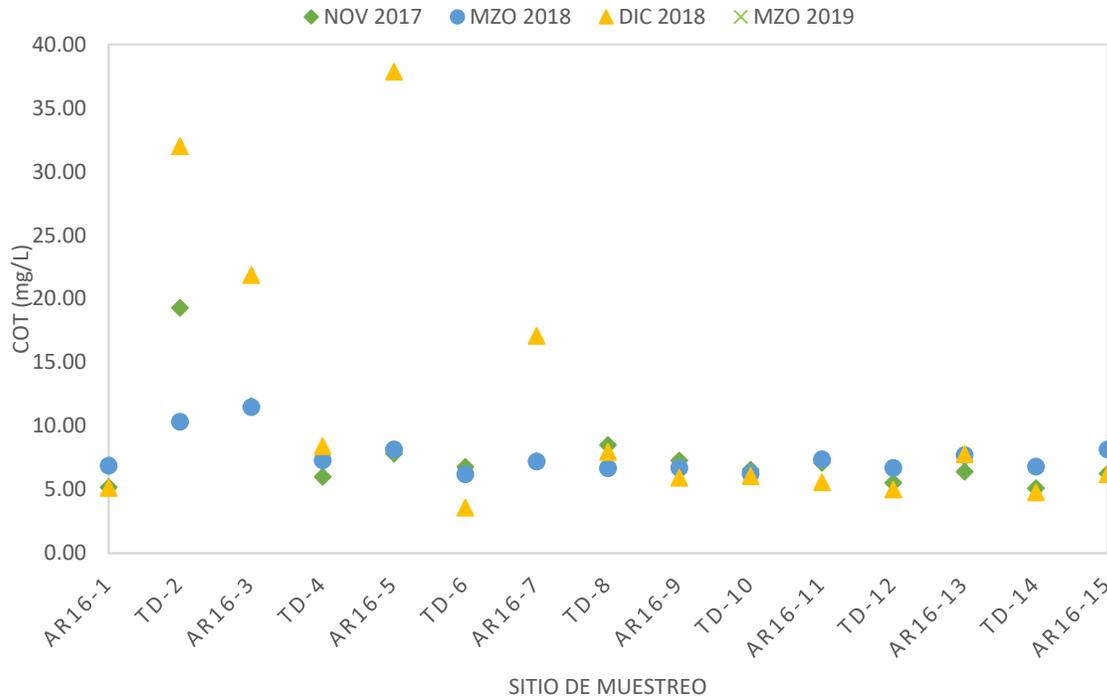


Figura 2.43 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en DCA16

Tabla 2-30 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en pozos de agua potable

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
CÓCORIT	NA	3.39	1.34
QUETCHEHUECA	1.00	1.95	<0.67
TERAS	1.20	1.06	<0.67
PUEBLO YAQUI	1.32	1.56	<0.67
BÁCUM	NA	NA	1.40
BUENAVISTA	NA	1.89	NA
VÍCAM	NA	NA	1.92
VÍCAM ACUED.	NA	3.61	2.24
PÓTAM	NA	2.29	1.78
PÓTAM ACUED.	NA	3.35	1.88
POZO 3-4	1.63	1.85	NA

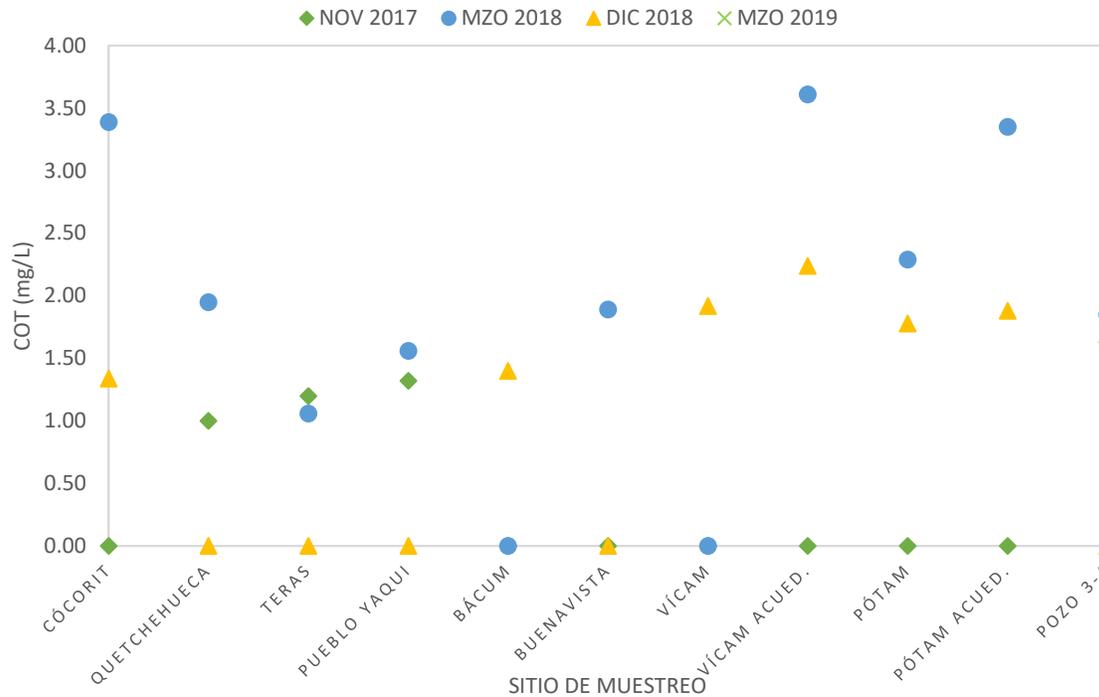


Figura 2.44 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en pozos de agua potable

Tabla 2-31 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en influentes y efluentes en plantas potabilizadoras

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
PP 3 Y 4	5.48	5.53	5.23
EPP 3 Y 4	5.20	5.66	NA
PP 1 Y 2	5.23	5.45	5.18
EPP 1 Y 2	5.73	5.09	NA

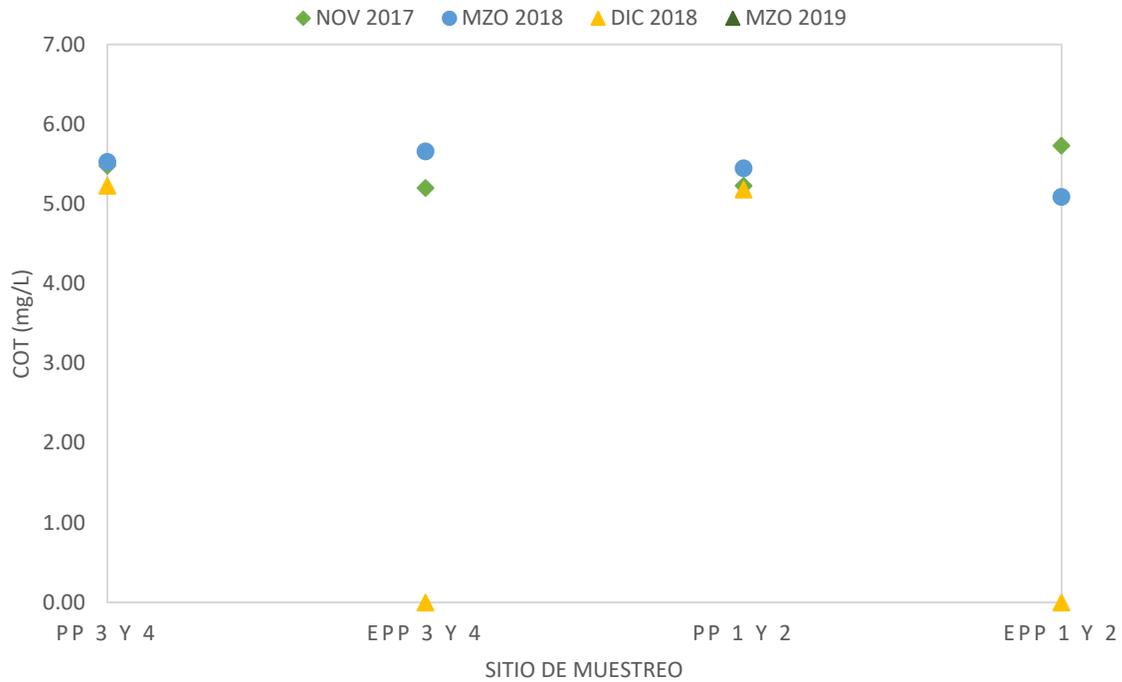


Figura 2.45 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en influentes y efluentes en plantas potabilizadoras

Tabla 2-32 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en plantas de tratamiento

PUNTO DE MUESTREO	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018
PTAR NORTE	63.50	37.64	NA
PTAR SUR	38.49	63.22	NA

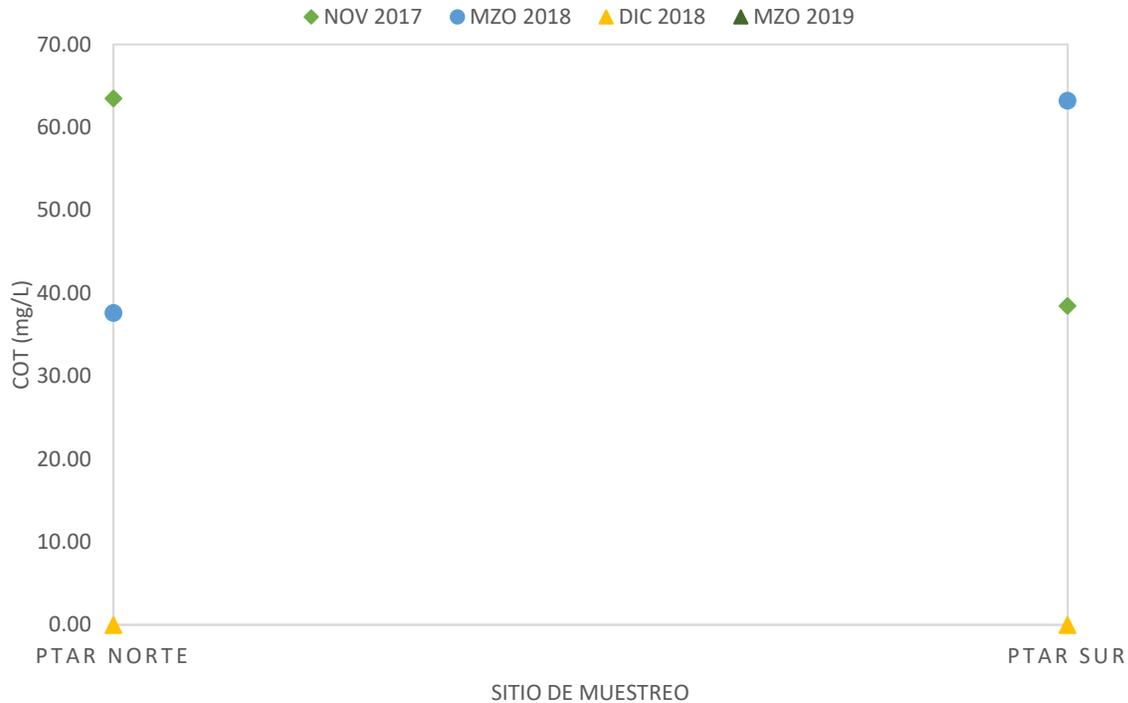


Figura 2.46 Concentración de Carbono Orgánico Total (mg/L) en plantas de tratamiento

2.2.1.7 Plaguicidas

Para la determinación de glifosato se tomaron únicamente 7 muestras del Dren Arroyo 16 (TD-2, TD-6, AR 16-7, TD-10, AR 16-13, TD-14, AR 16-15). Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio ABC QUÍMICA, INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS, S.A de C. V empleando el método analítico US EPA 547-1990. Los valores obtenidos en los análisis se muestran en la Tabla 2-33. De los resultados se observa que la mayoría de los drenes evaluados tiene presencia de glifosato a excepción de TD-2 y AR 16-13. El rango de concentración varia de 0.87 a 33.1 $\mu\text{g/L}$ siendo el de menor concentración TD-10 y el de mayor concentración AR 16-15, en este último punto el muestreo se realizó en un periodo cercano a la aplicación de los herbicidas glifosato y picloram.

Tabla 2-33 Resultados glifosato ($\mu\text{g/L}$) con presencia en muestras de drenes y tributarios.

ID	NOV 2017	MZO 2018	DIC 2018	MZO 2019
TD-2	ND	ND	5.48	1.61
TD-6	1.74	6.85	ND	ND
AR16-7	1.14	2.40	3.79	ND
TD-10	0.87	2.76	2.70	1.548
TD-12	NA	NA	1.54	ND
AR16-13	ND	4.17	4.56	ND
TD-14	2.88	4.90	1.97	1.514
AR16-15	33.10	0.90	2.59	ND

*ND: Significa que el valor es menor al límite de detección.

Para plaguicidas organoclorados, organofosforados se tomaron los mismo 7 puntos del Dren Arroyo 16 (AR y TD) que para glifosato y tres pozos (PY-N, QTCA y TERAS), sin embargo, no se encontró concentración de éstos en ninguno de los puntos analizados.

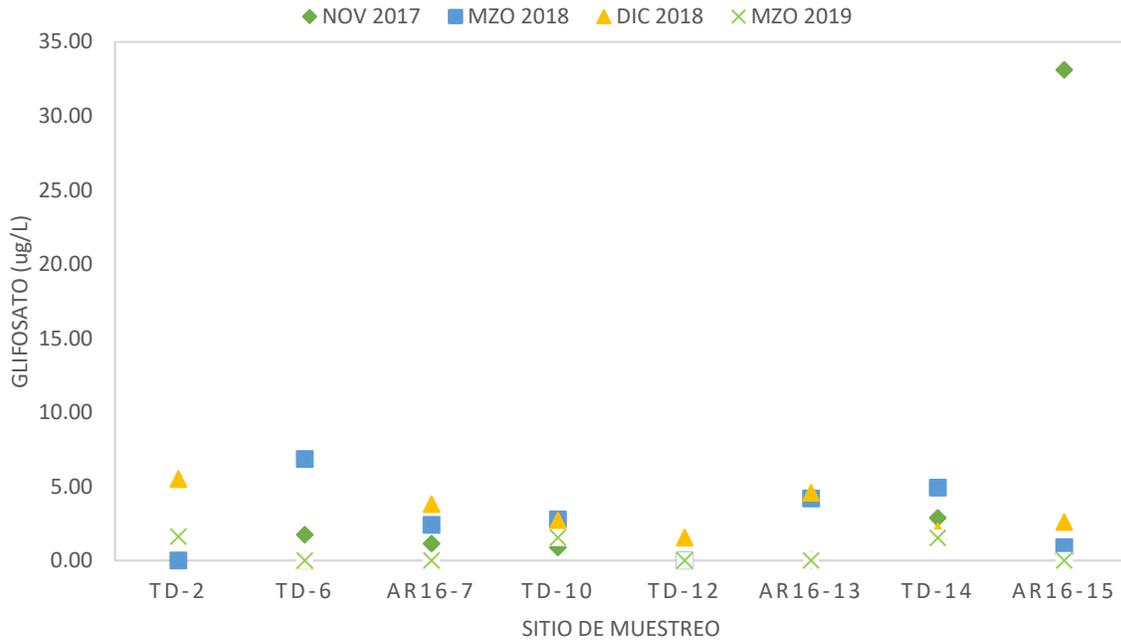


Figura 2.47 Comparativo glifosato con presencia en muestras de drenes y tributarios. La aplicación de herbicidas varia respecto al medio de cultivo, fueron encontrados envases vacíos herbicidas en la zona de estudio se muestreo, Figura 2.48 y Figura 2.49.



Figura 2.48 Envase de Glifosato encontrado en la zona de muestreo



Figura 2.49 Envase de 2,4-D encontrado en la zona de muestreo

2.2.1.8 Compuestos de método cromatográfico

Blancos

Se desarrollaron blancos entre cada muestra con la finalidad de evitar falsas señales en los resultados de los análisis. Se procedió a realizar blancos de SPME y blancos de muestra (empleando agua desionizada), proporcionada por el mismo laboratorio.

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Ingeniería ambiental del Posgrado del IMTA con el Instrumento GCMS Portátil modelo Torion-9 de la empresa Perkin Elmer, empleando el siguiente método instrumental presentado en la figura. El método implementado consiste en rampas de calentamiento de 2°C /seg, iniciando con una temperatura de 50°C hasta los 270°C, con un tiempo de análisis promedio de 360 segundos,

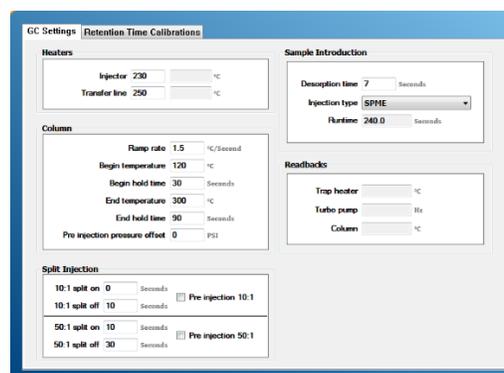


Figura -2.50 Método Instrumental GC-MS empleado

Modo de inyección de muestra por medio de la Jeringa Custodion SPME:

La calibración del equipo TORION® se realizó utilizando un estándar mix que contiene 13 compuestos. A continuación, en la Tabla 2-34 se relacionan los compuestos que hacen parte del estándar de calibración del equipo con sus respectivas masas de verificación mostradas en el cromatograma de gases de la figura 3 respectivamente

Tabla 2-34 Estándar de Calibración empleado en GC-MS

Compuesto	Masas (z)
Acetona	42,59
Cloruro de metileno	49
Metil-terbutileter	57,73
Heptano	56, 57, 70, 71
Metilciclohexano	55,83
Tolueno	98,100
Percloroetileno	129,164,166,168
Bromo pentafluorobenceno	117,246,248
Bromoformo	171,173, 175
1,2-Dibromotetrafluorobenceno	79,98,117,148,306,308,310
Metilsalicilato	91,120,121,152
Tetrabromoetano	81,107,180, 263, 265, 267
Tetradecano	71,85

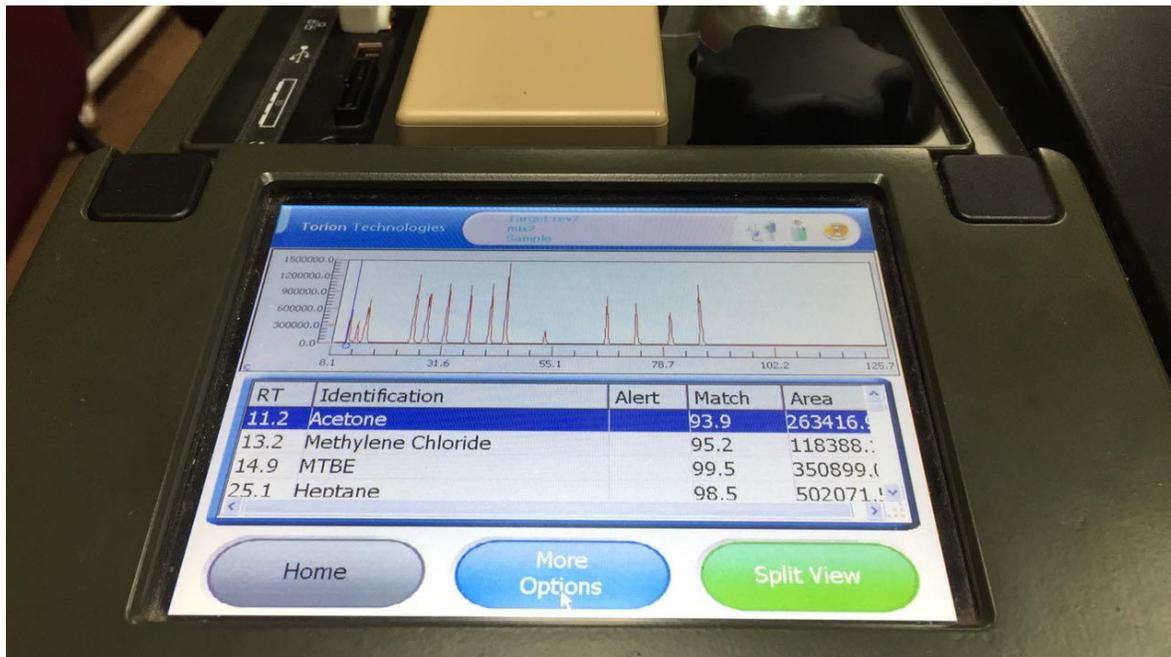


Figura 2.51 Etapa de calibración de tiempos de retención

El resultado de calibración presentado en la Figura 2.51 muestra en la parte superior el cromatograma con las 13 señales, que corresponden a los 13 compuestos que integran el estándar con sus diferentes tiempos de retención; en la parte inferior se muestra el espectro de masas de uno de los compuestos seleccionados en el cursor, que para el caso según su ión molecular corresponde a la acetona.

El software de procesamiento de datos corresponde al CROMION® versión 1.2.0.8, junto con el software NIST MS Search /EPA versión 2.2 del 2014.

Tabla 2-35 Condiciones para identificación de compuestos para la muestra P6

Identificación de Muestra	pH inicial	T	pH Básico	pH ácido	Volumen inicial	Volumen Final
P6	6.708	25	10.048	2.023	77 mL	87 mL
Blanco Control	4.047	25	10.296	2.1	74 mL	95 mL

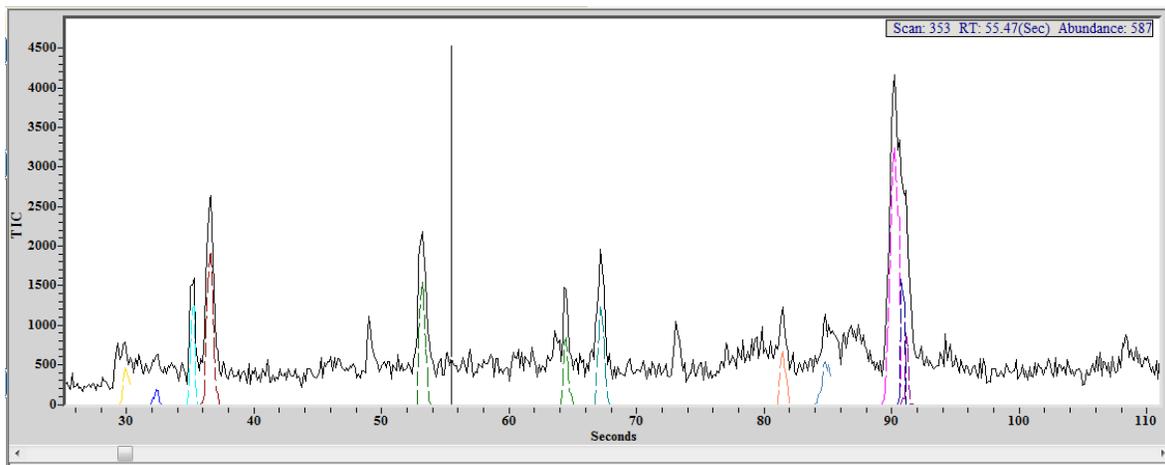


Figura 2.52 Resultado de cromatograma en la muestra P6 a pH 6.78

2.2.1.8.1 Compuestos obtenidos resultado de cromatograma

Tabla 2-36 Identificación de compuestos encontrados en P6

Nombre del compuesto	Match
Tolueno	97.8%
Cloro acetona	95%
4,6 Dimethylundecano	93.7%
Ácido Carbónico, methyl pentyl ester	73%
1-Pentanol, 2 methyl 4 methyl	13.5%
Imidazol, 4,5 b piridina, 2-bezoylamino, methyl 6-bromo	89.40%
6H Benzofuro (3,2 -c) Benzopyranos, 3-9 dimethoxy	61.8%
2-Heptene	66.4 %
Napfaleno, 1-(3,4 dimetoxifenil)-1,2,3,4 tetrahidro	85%
acid phthalaldehydic oxime (conjugados)	70%
4-Methyl-2-4-methylquinolin 2ylquinoline	84.3%

2.2.2 Sedimentos

2.2.2.1 Metales

Los resultados de las concentraciones de metales en las 4 fracciones se presentan en la Figura 2.53. Las primeras 3 fracciones son las consideradas como biodisponibles. mientras que la fracción 4 es considerada la residual. En la última columna de cada metal se presenta la concentración total para cada caso (suma de las 4 fracciones). A continuación, se presentan los gráficos obtenidos para la concentración de cobre, cromo, níquel, plomo y zinc, obtenidos con ambos muestreos.

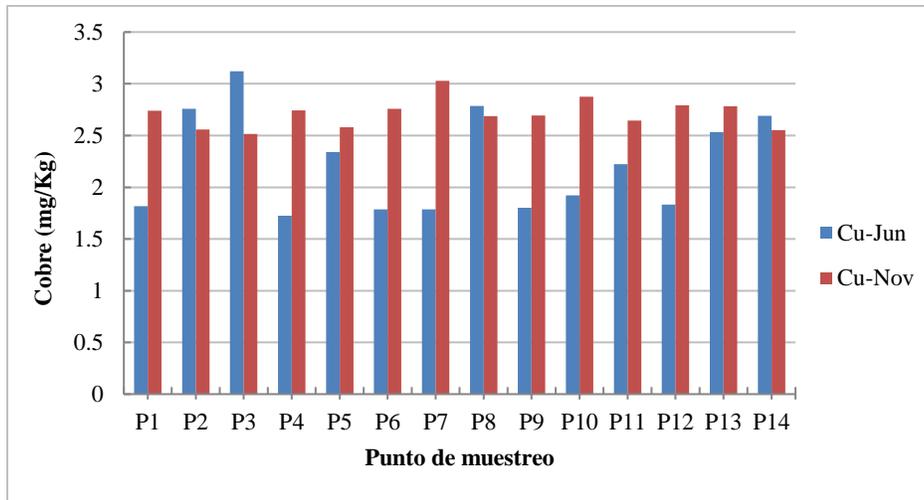


Figura 2.53 Concentración de cobre en sedimentos de la Laguna Tóbari

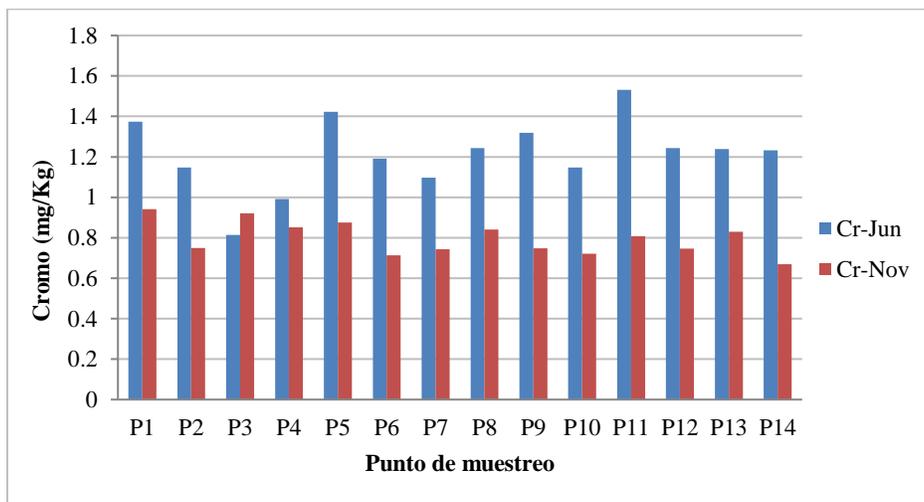


Figura 2.54 Concentración de cromo en sedimentos de la Laguna Tóbari.

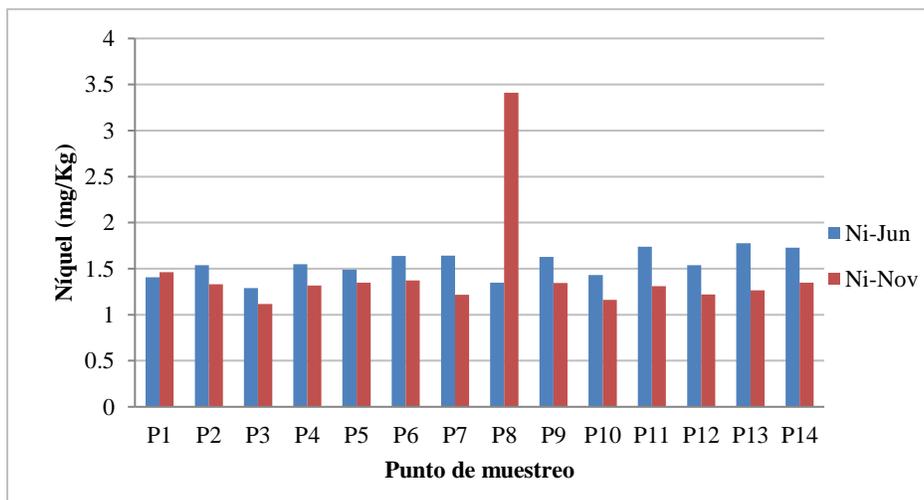


Figura 2.55 Concentración de níquel en sedimentos de la Laguna Tóbari

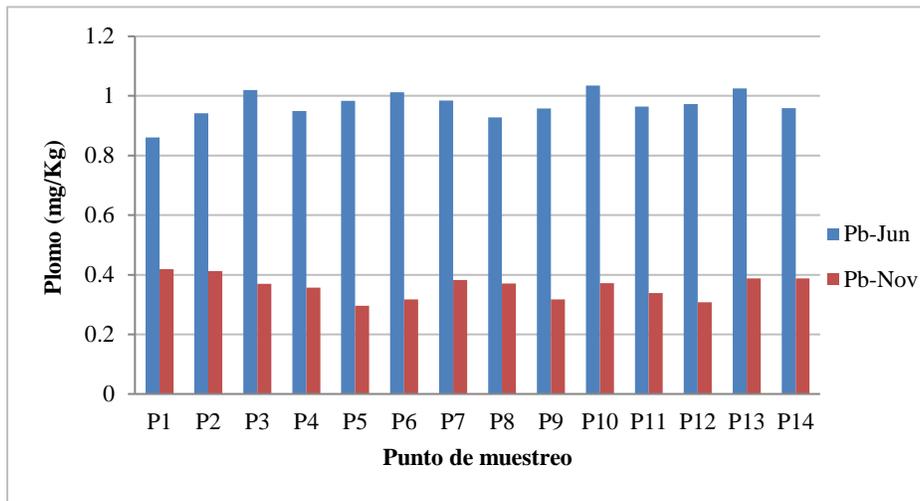


Figura 2.56 Concentración de plomo en sedimentos de la Laguna Tóbari

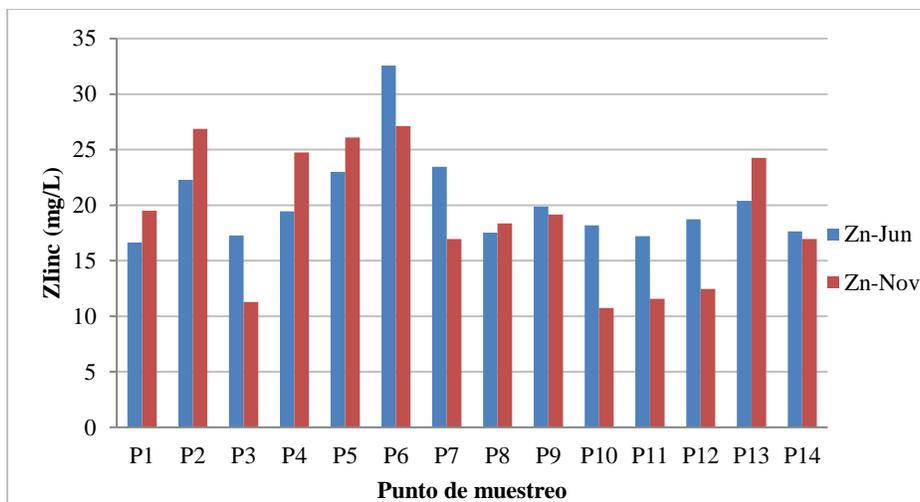


Figura 2.57 Concentración de zinc en sedimentos de la Laguna Tóbari

Las máximas concentraciones de cobre, cromo, níquel, plomo y zinc se detectaron en los sedimentos P3, P11, P8, P10 y P6 respectivamente; mientras que el cadmio y mercurio en P10 y P2 respectivamente.

Los resultados de cadmio en sedimentos en el mes de junio, identifica a los puntos del 8 al 13 los que sobrepasaron la guía de calidad de sedimentos de 0.9 mg/kg (EPA, 2000), como un valor

que representa que para los organismos que se encuentran en contacto con esa concentración o mayor puede tener un efecto mínimo que afecte a los organismos (Figura 2.58)

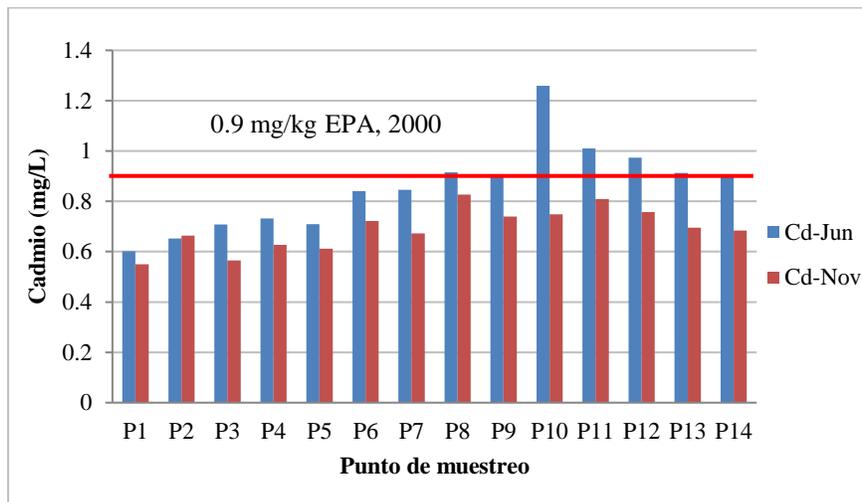


Figura 2.58 Concentración de cadmio en sedimentos de la Laguna Tóbari

El mercurio en los 14 sitios de muestreo, en junio y noviembre se presentaron concentraciones mayores a la Guía de calidad de sedimentos que es de 0.2 mg/kg, lo que indica que existe un riesgo potencial para los organismos que viven en el sedimento o se alimenta de él. Las concentraciones de mercurio estuvieron en un intervalo de concentración de 0.35 – 0.54 mg/kg (Figura 2.59).

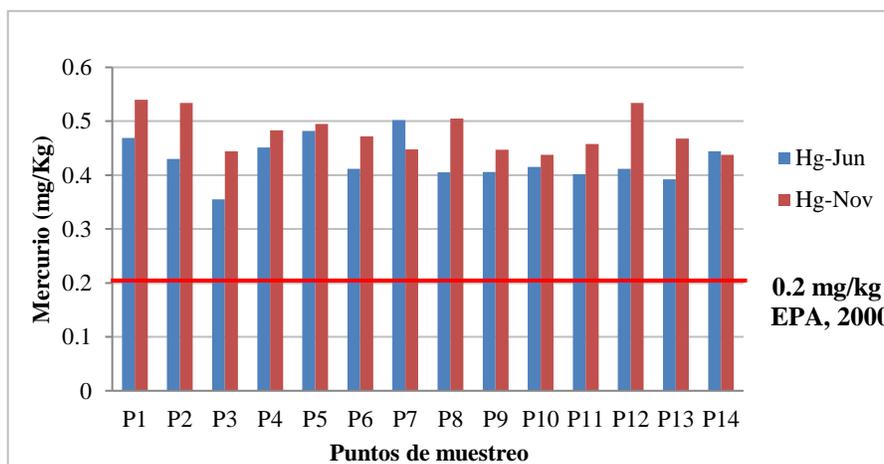


Figura 2.59 Concentración de mercurio en sedimentos de la Laguna Tóbari.

El análisis de los resultados fue comparado con las Guías de Calidad de Sedimentos (SQL, por sus siglas en inglés) generados por las Agencias de Protección Ambiental de Estados Unidos,

debido a que en México no se cuenta con información de guías o criterios de calidad en sedimentos.

El análisis de los resultados se realizó tomando en cuenta la concentración total de los metales en los sedimentos analizados y se compararon con las Guías de Calidad de Sedimentos (SQL-EPA) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Las concentraciones mínimas y máximas de metales totales detectadas en los sedimentos de la Bahía Tóbari, se presentaron en un intervalo de: 0.368 – 0.661 mg/kg de arsénico (marzo 2018 y noviembre 2017, respectivamente); 1.996 – 3.388 mg/kg de cadmio (noviembre y junio respectivamente); 6.289 – 19.757 mg/kg de cobre (noviembre y junio respectivamente); 7.341 – 33.952 mg/kg de cromo (noviembre y junio respectivamente); 0.793 – 1.622 mg/kg de mercurio (marzo-2018 y noviembre respectivamente); 5.415 – 15.359 mg/kg de níquel (noviembre 2017 y marzo 2018 respectivamente); 42.295 – 69.358 mg/kg de plomo (marzo 2018 y junio 2017 respectivamente); y 39.666 – 141.266 mg/kg de zinc (noviembre y junio respectivamente) (Figuras 2.60, 2.61, 2.62, 2.63, 2.64, 2.65, 2.66 y 2.67).

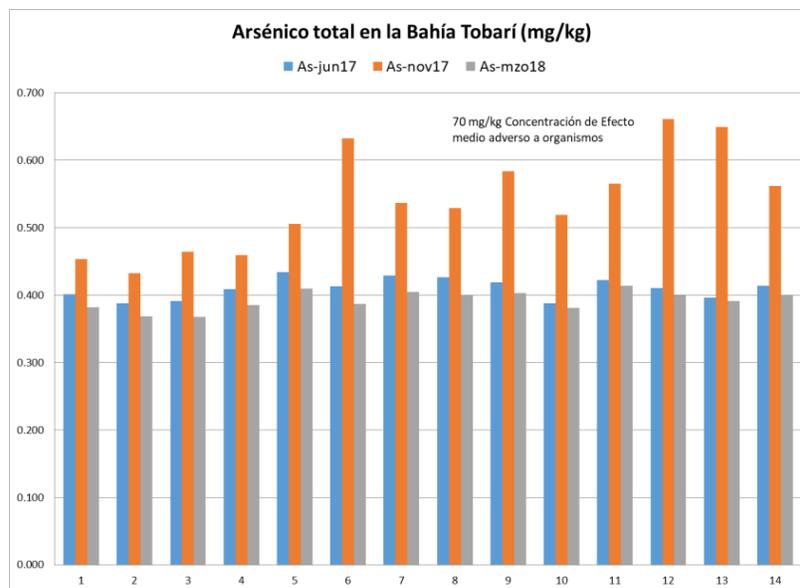


Figura 2.60 Concentraciones de arsénico total en sedimentos de la Bahía Tóbari.

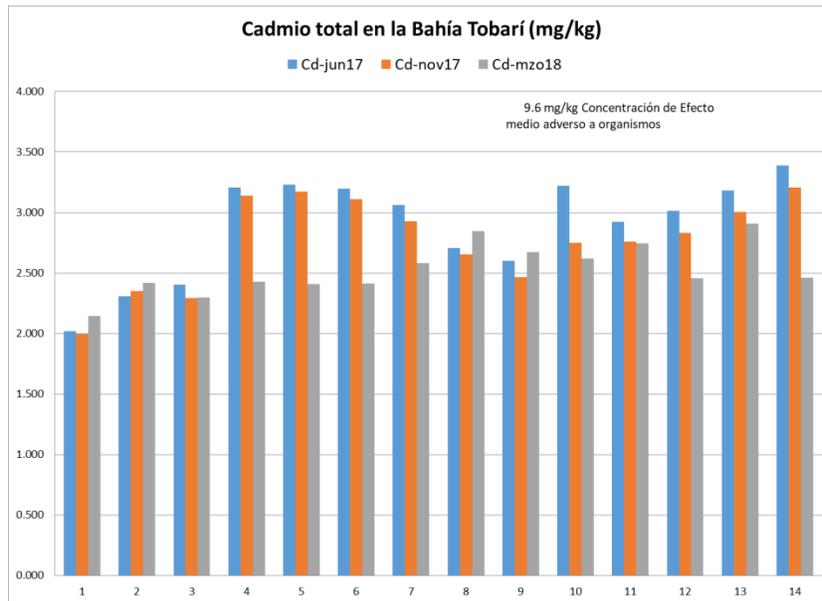


Figura 2.61 Concentración de cadmio total en sedimentos de la Bahía Tóbari.

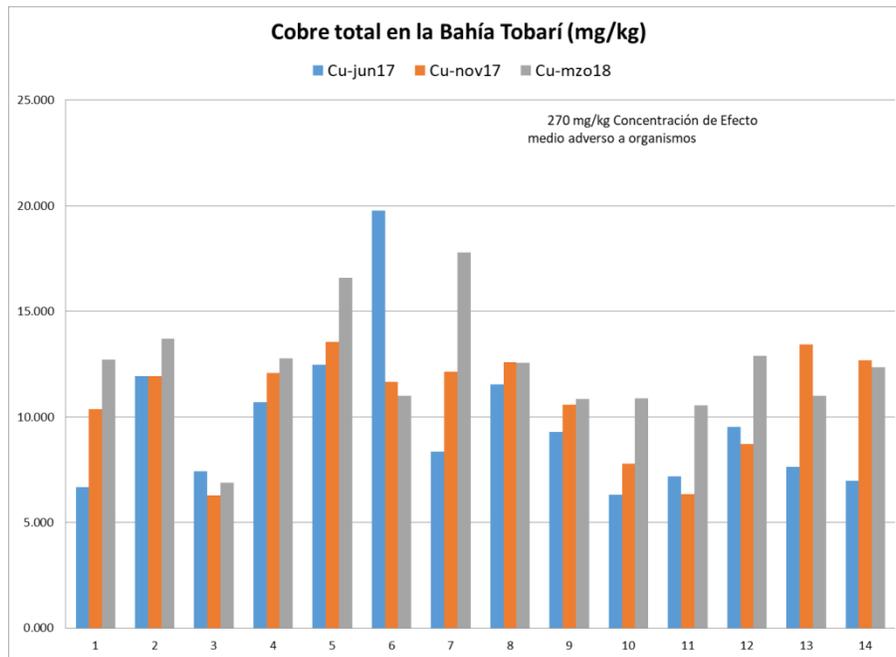


Figura 2.62 Concentración de cobre total en sedimentos de la Bahía Tóbari.

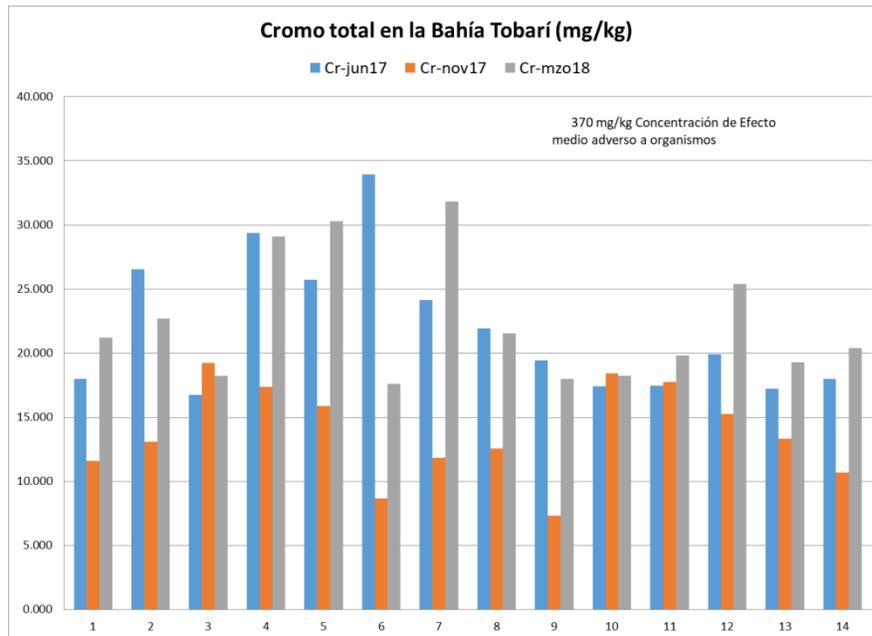


Figura 2.63 Concentración de cromo total en sedimentos de la Bahía Tóbari.

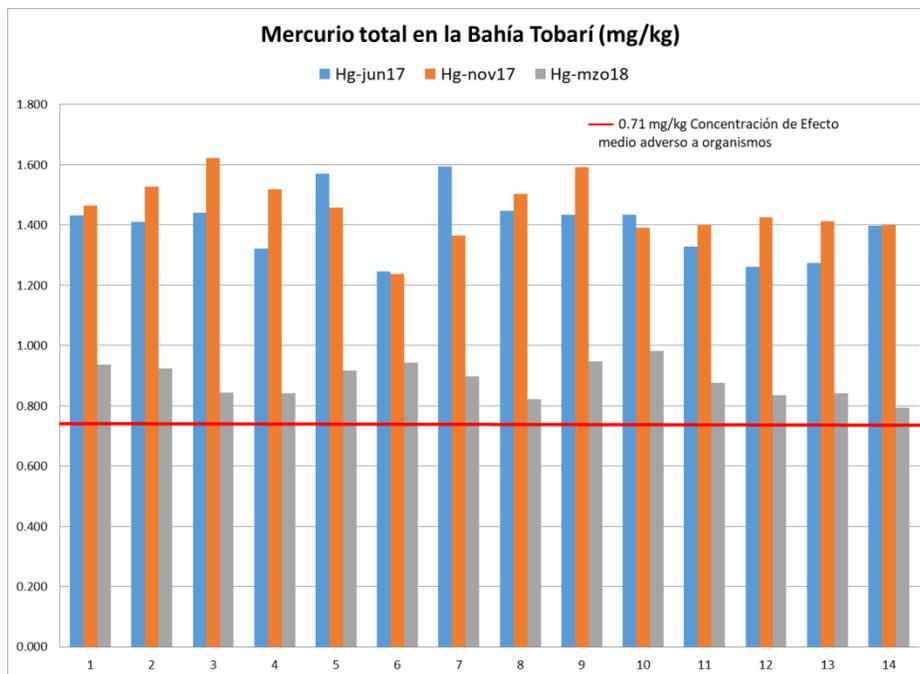


Figura 2.64 Concentración de mercurio total en sedimentos de la Bahía Tóbari.

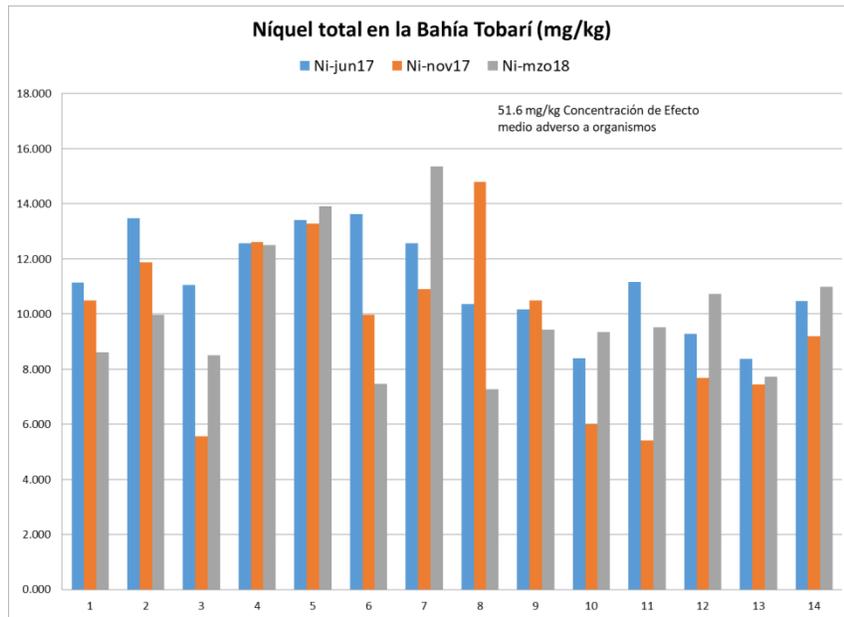


Figura 2.65 Concentración de níquel total en sedimentos de la Bahía Tóbari.

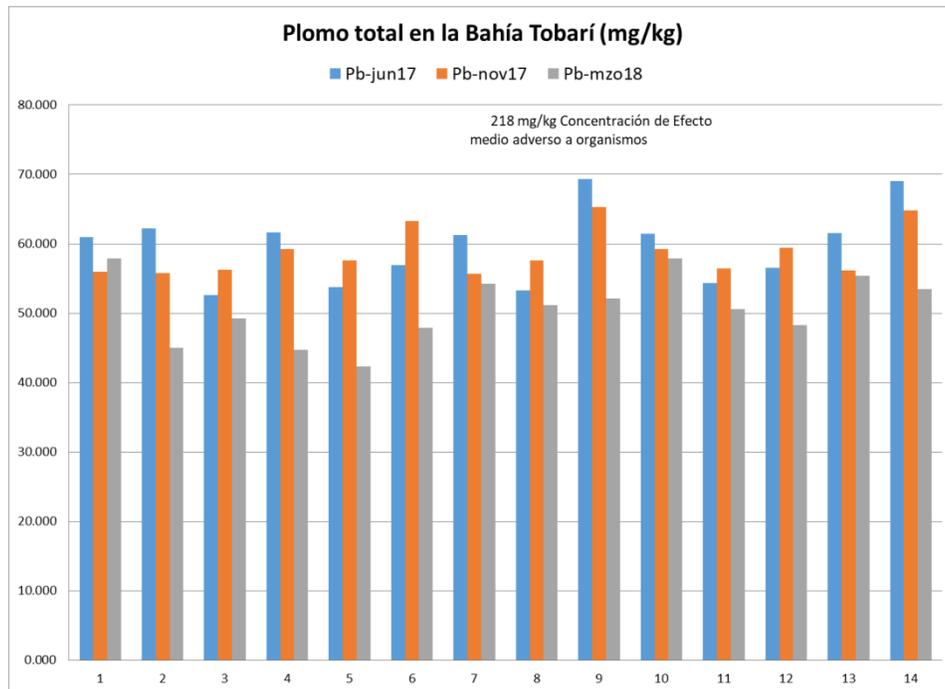


Figura 2.66 Concentración de plomo total en sedimentos de la Bahía Tóbari.

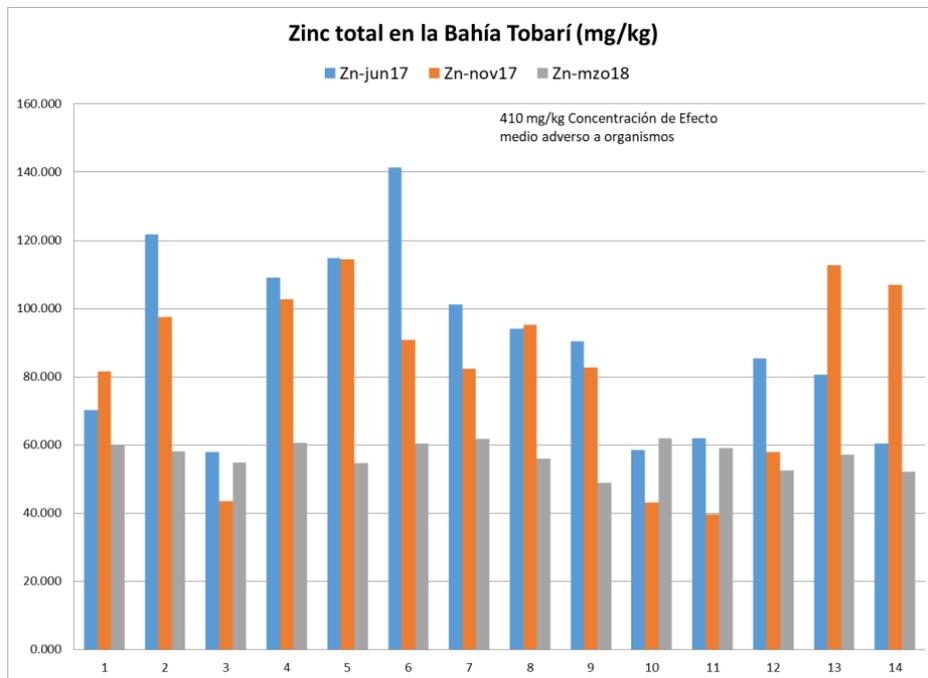


Figura 2.67 Concentración de zinc total en sedimentos de la Bahía Tóbari.

Las Guías de Calidad para cada metal en sedimentos se presentan en cada figura y se observa que solo el mercurio sobrepasa la guía de 0.71 mg/kg en todos los sitios de muestreo de la Bahía, por lo que potencialmente puede afectar a organismos que viven en el sedimento o se alimentan de él, así como, ser biomagnificado en la cadena trófica de la Bahía.

Las máximas concentraciones de los metales Cd, Cu, Cr, Pb y Zn se detectaron en el mes de junio de 2017, para el As, y Hg en noviembre del mismo año y el Ni en marzo de 2018.

Las concentraciones de metales totales en todos los sitios de muestreo están por debajo de las concentraciones que pueden afectar a los organismos que viven en los sedimentos a excepción del mercurio que en todos los meses y muestreos sobrepasaron el criterio.

Se realizó el análisis de componentes principales con los promedios de los tres muestreos que se presentan en la tabla 1 para visualizar la correlación entre las variables (metales).

Tabla 2-37 Concentraciones promedio de los tres muestreos de metales totales en sedimentos de la Bahía Tóbari (mg/kg).

Sitios	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
1	0.412	2.052	9.914	16.945	1.278	10.085	58.265	70.500
2	0.396	2.360	12.527	20.761	1.287	11.774	54.332	92.427
3	0.408	2.332	6.864	18.058	1.303	8.370	52.711	52.067
4	0.418	2.925	11.844	25.277	1.228	12.568	55.227	90.823
5	0.450	2.938	14.206	23.949	1.316	13.532	51.222	94.653
6	0.478	2.908	14.143	20.081	1.143	10.355	56.030	97.507
7	0.457	2.858	12.758	22.608	1.286	12.942	57.061	81.788
8	0.452	2.735	12.235	18.664	1.257	10.816	53.982	81.704
9	0.469	2.581	10.244	14.922	1.325	10.034	62.255	74.037
10	0.429	2.865	8.330	18.013	1.269	7.911	59.514	54.524
11	0.467	2.810	8.027	18.343	1.202	8.696	53.791	53.515
12	0.491	2.768	10.382	20.184	1.174	9.237	54.741	65.332
13	0.479	3.033	10.697	16.609	1.177	7.849	57.665	83.493
14	0.459	3.019	10.673	16.344	1.197	10.220	62.426	73.145

La matriz de correlación de Pearson.

Tabla 2-38 Matriz de correlación de los metales pesados en sedimentos de la Bahía Tóbari.

Variables	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
As	1	0.624	0.185	-0.194	-0.571	-0.196	0.187	0.047
Cd	0.624	1	0.327	0.264	-0.502	0.088	0.084	0.258
Cu	0.185	0.327	1	0.561	-0.088	0.775	-0.175	0.943
Cr	-0.194	0.264	0.561	1	0.049	0.747	-0.611	0.515
Hg	-0.571	-0.502	-0.088	0.049	1	0.342	-0.060	-0.087
Ni	-0.196	0.088	0.775	0.747	0.342	1	-0.271	0.716
Pb	0.187	0.084	-0.175	-0.611	-0.060	-0.271	1	-0.144
Zn	0.047	0.258	0.943	0.515	-0.087	0.716	-0.144	1

El análisis de componentes identifica que el primer componente principal representa el 42.1 % de la variabilidad total de los datos obtenidos y el segundo componente representa el 28.6%, dando una variación acumulada de los dos componentes del 70.7%.

Tabla 2-39 Resultados del análisis de componentes principales en la Bahía Tóbari

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Eigenvalue	3.369	2.290	1.081	0.562	0.420	0.195	0.054	0.029
Variability (%)	42.107	28.631	13.513	7.030	5.250	2.434	0.669	0.366
Cumulative %	42.107	70.738	84.251	91.281	96.531	98.965	99.634	100.000

La correlación que se obtiene entre las variables para cada factor o componente principal se presenta en la

Tabla 2-40 Correlación entre las variables (metales) y los factores

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
As	-0.007	0.879	-0.013	0.090	0.443	-0.138	-0.053	-0.030
Cd	0.325	0.781	-0.127	0.443	-0.158	0.213	0.050	0.004
Cu	0.911	0.194	0.269	-0.172	0.109	0.031	0.001	0.131
Cr	0.834	-0.173	-0.394	0.195	-0.198	-0.154	-0.138	0.005
Hg	0.023	-0.807	0.297	0.396	0.282	0.142	-0.058	0.003
Ni	0.890	-0.271	0.204	0.174	0.033	-0.200	0.140	-0.044
Pb	-0.427	0.314	0.782	0.148	-0.259	-0.126	-0.055	0.006
Zn	0.873	0.130	0.309	-0.286	-0.030	0.173	-0.057	-0.096

Las variables (metales) que se correlacionan más con el primer componente (F1) son el Cu, Cr, Ni y Zn, metales que presentaron las concentraciones máximas en junio; mientras que en el componente 2 (F2) son el As, y Cd y una correlación negativa con el Hg que en el mes de noviembre se detectaron las máximas concentraciones; y por último el plomo en el componente 3 (F3).

Los sitios de muestreo que se relacionan con los metales (variables) detectados en la Bahía Tóbari, en donde se observa que los sitios 4, 5, 7, 8 se encuentran relacionados con los metales Cu, Cr, Ni y Zn; los sitios 9, 10, 11, 12, 13 y 14 con los metales As y Pb; el sitio 6 con Cd; y los sitios 1, 2 y 3 con Hg, zona que se considera acuícola por las granjas de camarón y en donde es importante llevar un seguimiento más detallado, ya que el mercurio puede ser acumulable en los organismos.

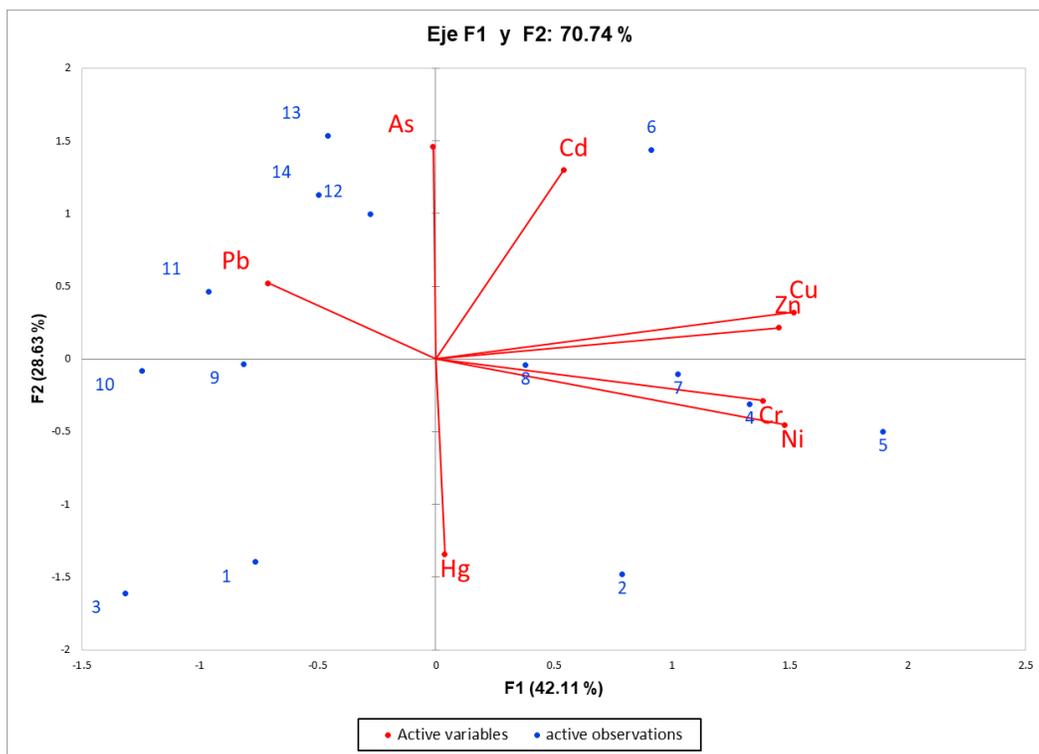


Figura 2-68. Análisis de componentes principales en la Bahía Tóbari para la concentración total de metales en sedimentos.

2.2.3 Organismos

2.2.3.1 Metales

Se colectaron muestras de tres especies de organismos biomonitores en sitios de la laguna Tóbari: las almejas china *Chione gnidia* y pata de mula *Anadara tuberculosa* y el pez lisa adulta *Mugil cephalus*. Los resultados de las concentraciones de metales se muestran en la Tabla 2-41.

Tabla 2-41 Resultados de las concentraciones de metales. en mg/kg (promedio y desviaciones estándar de los tres organismos biomonitores)

Organismos		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Ni	Cr	Pb	Hg
Almeja china <i>Chione gnidia</i>	Promedio	23.32	254.18	5.48	35.00	0.78	1.16	1.27	1.59	3.68
	DE	3.35	41.39	2.44	4.18	0.10	0.16	0.45	0.38	0.64
Almeja pata de mula <i>Anadara tuberculosa</i>	Promedio	28.09	1220.42	32.16	40.68	1.08	1.58	1.91	1.87	2.20
	DE	1.46	293.63	16.16	7.60	0.09	0.14	0.16	0.10	0.33
Lisa adulta <i>Mugil cephalus</i>	Promedio	24.15	1065.37	39.72	29.13	0.79	0.72	0.80	1.61	1.67
	DE	3.59	285.74	9.93	1.97	0.09	0.25	0.27	0.24	0.24

Se colectaron muestras de tres especies de organismos biomonitores en sitios de la laguna Tóbari: las almejas china *Chione gnidia* y pata de mula *Anadara tuberculosa* y el pez lisa adulta *Mugil cephalus*. Los resultados de las concentraciones de metales se muestran en la Tabla 2-42.

Tabla 2-42 Resultados de metales en almeja y lisa muestreo noviembre 2017

		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Ni	Cr	Pb	Hg
		Nov 17								
Almeja china <i>Chione gnidia</i>	Prome	17.	160.	8.5	63.	0.	1.	1.	1.	1.
	dio	95	31	5	35	80	04	22	14	30
	DE	1.4	33.7	2.8	12.	0.	0.	0.	0.	0.
		3	9	7	44	09	19	16	08	20
Almeja pata de mula <i>Anadara tuberculosa</i>	Prome	21.	1905	82.	65.	1.	1.	1.	1.	1.
	dio	01	.17	50	51	18	29	63	24	75
	DE	1.7	412.	27.	7.4	0.	0.	0.	0.	0.
		3	24	13	7	04	06	09	05	14
Lisa adulta <i>Mugil cephalus</i>	Prome	16.	966.	74.	72.	1.	0.	0.	1.	0.
	dio	48	02	43	44	04	89	65	15	92
	DE	1.5	189.	24.	15.	0.	0.	0.	0.	0.
		8	33	36	35	08	09	08	07	12

Por lo que respecta a los organismos que se colectaron y realizaron los análisis de metales pesados, en México existe la norma NOM-242-SSA1-2009, referente a Productos y servicios.



Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba (DOF, 2011).

Las concentraciones para metales pesados se presentan en la Tabla 2-43 y corresponden a las especificaciones sanitarias del apartado 7.1.8 sobre metales pesados de productos frescos, refrigerados y congelados (parte comestible) con los límites máximos.

Tabla 2-43 Especificaciones de metales pesados en organismos

Especificación	Especie	Límite máximo
Arsénico total	Crustáceos y Moluscos bivalvos	80 mg/kg
Cadmio (Cd)	Moluscos	2,0 mg/kg
	Otras	0,5 mg/kg
Metilmercurio	Pescados como atún, marlín, mero, y bonito	1,0 mg/kg
	Otras	0,5 mg/kg
Plomo (Pb)	Pescados y crustáceos	0,5 mg/kg
	Moluscos	1 mg/kg

De la Tabla 2-43, las concentraciones máximas de Cadmio y Plomo son con las que se comparan los resultados obtenidos (Figura 2-69). Las concentraciones de Cadmio de los moluscos como las almejas china *Chione gnidia* y pata de mula *Anadara tuberculosa* se encontraron por abajo del límite máximo de 2 mg/kg, en los dos meses; mientras que para el pescado lisa *Mugil cephalus*, en los dos meses se detectaron concentraciones por arriba de 0.5 mg/kg.

Para los límites máximos de plomo, en los tres organismos se detectaron concentraciones por arriba de 0.5 mg/kg en pescado y de 1.0 mg/kg en moluscos.

Por lo anterior la detección de los metales Cadmio y Plomo puede ser un riesgo potencial para los consumidores de estos productos pesqueros.

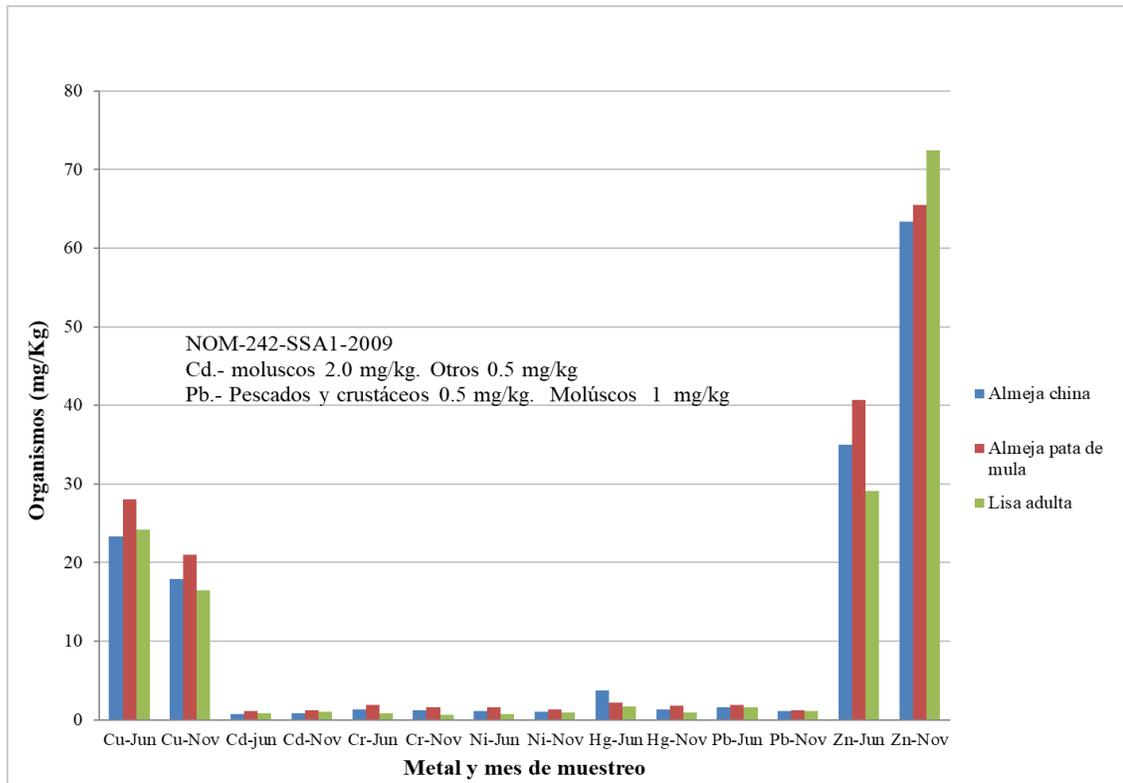


Figura 2-69 Concentraciones de metales pesados en organismos capturados en la Laguna Tóbari

En el Estudio de Calidad Nacional de Sedimentos realizado por la EPA, 2000, en su Apéndice D, incluyen unas Guías de la *Food and Drug Administration* (FDA) de niveles tolerables de metales en tejidos de peces; para el mercurio es 1.0 mg/kg, Cromo 11 mg/kg y Níquel 70 mg/kg.

De los tres metales únicamente la concentración de 1 mg/kg de mercurio se sobrepasa tanto para las almejas como para el pescado, por lo que puede ser también un riesgo potencial para los consumidores del producto.

2.3 Distribución de carga contaminación respecto arsénico, COT, Cromo, Plomo, Sólidos Disueltos Totales y Zn.

Siendo TD8, AR-16-9, AR-16-10, AR-16-13. Y AR-16-15 los puntos con mayor cantidad de arsénico en un rango de concentración en unidades de kg/d, Figura 2-70.

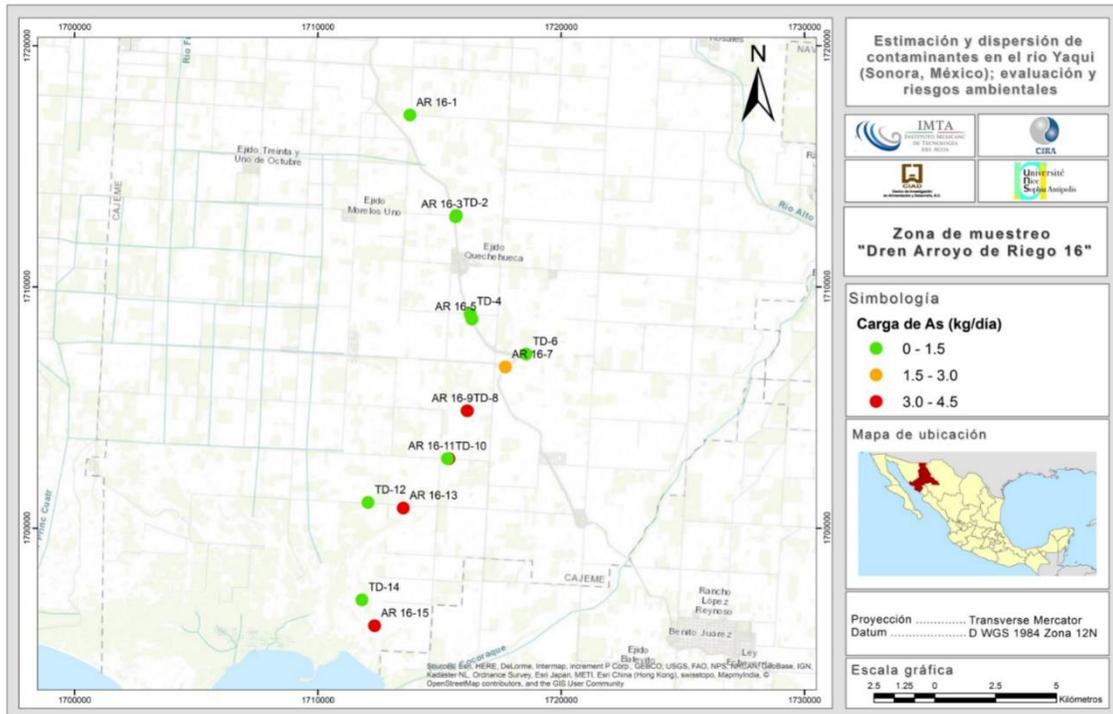


Figura 2-70 Distribución de carga respecto arsénico

En cuanto a COT los puntos TD2, AR-16-3 y AR-16-15 son los puntos con mayor cantidad en un rango de concentración en unidades de kg/d respecto al valor obtenido de carga orgánica, esto se le atribuye a descargas de agua residual porcícola en los puntos TD2, AR-16-3, Figura 2-71.

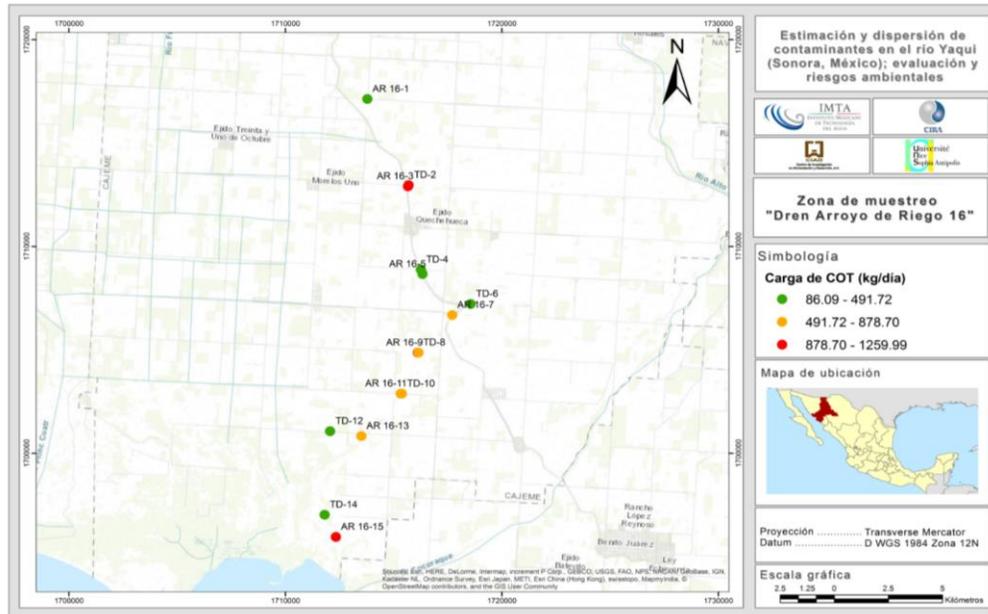


Figura 2-71 Distribución de carga respecto a COT

Para Cromo se muestran las mayores concentraciones en los puntos TD4, TD-12 y AR-16-13 en un rango de concentración en unidades de kg/d, Figura 2-72.

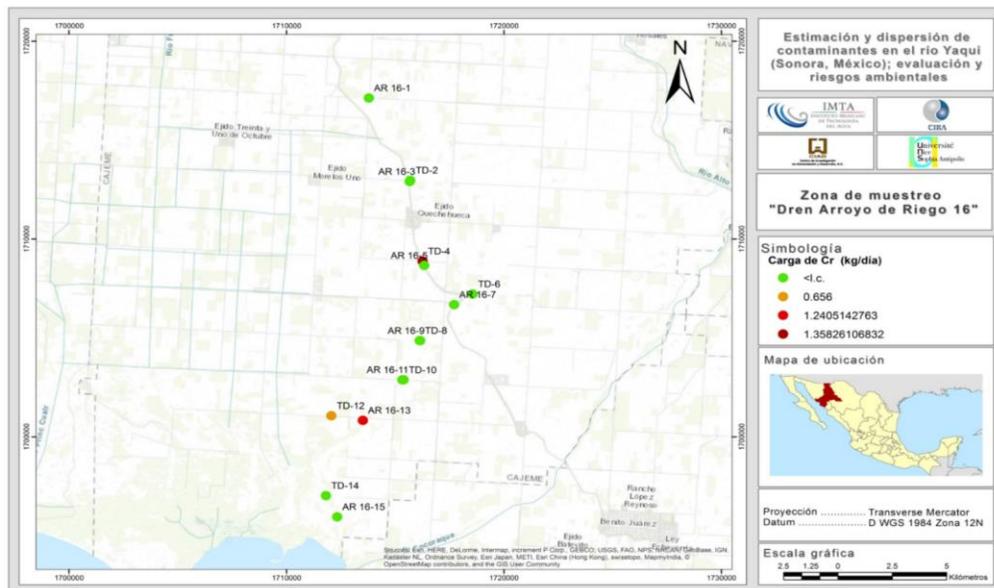


Figura 2-72 Distribución de carga respecto Cromo

En cuanto a Cobre los puntos TD2, AR-16-5, AR-16-7 y TD8 son los puntos con mayor cantidad en un rango de concentración en unidades de kg/d respecto al valor obtenido de carga orgánica, Figura 2-73.

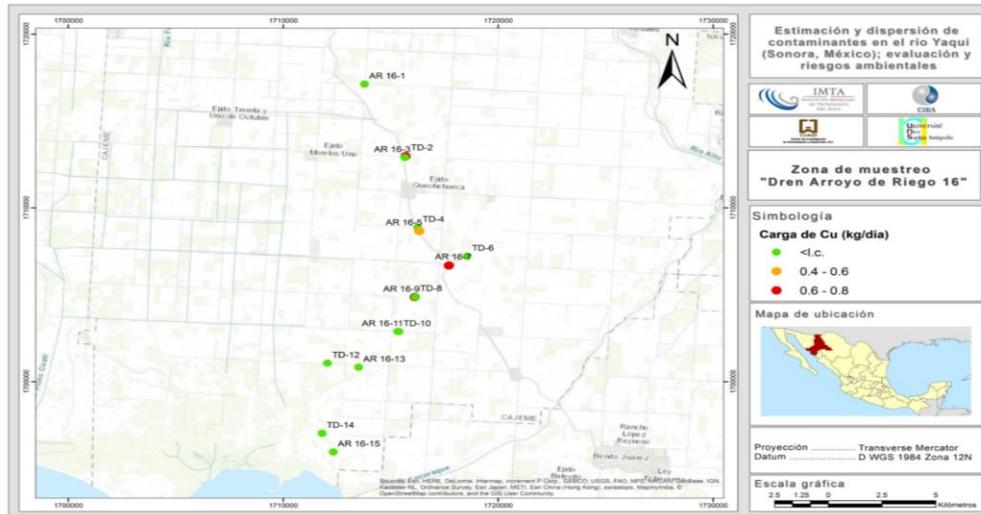


Figura 2-73 Distribución de carga respecto Cobre

Respecto a Plomo los puntos AR-16-5, TD-6, AR-16-7, TD-10, AR-16-11 y TD-10 son los puntos con mayor cantidad en un rango de concentración en unidades de kg/d respecto al valor obtenido de carga, Figura 2-74.

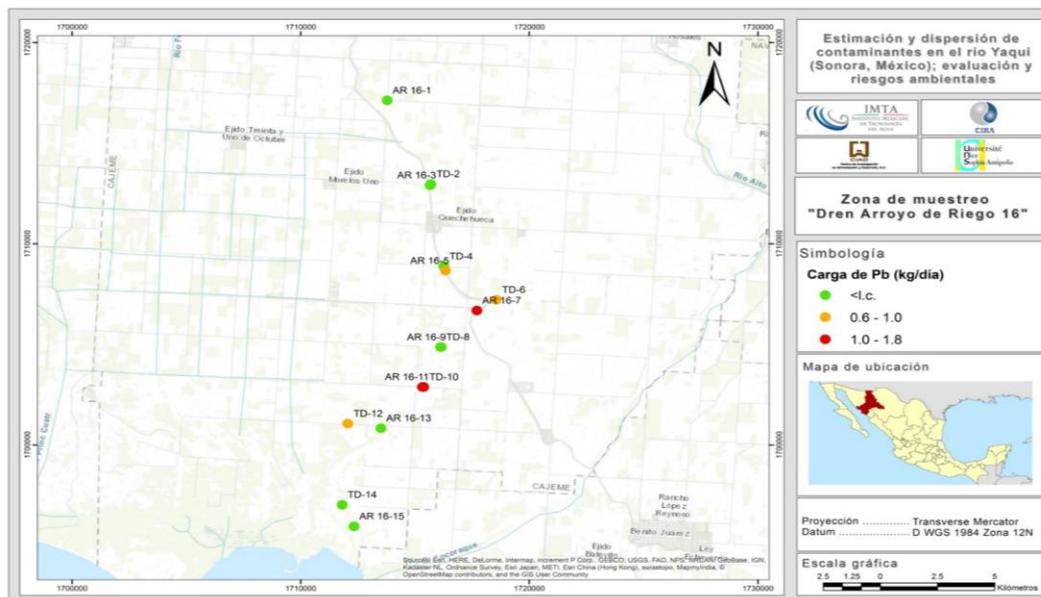


Figura 2-74 Distribución de carga respecto arsénico Plomo

Respecto a SDT los puntos TD-14 y AR-16-15 son los puntos con mayor cantidad en un rango de concentración en unidades de kg/d respecto al valor obtenido de carga, Figura 2-75.

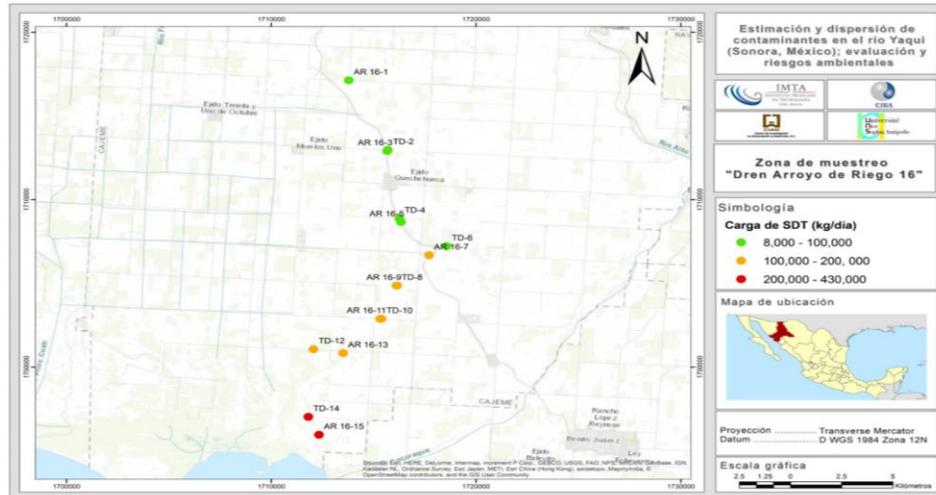


Figura 2-75 Distribución de carga respecto Sólidos Disueltos Totales

En cuanto a Zn los puntos TD-2, AR-16-3, TD-4 y AR-16-5 son los puntos con mayor cantidad en un rango de concentración en unidades de kg/d respecto al valor obtenido de carga Figura 2-76.

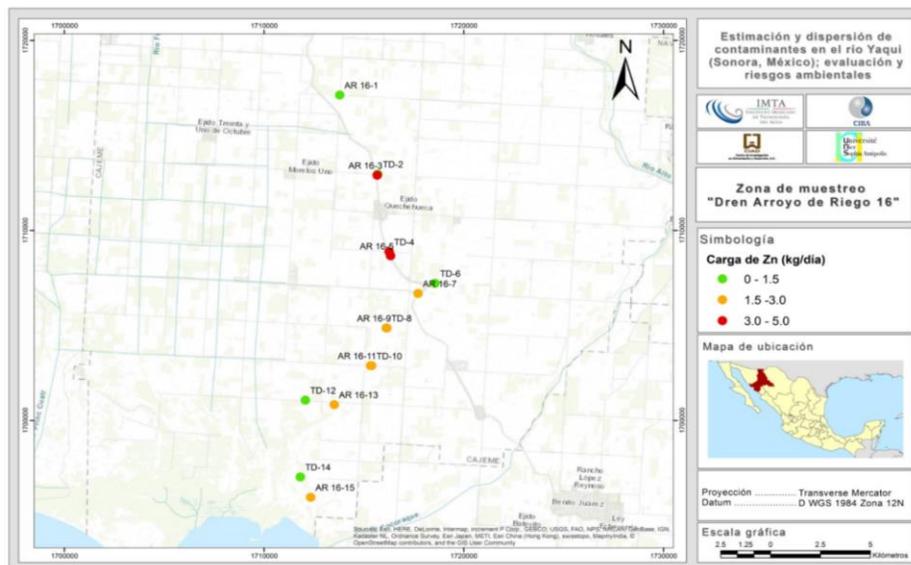


Figura 2-76 Distribución de carga respecto a Zn.



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

CAPÍTULO 3

REPORTE DE AFORO EN DRENES

Realizado por:

Dr. Ariosto Aguilar Chávez

M.I. Ángel Mendoza González

3 REPORTE DE AFORO EN DRENES

3.1 Puntos de aforo y resultados, noviembre 2017

3.1.1 Puntos de aforo

Los puntos donde se llevó a cabo el aforo se describen en la Tabla 3-1 y se visualizan en el mapa de la Figura 3-1.

Tabla 3-1. Puntos de aforo

Identificador	Localización		Fecha día/mes/año	Salinidad (PSU)
	Latitud	Longitud		
AR-16-1	27°19'4.00" N	109°57'16.00" O	27/11/2017	0.51
AR-16-3	27°15'45.41" N	109°56'58.98" O	27/11/2017	0.71
AR-16-5	27°14'32.50" N	109°56'35.30" O	28/11/2017	0.88
AR-16-7	27°13'34.20" N	109°55'49.70" O	28/11/2017	0.94
AR-16-9	27°12'28.40" N	109°56'34.00" O	28/11/2017	1.04
AR-16-11	27°11'21.50" N	109°57'1.30" O	28/11/2017	1.25
AR-16-13	27°10'16.30" N	109°58'3.40" O	29/11/2017	1.46
AR-16-15	27° 7'32.10" N	109°58'34.70" O	29/11/2017	2.43

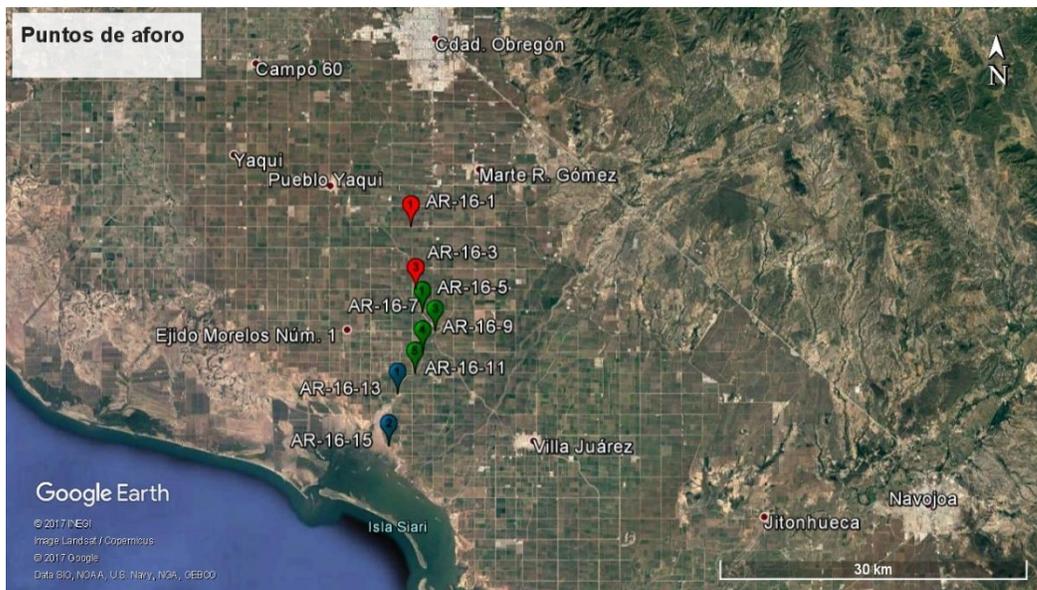


Figura 3-1. Mapa de puntos de aforo



En la Figura 3-1 los colores de los marcadores hacen referencia al día del aforo, rojo para el 27 de noviembre, verde para el 28 de noviembre y azul para el 29 de noviembre; el número indica el orden en que se llevaron a cabo.

3.1.2 Resultados

Los aforos se llevaron a cabo con un equipo perfilador de corriente acústico de efecto Doppler, ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) RiverSurveyor-M9 de SonTek®. Los datos obtenidos se analizaron con el software RiverSurveyor Live™ proporcionado por SonTek®.

3.1.2.1 Punto AR-16-1

En el punto de aforo AR-16-1 se realizaron tres mediciones con el objetivo de obtener un valor promedio del caudal, los resultados se presentan en la Tabla 3-2 y se visualizan en la Figura 3-2.

Tabla 3-2. Resultados en punto de aforo AR-16-1

Identificador	Hora	Temperatura	Área Sección transversal [m ²]	Velocidad [m/s]	Caudal [m ³ /s]
Aforo 01	14:06:28	28.6	0.899	0.248	0.223
Aforo 02	14:08:24	28.4	0.971	0.185	0.180
Aforo 03	14:09:35	28.3	0.997	0.173	0.172
	Media	28.4	0.955	0.202	0.192
	Desviación estándar	0.1	0.042	0.033	0.022

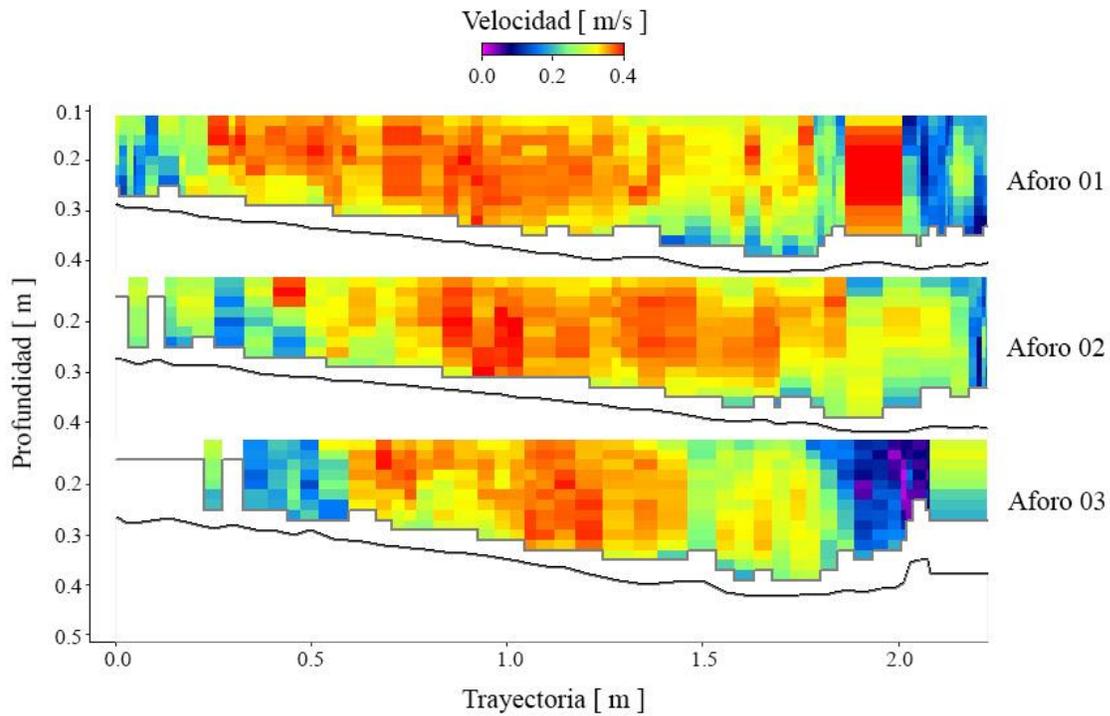


Figura 3-2. Resultados en punto de aforo AR-16-1

3.1.2.2 Punto AR-1-3

Las tres mediciones que se realizaron en el punto de aforo AR-16-3 se presentan en la Tabla 3-3 y se visualizan en la Figura 3-3. En este punto de aforo se presentaron inconsistencias en la medición de velocidad cercana al fondo y en partes de baja profundidad debido a la presencia de vegetación en el fondo.

Tabla 3-3. Resultados en punto de aforo AR-16-3

Identificador	Hora	Temperatura	Área Sección transversal [m ²]	Velocidad [m/s]	Caudal [m ³ /s]
Aforo 01	15:50:01	28.5	1.461	0.672	0.981
Aforo 02	15:55:43	28.0	1.249	0.793	0.990
Aforo 03	15:57:04	27.9	1.758	0.496	0.872
	Media	28.2	1.489	0.654	0.948

Desviación n estándar	0.3	0.209	0.122	0.054
-----------------------------	-----	-------	-------	-------

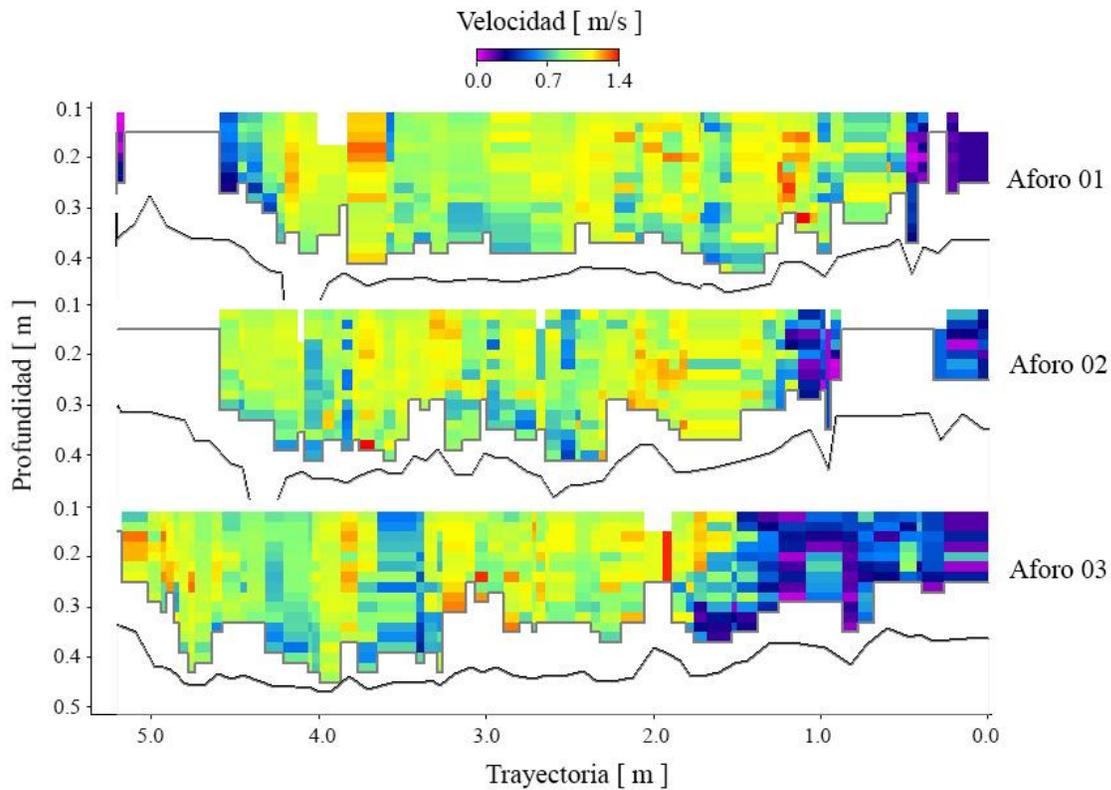


Figura 3-3. Resultados en punto de aforo AR-16-3

En los aforos 01 y 02 del punto AR-16-3 (Figura 3-3) se aprecian las inconsistencias de medición de la velocidad, sin embargo, el resultado se ve optimizado con la función automática de extrapolación de valores que contiene el software RiverSurveyor Live™.

3.1.2.3 Punto AR-1-5

Las tres mediciones que se realizaron en el punto de aforo AR-16-5 se presentan en la Tabla 3-4 y se visualizan en la Figura 3-4.

Tabla 3-4. Resultados en punto de aforo AR-16-5

Identificador	Hora	Temperatura	Área Sección transversal [m ²]	Velocidad [m/s]	Caudal [m ³ /s]
Aforo 01	11:45:50	21.3	2.154	0.343	0.738
Aforo 02	11:47:33	21.4	2.053	0.359	0.736
Aforo 03	11:49:36	21.4	2.019	0.347	0.701
	Media	21.4	2.075	0.349	0.725
	Desviación estándar	0.0	0.057	0.007	0.017

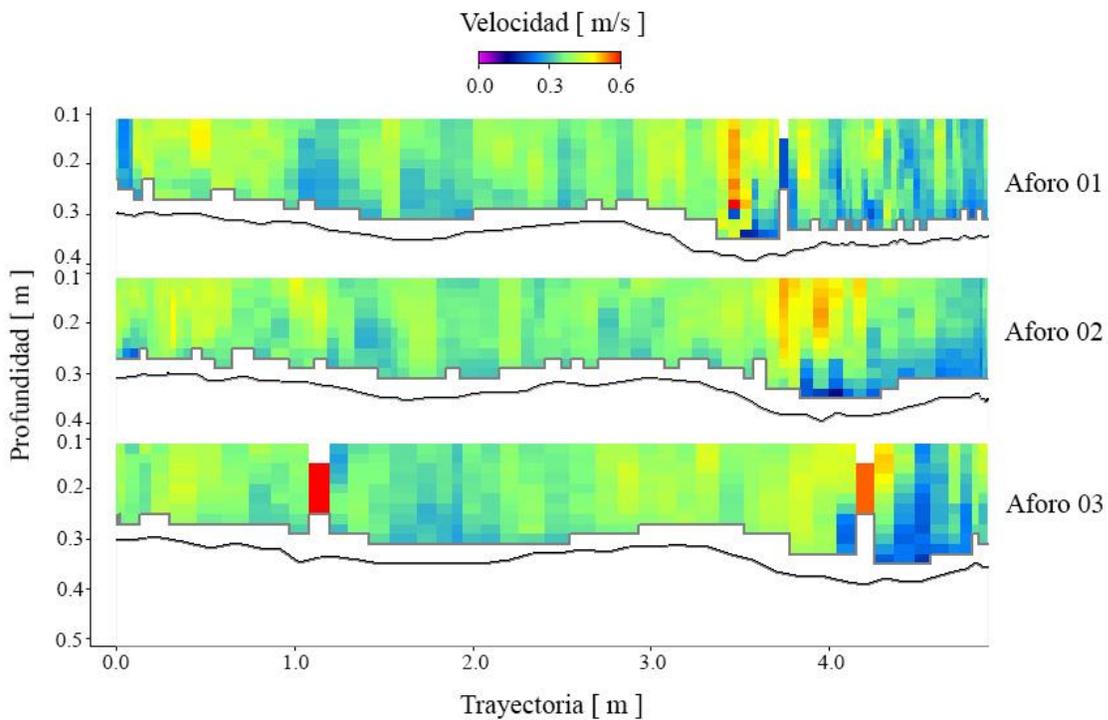


Figura 3-4. Resultados en punto de aforo AR-16-5

3.1.2.4 Punto AR-16-7

En el punto AR-16-7 únicamente se realizaron dos aforos por las condiciones de la zona de medición, estos se presentan en la Tabla 3-5 y se visualizan en la Figura 3-5.

Tabla 3-5. Resultados en punto de aforo AR-16-7

Identificador	Hora	Temperatura	Área Sección transversal [m ²]	Velocidad [m/s]	Caudal [m ³ /s]
Aforo 01	13:40:03	24.4	2.785	0.482	1.341
Aforo 02	13:41:59	24.3	3.028	0.480	1.453
	Media	24.35	2.906	0.481	1.397
	Desviación estándar	0.0	0.122	0.001	0.056

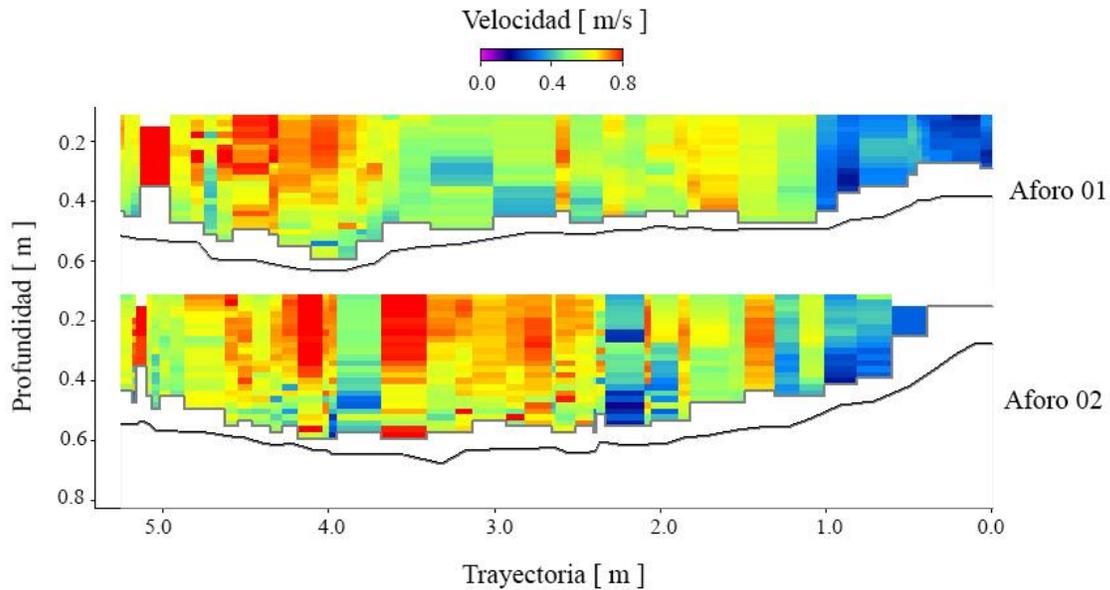


Figura 3-5. Resultados en punto de aforo AR-16-7



3.1.2.5 Punto AR-16-9

Las condición de la zona de medición en el punto AR-16-9 permitió realizar dos aforos únicamente, estos se presentan en la Tabla 3-6 y se visualizan en la Figura 3-6.

Tabla 3-6. Resultados en punto de aforo AR-16-9

Identificador	Hora	Temperatura	Área Sección transversal [m ²]	Velocidad [m/s]	Caudal [m ³ /s]
Aforo 01	14:49:55	26.4	2.008	0.572	1.148
Aforo 02	14:58:19	25.9	1.634	0.823	1.345
	Media	26.2	1.821	0.697	1.246
	Desviación estándar	0.3	0.187	0.177	0.139

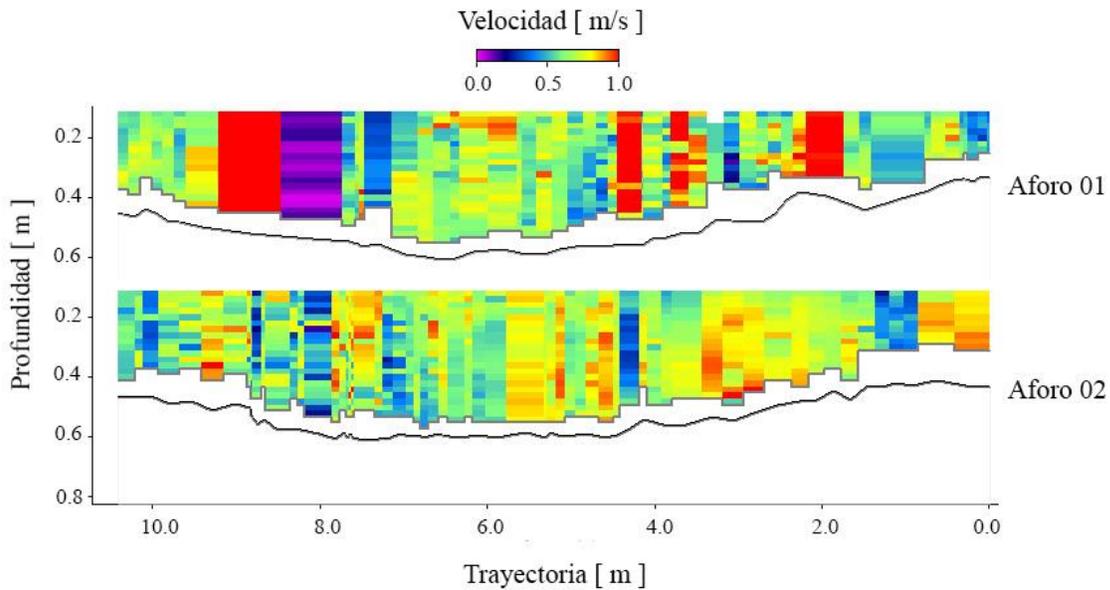


Figura 3-6. Resultados en punto de aforo AR-16-9

3.1.2.6 Punto AR-16-11

Las dos mediciones del punto AR-16-11 se presentan en la Tabla 3-7 y se visualizan en la Figura 3-7.

Tabla 3-7. Resultados en punto de aforo AR-16-11

Identificador	Hora	Temperatura	Área Sección transversal [m ²]	Velocidad [m/s]	Caudal [m ³ /s]
Aforo 01	16:39:35	26.8	2.586	0.410	1.061
Aforo 02	16:47:03	26.5	2.771	0.354	0.980
	Media	26.6	2.678	0.382	1.020

	Desviación estándar	0.2	0.092	0.039	0.057
--	---------------------	-----	-------	-------	-------

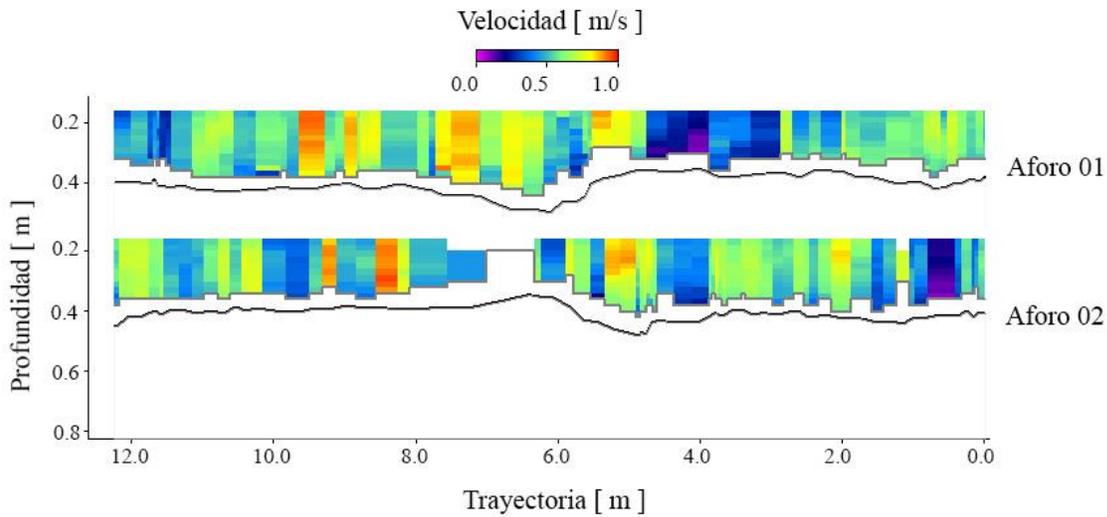


Figura 3-7. Resultados en punto de aforo AR-16-11

3.1.2.7 Punto AR-16-13

Para el aforo del punto AR-16-13 se utilizó el método estacionario que esta incluido en el software RiverSurveyorStationary Live™ de SonTek®. Lo anterior a causa de la vegetación del fondo del cauce, que evito una correcta emisión y recepción de ping del equipo ADCP. Los resultados se presentan en la Tabla 3-8 y se visualizan en la Figura 3-8.

Tabla 3-8. Resultados en punto de aforo AR-16-13

Identificador	Hora	Temperatura	Área Sección transversal	Velocidad [m/s]	Caudal [m ³ /s]
---------------	------	-------------	--------------------------	-------------------	------------------------------

			[m ²]		
Aforo 01	11:50:49	21.9	2.759	0.552	1.523

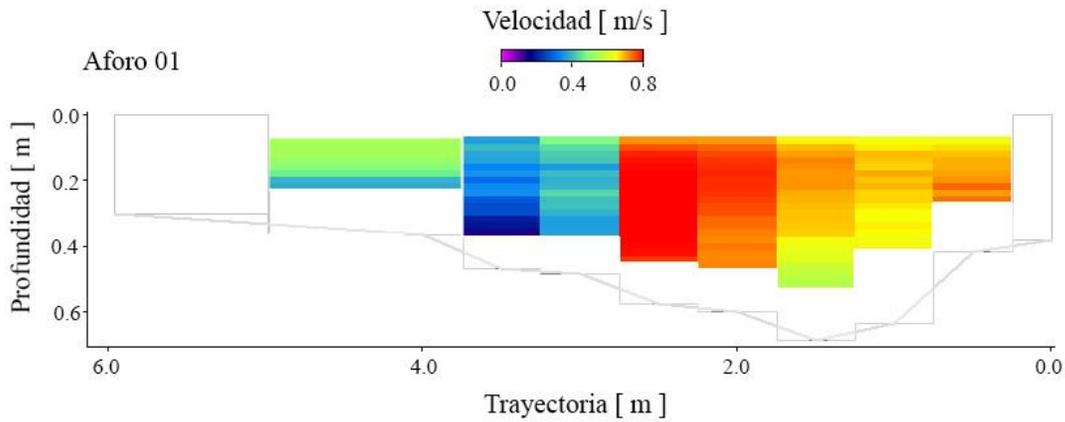


Figura 3-8. Resultados en punto de aforo AR-16-13

3.1.2.8 Punto AR-16-15

Las tres mediciones que se realizaron en el punto de aforo AR-16-15 se presentan en la Tabla 3-4 y se visualizan en la Figura 3-4.

Tabla 3-9. Resultados en punto de aforo AR-16-15

Identificador	Hora	Temperatura	Área Sección transversal [m ²]	Velocidad [m/s]	Caudal [m ³ /s]
Aforo 01	15:23:18	26.2	4.299	0.454	1.953
Aforo 02	15:24:51	26.1	5.240	0.414	2.171
Aforo 03	15:27:40	26.0	3.701	0.644	2.382

	Media	26.1	4.414	0.504	2.169
	Desviación estándar	0.1	0.633	0.100	0.175

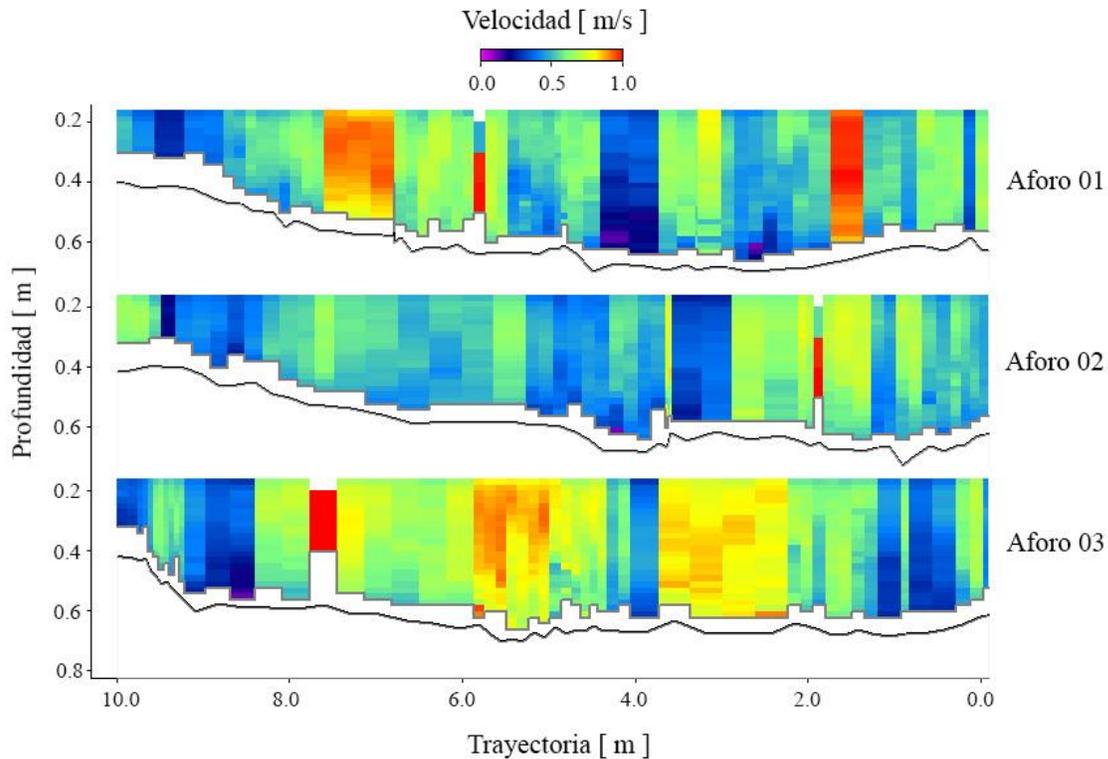


Figura 3-9. Resultados en punto de aforo AR-16-15

3.2 Hidrodinámica

Durante la búsqueda bibliográfica se tienen reportados por diferentes autores modelaciones hidrodinámicas de la laguna y están principalmente relacionado con las propuestas de dragados de la laguna en 2008 y que fueron aplicados en el 2013.

Para generar un escenario de mejoramiento lagunar se realizó por parte de SAGARPA en 2008, la aplicación de un modelo numérico, que considera el estado de la laguna con el piedraplen de comunicación, la batimetría de esa época y las condiciones de forzante de marea. A este escenario se

incorporó la condición de flujo sin el piedraplen y le mejoramiento de la circulación incluyendo un dragado de canales en la parte interna de la laguna.

En el resultado de la modelación se observa que la batimetría de la zona de estudio abarcó la zona de interacción de las bocas, y el frente costero, los cuerpos principales de agua, desembocadura y zonas Intermareales, observándose que en general la zona de estudio es somera, con profundidades menores a 1.50 metros y en las bocas con su área de influencia se presentan elevadas profundidades y así mismo la boca sur es donde se presentan las máximas (SAGARPA 2008)

En un estudio previo realizado por Ingeniería Integral S.A. de C.V. en 2008, consideró para las simulaciones hidrodinámicas con canales interiores de 35 metros de ancho de plantilla, talud 3:1 y una profundidad de 2.5 y se incorporaron canales en las bocas con anchos de plantilla de 70 metros, pendiente 3:1 y profundidades de 3 metros, la modelación incluyó los flujos en los canales y la modelación de la salinidad afectada por la hidrodinámica, y los resultados se muestran a continuación.

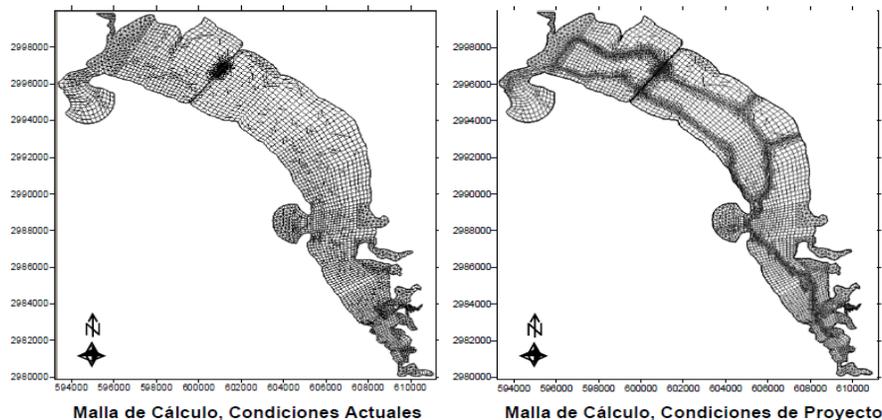


Figura 3-10. Malla de Análisis incluyendo dragados y pedraplén

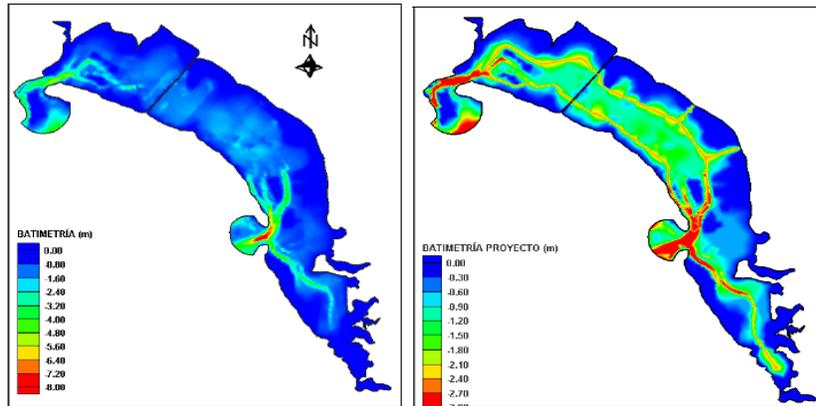


Figura 3-11 Simulación Hidrodinámica con Batimetría

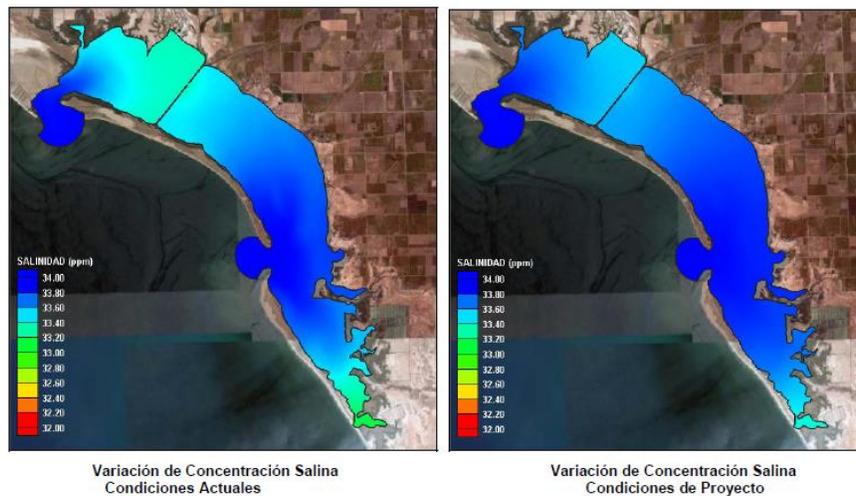


Figura 3-12 Simulación de Salinidad

3.3 Mareas

Las características principales de la marea del golfo de california según el departamento de Oceanografía Física CICESSE (S.G. Marinone y M.F. Lavín, 1997) son:

- Es Producida por co-oscilacion con el océano pacifico
- Se amplifica considerablemente de la boca a la cabeza del golfo
- Los componentes semidiurnos tienen un punto anfidrómico virtual a la altura de santa Rosalia B.C
- Es mixta, principalmente semidiurna, excepto en la región central donde es principalmente diurna

El régimen de mareas dominante en la zona es considerado mixto semidiurno la Figura 3.15, muestran los datos de marea de las estaciones mareo gráficas próximas de Guaymas y Yavaros, Sonora. En esta porción del golfo de California la variación de la marea está registrada entre 80 y 120 cm

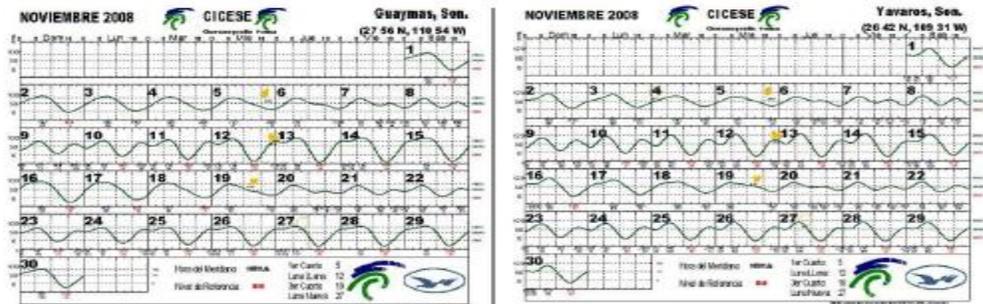


Figura 3-13 Programa MAR CICESE 2008 Pronostico de Mareas de la Zona de Estudio 2008 Específicamente para la bahía de Tóbari, en el año 2000, Cruz et al, realizaron observaciones de campo revelando que la onda de marea se presentó primero en la boca sur y sus amplitudes de marea son mayores que en la boca norte. Asimismo, el retardo de marea registrado por los instrumentos es de 35 hasta 55 min para las mareas diurnas y de 36 hasta 25 min para las mareas semiduras. Esto ocasiona una diferencia de nivel del mar entre ambos cuerpos. En la Boca Sur se presentaron velocidades de la corriente con valores de 22 cm/s, mientras que en la norte 18 cm/s. (GS Ingeniería Integral, S.A de C.V., 2008)

La hora medición de los flujos de salida de la laguna están en función de la marea, entonces la fecha y hora para realizar esta actividad los definen las tablas de marea. En la laguna del Tobarí no existe una boya para medir la marea, pero se tiene registros cercanos en la Bahía de Guaymas y Yávaros.

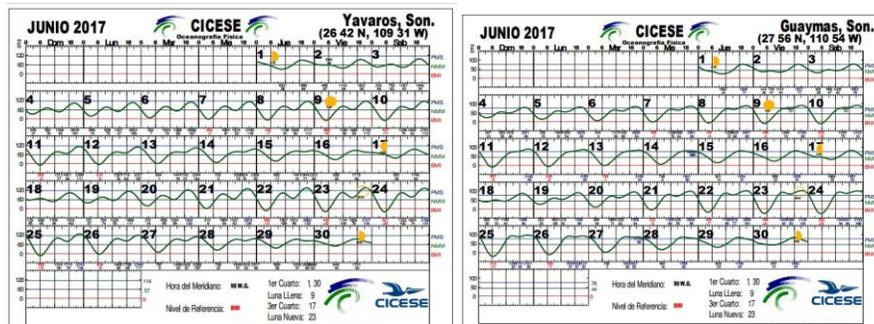


Figura 3-14 Tabla de Mareas Laguna de Yavaros y Guaymas Fecha: junio 2017

Como se puede observar en el periodo más adecuado para realizar la evaluación del funcionamiento hidrodinámico de la laguna del Tóbari, es el comprendido entre el 23 al 28 de junio de 2017.

En la Figura 3-15 se ilustra las bocas Norte y Sur donde se presenta la interacción de las mareas, donde se espera que la velocidad máxima se presenta aproximadamente a la 1:30 am.

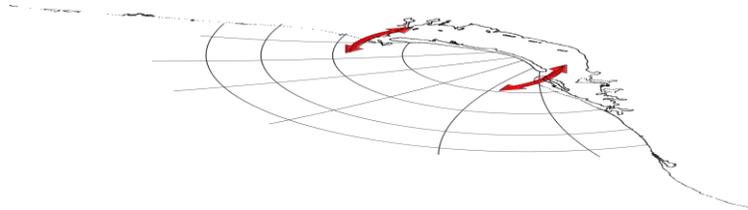


Figura 3-15 Figura Esquemática donde se produce la interacción de las aguas internas de la laguna con la marea



Figura 3-16 Variación del Nivel de las aguas

3.4 Modelo hidrodinámico y determinación del campo de masa

3.4.1 Formulación

Los modelos discretos permiten solucionar en forma aproximada las formulaciones matemáticas continuas, para condiciones de fronteras sofisticadas o complejas, y también para problemas que contengan términos no lineales



Las metodologías más usuales que se reportan en la literatura para construir un modelo discreto (aproximado) de un problema diferencial son:

- Método de las características, se sigue en un plano característico las trayectorias o líneas en como viaja la información y después se genera un modelo discreto (puede ser en diferencias finitas o de residuos pesados) para calcular las propiedades de las variables dependientes.
- Método de diferencias finitas, tomando una expansión en Taylor sobre las variables dependientes se genera un modelo discreto, a este modelo se adicionan los valores de condición inicial y de frontera (también en forma discreta)
- Método de elemento finito, este método utiliza primero una formulación balanceada en el grado de las derivadas espaciales (conocida como formulación débil del sistema continuo), posteriormente se aplica un método semi-integral para tener un modelo de aproximación que es pesado sobre un subconjunto (o elemento finito) y finalmente a la formulación pesada se genera un modelo en diferencias sobre los términos temporales. Este método es muy utilizado para problemas en dos dimensiones espaciales como son los casos de flujo para aguas someras (lagos, estuarios o circulación marítima de mesoescala), también es utilizado para flujos en medios porosos saturados y no saturados.
- Método de volumen finito, a la formulación continua se aplica una integral sobre un volumen finito, con el fin de evaluar los flujos en la frontera y las propiedades dentro del volumen integral (teorema de Stokes), a este modelo integral se construye un modelo de aproximación para cada propiedad intensiva (masa, energía o cantidad de movimiento). Los modelos de volumen finito son aplicados principalmente a la solución de las ecuaciones generales de la mecánica de fluidos (CFD, computational fluid dynamics).

El software DELFT3D resuelve las ecuaciones de Navier Stokes para un fluido incompresible, bajo los supuestos de aguas someras y las suposiciones Boussinesq, en la ecuación de momentum vertical las aceleraciones verticales no son tomadas en cuenta lo que lleva a la ecuación de presión hidrostática. Para modelos 3D las velocidades verticales son calculadas a partir de la ecuación de continuidad. El conjunto de ecuaciones parciales con el conjunto de condiciones iniciales y de frontera se resuelven utilizando un esquema de diferencias finitas en una malla.

El sistema Delft-3D tiene dos formas para generar las mallas y son:

Coordenadas cartesianas (ξ, η) y esféricas (λ, ϕ) .

.....

Los límites de un río, un estuario o un mar costero son, en general curvados y no están representados uniformemente en una cuadrícula rectangular. El límite se vuelve irregular y puede introducir errores de discretización significativos. Para reducir estos errores, se usan coordenadas curvilíneas ortogonales adaptadas a los límites. Las coordenadas curvilíneas también permiten el refinamiento de la cuadrícula local en áreas con grandes gradientes horizontales.

En Delft3D, las ecuaciones están formuladas en coordenadas curvilíneas ortogonales. La escala de velocidad está en el espacio físico, pero los componentes son perpendiculares a las caras de las celdas de la rejilla curvilínea. La transformación de cuadrícula introduce términos de curvatura en las ecuaciones de movimiento.

En la dirección vertical, Delft3D-FLOW ofrece dos sistemas de grillas verticales diferentes: las coordenadas σ sistema (modelo σ) y el sistema cartesiano Z de coordenadas (modelo Z). Las ecuaciones hidrodinámicas descritas en esta sección son válidas para el sistema de coordenadas σ . Las ecuaciones para el sistema de coordenadas Z son similares.

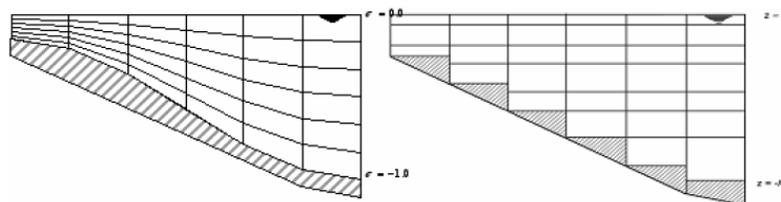


Figura 3-17 Esquema de la malla tipo σ (derecha) y malla tipo Z (izquierda), imagen de Manual Deltares (2013a)

Los modelos de circulación que incluyen fenómenos de transporte (temperatura y salinidad) que se han implementado en el Caribe, utilizan mallas tipo Z ya que estas brindan mayor estabilidad al

compararlas con mallas tipo σ , en zonas costeras con flujo estratificado y cambios batimétricos pronunciados (Stelling y Kester, 1994), sin embargo, el uso de estas mallas no permite considerar la interacción entre el oleaje y las corrientes. Pero considerando que los efectos de la interacción oleaje y corrientes resultan significativos (Ruiz, 2015).

Ecuaciones de la Hidrodinámica:

Las ecuaciones fundamentales de la hidrodinámica, se denominan ecuaciones de NavierStokes (NS). Estas ecuaciones, nos permiten describir el movimiento de un fluido y se pueden obtener a partir de la segunda ley de Newton, la cual expresa que la variación de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la sumatoria de las fuerzas externas que actúan sobre el mismo.

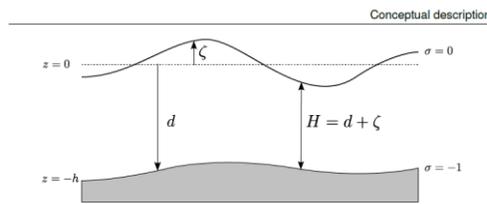


Figura 3-18 Definición del Nivel Aguas ζ , Profundidad h y profundidad Total H

Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad promediada en profundidad se obtiene mediante la integración de la ecuación de continuidad para fluidos incompresibles ($\nabla \cdot \vec{u} = 0$) sobre la profundidad total, teniendo en cuenta la cinemática condiciones de frontera en la superficie del agua y el nivel del lecho, y está dada por:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial x} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial y} = (d + \zeta)Q \quad (1)$$

Donde $\sqrt{G_{\xi\xi}}$, es el coeficiente para transformar coordenadas curvilíneas a rectangulares; $\sqrt{G_{\eta\eta}}$, Coeficiente para transformar coordenadas rectangulares a rectangulares; ζ , nivel del agua o datum, y ξ, η , coordenadas horizontales curvilíneas.

Con U y V definidas como las velocidades promediadas para la velocidad.

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_d^{\zeta} u \, dz = \int_{-1}^0 u \, d\sigma \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_d^{\zeta} v \, dz = \int_{-1}^0 v \, d\sigma \quad (3)$$

y Q representa las contribuciones por unidad de área debido a la descarga o extracción de agua, precipitación y evaporación:

$$Q = \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad (4)$$

con q_{in} y q_{out} las fuentes locales y sumideros de agua por unidad de volumen [1 / s], respectivamente, P el término fuente no local de precipitación y el término E sumidero no local debido a la evaporación. Observamos que la entrada de, por ejemplo, una central eléctrica es una extracción de agua y debe modelarse como un sumidero. En la superficie libre puede haber una fuente debido a la precipitación o un sumidero debido a la evaporación.

Momentum en dirección Horizontal

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - f v \\ = - \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} + F_{\xi} + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + M_{\xi} \end{aligned} \quad (5)$$

Momentum en dirección vertical

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + fv \\ = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_\eta \end{aligned}$$

(6)

νv = Coeficiente de remolino viscoso en la direccion

P_ξ y P_η = Gradientes de Presion

F_ξ y F_η = Balances en los esfuerzos de Reynolds

M_ξ y M_η = Contribuciones de fuentes externas (olas, entradas o salidas de agua, estructuras hidraulicas)

3.5 Modelo de transporte

Los fenómenos de transporte son modelados mediante la ecuación de advección - difusión la cual se presenta. Se incluyen términos fuentes y de pérdidas que permiten simular entradas y salidas de flujos, también pueden incluirse procesos de degeneración de primer orden.

Ecuación de Transporte

$$\begin{aligned} \frac{\partial (d + \zeta)c}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial [\sqrt{G_{\eta\eta}}(d + \zeta)UC]}{\partial \xi} + \frac{\partial [\sqrt{G_{\xi\xi}}(d + \zeta)VC]}{\partial \eta} \right\} + \frac{\partial \omega c}{\partial \sigma} \\ = \frac{d + \zeta}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial c}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial c}{\partial \eta} \right) \right\} + \frac{1}{d + \zeta} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(D_v \frac{\partial c}{\partial \sigma} \right) - \lambda_d (d + \zeta)c \\ + S \end{aligned}$$

(7)

c = concentracion de masa

D_H = coeficiente de difucion Horizontal

D_V = coeficiente de difucion Vertical

V = Velocidad Vertical (m/s)



$\lambda_d = \text{procesos de degeneración de primer orden}$

$$S = (d + \zeta)(q_{inc} - q_{out}) + Q_{tot} \text{ fuentes y pérdidas por unidad de área}$$

Las formulaciones matemáticas del modelo 3D para flujo y transporte de aguas someras que se han presentado para resolver las ecuaciones diferenciales parciales las ecuaciones debe transformarse en el espacio discreto.

Malla (Espacio Discreto)

El método numérico de Delft3D-FLOW se basa en diferencias finitas. Para discretizar las Ecuaciones 3D de aguas someras en el espacio, el área modelo es cubierto por una cuadrícula curvilínea. Es asumido que la cuadrícula es ortogonal y está bien estructurada, ver Ilustración 14.

Las coordenadas de la cuadrícula se pueden definir en un sistema de coordenadas cartesianas o esféricas. En ambos casos, una rejilla curvilínea (RGFGRID), o un archivo con una rejilla curvilínea coordinada en el espacio físico tiene que ser provisto.

La transformación de cuadrícula numérica se conoce implícitamente mediante el mapeo de las coordenadas de los vértices de la cuadrícula del espacio físico al computacional. Las cantidades geométricas $\sqrt{G_{\xi\xi}}$ y $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ introducido en las ecuaciones transformadas (6) y (7), tienen que ser discretizadas en la rejilla computacional.

Las variables principales nivel de agua y velocidad (u, v, w) describen el flujo. Para discretizar las Ecuaciones de aguas someras 3D, las variables están dispuestas de forma especial en la cuadrícula, ver ilustración 15 y 16. El patrón de arreglo se conoce como malla escalonada (malla Arakawa). Los puntos del nivel del agua (puntos de presión) son definidos en el centro de una celda (de continuidad). Los componentes de velocidad son perpendiculares a las caras de las celdas de cuadrícula donde se encuentran.

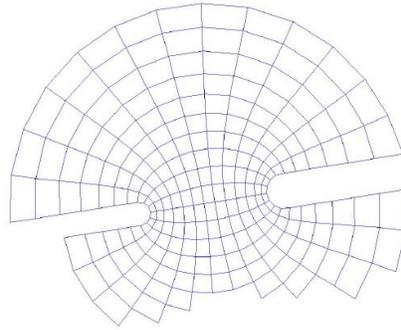


Figura 3-19 Ejemplo malla Manual Software Delft 3D

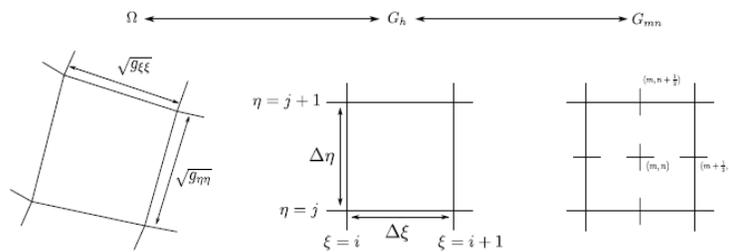


Figura 3-20 Mapeo del espacio físico al espacio Computacional (Discretización de la Malla) (Manual DELF3D)

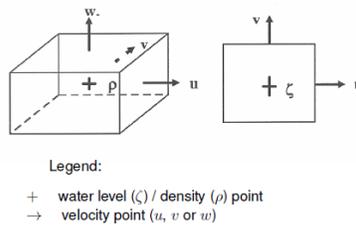


Figura 3-21 Escalonado de Malla, Vista 3D (izquierda) y Superior (Derecha), Manual DELF 3D

3.6 Condiciones Iniciales

En las condiciones iniciales, se deben especificar los valores iniciales con los que comenzará el cálculo. Las condiciones iniciales son requeridas para todas las variables dependientes, como el nivel del agua, la velocidad del flujo componentes, salinidad y / o temperatura en el caso de un cálculo no homogéneo, y para el flujo secundario y los constituyentes si están incluidos en la simulación.



Las condiciones iniciales pueden ser muy simples, como un valor uniforme en toda el área, o más complejo como un valor variable en el espacio.

Los valores óptimos dependen de una combinación de los valores de las condiciones de contorno (Fronteras) en el momento de inicio de la simulación, los valores de las variables en el equilibrio (dinámico) del modelo y, hasta cierto punto, la topografía.

Las condiciones topografías de la laguna presenta grandes áreas de secado e inundación, por lo que como condición se comenzará con agua alta y se definirá como condición inicial. Los desajustes entre la condición inicial y la condición límite se eliminan del sistema en lugar de propagarse hacia adentro (cuando se seca la laguna).

3.7 Condiciones de Frontera

Hay dos tipos de fronteras: límites cerrados a lo largo de las líneas "tierra-agua" (costas, riberas) y abiertos límites a través del campo de flujo. Los límites abiertos son artificiales y elegidos para limitar el área computacional.

El modelo cuenta con tres tipos de condiciones de frontera las cuales representan los límites del modelo y su interacción con el resto del océano y corresponden con los procesos que se incluyen: hidrodinámica, oleaje y de transporte.

Las fronteras hidrodinámicas corresponden a los niveles de marea astronómicos, ingresados a partir de sus componentes armónicas de amplitud y fase; las fronteras de oleaje corresponden a los valores de altura significativa de ola, periodo pico y dirección, sin embargo el modelo también puede ser ejecutado sin introducir condiciones de frontera de oleaje, esto permite disminuir el número de datos de entrada necesarios y facilita su ejecución al disminuir la dependencia de fuentes de información externas, por lo tanto en la sección de calibración se analiza si es necesario incluir estas fronteras, de acuerdo a comparaciones con mediciones en la zona; las fronteras de transporte consisten en los perfiles de temperatura y salinidad, debido a que la información disponible es limitada, se optó por delimitar el modelo mediante perfiles promedio, calculados a partir de los datos disponibles. Las fronteras del modelo se introducen mediante puntos de control que las delimitan y en los cuales se asignan valores a las respectivas variables, los valores en los puntos intermedios se calculan mediante interpolación

3.8 Forzantes

Adicionalmente a los forzamientos generados mediante las condiciones de frontera, el modelo incluye los siguientes procesos: Fuerzas resultantes de las interacciones gravitacionales actuando sobre las mareas. Influencia de arrastre del viento. Influencia de la presión atmosférica. Modelo para intercambio de calor por la superficie libre. Descarga media de los principales afluentes del Caribe. Los datos meteorológicos necesarios: velocidad del viento, dirección del viento, presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, nubosidad y radiación solar neta, se introducen mediante mallas a partir de las cuales se interpolan los datos a las celdas del modelo. (Deltares, 2013a)

Las constantes armónicas son obtenidas para cada localidad a partir de observaciones utilizando la técnica de análisis armónico, en la siguiente tabla se presentan los 7 armónicos más importantes en la entrada y norte del golfo de California que describen el comportamiento de la marea, donde se puede observar la amplificación de la amplitud en dirección al norte.

Tabla 3-10 Amplitud de los principales Constituyentes o armónicos de la marea en Cabo San Lucas y San Felipe (Marinone, 1997)

Constituyente	Periodo	Cabo San Lucas	San Felipe	FA
		Amplitud	Amplitud	
	hrs	(cm)	(cm)	
M ₂	12.42	36.8	164.5	4.97
S ₂	12.00	23.7	99.3	4.19
N ₂	12.66	8.8	42.0	4.77
K ₂	11.97	6.6	26.4	4.00
K ₁	23.93	22.2	41.6	1.87
O ₁	25.82	15.2	26.3	1.73
P ₁	24.07	6.9	13.0	1.88

Según los mapas cotidales del golfo de California (R.A. Morales & G.Gutierrez, 1989), graficando el comportamiento de la marea utilizando los números de Doodson mediante un script de Matlab.

Tabla 3-11 Constituyentes de marea en el golfo (Fuente: mapas Cotidiales tomados de (Morales Pérez & Gutierrez de Velasco, 1988)

Constituyente	Periodo	Tobari	Fase
		Amplitud	
	hrs	(cm)	GTM (105 W.G.)
M ₂	12.42	15.262	310.99
S ₂	12.00	12.751	285.80
N ₂	12.66	4.595	116.53
K ₂	11.97	4.02	280.79
K ₁	23.93	27.260	75.92
O ₁	25.82	18.726	72.80
P ₁	24.07	8.174	73.98

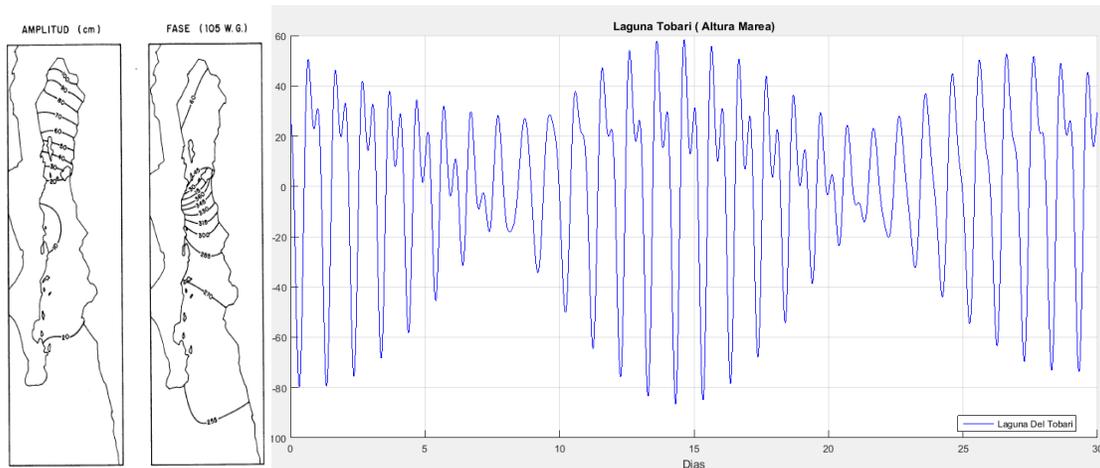


Figura 3-22 Ejemplo de Mapas Cotidiales para la componente S₂ (R.A. Morales y G. Gutiérrez, 1988) y Marea Mixta Obtenida con ayuda de script MATLAB (Calculado con los números de Doodson)

3.9 Mediciones de los parámetros (Desarrollo de la investigación)

3.9.1 Flujos de Corrientes Boca norte

La boca norte tiene una amplitud de 1,200 m de distancia, debido al comportamiento del prisma de marea presenta un banco de arena adentrándose mar adentro la cual presenta una morfología particular debido a esto se realizaron transectos para obtener su perfil batimétrico y obtener datos de velocidades, utilizando el equipo ADCP Sontek M9 se realizaron transectos recorriendo la boca para la obtención de datos, el procesamiento de los datos se realizó mediante el software River Surveyor, la salida de los datos arroja un perfil transversal como se muestra en la Figura 3-23 donde se observan velocidades en la celdas central de aproximadamente 1.5m/s obtenidas las mediciones entre las 4:30-5:00 AM del día 24 de junio de 2017 se presentó una temperatura de 28°C en promedio, salinidad de 35 ups y el tiempo de cada recorrido transversalmente fue de 10 min aproximadamente

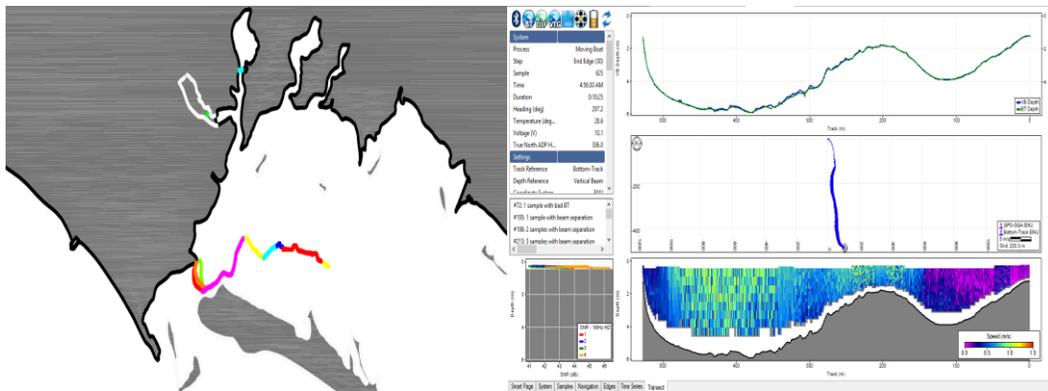


Figura 3-23 Ruta de Navegación Boca Norte y perfil del transecto Boca Norte

1.1 Flujos de Corrientes Boca sur

La boca presenta una amplitud de 940 m de distancia, se realizaron transectos para obtener su perfil batimétrico y obtener datos de velocidades, utilizando el equipo ADCP Sontek M9 se obtuvieron los datos, el procesamiento se realizó mediante el software River Surveyour, la salida de los datos arroja en su perfil transversal como se muestra en la figura donde se observan velocidades en la celdas central de aproximadamente .6 m/s obtenidas las mediciones entre las 5:30-6:30 PM del día 25 de junio de 2017 se presentó una temperatura de 31°C en promedio, salinidad de 35 ups y el tiempo de cada recorrido transversalmente fue de 10 min aproximadamente

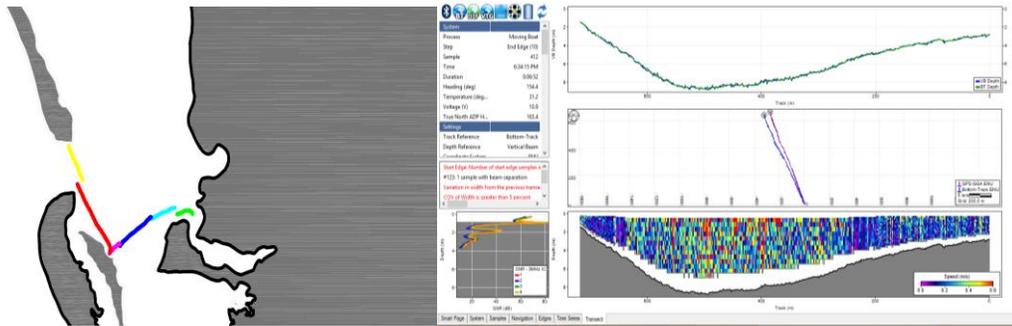


Figura 3-24 Ruta de Navegación Boca Sur y Perfil del transecto Boca Sur



Figura 3-25 Medición con equipos CTD y Perfilador ADCP en laguna

3.10 Comportamiento de la laguna

Se puede observar que en la boca sur es donde se presentan las mayores profundidades obteniendo datos de 8.5 m en promedio comparada con 5.5 m en la boca norte, en la boca norte es donde se presentaron los mayores datos de velocidad alcanzando valores de 1.5m/s contra .6 m/s en la boca sur, además que en la boca norte se presenta un banco de arena que reduce las condiciones favorables debido al comportamiento de la marea en el golfo de california, el forzamiento de marea inicia en la boca sur y posteriormente en la boca norte.

3.11 Determinación del Campo de masa en la laguna del Tóbari

La modificación del patrón de aporte de agua continental, a cargo en la actualidad de las descargas de los drenes del distrito de riego a portan gran cantidad de sedimentos a la laguna, durante los transectos del perfilador acústico se alterna la utilización de equipo CDT para tomar muestreos locales y completar la información de parámetros como salinidad temperatura, conductividad, los muestreos con CDT se realizaran alineándose a las descargas previamente ubicadas de los drenes ya conocidos de la laguna.

La descarga a la bahía de los principales drenes se ubica en los siguientes puntos:

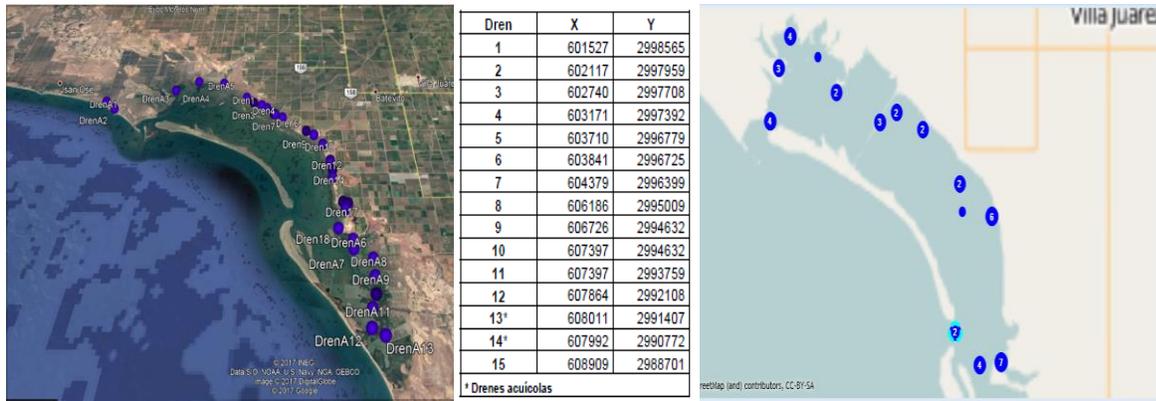


Figura 3-26 Coordenadas de Drenes de descargas y puntos de medición con CTD

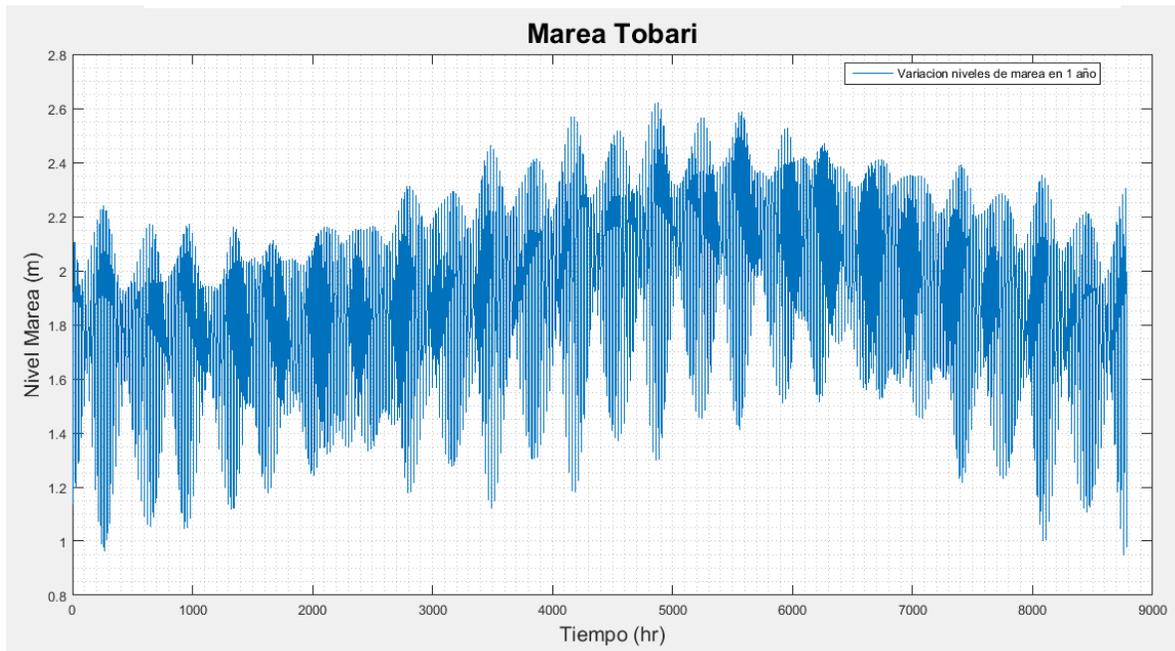


Figura 3-27 Simulación de Niveles de Marea (año completo 2017) (Marea Mixta)

3.12 Equipo CTD

Durante el muestreo se tiene la intención de conocer el campo de masa de la laguna, para lo cual se utiliza un equipo CTD CastAway, que mide los perfiles de conductividad, temperatura y densidad, además cuenta con un sistema de ge oposición GPS y medidor de presión para determinar la

profundidad y una memoria para el guardado de la información. Este equipo se puede acoplar con el perfilador acústico para realizar una corrección de la velocidad en la vertical y mejorar la calidad de la medición, además que presenta la interfaz de exportar los datos a Matlab para el post-procesamiento de datos.



Figura 3-28 Equipo de Medición CASTAWAY CTD

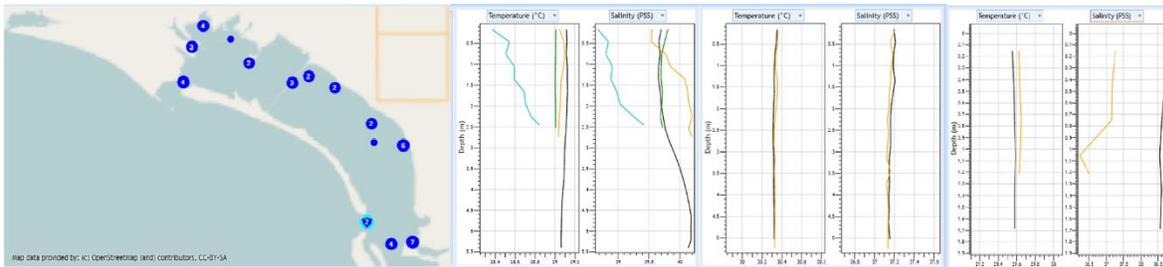


Figura 3-29 Temperatura y Salinidad (Norte, Centro y Sur)

3.13 Análisis de las mediciones con CTD

Se observa que la boca sur presenta una mayor temperatura comparada con la boca norte así mismo las mediciones obtenidas de salinidad se elevan con respecto si las mediciones fueron realizadas en proximidades a los drenes

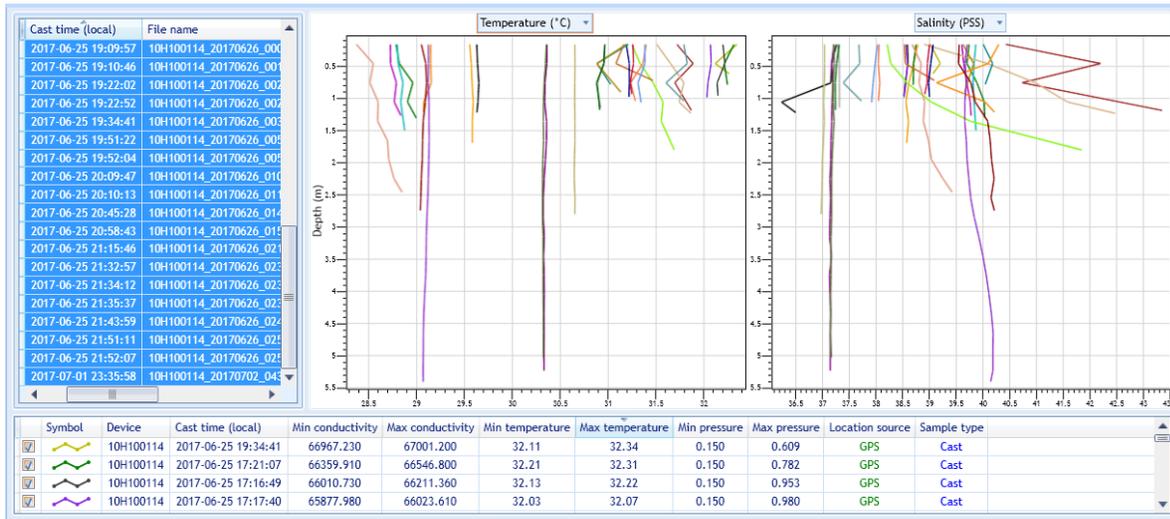


Figura 3-30 Datos CTD Temperatura y Salinidad

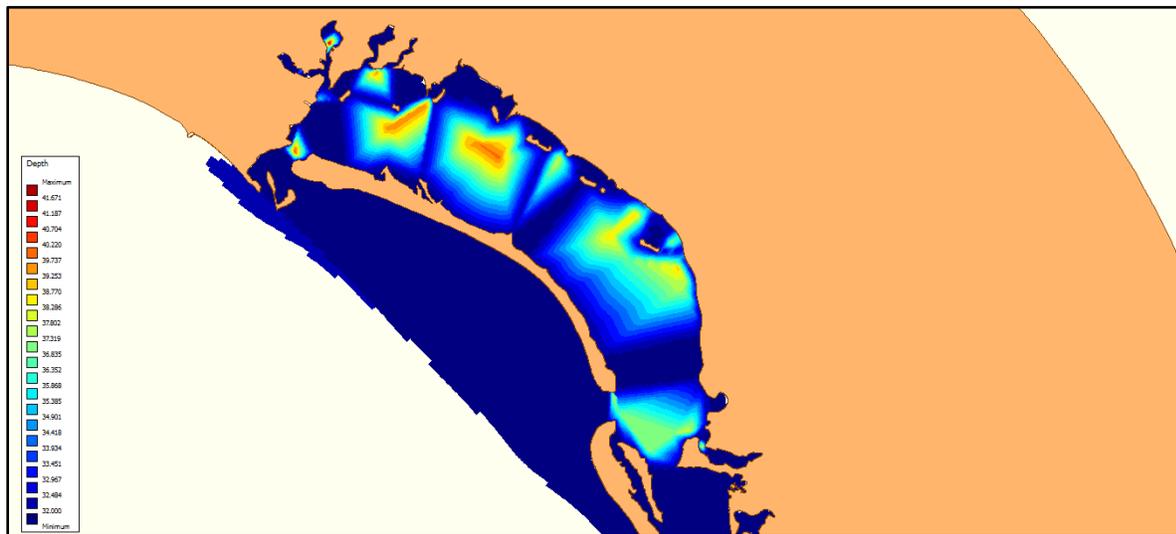
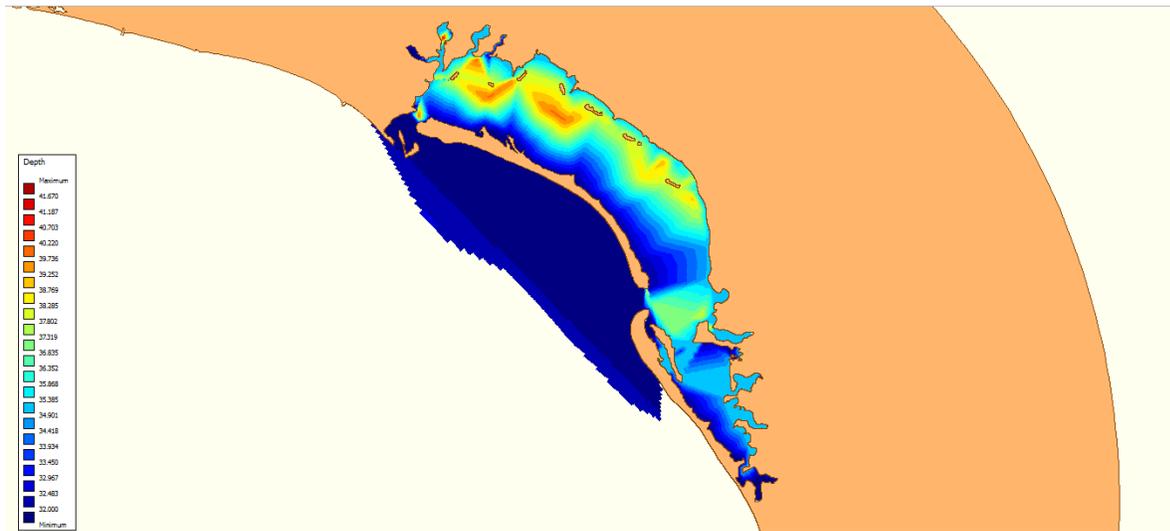


Figura 3-31 Simulación de Salinidad



3.14 Batimetrías

Para implementar el modelo de circulación de la laguna se revisaron bases de datos batimétricas y cartas náuticas, el GEBCON (General Bathymetric Chart of the Oceans) con la cual se cubren resoluciones de 30 segundos en latitudes y longitudes, sin embargo, la escala de las cartas náuticas y la resolución del GEBCON no proporcionaron datos batimétricos.

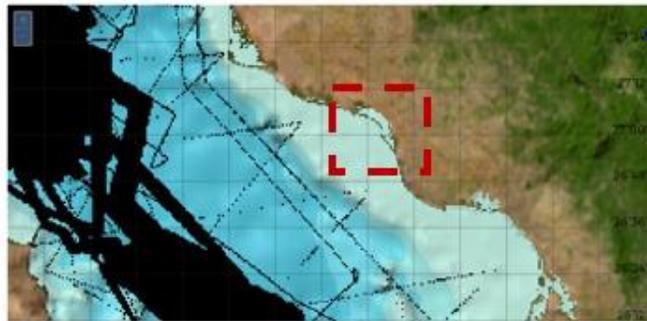


Figura 3-32 Base de datos GEBCON no presenta mediciones en la laguna de Tóbari (fuente: www.gebco.net)

Debido a la escases de datos se consultaron trabajos previos realizados en la laguna, el proyecto de dragados realizados en la laguna por ingeniería integral presento un panorama general de la batimetría de la laguna y fue complementada mediante mediciones con equipos ADCP (Sontek M9)

realizando transectos y recorridos realizados en visita a la zona de estudio en fechas de 24 y 25 de junio de 2017, la fechas de visita fueron ajustadas a la proximidad en tiempo que se presentaban los máximos de mareas en el mes de junio, según tablas de mareas de CISESE de las estaciones próximas (Yavaros y Guaymas), debido a que la zona de estudio no cuenta con una boya de medición de mareas.

Equipos utilizados

RiverSourveyor de Sontek M9, es un equipo robusto de uso rudo, considerado de alta precisión y fácil manejo, el equipo se basa en el principio físico del Efecto Doppler Acústico (ADCP), entre los principales datos que arroja se encuentran: el caudal, velocidades, temperatura y profundidades, su funcionamiento se basa en un sistema de medición multifrecuencias



Sensores

1. Ecosondador de 0.5 MHz
2. Sensor de Temperatura
3. Transductor de 3 MHz
4. Transductor de 1 MHz



Figura 3-33 Sensor Sontek M9

Figura 3-34. Módulo PCM (power & Communication)

Se realizó la Configuración básica el equipo

1. Se verifica la conexión del equipo (Software – Hardware)
2. Calibración de la brújula
3. Ajustes del sistema (Profundidad del Transductor, Distancia de Monitoreo, Salinidad, Declinación Magnética, Referencia del “Track” y Sistema de coordenadas)

El procedimiento de medición consistió en la ubicación de las bocas y la realización de transectos, en primera instancia se define la margen inicial, se realiza el transecto a lo largo de la boca y se define la margen final

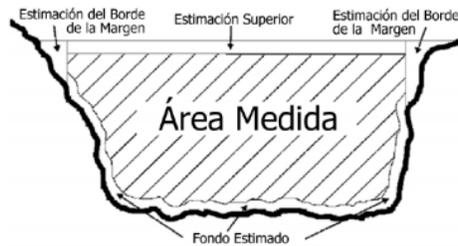


Figura 3-35 Fuente: grafico del área de medición del equipo (Manual River Surveyor M9 2009)

Además de la obtención de los perfiles en las bocas se realizaron transectos batimétricos a través de las zonas navegables de la laguna para completar la morfología de la laguna el transecto batimétrico rumbo a la boca norte fue de aproximadamente 4 km donde se observa el perfil irregular de la laguna, presentándose zona muy someras de .50 m de profundidad, cercanas a donde fueron construidas las tarquinas y a la costa y en proximidades a la boca se obtuvo un registro de una proximidad máxima de 9 metros.

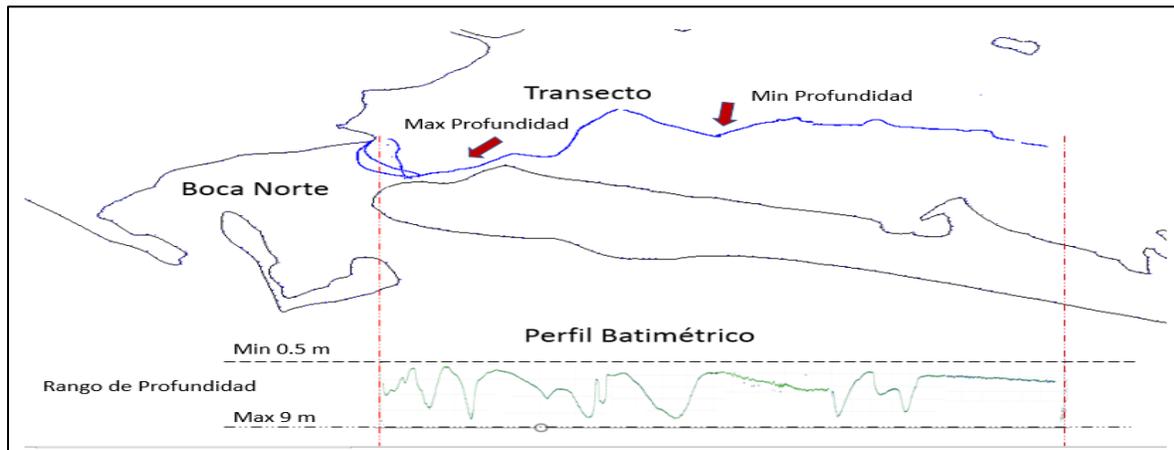


Figura 3-36 Perfil Batimétrico del Transecto Norte

En la boca sur por su parte el recorrido batimétrico incluyó la zona transversal de la boca donde se presentaron registros de profundidades máximas 8 m durante el recorrido de 4.8 km aproximadamente, alejándonos de la boca el perfil batimétrico del recorrido comienza a disminuir presenta profundidades variables, se presentan zonas de azolve en lo que parecen ser los canales principales de flujo y/o reflujos pero se observa que la boca sur comparada con la norte en general presenta mayores profundidades, que gradualmente se eliminan acercándose a la línea de costa

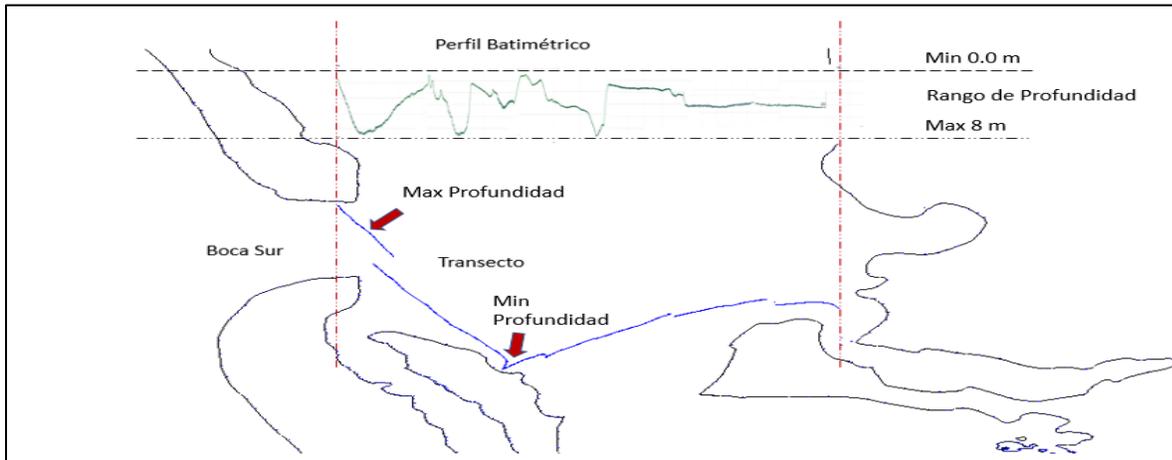


Figura 3-37 Perfil Batimétrico del Transecto Sur

La exportación de datos mediante el River Surveyor (datos del Perfilador Acustico + datos CDT) se realiza a través de Matlab en donde se exportaron los datos de las coordenadas UTM y se ligaron a sus profundidades armando un archivo con contenido de texto (x, y, z), se procesó la línea de costa con sus respectivas coordenadas mediante una línea de costa con nula elevación, al integrar los transectos y la línea de costa georreferenciada en coordenadas UTM se obtuvo la zona de estudio y en base a la información de la ubicación de las tarquinas y el comportamiento somero de la laguna se completan los datos ajustándola con las profundidades y puntos de control que también fueron muestreados con el CTD, se integraron los puntos mediante CIVILCAD

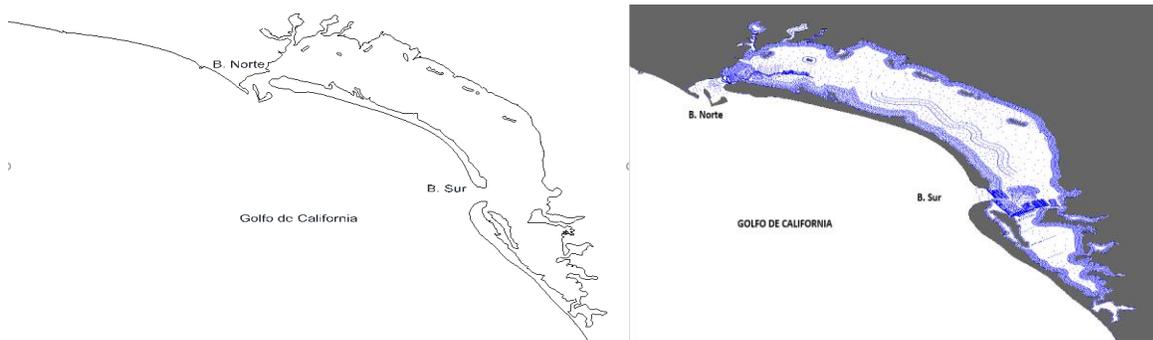


Figura 3-38 Línea de Costa Creada con CIVILCAD y ajuste de puntos con ayuda de puntos de control tomados en diferentes zonas durante las mediciones

La línea de costa se procesa mediante el Global Mapper 18 y se exporta directamente el vector en la extensión que reconoce el Software DELF3D (extensión .ldb)

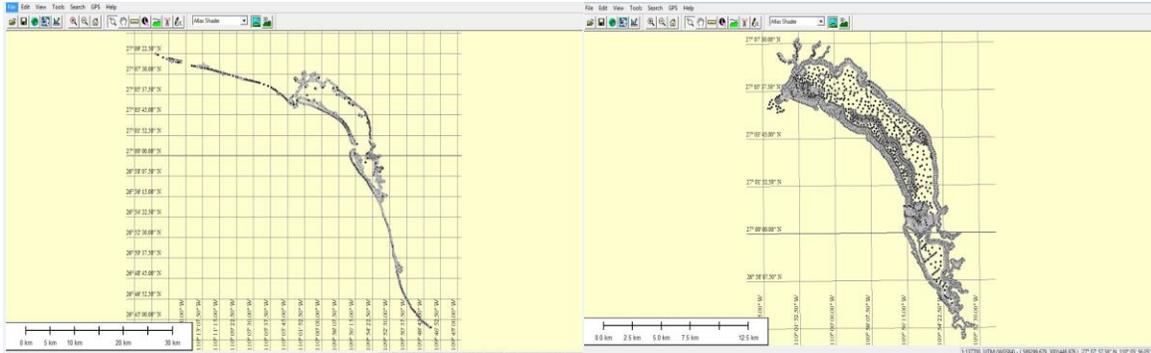


Figura 3-39 Línea de Costa y puntos Batimétricos exportados Global Mapper 18

3.15 Modelación numérica de la laguna (Resultados)

Ingresa la línea de costa con elevación nula definida previamente (se considera una frontera tierra agua o dirichlet), el software utiliza una malla curvilínea para ajustarse de una mejor forma a la morfología de un estuario laguna costera o rio



Figura 3-40 Línea de Costa en extensión .ldb para inicio de creación de malla (DELF3D)

Una vez propuestos los splines que se ajusten a la geometría del comportamiento buscado se crea la rejilla y se refina hasta obtener el tamaño de celda buscado según la escala de análisis que se desea obtener, al ser una malla curvilínea se debe ajustar mediante ortogonalización debido al funcionamiento de discretización de la malla (módulo RFGRID – DELF 3D)

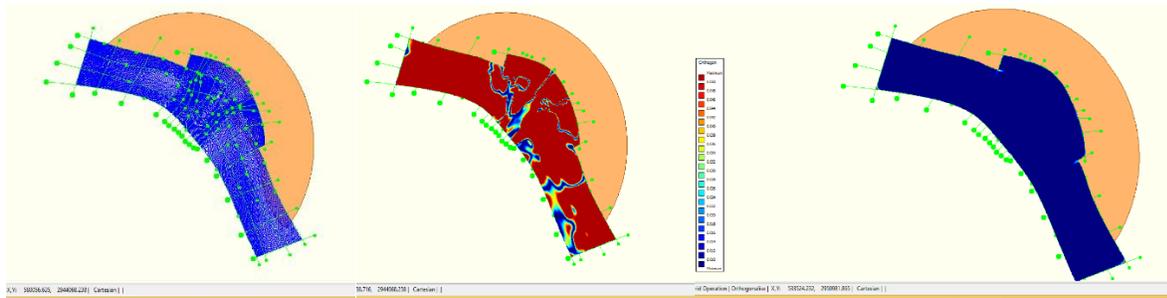


Figura 3-41 Ortogonalización de Malla Propuesta

Las Batimetrías obtenidas Procesadas se ingresan mediante el módulo QUICKIN-DEL3D se ingresaron con formato .txt (coordenadas x, y z) y los datos batimétricos se ajustan a la malla mediante interpolación triangular y se ajustan las fronteras

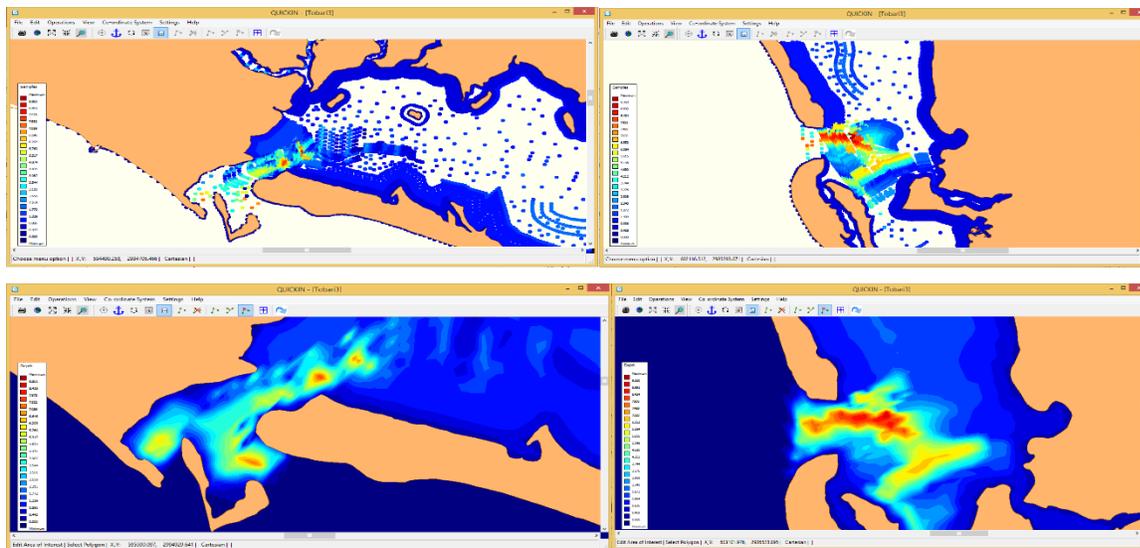


Figura 3-42 Interpolación de Batimetrías DELF3D

Como parte del estudio se determinó el funcionamiento global de la interacción entre el campo de masa dentro de la laguna y el forzante de marea, en la ilustración 35 se observa el funcionamiento de la laguna en un año, en la ilustración 36 los cambios de volumen horario en un año, indicando el forzante de marea, y el ilustración 37 es la integral de los flujos de recambio y como resultado se observa que la interacción es débil y por lo tanto el sistema lagunar tiene un tiempo de residencia

muy grande, mayor a más de un periodo de marea. Este resultado es congruente con los valores de medidos de salinidad, ya que se obtuvieron valores superiores a los del Golfo de California.

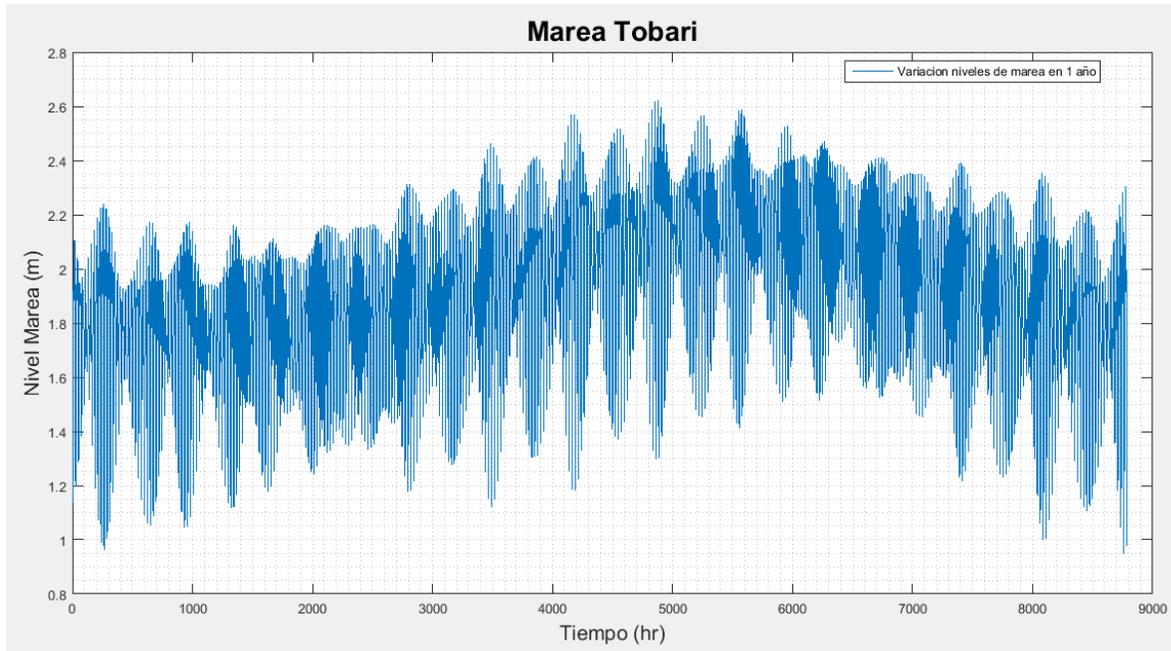


Figura 3-43 Simulación de marea Laguna Tóbari

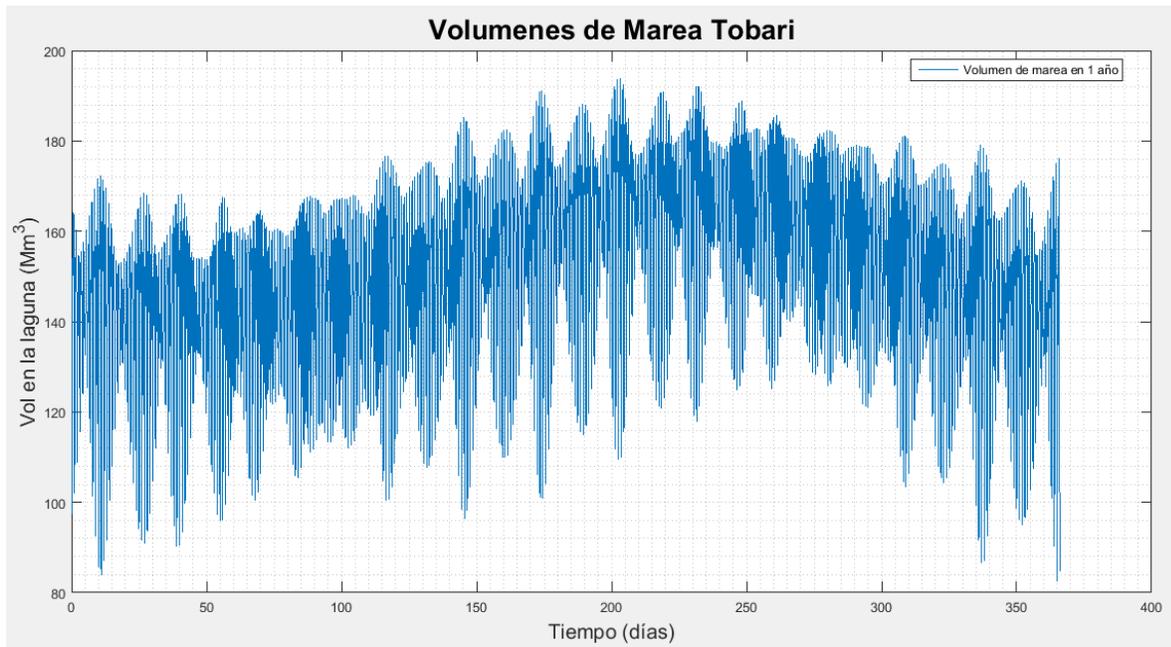


Figura 3-44 Volúmenes de entrada y salida producidos por la marea

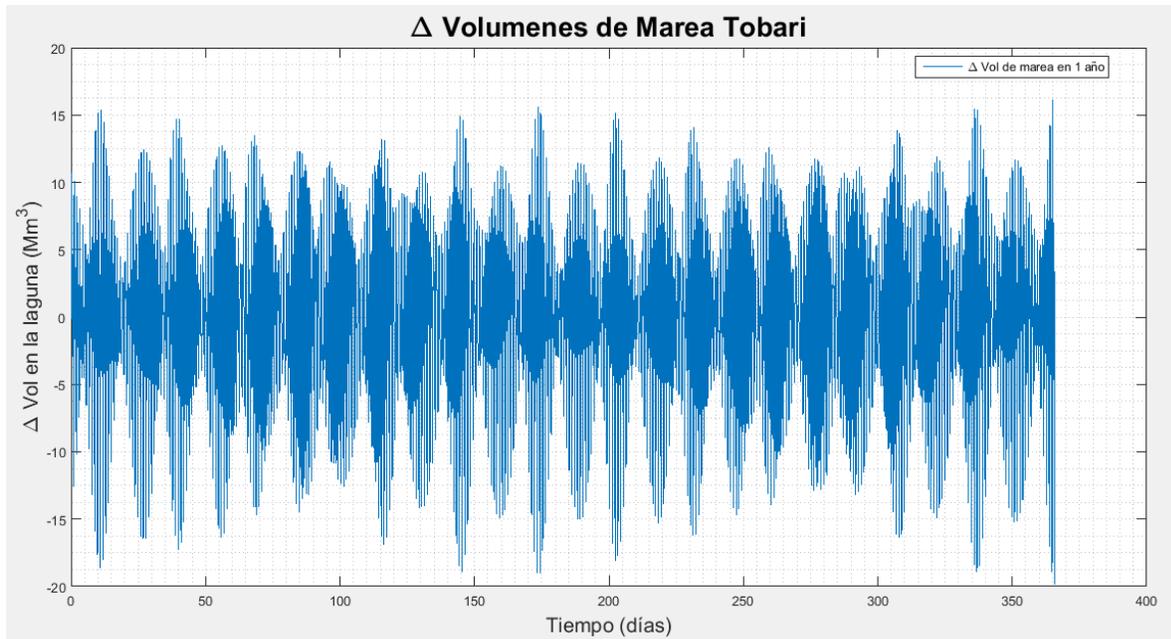


Figura 3-45 Diferencia de volúmenes producidos por la marea

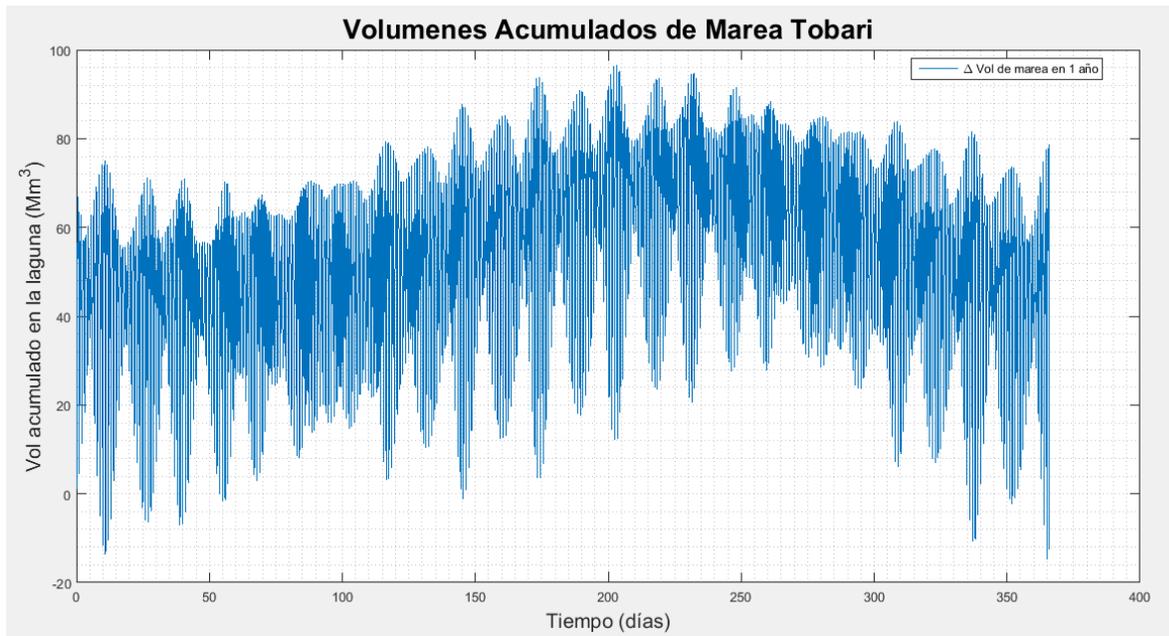


Figura 3-46 Grafica con los volúmenes acumulados por las mareas

4 Campaña de muestreo marzo 2019

En el proyecto “Estimación y dispersión de contaminantes en el río Yaqui (Sonora, México); evaluación y riesgos ambientales”, dentro de los trabajos de campo se programó la primera campaña de medición de calidad y cantidad del agua y esta se realizó del 27 al 29 de marzo de 2019. En este reporte sólo se presentan los valores de medidos del gasto de circulante.

Los sitios de medición de gasto se ubican sobre el Dren Arroyo Colector Arroyo 16 (DCA-16), (ver Figura 4-1) y en los canales principales Alto y Bajo, que suministran el agua para riego al Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, estos sitios se muestran en la Figura 4-2.

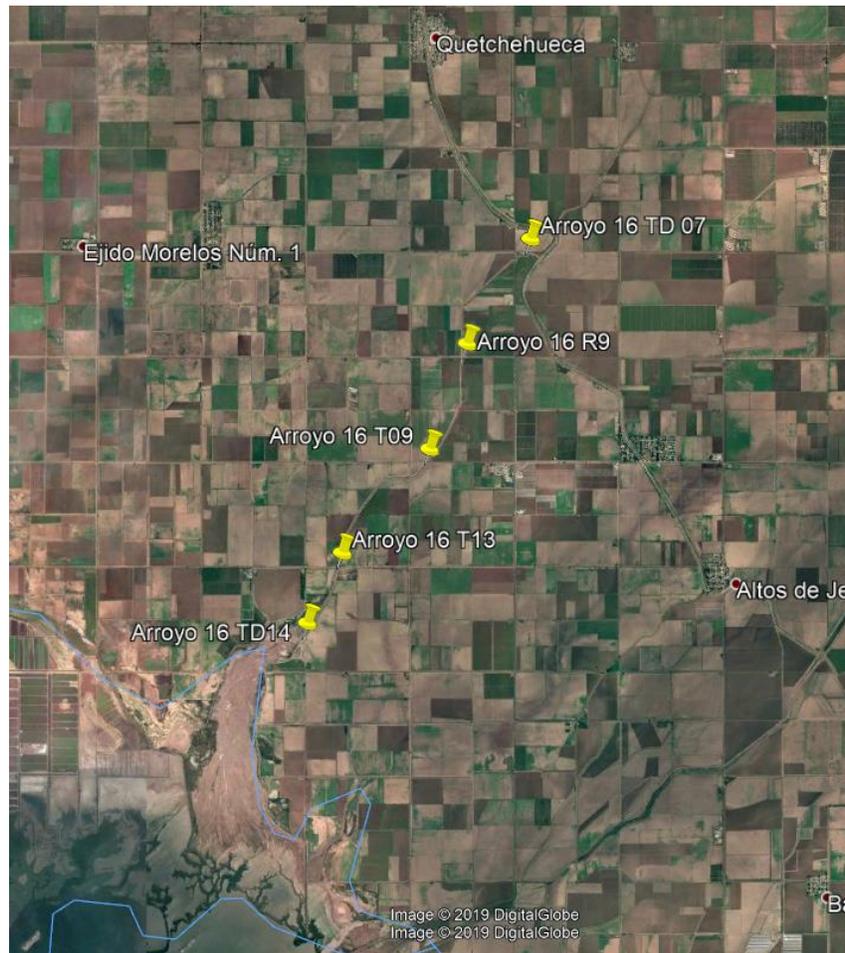


Figura 4-1 Ubicación de los sitios de aforo en el Dren Arroyo 16 del Distrito de Riego 041 Río Yaqui.



Figura 4-2 Sitios de aforo sobre los canales principales Alto y Bajo del Distrito de Riego 041 Río Yaqui.

4.1 Procedimiento para determinación del gasto

Los sitios de aforo para la medición del gasto se enlistan en la tabla 1. El procedimiento de aforo es denominado Método de área-velocidad y tiene su referencia según lo indicado en la ISO-748:2007 (ISO, 2007).

El método de área-velocidad estima que el gasto total circulante se integra por la suma de una serie de gastos circulante en una dovela o segmento de área transversal del cauce, esta descomposición por dovelas se muestra en la Figura 4-3. Para la medición de la velocidad, el ancho y la profundidad de la dovela, se utilizó un sistema de medición integral de perfilación acústica de efecto Doppler ADCP

(*Acoustic Doppler Current Profiler*) marca Sontek-RiverSurveyor® modelo M9, (ISO, 2005), (Sontek, 2018).

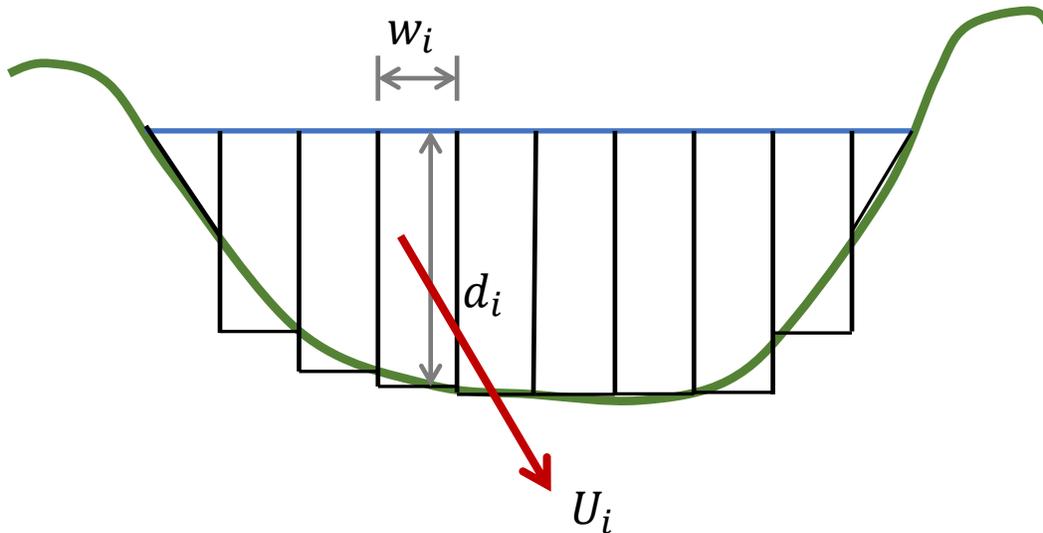


Figura 4-3 División de una sección de aforo en dovelas para la medición del gasto global

El equipo ADCP, Sontek-RiverSurveyor® modelo M9, que cuenta con 9 transductores ultrasónicos y tiene el siguiente de arreglo de funcionamiento: 4 sensores ultrasónicos con una frecuencia de 3Mhz para medición de velocidad en rangos de profundidad de 0.2 m a 2 m, 4 sensores de 1.0 Mhz, para medición de velocidad en profundidades de 2 m a 40 metros y un sensor para sondeo de fondo con un rango de operación es de 0.2 a 80m, con una frecuencia de 0.5 Mhz, (Sontek, 2018).

En el proceo de medición del gasto con el equipo ADCP, en campo, este se montó en un boté móvil y la navegación del bote a lo largo de la sección transversal se realizó con cuerdas operadas en forma manual, está configuración permite tener un arrastre lento y sistemático. La ubicación y rastreo del ADCP durante el arrastre fue determinada en forma continua con un sistema de geoposicionamiento global GPS (*Global Positioning System*) tipo SABS-GPS con una precisión <1.0m en el sentido horizontal.

Para que la determinación del gasto se cuidaron al menos dos aspectos: I) la selección y ubicación del sitio de aforo, y II) la configuración del equipo ADCP. Estos aspectos se describen a continuación:



Selección del sitio de aforo (ISO, 2007), (NMX, 2018):

- a) Verificar que el sitio se ubique en un tramo recto del canal con al menos 10 veces el ancho de la superficie libre,
- b) Verificar que el fondo del canal sea uniforme y sin variaciones longitudinales en la sección y pendiente,
- c) Observar que el fondo del canal tenga una rugosidad uniforme y que no existan zonas con plantas emergidas, y
- d) Verificar que la sección tenga una profundidad mayor a 0.5m y que el flujo no lleve objetos flotantes.
- e) Cuidar que el flujo sea uniforme y con una velocidad moderada que permita una maniobra suave del bote, para evitar volteos o cabeceos fuertes.

Configuración del equipo:

- a) Establecer la hora y fecha local,
- b) Verificar que los sensores funcionen adecuadamente, con la opción "Prueba de sistema",
- c) Verificar y ajustar por lo menos una vez en la jornada, el estado del rumbo y oscilación del bote, este procedimiento verifica la virada (yaw), el cabeceo (pitch) y la escora (roll). En el caso de la virada se cuida que el entorno magnético no esté afectado por objetos metálicos de gran tamaño, que distorsionen la determinación de la orientación azimutal del equipo respecto al eje central del canal o cauce.
- d) Configurar, previa medición, los parámetros de salinidad del lugar en UPS, declinación magnética y profundidad de sumergencia de los sensores del equipo Sontek-RiverSurveyor® M9.
- e) Poner el equipo en el agua y verificar con un sondeo que al menos se tengan dos celdas de medición en la vertical y determinar la forma geométrica que tienen las dovelas de orilla izquierda y derecha del cauce.
- f) En los sitios de medición del Dren Colector Arroyo 16 el flujo tenía una a gran cantidad de sólidos suspendidos, entonces el equipo ADCP se configuró con la opción de medir la profundidad del agua con el sensor acústico vertical y el rastreo de movimiento de navegación del bote con el sistema SABS-GPS.

El cuidar estos puntos permite que los errores sistemáticos sean pequeños (Sontek, 2018) y para la estimación de incertidumbre global se puede estimar sólo con los errores aleatorios o propios del equipo ADCP.

Nota de operación en campo: los valores de configuración del equipo y la toma de muestras se realizaron con el apoyo de un interrogador portátil, conectado al equipo Sontek-RiverSurveyor® M9, con un radio y un sistema de comunicación inalámbrico tipo Bluetooth®. Los datos y muestreos no

fueron procesados por el interrogador y quedaron alojados en la memoria del equipo para su postproceso en gabinete.

4.2 Sitios de aforo

La ubicación de los sitios de aforo y los registros de la medición del gasto se muestran en la Tabla 4-1, en esta tabla también se reportan el número de registros y la validez de estos una analizados durante el postproceso en gabinete.

Tabla 4-1 Sitios de aforo, indicando la fecha, latitud, longitud y condición de los registros tomados

Nombre del sitio	Fecha	Latitud	Longitud	Registros		
				Global	Válidos	Fallos
Arroyo 16 TD 07	2019-03-27	27°13'33.75"N	109°55'50.11"O	4	4	0
Arroyo 16 R9	2019-03-27	27°12'28.08"N	109°56'34.80"O	4	4	0
Arroyo 16 T09	2019-03-27	27°11'21.98"N	109°57'1.35"O	7	3	4
Arroyo 16 T13	2019-03-28	27°10'16.84"N	109°58'2.99"O	4	3	1
Arroyo 16 T14	2019-03-28	27° 9'32.72"N	109°58'27.61"O	4	4	0
Canal alto A1	2019-03-29	27°48'32.62"N	109°53'12.80"O	4	4	0
Canal bajo A2	2019-03-29	27°41'44.66"N	109°54'27.94"O	4	4	0

4.3 Aforos

Con los registros válidos en cada sitio medición indicados en la Tabla 4-1, se procedió a determinación del gasto medio y el coeficiente de variación y estos valores se muestran en la Tabla 4-2. Para determinar los valores medios y el coeficiente de variación se considera los registros son estadísticamente independientes.

En el análisis de variancia del gasto medio se considera una incertidumbre tipo A, y en el caso del proceso del gasto determinado por el equipo Sontek-RiverSurveyor® M9, se considera una incertidumbre tipo B (BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1995).

Tabla 4-2 Gasto promedio en cada sitio de aforo y su coeficiente de variación, para cada serie de registros válidos.

Nombre del sitio	Gasto (m³/s)	Coeficiente de variación (p<0.95) * (%)
Arroyo 16 TD 07	1.696	6.4
Arroyo 16 R9	1.375	12.1
Arroyo 16 T09	1.517	29.8
Arroyo 16 T13	2.724	23.6
Arroyo 16 T14	2.540	11.5
Canal alto A1	53.180	1.8
Canal bajo A2	72.482	8.6

* El coeficiente de cobertura se determinó considerando el número de grados de libertad según la tabla G.2 de la GUM (BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1995)

4.4 Resultados

En la Tabla 4-2 se muestran los valores gastos y coeficientes de variación en cada sitio de aforo. En caso de los sitios sobre el Arroyo 16 (primeros cinco reportes) se observa que el coeficiente de variación es muy alto, lo anterior se debe a que el flujo es muy somero (<0.6 m) y además durante la prueba se observó una alta concentración de sedimentos en suspensión. La presencia de sedimentos se puede observar en la Figura 4-4 superior, en donde existe una la diferencia en las rutas de navegación del bote, al comparar la ruta de rastreo de fondo, línea azul y la ruta con GPS, línea roja. Esta diferencia indica el movimiento del fondo o del sedimento en el canal.

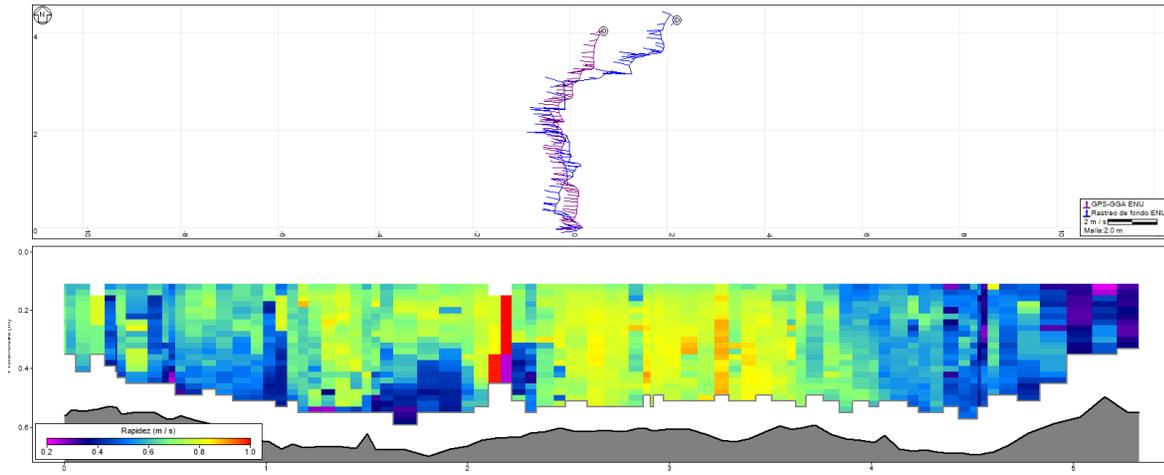


Figura 4-4 Registro de aforo en el sitio Arroyo 16 TD07, en la figura superior se observa la diferencia en la navegación del barco del ADCP con rastreo de fondo (línea azul) y con GPS (línea roja), la diferencia indica el movimiento del sedimento de fondo en la sección; en la figura inferior muestra la variabilidad de las velocidad medidas y los somero e irregular de la sección de aforo.

Como se indicó existe movimiento de los sedimentos en el fondo, pero para evaluar el transporte en columna, se realizará un análisis de la respuesta de la señal ultrasónica al ser rebotada en los sedimentos en suspensión.

Un ejemplo de los efectos del sedimento en el rebote de la señal se puede observar al comparar los datos de SNR (Signal Noise Ratio), entre la estación aforo Arroyo 16 TD7 (agua con sedimentos) Figura 4-5 y el Canal Alto (agua con poca concentración de sedimentos) Figura 4-6 y para tener una mejor comparación en la Figura 4-7 se presenta un acercamiento en el mismo de rango de profundidad entre las dos secciones.

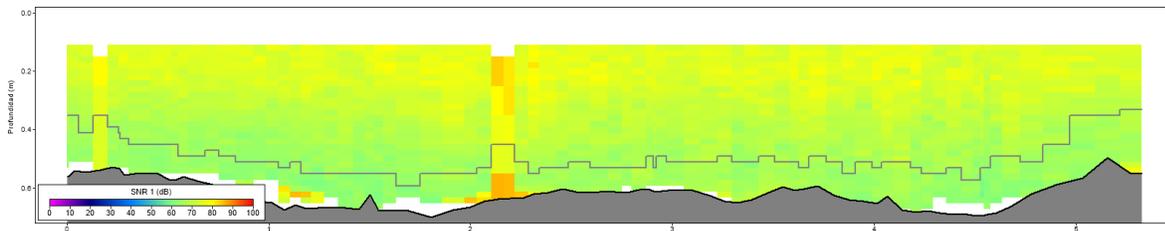


Figura 4-5 Registro del SNR (rango de 0 a 100 dB) en el Arroyo 16 TD, con una profundidad máxima 0.7m.

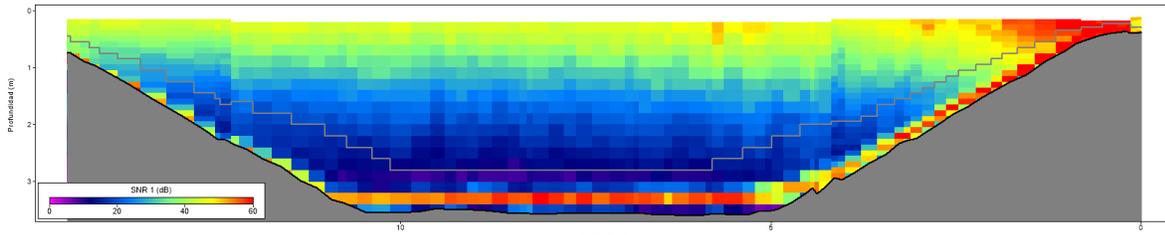


Figura 4-6 Registro de SNR en el Canal Alto (rango de 0 a 80 dB) y profundidad máxima de 3.5m.

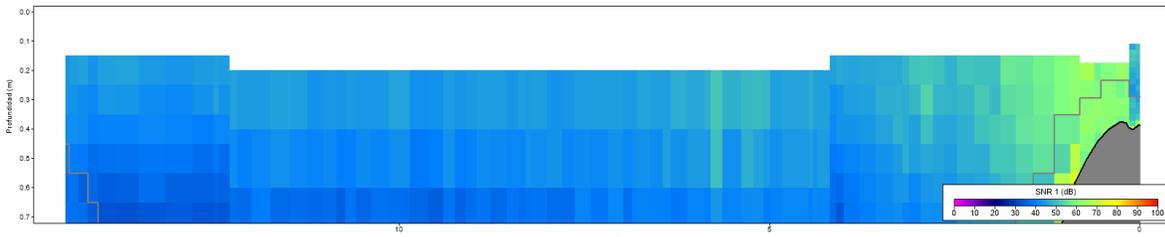


Figura 4-7 Registro de SNR (rango de 0 a 100 dB) en el Canal Alto, con un acercamiento para una profundidad de 0 a 0.7 m.

Como se puede observar entre los registros para misma profundidad de 0 a 0.7 m, la respuesta de la señal para el Arroyo 16 TD 07 se ubica en un rango de 60 a 80 db y en el caso del Canal Alto entre 30 a 40 dB. Con el fin hacer un análisis más cualitativo en la Figura 4-8 se muestra un perfil vertical de la respuesta de la señal en la vertical a la mitad de los canales.

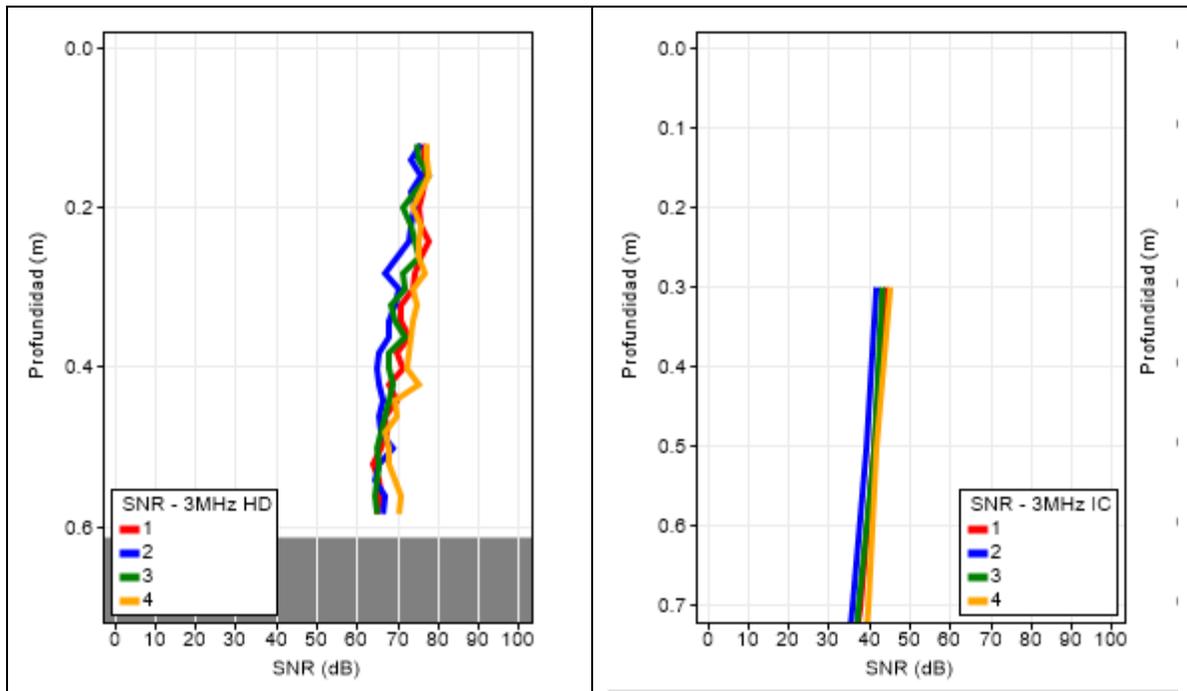


Figura 4-8 Diferencia entre la SNR del Arroyo 16 TD07 (lado izquierdo) y el canal Alto (lado derecho), esta sección se ubica a la mitad del canal.

El valor de la SNR en el Arroyo 16 TD07 es de 70 (dB) y en el caso del Canal Alto 40 dB (Figura 4-8), esto indica que el eco de respuesta de las partículas de fluido es sensible en función de concentración de los sedimentos.

En el Anexo de este informe se muestran los registros de aforos por dovelas para sitio y algunos parámetros utilizados en el proceso de medición de gasto.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las aportaciones de contaminantes provienen tanto de la actividad minera, agrícola, pecuaria y asentamientos humanos

En tema agrícola y de salud pública, ha sido por primera vez, la identificación de los puntos más críticos de contaminación en la zona de estudio.



Por otra parte, el estudio de metales se enfocó en la interacción agua, sedimento y organismos en la Bahía (Declarada por la Red Hemisférica de Reservas para las Aves Playeras, categoría “Internacional”).

La concentración total de los sedimentos de la Bahía Tóbari se compararon con los criterios de la EPA para zonas costera, detectando que solo el mercurio sobrepasa el valor guía de 0.71 mg/kg en todos los sitios de monitoreo y de acuerdo al análisis de componentes principales el mercurio se encuentra más relacionado con los sitios 1, 2 y 3, los cuales son zonas de granjas agrícolas, por lo que se tiene un riesgo de acumulación del metal en los organismos y por consiguiente a la salud de los consumidores del producto que se mantiene en jaulas en la Bahía.

Los restantes metales determinados en todos los muestreos las concentraciones estuvieron por debajo de la Guía recomendada por la EPA para zonas costeras.

El análisis de los plaguicidas es más representativo cuando se realiza en campo, ya que estos compuestos de origen orgánico semi y volátil, tienen un corto tiempo estables para su identificación y cuantificación.

La vinculación con diversas instituciones académicas y empresa han fortalecido los resultados obtenidos.

La colaboración con personal de entidades gubernamentales y privadas de Sonora, han facilitado el desarrollo de este proyecto.

Para el futuro: Análisis de la exposición y efectos a la salud en las poblaciones de los Pueblos Yaquis con los contaminantes que se han encontrado en la zona.

Las modificaciones ambientales de la zona de estudio (tales como descargas de agua porcicola, composición de alimentos para organismos en costeras, erosión de terrenos, arrastre de fertilizantes y plaguicidas, aumento de descargas de desechos orgánicos, extracción de cauda, etc) señalan aspectos a monitorear periódicamente para evaluar por medio de parámetros físico químicos, y en agua y sedimento, así como en organismos, su impacto en la desaparición de un número de especies características, la aparición de otras especies mejor adaptadas a la naturaleza particular de la contaminación en un proceso de progresivo deterioro.



Se pudo corroborar información de literatura con información dada por comunicación directa con representantes de las diferentes dependencias que están directamente relacionadas con el sector público y económico (Comisión Estatal de Agua del Estado de Sonora, Administración del DR041, Sanidad Vegetal).

El recorrido prospectivo permitió tener un panorama real del DR041, conocer a grandes rasgos la dinámica de siembra, identificar puntos entrada y salida para el futuro balance de masa.

En el muestreo realizado en junio y noviembre 2017, los resultados muestran diferencias respecto al caudal y concentración por presencia de metales en los drenes

La contaminación difusa es la liberación de contaminantes potenciales de una serie de actividades que, individualmente, pueden no tener ningún efecto en el medio ambiente acuático, pero que, a escala de una cuenca de captación, pueden tener un efecto significativo. Siendo las fuentes de contaminación difusa suelen ser individualmente menores, pero colectivamente pueden provocar daños ambientales significativos.

En los sedimentos de la Laguna Tóbari de los 7 metales considerados como prioritarios y bioacumulables, los que presentaron concentraciones mayores a las Guías de Calidad en Sedimentos (SQL) de la EPA, fueron el Cadmio y el Mercurio; los restantes metales, las concentraciones estuvieron por debajo de la Guía.

En los organismos se detectaron concentraciones de metales, que especifica la norma NOM-242-SSA1-2009, de los cuales el Cadmio en el pescado lisa *Mugil cephalus*, se detectó en concentraciones por arriba de 0.5 mg/kg; así como de Plomo; y para los moluscos el Plomo también se presentó en concentraciones mayores a 1.0 mg/kg, siendo un potencial riesgo a la salud de los consumidores del producto, ya que no cumplen el límite máximo.

La información obtenida en esta campaña permitió conocer la batimetría del sistema lagunar, la cual es muy somera en la zona cercana a la costa e incluso para los periodos de marea baja el sistema pierde más de 15% de su superficie, de igual forma se observó que la comunicación de los flujos entre la laguna y el Golfo de California se realizar preferentemente por la boca sur con gasto máximo en vaciante de 1000 m³/s en comparación con el gasto de 600 m³/s en la boca norte. También como resultado importante fueron los valores de salinidad medidos en la laguna, los cuales oscilan en la zona cercana a la costa este con valores de 38 a 41 UPS, lo cual indica que el sistema lagunar tiene



una comunicación débil con el Golfo de California y por consiguiente un tiempo de residencia alto, mayor a un periodo de marea. Los resultados de la hidrodinámica indican flujos principales en la zona cercana a la boca, que tiene profundidades de más de 6 metros, pero en el interior de la laguna se tienen flujos muy bajos y no se establece un arrastre suficiente para limitar el proceso de sedimentación.

Recomendaciones

Establecer las condiciones físico-químicas de los principales puntos de muestreo con resultados que sobre pasen los límites máximos permisibles.

Continuar con un seguimiento de análisis de la calidad de agua, sedimento y organismos, por medio de un régimen de monitoreo con muestreos periódicos aplicados a diferentes etapas de siembra y estaciones del año, (en cada cambio de estación) que permitan establecer un control promedio de indicadores de contaminación.



6 BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, J. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de humedales y otros ecosistemas acuáticos. En Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez-H, R. Márquez-Huitzil, & L. Zambrano (Edits.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INECC).
- Abarca, J. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de humedales y otros ecosistemas acuáticos. En Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, & R. Márquez-H (Edits.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INECC).
- Addams, C. L. (2005). *Water resource policy evaluation using a combined hydrological-economic-agronomic modeling framework: Yaqui Valley, Sonora, Mexico, Ph.D. dissertation*. California: Stanford University.
- Adriano, D. C. (1986). *Trace of elements in the terrestrial environment*. New York: Springer Verlag.
- Aguilar-Apodaca, M. G., Félix-Fuentes, A., Cantú-Soto, E. U., Balderas-Cortés, J. J., & Mondaca-Fernández, I. (2010). *Estudio de la calidad química del agua de abastecimiento de la comunidad yaqui de Pótam, Río Yaqui, Sonora*. Obregón: Memorias del VIII Congreso Mexicano de Toxicología.
- Aguilar-Hinojosa, Y., Meza-Figueroa, D., Villalba-Attondo, A. I., Encinas-Romero, M. A., Valenzuela-García, J., & Gómez-Álvarez, A. (2016). *Mobility and bioavailability of metals in stream sediments impacted by mining activities: The Jaralito and the Mexicana in Sonora, Mexico. Water Air Soil Pollut.* doi:10.1007/s11270-016-3046-1.
- Ahrens, T. D., Beman, J. M., Harrison, J. A., Jewett, P. K., & Matson, P. A. (2008). A synthesis of nitrogen transformations and transfers from land to the sea in the Yaqui Valley agricultural region of northwest Mexico. *Water Resources Research*(44). doi:10.1029/2007WR006661
- Alfaro-Cuevas Villanueva, R. (2010). *Estudio de la movilidad y toxicidad de metales pesados y arsénico en agua y sedimentos del Lago de Cuitzeo, Michoacán. Tesis Doctoral*. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ingeniería. Centro Interamericano de recursos del Agua.
- Al-Saleh, & Al-Doush, I. (1998). Survey of trace elements in household and bottled drinking water samples collected in Riyadh, Saudi Arabia. *Arabia. The Science of the Total Environmental*(216), 181:192.
- American Public Health Association. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20° ed.). Washington: American Water Works Association. Water Environment Federation.
- Anglés Hernández, M. (2016). *Agua y derechos humanos*. Ciudad de México: Comisión Nacional de Derechos Humanos.
- Anh, P. T., Kroeze, C., Bush, R. R., & Mol, A. P. (2010). Water pollution by intensive brackish shrimp farming in south-east Vietnam: causes and options for control. *Agricultural water management*, 97(6), 872:882.
- Ávila-Pérez, P., & Zarazúa-Ortega, G. (1998). Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea virginica* Gmelin), del canal El Chijol, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 9(2), 53:64.



- Ayala Mora, R. L. (2012). *Optimización y estandarización de un método basado en dispersión de matriz en fase sólida para el análisis de plaguicidas organoclorados en leche materna. Tesis de maestría*. Obregón: Instituto Tecnológico de Sonora. Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias.
- Baboli Javaheri, M., & Velayatzadeh, M. (s.f.). Determination of heavy metals and trace elements in the muscles of marine shrimp, *Penaeus merguensis* from Persian Gulf, Iran. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(3), 786:791.
- Barats, A., Féraud, G., Potot, C., Philippini, V., Travi, Y., Durrieu, G., . . . Simler, R. (2014). Naturally dissolved arsenic concentrations in the Alpine/Mediterranean Var River watershed (France). *Science of the Total Environment*, 473:474.
- Barbieri, M. (2016). The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. *Journal of Geology & Geophysics*, 5:237. doi:10.4172/2381-8719.1000237.
- Boyd, C. E. (2003). Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, 226, 101:112.
- Boyd, C. E., & Massaut, L. (1999). Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. *Aquaculture*, 20, 113:132. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(99\)00010-2A](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(99)00010-2A).
- Bui, D., Luong-Van, J., & Austin, C. M. (2012). Impact of shrimp farm effluent on water quality in coastal areas of the world heritage-listed Ha Long Bay. *American Journal of environmental sciences*, 8(2), 104:116.
- Burgess, R. M., Berry, W. J., Mountz, D. R., & Di Toro, D. M. (2013). MECHANISTIC SEDIMENT QUALITY GUIDELINES BASED ON CONTAMINANT BIOAVAILABILITY: EQUILIBRIUM PARTITIONING SEDIMENT BENCHMARKS. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(1), 102–114.
- Cantú Soto, E. U., Meza Montenegro, M. M., Valenzuela Quintanar, A. I., Félix Fuentes, A., Grajeda Cota, P., & Acuña García, M. G. (2011). Residues of organochlorine pesticides in soils from the southern Sonora, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 87, 556-560.
- Carmona, R., Castillo-Guerrero, A. L., Figueroa Carranza, A. L., & Cruz, M. (2015). La Bahía de Tóbari, primer sitio sonorense en ser reconocido por la Red Hemisférica de Reservas para las Aves Playeras. *Churea*(6), 4:9. Obtenido de <http://www.whsrn.org>
- Casares, M. V. (2012). *Biodisponibilidad y toxicidad de metales pesados en aguas naturales con características físico-químicas extremas. Bases para su monitoreo y remediación. Tesis doctoral*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Recuperado el 02 de marzo de 2017, de Biblioteca Digital FCEN-UBA: http://digital.bl.fcen.uba.ar/download/tesis/tesis_n5334_Casares.pdf
- CESASIN. (2010). Producción de camarón en México. *Industria Acuicola*, 6(3), 35.
- Collins, A. L., & Mc Gonigle, D. F. (2008). Monitoring and Modelling diffuse pollution from agriculture for policy support: UK and European experience. *Environmental Science and Policy*, 11, 97:101.



- COLSON. (2016). "Portales" del Colegio de Sonora. Recuperado el 28 de abril de 2017, de <http://portales.colson.edu.mx/num608/sonora-sector-agropecuario-y-desarrollo-rural/>
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego*. Recuperado el 10 de junio de 2017, de <http://www.edistritos.com/DR/estadisticaAgricola/index.html>
- CONAGUA. (2012). *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa II Noreste*. D.F.: SEMARNAT. Obtenido de <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/II%20PHOCNO.pdf>
- CONAGUA. (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (20 de abril de 2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle dl Yaqui (2640), Estado de Sonora*. Diario Oficial de la Federación.
- CONAGUA. (2015). *Atlas del Agua en México 2015*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2015). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Ciudad de México: SEMARNAT. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197610/Inventario_2015.pdf
- CONAGUA. (29 de agosto de 2016). Recuperado el 06 de junio de 2017, de Estadísticas agrícolas de los distritos de riego: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México, edición 2016*. SEMARNAT. Obtenido de http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf
- Cotler, H., & Iura, G. D. (2010). Contaminación potencial difusa por actividad agrícola. En *Las Cuencas Hidrográficas de México: diagnóstico y priorización* (págs. 120-122). D.F.: Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.
- Cruz Casanova, F. E. (2013). Efecto de la contaminación por metales pesados en los ecosistemas costeros del sureste de México. *Kuxulkab: Revista de divulgación*, XIX(37).
- De la Lanza Espino, G. (2001). *Características físicas y químicas de los mares de México*. D.F.: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Plaza-Valdez.
- Deltas. (2013a). DELF3D - Flow user Manual.
- Diario Oficial de la Federación. (2011). *NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba*.
- Díaz, O., Encina, F., Recabarren, E., & Del Valle, S. (2008). Estudio de la concentración de arsénico, mercurio, plomo y fenantreno en la macha (*Mesodesma donacium*). Implicancias alimentarias y toxicológicas. *Revista chilena de nutrición*, 35(1), 53-60.
- Distribution of heavy metals in tissues of the shrimp *Penaeus californiensis* from the Northwest coast of Mexico. (1995). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 55, 209-215.
- Distrito de Riego del Río Yaqui. (18 de febrero de 2017). Obtenido de <http://drryaqui.org.mx>



- Domínguez Sánchez, L. (2010). Descripción del sistema ambiental y señalamiento de la problemática ambiental, detectada en el área de influencia del campo pesquero El Paredón Colorado y El Paredoncito, Bahía del Tóbari, para el establecimiento de infraestructura pesquera. *Revista Sistemas Ambientales*, 3(2), 18:61.
- EPA. (1997). *The 'Incidence And Severity Of Sediment Contamination In Surface Waters Of The United States* (Vol. 1: National Sediment Quality Survey.). United States Environmental Protection Agency.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Escofet Giansone, A., & Bravo Peña, L. C. (2007). Overcoming environmental deterioration through defensive expenditures: Field evidence from Bahía del Tóbari (Sonora, Mexico) and implications for coastal impact assessment. *Journal of Environmental Management*(84), 266-273. doi:10.1016/j.jenvman.2006.06.005. (ID: 11649)
- Estrada, G. (2006). *Evaluación de la cobertura de manglares utilizando imágenes de satélite y su relación con la actividad camarónÍcola en Sonora*. Tesis magistral. Hermosillo: Universidad de Sonora.
- Fairbrother , A., Wenstel, R., Sappington, K., & Wood, W. (2007). Framework for metals risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68, 145-227.
- FAO. (2012). *The estate of world fisheries and aquaculture 2012*. Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i2727e.pdf>
- FAO. (2016). *Sitio web: AQUASTAT*. Recuperado el 10 de abril de 2017, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm>
- Forstner, U., & Withmann, G. W. (1981). *Heavy metal pollution in the aquatic environment* (2° ed.). Munich: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Fuge, R., & Perkins, W. (1991). Aluminium and heavy metals in potable water of the north Ceredigion area, mid-Wales. *Environ Geochem Health*, 13(2), 56:65.
- Galindo Reyes, J. G., Guerrero Ibarra, M. A., Villagrana Lizarraga, C., Medina Jasso, A., & Muñoz Rubi , H. A. (1994). Efectos de la contaminación por plaguicidas en camarones peneidos de Sinaloa, México. *Ciencias Maritimas*, 1(3), 34-38.
- Galindo Reyes, J. M., Guerrero Ibarra, M. A., Villagrana Lizarraga, C., Medina Jasso, A., & Muñoz Rubi, H. A. (1996). Toxic effects of organochlorine pesticides on *Penaeus vannamei* shrimps in Sinaloa, Mexico. *Chemosphere*, 33(3), 567-575.
- Galindo, R. G. (2000). *Condiciones Ambientales y de Contaminación en los Ecosistemas Costeros de Sinaloa*. Universidad Autónoma de Sinaloa. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- García Hernández, J., Leyva Morales, J. B., Martínez Rodríguez, I. E., Hernández Ochoa, M. I., Aldana Madrid, M. L., Rojas García, A. E., . . . Perera Rios, J. H. (2018). Esatdo actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 34(Especial



- sobre Contaminación y toxicología por Plaguicidas (CTP)), 29-60. doi:10.20937/RICA.2018.34.esp01.03
- Godwin, A., Oghenekohwiroro, E., Fusno, A., & Olaniyi, O. (2015). Pollution and sediment quality of Asejire reservoir, Southwest Nigeria. *International Journal of Environment and Pollution Research*, 3(4), 7. Obtenido de www.eajournals.org
- GS Ingeniería Integral, S.A de C.V. (2008). *Manifestacion de Impacto Ambiental, Modalidad particular para la obra de dragado en la bahia del Tóbari, Municipio de Benito Juárez, Sonora*. SAGARPA-CONAPESCA.
- Hanson, B. R., & Trout, T. J. (2001). Irrigated Agriculture and water Quality Impacts. En *Agricultural Nonpoint Source Pollution* (pág. 169:206). Florida: Lewis Publishers.
- Hendrickson, D. A., Minckley, W. L., Miller, R. R., Siebert, D. J., & Minckley, P. H. (1981). Fishes of the Rio Yaqui basin, Mexico and United States. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science*, 15(3), 65-106.
- Herrera-Silveira, J. A., Teutli, H. C., Zaldivar, J. A., Caamal, S. J., Alvarado, E., Andueza, T., . . . Cortés, B. O. (2009). *Propuesta metodológica para evaluar el grado de deterioro de los ecosistemas de manglar: El caso Yucatán*. CINVESTAV/SEMARNAT-INE.
- Hopkins, J. J., Allison, H. M., Thurgate, G., Gaywood, M., & Thurgate, G. (2007). *Conserving biodiversity in a changing climate. Guidance on building capacity to adapt*. UK: Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- INEGI. (1993). *Estudio hidrológico del estado de Sonora*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2000). *Síntesis de Información geográfica del estado de Sonora*. Recuperado el 01 de enero de 2018, de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espagnol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825223328/702825223328_3.pdf
- INEGI. (2000). *Superficie del País por Entidad y Municipio*. Recuperado el 18 de enero de 2018, de Cuéntame: <http://cuentame.inegi.org.mx/default.aspx>
- INEGI. (2015). *Anuario estadístico y geográfico de Sonora 2015*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. (2016). *Producto Interno Bruto por Entidad Federativa*. Recuperado el 18 de enero de 2018, de Año Base 2013. Serie de 2003 a 2016: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx>
- Jara-Marini, M. E., Tapia-Alcaraz, J. N., Dumer-Gutiérrez, J. A., García-Rico, L., García-Hernández, J., & Páez-Osuna. (s.f.). Distribution and accumulation of Cd, Cu, Pb, and Zn in the Surface sediments of El Tóbari Lagoon, central-East Gulf of California: An ecosystem associated with agriculture and aquaculture activities. *Journal of Environmental Science and Health*, 48(14), 1842-1851. doi:10.1080(109344529.2013.823341)
- Juárez, L. A., & Rosas, J. L. (2004). Diagnóstico ambiental de tres comunidades Mayo del municipio de Benito Juárez de Sonora. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.



- Kartal, S., Aydın, Z., & Tokalioglu, S. (2006). Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *Journal of Hazardous Materials*, 132:80-89.
- Klos, A., Raijfur, M., & Waclawek, M. (2011). Application of enrichment factor (EF) to the interpretation of results from the biomonitoring studies. *Journal of Ecological Chemistry and Engineering*, 18(2), 171-183.
- Lares Orozco, M. F., Robles Morua, A., Yopez, E. A., & Handler, R. M. (2016). Global warming potential of intensive wheat production in the Yaqui Valley, Mexico: a resource for the design of localized mitigation strategies. *Journal of Cleaner Production*, 127, 522-532.
- Liao, J., Chen, J., Ru, X., Chen, J., Wu, H., & Wei, C. (2016). Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: Distribution, enrichment and source apportionment. *Journal Geochemical Exploration*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.013>
- Liu, Y., Bao, A., & Pan, X. (2014). Depth variability and fractionation of Fe, Mn, Cu and Pb in sediments from Bosten Lake in Xinjiang, Northwest China. *Advanced Materials Research*, 864-867.
- Lobell, D., Ortiz-Monasterio, I., Asner, G. P., Naylor, R., & Falcon, W. (2005). Analysis of wheat and climatic trends in Mexico. *Field Crops Research*, 250-256.
- MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., & Berger, T. A. (2000). Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 20-31.
- Márquez, A., Senior, W., Fermín, I., & Castañeda, G. (2018). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Venezuela. Revista Científica (Maracaibo)*, 18(1), 73-86.
- Martínez-Santos, M., Probst, A., García-García, J., & Ruiz-Romera, E. (2015). Influence of anthropogenic inputs and high-magnitude flood event on metal contamination pattern in surface bottom sediments from the Deba River urban catchment. *Science of the Total Environment (STOTEN)*, 514, 10-25.
- McCullough, E. (2005). *Coping with drought: an analysis of crisis responses in the Yaqui Valley. Thesis of Master Degree*. Department of Earth System Program. Stanford University.
- Mejías, B. J., & Jerez, B. J. (2006). *Guía para la toma de muestras de residuos de plaguicidas. Agua, sedimento y suelo. Boletín por el Centro Regional de Investigación Carillanca del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura*. Temuco: Servicio Agrícola y Ganadero, SAG.
- Meza-Montenegro, M. M., Gandolfi, A. J., Santana-Alcántar, M. E., Klimecki, W. T., Aguilar-Apodaca, M. G., Del Río-Salas, R., & Meza-Figueroa, D. (2012). Metals in residential soils and cumulative risk assessment in yaqui and mayo agricultural valleys, northern Mexico. *The Science of the Total Environment*, 433, 472-481. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.06.083
- 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(3), 519-527. doi:10.1007/s00244-012-9846-4
- Minjares, S., Tapia, E., Oroz, L., López, A., Ríos, M. A., Minjares, J. L., & Samaniego, D. (2013). *Programa de medidas de mitigación y preparación contra la sequía, Cuenca río Yaqui*. CONAGUA-PRONACOSE-UNISON.
- Moreno-Villa, E. D., Aldana-Madrid, M. I., Silveira-Gramont, M., Rodríguez-Olibarría, G., Valenzuela-Quintanar, A., & Meza-Montenegro, M. (2012). Análisis de piretroides en suelo y agua de zonas agrícolas y urbanas de los valles del yaqui y mayo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(4), 303-310. Recuperado el 13 de abril de 2017, de <http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/34205>
- Mortatti, J., de Oliveira, H., Meneghel de Moraes, G., Vendraminia, G., & Martins, F. A. (2015). Distribution of heavy metals in the geochemical phases of sediments from the Tietê River, Brazil. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 25(3), 194-200.
- Muller, G. (1969). Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geological Journal*, 2(3), 108-118.
- Muñoz-Hernandez, A., & Mayer, A. S. (2006). Calibration and Uncertainty of a Surface Water Model for a Large Basin in a Semiarid Region: The Rio Yaqui-Basin, Mexico. *American Geophysical Union*.
- N'Guessan, Y. M. (2008). *Dynamique des elements traces dans les eaux de surface des bassins versants agricoles de Gascogne. École Doctorale Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques , Bioingénieries (SEVAB)*. Université de Toulouse.
- Naylor, R., Falcon, W., & Puente-González, A. (2001). *Policy reforms and Mexican agriculture: views from the Yaqui Valley. Economics working paper*. D.F.: International Wheat and Maize Improvement Center (CIMMYT).
- NOM-001-SEMARNAT-1996. (1997). *Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. DOF: 06/01/1997.
- Ohe, T., Watanabe, T., & Wakabayasi, K. (2004). Mutagens in surface waters: a review. *Mutation Research*, 567, 109-149.
- OMS. (2015). *Nota descriptiva N°399. Inocuidad de los alimentos*. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/es/>
- Ongley, E. D. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje* (Vols. 1,2 y 5). FAO.
- Ortiz Pérez, M. A., & de la Lanza Espino, G. (2006). *Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Geografía para el siglo XXI*. Serie Textos Universitarios, Instituto de Geografía, UNAM.
- Paéz-Osuna, F. (2001). La interacción camaronicultura y medio ambiente. (F. Paéz-Osuna, Ed.) *Camaronicultura y Medioambiente*, 15-21.
- Paéz-Osuna, F., & Bojorquez Mascareno, E. I. (2002). Concentración y distribución de metales pesados en los tejidos de los camarones *Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris* del sureste del golfo de



- California. En M. E. Hendrickx (Ed.), *Contribuciones al estudio de los crustáceos del Pacífico Este* (págs. 293-300). México: UNAM.
- Páez-Osuna, F., & Bojorquez Mascareno, E. I. (2002). Concentración y distribución de metales pesados en los tejidos de los camarones *Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris* del sureste del golfo de California. *Contribuciones al estudio de los crustáceos del Pacífico este*, 293-300.
- Páez-Osuna, F., & Ruíz-Fernandez, C. (1995). Comparative bioaccumulation of trace metals in *Penaus stylirostris* in estuarine and coastal environments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40(1), 35-44.
- Páez-Osuna, F., & Tron Mayen. (1996). Concentration and distribution of heavy metals in tissues of wild and farmed shrimp *Penaus vannamei* from the northwest coast of Mexico. *Environ. Int.*, 22(4), 443-450.
- Pedroza González, E., & Hinojosa Cuéllar, G. A. (2014). *Manejo y distribución del agua en distritos de riego: breve introducción didáctica*. Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ponce Serrano, S. (2008). La marea roja: una amenaza en el Mar de Cortés. *Revista Universidad de Sonora*(20).
- Pritchard, D. W. (1967). What is an estuary?: Physical viewpoint. (G. H. Lauff, Ed.) *Estuaries*, 83, 3-5.
- PRONACOSE. (06 de Octubre de 2014). Recuperado el 03 de Enero de 2018, de <http://www.pronacose.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=1111&n3=1133>
- Proyecto de la Universidad de Baja California, PEACC*. (s.f.). Recuperado el 20 de Agosto de 2017, de <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php>
- Rabalais, N. N., Turner, R. E., & Scavia, D. (2002). Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. *BioScience*, 52, 129-142.
- Rainbow, P. (1997). Trace metal accumulation in marine invertebrates: marine biology or marine chemistry. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 77, 195-210.
- Rainbow, P. (1997). Trace metal accumulation in marine invertebrates: marine biology or marine chemistry. *J. Mar. Biol. Ass.*, 77, 195-210.
- RAMSAR. (2008). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) 2006-2008*.
- Revenge, C., Murray, S., Abramovitz, J., & Hammond, A. (1998). *Watersheds of the World: Ecological Value and Vulnerability*. Washington: World Resources Institute.
- Rosas Rodríguez, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis Doctoral*. Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech. Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales. Recuperado el 08 de febrero de 2017, de <http://hdl.handle.net/10803/6978>
- Sarà, G. (2007). Ecological effects of aquaculture on living and nonliving suspended fractions of the water column: a meta-analysis. *Water Research*, 41(15), 3187-3200.
- Sarkar, T., Masihul, A. M., Parvin, N., Fardous, Z., Chowdhury, A., Hossain, S., . . . Biswas, N. (2016). Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhira region, Bangladesh. *Journal Toxicology Reports*, 3, 346-350.



- Schopus, G., Addams, C. L., & Gorelick, S. M. (2005). Multi-objective calibration of a surface water-groundwater flow model in an irrigated agricultural region: Yaqui Valley. *Hydrol. Earth Syst.* 9, 549-568.
- Servicio Geológico Mexicano. (2016). *Anuario estadístico de la minería mexicana, 2015*. México, D.F.: Dirección General de Minería.
- SIAP-SAGARPA. (2017). *Servicio de información agroalimentaria*. Recuperado el 4 de Mayo de 2017, de http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario_siapx_gobmx/indexmpio.jsp.
- Soto Jiménez, M. F., & Páez Osuna, F. (2001). Distribution and Normalization of Heavy Metal Concentrations in Mangrove and Lagoonal Sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 53, 259-274.
- Soto Jiménez, M. F., Páez-Osuna, F., Scelfo, G., Hibdon, S., Franks, R., Aggarawl, J., & Flegal, A. R. (2008). Lead pollution in subtropical ecosystems on the SE Gulf of California coast: a study of concentrations and isotopic composition. *Marine Environmental Research*, 66, 451-458.
- Sutherland, R. A., & Tack, F. G. (2002). Determination of Al. Cu. Fe. Mn. Pb and Zn in certified reference materials using the optimized BCR sequential extraction procedure. En *Analytica Chimica Acta* (págs. 454:249-257).
- U.S. EPA. Environmental Protection Agency. (2001). *Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual*.
- UNAM. (2013). *Instituto de Geografía*. Recuperado el 05 de enero de 2018, de Nuevo Atlas Nacional de México 2007: http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-2007/nat_amb/na1.php
- Valenzuela Borbolla, A. (2013). *Sistemas de información geográfica de módulos del Distrito de Riego 041, Río Yaqui. Tesis de licenciatura*. Sonora, México: Instituto Tecnológico de Sonora.
- Van Geen, A., Takeuse, R., & Chase, Z. (1999). Acid mine tailings in southern Spain. *The Science of the Total Environment*, 242, 221-229.
- Vargas-González, H. H., Arreola-Lizárraga, J. A., García-Hernández, J., Mendoza-Salgado, R. A., Zenteno-Zavin, T., & Méndez-Rodríguez, L. C. (2017). Calidad de sedimentos asociada a actividades antrópicas en lagunas costeras semiáridas subtropicales de la costa central este del Golfo de California. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33 (Especial sobre Ingeniería Ambiental Universidad Estatal de Sonora), 7-22. doi:10.20937/RICA.2017.33.esp02.01
- Vega Granillo, E. L., Cirett Galán, S., de la Parra Velasco, M. L., & Zavala Juárez, R. (2011). Cap. 8 Hidrogeología de Sonora. En I. d. Geología, *Boletín 118* (págs. 267-298). Ciudad de México: UNAM.
- Volpedo, A., Del Cabo, L., Arreghini, S., & Fernández, C. A. (2016). *Ecología y manejo de ecosistemas acuáticos pampeños (VIII EMEAP)*. Autónoma de Buenos aires, Argentina.
- Weidner, D. M., & Wells, R. M. (s.f.). *Mexican shrimp culture: Legal changes. Reporte inédito del US National Marine Fisheries Service*.



- Whyte, A., Raumati, G., Greening, G., Gibbs, E., & Gardner, J. (2009). Human dietary exposure to heavy metals via consumption of greenshell mussels (*Perna canaliculus* Gmelin, 1791) from the Bay of Islands, northern New Zealand. *Sci. Total Environ*, 4348-4355.
- Wu, X. Y., & Yang, F. (2011). Heavy metal (Pb, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn and Zn) concentrations in harvest-size White shrimp *Litopenaeus vannamei* tissues from aquaculture and wild source. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(1), 62-65.
- Yáñez Arancibia, A., Soberón Chávez, G., & Sánchez Gil, P. (1995). Ecology of control mechanisms of natural fish production in the coastal zone. En A. Yáñez-Arancibia (Ed.), *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration* (págs. 571- 594). D.F.: UNAM.
- Zarázua Ortega, G. (2008). *Evaluación de las contribuciones naturales y antropogénicas de los metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb y su distribución en el agua y sedimento en el curso alto del río Lerma. Tesis Doctoral*. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de ingeniería, Centro interamericano de recursos del agua.

Tabla 6-1 Cationes disueltos en muestras de Bahía del Tóbari



Crterios mg/L	LFD* mg/L	P1 mg/L	P2 mg/L	P3 mg/L	P4 mg/L	P5 mg/L	P6 mg/L	P7 mg/L	P8 mg/L	P9 mg/L	P10 mg/L	P11 mg/L	P12 mg/L	P13 mg/L
0.2	0.2	0.070	0.083	0.056	0.044	0.042	0.306	0.404	0.026	0.027	0.029	0.029	0.030	0.031
0.01	0.04	<l.c.												
0.009	0.009	5.5160	5.5920	5.3960	5.9480	6.1260	5.6240	5.7290	5.7730	5.9560	5.8170	5.8880	6.0380	5.7290
0.5	0.5	0.0223	0.0251	0.0171	0.0329	0.0372	0.0486	0.0521	0.0433	0.0431	0.0450	0.0395	0.0597	0.0630
-	0.1	<l.c.												
-	-	<l.c.												
-	-	411.3	433.8	415.2	433.2	450.8	435.2	446.4	453.7	447.3	444.7	474.7	480.7	496.7
0.0009	0.0002	<l.c.												
-	-	0.0060	0.0056	0.0054	0.0059	0.0056	0.0049	0.0055	0.0050	0.0048	0.0052	0.0050	0.0057	0.0060
0.05	0.01	<l.c.												
0.003	0.01	0.0039	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.0041	0.0044	0.0049	0.0040	0.0048	0.0039	0.0043	0.0043
0.05	0.05	0.0574	0.0572	0.0373	0.0311	0.0309	0.1915	0.2417	0.0226	0.0228	0.0232	0.0215	0.0252	0.0252
-	-	446	451	438	426	447	426	422	439	422	424	459	449	449
-	-	0.5616	0.5548	0.5124	0.5534	0.5435	0.5217	0.5342	0.5356	0.5461	0.5445	0.5396	0.5496	0.5496
-	-	1406	1365	1296	1310	1322	1220	1226	1291	1247	1256	1322	1299	1299
-	0.02	0.0132	0.0129	0.0113	0.0104	0.0103	0.0231	0.0297	0.0120	0.0118	0.0119	0.0112	0.0115	0.0115
-	-	0.0099	0.0111	0.0086	0.0118	0.0109	0.0104	0.0107	0.0110	0.0108	0.0119	0.0110	0.0133	0.0133
-	-	14050	14480	13820	14150	14450	13450	13510	14160	13890	13870	14940	14580	14580
0.008	0.002	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.0027	0.0036	0.0037	<l.c.	<l.c.	0.0030	<l.c.	0.0029	<l.c.
-	-	<l.c.	0.0612	<l.c.	<l.c.									
0.006	0.01	<l.c.	0.0111	<l.c.	<l.c.	0.0123	<l.c.	<l.c.						
-	-	1182	1160	1108	1137	1166	1086	1116	1157	1126	1130	1202	1189	1189
-	-	0.0230	0.0229	0.0203	0.0207	0.0229	0.0203	0.0216	0.0168	0.0208	0.0213	0.0189	0.0195	0.0195
0.04	0.005	<l.c.												
-	-	0.751	0.818	0.438	1.287	1.755	2.941	3.330	1.394	2.038	2.699	2.181	3.075	3.075
-	-	<l.c.												
-	-	7.247	7.160	6.569	6.771	6.695	6.401	6.549	6.505	6.641	6.470	6.564	6.742	6.742
-	-	<l.c.												
0.02	0.02	0.0776	0.0728	<l.c.	0.0730	<l.c.								
-	-	0.0036	0.0032	0.0027	0.0040	0.0047	0.0060	0.0068	0.0051	0.0053	0.0054	0.0056	0.0082	0.0082
0.09	0.02	0.0291	0.0153	0.0079	0.0078	0.0077	0.0070	0.0101	0.0077	0.0077	0.0067	0.0052	0.0040	0.0040

le Derechos

Tabla 6-2 Cationes muestras agua superficial y subterránea muestreo junio 2017.

Parámetro Punto de muestreo	NOM 127 mg/L	PP 1 y 2 Influente mg/L	PP 3 y 4 Influente mg/L	PP 1 y 2 Efluente mg/L	PP 3 y 4 Efluente mg/L	Pozo PP 3 y 4 mg/L
Al	0.200	0.033	0.026	0.080	0.057	0.027
As	0.025	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.0637
B	-	0.0835	0.0691	0.0827	0.1018	0.4904
Ba	0.7000	0.0667	0.0335	0.0682	0.0414	0.0062
Be	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Bi	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Ca	-	29.52	19.81	29.21	19.68	8.611
Cd	0.005	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Co	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Cr	0.05	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.0037
Cu	2.0000	0.0024	<l.c.	0.0025	0.0051	0.0027
Fe	0.3000	0.0251	0.0219	0.0266	0.0201	0.0218
K	-	4.05	3.70	3.56	3.58	1.28
Li	-	0.0116	0.0106	0.0116	0.0157	0.0930
Mg	-	8.362	7.816	8.408	7.491	0.736
Mn	0.1500	0.0163	0.0106	0.0120	0.0115	0.0118
Mo	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.0075
Na	200	26.59	16.86	22.43	27.94	153.6
Ni	-	0.0085	0.0081	0.0079	0.0084	0.0144
P	-	0.0570	<l.c.	0.0572	<l.c.	<l.c.
Pb	0.01	0.0132	0.0123	0.0123	0.0123	0.0153
S	-	9.537	8.587	9.928	9.631	16.97
Sb	-	0.0195	0.0208	0.0191	0.0181	0.0190
Se	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Si	-	11.22	11.04	11.56	12.22	20.91
Sn	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Sr	-	0.222	0.197	0.224	0.193	0.057
Te	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Tl	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
V	-	0.0042	0.0048	0.0045	0.0108	0.0610
Zn	5.0000	0.0041	0.0028	0.0044	0.0096	0.0042

Tabla 6-3 Resultados de la concentración de metales. en mg/kg (promedio y desviación estándar) en las fracciones de sedimentos superficiales muestreo junio de 2017 en la Bahía del Tóbari



Sedimento junio 2017		Cd-FI	Cd-FII	Cd-FIII	Cd-FIV	Cd-Tot	Cu-FI	Cu-FII	Cu-FIII	Cu-FIV	Cu-Tot
P1	Prom	0.115	0.175	0.312	1.416	2.017	0.389	0.337	1.092	4.855	6.673
	DE	0.007	0.010	0.124	0.034	0.092	0.018	0.002	0.093	0.050	0.158
P2	Prom	0.127	0.224	0.302	1.654	2.308	0.359	0.382	2.016	9.190	11.947
	DE	0.004	0.003	0.131	0.137	0.006	0.007	0.005	0.387	0.555	0.953
P3	Prom	0.145	0.186	0.377	1.695	2.403	0.265	0.364	2.491	4.308	7.428
	DE	0.007	0.009	0.081	0.078	0.158	0.005	0.007	0.058	0.038	0.108
P4	Prom	0.117	0.210	0.405	2.477	3.209	0.243	0.462	1.021	8.963	10.689
	DE	0.003	0.004	0.064	0.087	0.023	0.004	0.004	0.025	0.279	0.254
P5	Prom	0.082	0.203	0.424	2.523	3.233	0.232	0.384	1.723	10.146	12.486
	DE	0.003	0.001	0.099	0.033	0.064	0.010	0.004	0.016	0.244	0.214
P6	Prom	0.097	0.302	0.442	2.357	3.198	0.287	0.469	1.031	17.971	19.757
	DE	0.004	0.014	0.059	0.021	0.049	0.004	0.006	0.026	2.203	2.180
P7	Prom	0.112	0.255	0.479	2.217	3.063	0.207	0.429	1.149	6.576	8.361
	DE	0.011	0.005	0.014	0.041	0.071	0.003	0.004	0.073	0.711	0.792
P8	Prom	0.087	0.300	0.529	1.790	2.707	0.264	0.468	2.053	8.755	11.540
	DE	0.010	0.005	0.156	0.066	0.217	0.004	0.002	0.009	0.698	0.683
P9	Prom	0.095	0.254	0.559	1.692	2.600	0.207	0.419	1.175	7.483	9.285



Sedimento junio 2017		Cd-FI	Cd-FII	Cd-FIII	Cd-FIV	Cd-Tot	Cu-FI	Cu-FII	Cu-FIII	Cu-FIV	Cu-Tot
	DE	0.007	0.002	0.013	0.075	0.056	0.004	0.003	0.034	0.130	0.095
P10	Prom	0.100	0.300	0.859	1.965	3.223	0.234	0.410	1.277	4.406	6.327
	DE	0.007	0.003	0.042	0.036	0.017	0.003	0.007	0.007	0.129	0.126
P11	Prom	0.112	0.289	0.609	1.914	2.924	0.263	0.383	1.576	4.965	7.186
	DE	0.003	0.004	0.021	0.034	0.012	0.003	0.003	0.037	0.125	0.155
P12	Prom	0.110	0.305	0.559	2.040	3.014	0.263	0.418	1.152	7.692	9.525
	DE	0.007	0.003	0.036	0.067	0.021	0.003	0.002	0.027	0.136	0.104
P13	Prom	0.087	0.272	0.554	2.271	3.184	0.214	0.426	1.893	5.105	7.637
	DE	0.004	0.007	0.070	0.025	0.085	0.006	0.001	0.039	0.200	0.153
P14	Prom	0.102	0.314	0.482	2.490	3.388	0.205	0.452	2.033	4.280	6.970
	DE	0.004	0.003	0.025	0.073	0.048	0.002	0.004	0.017	0.030	0.046



Sedimento junio 2017		Mn-FI	Mn-FII	Mn-FIII	Mn-FIV	Mn-Tot	Zn-FI	Zn-FII	Zn-FIII	Zn-FIV	Zn-Tot
P1	Pro m	61.882	63.467	28.414	504.100	657.863	3.538	5.051	8.060	53.481	70.130
	DE	0.322	0.297	3.594	3.612	0.007	0.070	0.270	0.124	0.908	0.984
P2	Pro m	59.164	60.891	41.121	484.454	645.630	3.534	8.200	10.549	99.481	121.764
	DE	2.498	0.452	1.307	15.107	10.850	0.087	0.559	0.037	1.270	0.762
P3	Pro m	56.467	59.993	35.240	572.322	724.022	3.011	6.590	7.656	40.628	57.885
	DE	0.145	0.263	0.336	6.196	6.413	0.055	1.787	0.262	0.851	2.846
P4	Pro m	66.547	127.953	24.033	489.587	708.119	3.305	6.946	9.200	89.674	109.124
	DE	0.195	1.275	0.073	9.379	7.836	0.068	2.039	0.057	0.286	2.314
P5	Pro m	80.238	67.499	34.577	487.251	669.565	3.680	8.046	11.262	91.861	114.850
	DE	3.111	0.116	0.767	3.779	0.017	0.055	0.093	0.321	1.500	1.326
P6	Pro m	197.831	201.581	63.230	542.307	1004.949	5.392	19.519	7.657	108.697	141.266
	DE	4.774	1.212	3.922	13.922	23.832	0.037	0.331	0.031	2.623	2.297
P7	Pro m	101.952	82.491	37.220	525.529	747.192	5.365	9.841	8.238	77.802	101.246
	DE	0.737	1.696	0.720	18.739	18.500	0.056	0.164	0.026	2.510	2.263
P8	Pro m	104.383	81.313	31.214	483.886	700.796	3.327	6.519	7.671	76.552	94.069
	DE	7.489	16.224	0.853	6.404	3.184	0.091	0.689	0.021	0.503	1.262
P9	Pro m	141.888	143.100	38.746	535.154	858.886	3.480	7.957	8.447	70.552	90.435
	DE	7.575	12.358	0.258	19.195	14.155	0.023	0.694	0.071	0.542	0.058
P10	Pro m	55.309	91.085	26.062	590.258	762.714	3.538	6.265	8.376	40.357	58.536
	DE	0.835	1.961	0.644	4.758	6.528	0.156	0.189	0.028	0.522	0.204



Sedimento junio 2017		Mn-FI	Mn-FII	Mn-FIII	Mn-FIV	Mn-Tot	Zn-FI	Zn-FII	Zn-FIII	Zn-FIV	Zn-Tot
P1 1	Pro m	84.654	51.731	23.816	598.88 8	759.089	3.44 8	6.098	7.665	44.660	61.871
	DE	3.863	5.982	0.365	6.491	4.007	0.01 6	0.285	0.018	0.498	0.179
P1 2	Pro m	192.59 2	130.84 9	57.974	562.29 8	943.713	3.43 4	6.791	8.507	66.755	85.488
	DE	1.412	14.073	1.282	14.840	0.898	0.04 9	0.244	0.068	0.929	1.192
P1 3	Pro m	150.81 8	123.91 3	30.531	624.67 0	929.932	4.32 1	10.53 3	5.538	60.166	80.559
	DE	1.933	7.411	0.710	1.779	2.990	0.01 9	0.427	3.560	1.432	2.574
P1 4	Pro m	63.307	61.829	35.175	610.59 7	770.908	3.50 8	5.431	8.689	42.749	60.377
	DE	0.270	0.205	0.978	0.719	0.194	0.03 0	0.126	0.008	2.592	2.740



Sedimento junio 2017		Pb-FI	Pb-FII	Pb-FIII	Pb-FIV	Pb-Tot	Ni-FI	Ni-FII	Ni-FIII	Ni-FIV	Ni-Tot
P1	Prom	0.117	0.223	0.521	60.11 9	60.98 0	0.27 3	0.703	0.431	9.740	11.14 6
	DE	0.014	0.004	0.001	0.147	0.130	0.01 2	0.169	0.044	0.022	0.222
P2	Prom	0.160	0.248	0.534	61.29 0	62.23 3	0.35 0	0.588	0.602	11.94 1	13.48 1
	DE	0.018	0.010	0.024	0.302	0.306	0.01 1	0.033	0.075	0.301	0.353
P3	Prom	0.158	0.207	0.655	51.60 1	52.62 1	0.31 2	0.520	0.456	9.769	11.05 7
	DE	0.009	0.003	0.052	0.294	0.254	0.01 1	0.008	0.021	0.127	0.102
P4	Prom	0.161	0.278	0.510	60.71 9	61.66 9	0.39 1	0.602	0.557	11.03 0	12.57 9
	DE	0.012	0.032	0.012	0.734	0.726	0.01 0	0.035	0.018	0.060	0.123
P5	Prom	0.167	0.284	0.532	52.78 8	53.77 2	0.43 7	0.537	0.517	11.92 0	13.41 1
	DE	0.015	0.015	0.026	0.185	0.159	0.00 8	0.021	0.030	0.150	0.209
P6	Prom	0.185	0.321	0.506	55.86 7	56.87 9	0.40 8	0.552	0.679	11.98 7	13.62 6
	DE	0.002	0.002	0.021	0.923	0.944	0.00 5	0.036	0.006	0.370	0.334
P7	Prom	0.181	0.292	0.511	60.30 5	61.28 9	0.45 9	0.604	0.579	10.92 0	12.56 2
	DE	0.005	0.001	0.008	0.563	0.561	0.00 7	0.035	0.074	0.277	0.323
P8	Prom	0.162	0.254	0.512	52.34 5	53.27 3	0.45 7	0.488	0.403	9.012	10.35 9
	DE	0.004	0.005	0.008	0.036	0.029	0.00 4	0.005	0.037	0.476	0.512



Sedimento junio 2017		Pb-FI	Pb-FII	Pb-FIII	Pb-FIV	Pb-Tot	Ni-FI	Ni-FII	Ni-FIII	Ni-FIV	Ni-Tot
P9	Prom	0.179	0.291	0.488	68.40 1	69.35 8	0.40 8	0.527	0.692	8.546	10.17 2
	DE	0.017	0.003	0.004	0.413	0.397	0.00 4	0.002	0.009	0.566	0.569
P10	Prom	0.196	0.263	0.576	60.38 9	61.42 3	0.38 7	0.463	0.582	6.973	8.405
	DE	0.044	0.016	0.036	0.079	0.017	0.00 3	0.003	0.012	0.164	0.176
P11	Prom	0.182	0.267	0.515	53.35 9	54.32 3	0.45 3	0.458	0.826	9.425	11.16 2
	DE	0.006	0.014	0.012	1.429	1.409	0.00 3	0.002	0.039	0.631	0.591
P12	Prom	0.153	0.298	0.522	55.53 2	56.50 4	0.40 3	0.471	0.664	7.754	9.291
	DE	0.004	0.003	0.015	0.528	0.505	0.00 4	0.006	0.007	0.192	0.194
P13	Prom	0.219	0.292	0.514	60.46 7	61.49 2	0.38 7	0.484	0.905	6.594	8.371
	DE	0.006	0.018	0.004	0.079	0.106	0.00 4	0.007	0.009	0.180	0.179
P14	Prom	0.201	0.248	0.510	68.07 8	69.03 7	0.40 9	0.509	0.809	8.744	10.47 2
	DE	0.007	0.008	0.007	0.775	0.782	0.00 7	0.005	0.028	0.459	0.499

Sedimento junio 2017		Cr-FI	Cr-FII	Cr-FIII	Cr-FIV	Cr-Tot	Hg-FI	Hg-FII	Hg-FIII	Hg-FIV	Hg-Tot
P1	Prom	0.302	0.516	0.556	16.622	17.996	0.119	0.163	0.187	0.963	1.432
	DE	0.032	0.032	0.098	0.280	0.245	0.007	0.036	0.010	0.036	0.002
P2	Prom	0.264	0.338	0.546	25.371	26.519	0.126	0.153	0.151	0.981	1.411
	DE	0.005	0.045	0.143	0.380	0.287	0.008	0.000	0.007	0.030	0.015
P3	Prom	0.279	0.368	0.167	15.921	16.736	0.090	0.119	0.146	1.086	1.441



Sedimento junio 2017		Cr-FI	Cr-FII	Cr-FIII	Cr-FIV	Cr-Tot	Hg-FI	Hg-FII	Hg-FIII	Hg-FIV	Hg-Tot
	DE	0.008	0.032	0.078	0.024	0.062	0.007	0.002	0.005	0.037	0.047
P4	Prom	0.260	0.432	0.300	28.395	29.387	0.148	0.179	0.124	0.872	1.323
	DE	0.007	0.067	0.075	0.493	0.642	0.001	0.022	0.006	0.046	0.064
P5	Prom	0.360	0.539	0.524	24.283	25.706	0.118	0.187	0.177	1.088	1.570
	DE	0.008	0.091	0.082	0.235	0.253	0.003	0.003	0.007	0.036	0.029
P6	Prom	0.244	0.320	0.628	32.760	33.952	0.124	0.147	0.141	0.835	1.247
	DE	0.008	0.035	0.016	0.636	0.662	0.033	0.008	0.006	0.022	0.003
P7	Prom	0.287	0.259	0.551	23.062	24.159	0.145	0.165	0.192	1.093	1.595
	DE	0.003	0.042	0.014	0.573	0.520	0.006	0.002	0.001	0.029	0.032
P8	Prom	0.299	0.407	0.537	20.670	21.913	0.097	0.167	0.141	1.041	1.446
	DE	0.013	0.023	0.022	0.749	0.735	0.002	0.006	0.006	0.031	0.029
P9	Prom	0.278	0.437	0.604	18.133	19.452	0.075	0.174	0.157	1.028	1.434
	DE	0.005	0.031	0.061	0.440	0.476	0.019	0.013	0.006	0.018	0.057
P10	Prom	0.283	0.384	0.480	16.252	17.399	0.080	0.148	0.187	1.020	1.435
	DE	0.012	0.050	0.002	0.040	0.080	0.001	0.004	0.006	0.016	0.026
P11	Prom	0.233	0.540	0.758	15.943	17.474	0.060	0.166	0.176	0.926	1.327
	DE	0.042	0.062	0.024	0.519	0.514	0.012	0.010	0.011	0.018	0.028
P12	Prom	0.265	0.435	0.544	18.682	19.926	0.073	0.155	0.184	0.849	1.261
	DE	0.096	0.009	0.068	0.667	0.494	0.010	0.009	0.003	0.016	0.017
P13	Prom	0.278	0.455	0.505	15.970	17.209	0.077	0.174	0.141	0.884	1.275
	DE	0.007	0.006	0.012	0.522	0.509	0.009	0.009	0.006	0.031	0.024
P14	Prom	0.260	0.475	0.497	16.747	17.978	0.094	0.163	0.187	0.953	1.398
	DE	0.013	0.013	0.020	0.234	0.188	0.001	0.004	0.003	0.028	0.028

Sedimento junio 2017		Fe-FI	Fe-FII	Fe-FIII	Fe-FIV	Fe-Tot
P1	Prom	234.64	361.68	1048.9	19139.98	20785.19



Sedimento junio 2017		Fe-FI	Fe-FII	Fe-FIII	Fe-FIV	Fe-Tot
	DE	7.38	5.79	27.65	227.15	256.39
P2	Prom	107.56	958.09	1218.61	20009.18	22293.43
	DE	3.86	0.34	49.4	104.27	157.87
P3	Prom	124.61	752.94	1687.6	19204.54	21769.7
	DE	11.08	11.81	3.36	6.06	25.59
P4	Prom	131.1	868.07	1480.78	20083.03	22562.98
	DE	5.79	43.16	11.65	10.94	71.54
P5	Prom	101.26	910.26	1821.78	19925.71	22759.01
	DE	0.51	6.54	8.14	28.97	30.07
P6	Prom	103.74	856.76	1551.39	20172.61	22684.49
	DE	0.14	2.46	52.07	77.26	131.93
P7	Prom	128.54	715.17	1660.81	19655.88	22160.41
	DE	1.9	52.32	8.18	307.61	349.85
P8	Prom	118.75	693.39	1868.5	19804.42	22485.06
	DE	7.37	0.99	2.81	38.13	43.68
P9	Prom	134.82	905.51	1856.44	19381.03	22277.8
	DE	0.95	32.58	23.18	409.42	417.87
P10	Prom	141.18	922.34	1595	18932.76	21591.29
	DE	5.54	1.84	8.36	84.41	79.75
P11	Prom	127.15	900.73	1664.8	19058.71	21751.4
	DE	3.97	0.03	20.5	90.68	66.17
P12	Prom	95.9	875.1	1986.61	19582.32	22539.94
	DE	0.06	3.69	7.22	63.77	60.18
P13	Prom	129.18	940.8	1494.47	19113.55	21678
	DE	1.27	4.93	2.96	218.45	211.84
P14	Prom	134.77	669.53	1508.25	19377.41	21689.97
	DE	5.43	5.61	16.15	122.99	95.79

Organismos

Metales

Tabla 6-4 Resultados de las concentraciones de metales. en mg/kg (promedio y desviaciones estándar de los tres organismos biomonitores)

Organismos		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Ni	Cr	Pb	Hg
Almeja china <i>Chione gnidia</i>	Promedio	23.32	254.18	5.48	35.00	0.78	1.16	1.27	1.59	3.68
	DE	3.35	41.39	2.44	4.18	0.10	0.16	0.45	0.38	0.64
Almeja pata de mula <i>Anadara tuberculosa</i>	Promedio	28.09	1220.42	32.16	40.68	1.08	1.58	1.91	1.87	2.20
	DE	1.46	293.63	16.16	7.60	0.09	0.14	0.16	0.10	0.33
Lisa adulta <i>Mugil cephalus</i>	Promedio	24.15	1065.37	39.72	29.13	0.79	0.72	0.80	1.61	1.67
	DE	3.59	285.74	9.93	1.97	0.09	0.25	0.27	0.24	0.24

Parámetros de campo

Tabla 6-5 Parámetros de campo en la Bahía del Tóbari (muestreo noviembre 2017 M1).

Parámetro Punto de muestreo	pH	ORP mv	OD %	OD mg/L	Salinidad %	CE µs/cm	T °C	Alcalinidad mg/L CaCO ₃
P1	7.5	43.7	176	12.05	35.43	53607	24.8	144
P2	7.7	47.6	234	15.90	36.1	54601	24.19	160
P3	7.08	70.7	170.8	12.27	33.8	52350	24.02	126
P4	7.78	40.8	17.7	17.70	33.76	51382	24.78	128
P5	8.18	26.9	224	15.90	26.83	417.4	24.71	144
P6	8.26	32.1	260	17.79	28.8	44578	25.46	156
P7	8.44	33.3	269	18.60	28.31	43910	25.5	76
P8	8.59	39.7	284	19.50	30.49	46911	24.92	172
P9	8.52	37.7	259.7	18.43	30.68	47169	24.59	168
P10	8.43	47.1	224	15.70	27.63	43042	25.98	168
P11	8.51	58.9	260.5	17.98	31.71	48610	25.3	132
P12	8.13	52.3	262	18.39	26.56	41376	24.65	160
P13	8.48	56.5	254	17.90	30.37	46707	24.5	156
P14	8.66	24.7	265	18.70	28.48	44111	24.74	132

Tabla 6-6 Parámetros de campo en drenes y tributarios del distrito de riego.

Parámetro	pH	OR P	OD %	OD mg/L	Salinidad psu	CE $\mu\text{s/cm}$	SDT mg/L	T °C	Alcalinidad mg/L CaCO_3	Presión mmHg	Caudal m^3/s
AR 16-1	8.7	103	92.	7.5	0.51	1034	517	26.4	136	767.6	0.192
TD-2	8.2	114.	62.	4.95	0.41	849	425	27.5	124	765.7	0.756
AR 16-3	8.0	62.9	41.	3.45	0.71	1416	709	24.3	156	764.5	0.948
TD-4	8.2	109.	84.	7.8	0.87	1555	861	19.9	128	766	-
AR 16-5	7.9	99.1	45.	4.03	0.88	1735	868	21.2	208	767.1	0.725
TD-6	8.1	129	71.	6.2	0.91	1798	900	22.4	154	768	0.672
AR 16-7	7.9	92.5	49.	4.23	0.94	1844	922	22.8	172	766.9	1.397
TD-8	9.2	51.9	60.	5.1	0.75	1495	747	23.7	196	769.3	-
AR 16-9	8.2	80.5	72.	6.0	1.04	2040	102	25.1	180	368	1.246
TD-10	8.5	104	66.	5.3	2.07	3924	196	26.7	292	768.4	-
AR 16-11	8.2	116.	74	6.1	1.25	2432	121	25.1	190	767	1.02
TD-12	8.6	71	94.	8.6	3.2	5879	294	21.9	240	771.2	0.503
AR 16-13	8.2	90.8	72	6.3	1.46	2804	140	21.3	172	769.3	1.523
TD-14	8.5	56.3	83.	6.4	6.76	1189	594	27.6	196	770.4	0.646
AR 16-15	8.1	52.4	69.	5.6	2.43	4557	227	25.3	204	770.7	2.169

Tabla 6-7 Parámetros de campo en planta potabilizadora en influente y efluente.

Parámetro de Punto muestreo	pH	OR P mv	OD %	OD mg/L	Salinidad psu	CE $\mu\text{s/cm}$	SDT mg/L	T °C	Alcalinidad mg/L CaCO_3	Presión mmHg	Caudal m^3/s
PP 1 Y 2 INFLUENTE	7.96	241	63	5.4	0.24	489	244	23.23	110	765.8	-
PP 1 Y 2 EFLUENTE	7.74	634.6	67.3	5.66	0.24	497	249	23.86	104	465.5	0.90-0.95
PP 3 Y 4 INFLUENTE	8.22	258.2	63.3	5.45	0.23	474	237	22.83	100	764.9	-
PP 3 Y 4 EFLUENTE	7.82	652.3	75.65	6.03	0.25	529	264.5	23.89	108	768.6	1.2

Tabla 6-8 Parámetros de campo en muestras de los pozos

Parámetro Punto de muestreo	pH	ORP mv	OD %	OD mg/L	Salinidad psu	CE us/cm	SDT mg/L	T °C	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	Presión mm Hg	Caudal m ³ /s
Pozo PP 3 y 4	8.16	249.9	54	4.3	0.46	469.00	938	27.01	108	765.5	0.05
Pozo PY-N	7.88	258.6	53.7	3.65	1.94	1,869.00	3779	35.25	100	766.4	0.04
Pozo Teras	8.33	611.6	76.5	5.37	1.51	1,476.00	2950	33.84	116	766.1	0.022
Pozo QTCA	8.55	109.4	52.4	3.37	0.66	861.00	1362	40.08	88	765.6	0.045

Tabla 6-9 Parámetros de campo de la descarga de las plantas de tratamiento de agua residual.

Parámetro Punto de muestreo	pH	OR P	OD %	OD mg/	Salinid ad	CE us/c	SDT mg/	T °C	Alcalinid ad	Presió n	Caud al
PTAR- NORTE	7.2	384	23.	1.84	0.75	1506	753	25.5	244	762.9	0.578
PTAR -SUR	7.2	330	33.	2.58	0.82	1132	818	25.6	256	764.9	0.578

Tabla 6-10 Parámetros físicos de laboratorio en Bahía del Tóbari

Parámetro Punto de muestreo	Color aparente (Pt-Co)	Color verdadero (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	COT mg/L
P1	56.00	26.00	10.35	3.70
P2	183.00	38.00	26.13	4.82
P3	96.50	51.50	5.96	3.64
P4	56.00	42.00	5.14	3.34
P5	353.50	63.00	50.45	5.49
P6	812.00	99.50	131.50	5.25
P7	773.00	134.00	116.00	5.54
P8	872.00	40.00	120.00	4.86
P9	690.50	33.00	95.10	4.35
P10	537.00	56.00	139.50	4.46
P11	508.50	59.50	80.20	4.11
P12	277.00	81.00	34.60	4.70
P13	194.50	56.50	21.25	4.82
P14	318.50	78.00	43.50	4.30

Tabla 6-11 Parámetros físicos de laboratorio en drenes y tributarios del distrito de riego

Parámetro Punto de muestreo	Color aparente (Pt-Co)	Color verdadero (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	COT (mg/L)
AR 16-1	395.50	36.00	93.95	5.19
TD-2	1,346.00	79.50	662.00	19.29

AR 16-3	712.00	56.00	189.00	11.57
TD-4	275.50	29.00	63.25	6.03
AR 16-5	790.00	60.50	227.50	7.85
TD-6	1,846.00	26.00	659.00	6.80
AR 16-7	1,687.00	40.50	397.00	7.28
TD-8	234.00	28.00	63.00	8.51
AR 16-9	296.00	22.00	369.50	7.29
TD-10	518.00	16.00	170.50	6.56
AR 16-11	744.00	36.00	403.00	7.11
TD-12	437.00	9.50	117.50	5.55
AR 16-13	1,992.50	12.50	938.50	6.42
TD-14	370.50	4.00	106.50	5.11
AR 16-15	1,657.50	29.50	728.00	6.25

Tabla 6-12 Parámetros físicos de laboratorio en plantas potabilizadoras en influente y efluente

Parámetro	Color aparente (Pt-Co)	Color verdadero (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	COT (mg/L)
Punto de muestreo				
PP 1 Y 2 INFLUENTE	17.00	0	0.53	5.48
PP 1 Y 2 EFLUENTE	26.50	0.15	1.26	5.20
PP 3 Y 4 INFLUENTE	26.00	0.25	3.15	5.23
PP 3 Y 4 EFLUENTE	5.00	0	0.71	5.73

Tabla 6-13 Parámetros físicos de laboratorio en muestras de los pozos

Parámetro	Color aparente (Pt-Co)	Color verdadero (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	COT (mg/L)
Punto de muestreo				
Pozo PP 3 y 4	6.00	0.00	0.60	1.63
Pozo PY-N	0	0	1.03	1.32
Pozo Teras	0	0	0.32	1.00
Pozo QTCA	0	0	1.03	1.20

Tabla 6-14 Parámetros físicos de laboratorio en descarga de las plantas de tratamiento de agua residual

Parámetro	Color aparente (Pt-Co)	Color verdadero (Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	COT (mg/L)
Punto de muestreo				
PTAR- NORTE	643.79	53.0	41.78	63.5
PTAR -SUR	340	61.0	45.78	38.49

Tabla 6-15 Aniones en Bahía del Tóbari

Parámetro de	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)
Punto de muestreo				
P1	12.40	2.000.00	0.31	24.700



P2	2.21	1.933.33	0.30	29.733
P3	5.65	1.900.00	0.14	23.850
P4	4.21	1.650.00	0.17	36.400
P5	7.53	1.050.00	0.45	23.550
P6	6.09	966.67	0.38	24.100
P7	4.32	1.633.33	0.32	16.900
P8	5.65	1.333.33	0.29	18.300
P9	4.87	1.250.00	0.17	18.100
P10	5.65	1.300.00	0.20	18.000
P11	4.98	1.766.67	0.17	19.450
P12	6.86	1.100.00	0.28	16.750
P13	5.42	1.466.67	0.55	17.775
P14	6.75	700.00	0.42	16.200

Tabla 6-16 Aniones en drenes y tributarios del distrito de riego

Parámetro	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)
Punto de muestreo				
AR 16-1	6.75	39.33	0.74	875.00
TD-2	2.77	43.67	1.88	500.00
AR 16-3	5.20	57.67	3.10	161.25
TD-4	7.20	78.67	0.30	232.50
AR 16-5	11.96	59.33	2.13	192.50
TD-6	9.52	83.33	0.62	261.25
AR 16-7	17.16	82.67	1.33	191.25
TD-8	53.25	45.33	0.63	152.50
AR 16-9	21.14	85.00	1.38	220.00
TD-10	39.85	178.67	0.83	415.00
AR 16-11	16.94	111.00	1.25	257.50
TD-12	13.73	400.00	0.32	642.50
AR 16-13	13.73	132.00	1.13	346.25
TD-14	13.39	357.50	0.82	1,875.00
AR 16-15	20.15	180.00	1.03	800.00

Tabla 6-17 Aniones en plantas potabilizadoras en influente y efluente

Parámetro	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)
PP 1 Y 2 INFLUENTE	3.99	0	0.285	6.70
PP 1 Y 2 EFFLUENTE	3.32	0	0.250	11.20
PP 3 Y 4 INFLUENTE	3.43	0	0.225	5.60
PP 3 Y 4 EFFLUENTE	2.99	0	0.248	12.15

Tabla 6-18 Aniones en muestras de pozo

Parámetro	Hierro Total (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)
Pozo PP 3 y 4	0.02	6.09	0.50	0.46	38.05
Pozo PY-N	0.03	5.20	6.00	0.15	585.00
Pozo Teras	0	5.20	7.00	0.07	435.00
Pozo QTCA	0	5.98	0.50	0.09	212.50

Tabla 6-19 Aniones en plantas de tratamiento de aguas residuales

Parámetro Punto de muestreo	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)
PTAR-NORTE	27.12	40.00	10.6	160
PTAR-SUR	32.32	25.00	10.8	197.5



Parámetro	Criterio	LFD	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
Li	-	-	0.32	0.34	0.32	0.32	0.29	0.29	0.27	0.29	0.30	0.29	0.31	0.28	0.29	0.29
Be	-	0.1	<l.c.													
Na	-	-	952	103	961	957	730	806	757	810	970	833	983	799	864	899
Mg	-	-	124	132	123	121	936	103	981	104	123	105	124	990	106	109
K	-	-	343	361	346	338	254	279	263	284	331	291	342	271	301	317
Ca	-	-	374	404	372	372	299	334	315	325	384	334	381	316	331	356
Al	0.0	-	0.0	0.4	0.10	0.12	0.7	1.0	0.9	0.6	0.7	1.4	0.2	0.2	0.12	0.2
As	0.0	0.04	<l.c.													
B	0.0	0.0	3.9	4.0	3.9	3.8	3.3	3.3	3.2	3.4	3.4	3.3	3.6	3.1	3.3	3.3
Ba	-	0.5	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03
Cd	0.0	0.00	<l.c.													
Co	-		<l.c.	0.00	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.								
Cr	0.0	0.01	<l.c.													
Cu	0.0	0.01	0.0	<l.c.	<l.c.	0.0										
Fe	0.5	0.05	0.06	0.37	0.05	0.09	0.55	0.60	0.66	0.40	0.56	1.00	0.16	0.19	0.07	0.15
Mn	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Mo	-	-	<l.c.													
Ni	0.0	0.00	<l.c.													
P	-	-	0.04	0.08	0.05	0.04	0.14	0.15	0.13	0.11	0.09	0.19	0.04	0.07	0.05	0.03
Pb	0.0	0.00	0.00	<l.c.	0.00	<l.c.										
Sb	-	-	<l.c.													
Se	0.0	0.00	<l.c.													
Si	-	-	1.08	2.04	0.82	1.57	5.36	5.72	5.64	4.37	4.04	6.16	2.10	3.76	2.57	2.95
Sn	-	-	0.01	0.01	0.01	0.00	<l.c.	<l.c.	0.00	<l.c.	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Sr	-	-	5.64	5.93	5.73	5.61	4.92	5.15	4.97	5.25	5.21	5.01	5.37	4.81	5.09	5.08
Tl	-	0.02	<l.c.													
V	-	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Zn	0.0	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00



S	-	-	917. 0	940. 6	885. 2	864. 5	713. 1	757. 2	731. 0	785. 4	755. 4	731. 5	958. 4	645. 2	771. 1	757. 7
Bi	-	-	<l.c.													

Tabla 6-20 Cationes disueltos en la Bahía del Tóbari



Tabla 6-21 Cationes disueltos en drenes y tributarios del DR041

Parámetro	Criterios (mg/L)	LFD (mg/L)	AR 16-1	TD-2	AR1 6-3	TD-4	AR1 6-5	TD-6	AR1 6-7	TD-8	AR1 6-9	TD-10	AR1 6-11	TD-12	AR1 6-13	TD-14	AR1 6-15
Li	-	-	0.016	0.014	0.019	0.011	0.025	0.021	0.024	0.021	0.026	0.063	0.032	0.089	0.034	0.117	0.053
Be	-	0.1	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Na	-	-	48.82	43.34	72.09	68.03	90.74	96.25	99.16	52.81	116.2	261.8	153.8	380.5	183.8	746.7	291.8
Mg	-	-	8.18	7.09	11.37	18.35	14.4	17.14	16.23	11.99	17.11	26.76	19.18	49.81	21.04	82.65	33.27
K	-	-	4.44	7.82	8.96	5.83	8.96	7.11	7.69	12.5	7.71	6.58	8.05	8.62	6.29	6.07	7.51
Ca	-	-	36.36	37.84	42.32	71.81	51.27	51.51	52.72	47.28	51.67	63.84	53.59	106.25	54.32	123.73	70.06
Al	0.02	-	0.098	0.159	0.223	0.141	0.659	0.443	1.075	0.149	0.253	0.188	0.137	0.059	0.515	0.14	0.659
As	0.01	0.04	0.018	0.019	0.015	0.012	0.017	0.015	0.013	0.016	0.018	0.016	0.018	0.019	0.019	0.025	0.019
B	0.009	0.009	0.001	0.0092	0.00293	0.00263	0.00359	0.00396	0.00423	0.00143	0.00508	0.00112	0.00662	0.001656	0.00723	0.001718	0.00995
Ba	-	0.5	0.076	0.075	0.079	0.067	0.107	0.082	0.104	0.073	0.084	0.079	0.08	0.08	0.076	0.062	0.087
Cd	0.0009	0.0002	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Co	-		<l.c.	0.002	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.									
Cr	0.05	0.01	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.019	<l.c.	0.015	0.009	<l.c.	<l.c.						
Cu	0.003	0.01	<l.c.	0.011	<l.c.	<l.c.	0.007	<l.c.	0.006	0.006	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Fe	0.5	0.05	0.037	0.059	0.103	0.059	0.372	0.177	0.472	0.06	0.121	0.086	0.062	0.021	0.221	0.06	0.301
Mn	0.1	0.02	0.007	0.051	0.083	0.012	0.118	0.031	0.114	0.029	0.031	0.036	0.016	0.02	0.047	0.026	0.076
Mo	-	-	<l.c.	0.014	0.014	<l.c.	0.013	0.017	<l.c.	0.016	0.018	0.031	0.019	0.027	0.018	0.031	0.019
Ni	0.008	0.002	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
P	-	-	0.084	0.558	0.981	0.105	0.829	0.159	0.558	0.262	0.466	0.267	0.426	0.09	0.41	0.077	0.404
Pb	0.006	0.005	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.015	0.014	0.015	<l.c.	<l.c.	0.017	0.014	0.014	<l.c.	<l.c.	<l.c.



Sb	-	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Se	0.04	0.005	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Si	-	-	12. 86 2	13.4 34	13.1 54	12.5 63	15.2 36	14.1 66	16.0 7	10.1 27	14.8 33	18.2 54	15.1	18.7 2	15.1 91	12.8 67	15.9 98
Sn	-	-	0.0 09	0.02	0.01 1	<l.c.	<l.c.	0.01	<l.c.	0.02 4	0.01 1	0.01 4	0.00 7	<l.c.	<l.c.	0.02	<l.c.
Sr	-	-	0.3 1	0.35 2	0.37 1	0.58	0.45 8	0.45 4	0.47 5	0.42 8	0.47 7	0.70 8	0.51 9	1.32 6	0.58 3	1.91	0.80 3
Tl	-	0.02	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
V	-	-	0.0 25	0.03 7	0.02 3	0.01 3	0.02 4	0.02 9	0.02 9	0.04 2	0.03	0.04 5	0.03 8	0.04 3	0.03 6	0.02 9	0.03 8
Zn	0.09	0.02	0.0 16	0.01 5	0.0 68	0.0 49	0.0 52	0.01 3	0.0 22	0.01 1	0.01 7	0.01 8	0.0 27	0.0 33	0.01 4	0.01 2	0.01 1
S	-	-	10. 83 7	43.1 5	23.1 63	78.9 73	27.8 46	39.3 44	36.4 35	27.6 26	43.6 39	89.5 22	56.2 49	191. 892	67.3 88	170. 359	94.5 65
Bi	-	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.

Tabla 6-22 Cationes disueltos en pozos

Parámetro	NOM 127-SSA1-1994 (mg/L)	TERAS (mg/L)	Pozo PY-N (mg/L)	Pozo QTCA (mg/L)
Li	-	0.0155	0.0606	0.0272
Be	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Na	200	110.6	117.1	122.7
Mg	-	31.50	28.87	0.842
K	-	2.67	6.09	2.44
Ca	-	120.44	175.20	12.879
Al	0.2	0.0594	0.0451	0.0443
As	0.025	0.0156	0.0063	0.0172
B	-	0.1787	0.0823	0.0966
Ba	0.7	0.0247	0.2401	0.0228
Cd	0.005	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Co	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Cr	0.05	0.0451	<l.c.	0.0486
Cu	2	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Fe	0.3	0.0167	0.0137	0.0119
Mn	0.15	0.0011	0.0022	0.0011
Mo	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Ni	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.
P	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Pb	0.01	<l.c.	0.0144	<l.c.
Sb	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Se	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Si	-	14.8996	17.7419	13.8146
Sn	-	0.0177	0.0131	0.0117
Sr	-	1.5822	1.8912	0.2454
Tl	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.
V	-	0.0505	0.0091	0.0387
Zn	5	0.0122	0.0195	0.0114
S	-	46.6909	42.9426	7.5320
Bi	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.

Tabla 6-23 Cationes disueltos de plantas potabilizadoras influente y efluente

Parámetro	NOM 127-SSA1-1994 (mg/L)	PP1 Y 2 INFLUENTE	PP1 Y 2 EFLUENTE	PP3 Y 4 INFLUENTE	PP3 Y 4 EFLUENTE
Li	-	0.0066	0.0066	0.0064	0.0077
Be	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.



Parámetro	NOM 127-SSA1-1994 (mg/l)	PP1 Y 2 INFLUENTE	PP1 Y 2 EFLUENTE	PP3 Y 4 INFLUENTE	PP3 Y 4 EFLUENTE
Na	200	16.24	15.99	14.69	32.38
Mg	-	7.096	7.096	6.883	8.827
K	-	3.18	3.15	3.06	3.63
Ca	-	26.706	26.983	25.801	26.355
Al	0.2	0.0330	0.1087	0.0422	0.0546
As	0.025	0.0137	0.0162	0.0130	0.0152
B	-	0.0330	0.0312	0.0278	0.0410
Ba	0.7	0.0557	0.0586	0.0512	0.0465
Cd	0.005	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Co	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Cr	0.05	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Cu	2	<l.c.	<l.c.	<l.c.	0.0084
Fe	0.3	0.0122	0.0159	0.0171	0.0104
Mn	0.15	0.0074	0.0028	0.0091	<l.c.
Mo	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Ni	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
P	-	0.0747	0.0651	<l.c.	0.0404
Pb	0.01	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Sb	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Se	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
Si	-	11.3115	11.4270	11.0221	11.5279
Sn	-	0.0103	0.0152	0.0091	0.0129
Sr	-	0.1936	0.1951	0.1889	0.1980
Tl	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.
V	-	<l.c.	<l.c.	0.0045	0.0076
Zn	5	0.0152	0.0143	0.0041	0.0230
S	-	8.4389	8.8383	8.4978	105.9114
Bi	-	<l.c.	<l.c.	<l.c.	<l.c.

Tabla 6-24 Cationes en muestras de la descarga de plantas de tratamiento de agua residual norte y sur



Parámetro	NOM-001- SEMARNAT-	PTAR NORTE	PTAR SUR
Li	-	0.0132	0.0126
Be	-	<l.c.	<l.c.
Na	-	67.62	83.10
Mg	-	10.41	8.474
K	-	10.6	16.0
Ca	-	41.409	38.284
Al	-	0.1358	0.1164
As	0.4	0.0128	<l.c.
B	-	0.0744	0.0706
Ba	-	0.0560	0.0522
Cd	-	<l.c.	<l.c.
Co	-	<l.c.	<l.c.
Cr	1.5	0.0110	<l.c.
Cu	6	0.0120	<l.c.
Fe	-	0.1411	0.1486
Mn	-	0.0379	0.0407
Mo	-	<l.c.	<l.c.
Ni	4	<l.c.	<l.c.
P	-	3.2421	4.4648
Pb	1	0.0136	<l.c.
Sb	-	<l.c.	<l.c.
Se	-	<l.c.	<l.c.
Si	-	14.5379	13.7383
Sn	-	<l.c.	<l.c.
Sr	-	0.2904	0.2364
Tl	-	<l.c.	<l.c.
V	-	<l.c.	<l.c.
Zn	20	0.0608	0.0265
S	-	23.9468	71.3585
Bi	-	<l.c.	<l.c.

Tabla 6-25 Metales totales en la Bahía del Tóbari

Parámetro Punto de muestreo	Hierro (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Mn (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Plomo (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Zinc (mg/L)
P1	0.02	0.006	0.11	0.0018	-	-	-	-
P2	0.07	0.011	0.18	0.0029	0.3641	-	0.0825	0.066
P3	0.08	0.005	0.16	0.0019	0.3487	-	0.0825	0.053
P4	0.03	0.007	-	0.0026	-	-	-	-
P5	0.16	0.017	0.29	0.0025	-	-	-	-
P6	0.20	0.016	0.44	0.0027	0.2959	0.0078	0.0759	0.077
P7	0.11	0.0015	0.58	0.0028	0.2871	0.0229	0.0737	0.087
P8	0.06	0.017	0.69	0.0024	-	-	-	-
P9	0.15	0.006	0.46	0.0029	-	-	-	-
P10	0.19	0.018	0.42	0.0025	-	-	-	-
P11	0.07	0.019	0.55	0.0026	-	-	-	-
P12	0.125	0.000	0.36	0.0028	-	-	-	-
P13	0.05	0.013	0.22	0.0027	-	-	-	-
P14	0.045	-	0.37	0.0031	-	-	-	-

Tabla 6-26 Metales totales en drenes y tributarios del DR041

Parámetro Punto de	Hierro (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Plomo (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Zinc (mg/L)
AR 16-1	0.09	0.022	0.24	0.0048	-	-	-	-
TD-2	0.11	0.017	0.67	0.0034	-	-	-	-
AR 16-3	0.07	0.015	0.43	0.0031	-	-	-	-
TD-4	0.09	0.017	0.19	0.002	-	0.0201		
AR 16-5	0.03	0.019	0.54	0.0042	0.0071			
TD-6	0.05	0.025	1.03	0.0061	0.0091			
AR 16-7	0.07	0.019	0.88	0.0039	0.0075			
TD-8	0.02	0.000	0.20	0.0041	-	-	-	-
AR 16-9	0.10	0.038	0.74	0.004	-	-	-	-
TD-10	0.05	0.045	0.37	0.0026	0.0069			
AR 16-11	0.18	0.009	0.69	0.0021	0.0075			
TD-12	0.11	0.008	0.38	0.0054	<0.0050	0.0122		
AR 16-13	0.07	0.034	1.87	0.0034		0.0205		
TD-14	0.06	0.018	0.23	0.0023	-	-	-	-
AR 16-15	0.05	0.019	0.54	0.0025	-	-	-	-

Tabla 6-27 Metales totales en plantas potabilizadoras

Parámetro Punto de	Hierro (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Plomo (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Zinc (mg/L)
PP 1 y 2 influyente	0.06	0.032	0.09	0.0032	-	-	-	-
PP 1 y 2 efluente	0.04	0.030	0.02	0.0047	-	-	-	-
PP 3 y 4 influyente	0.06	0.042	0.03	0.0021	-	-	-	-
PP 3 y 4 efluente	0.02	0.023	0.01	0.0017	-	-	-	-

Tabla 6-28 Metales totales en pozos de agua potable

Parámetro Punto de	Hierro (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Plomo (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Zinc (mg/L)
Pozo PP 3 y	0.02	0.083	0.01	0.0045	<0.0050			
Pozo PY-N	0.03	0.0165	0.04	0.0043	<0.0050			
Pozo Teras	0	0.0145	0.03	0.0058		0.0424		
Pozo QTCA	0	0.023	0.01	0.0055		0.1151		

Tabla 6-29 Metales totales en plantas de tratamiento de aguas residuales

Parámetro Punto de muestreo	Hierro (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Mercurio (mg/L)
PTAR- NORTE	0.1425	0.016	0.100	0.0037
PTAR -SUR	0.18	0.02	0.567	0.0032

Tabla 6-30 Resultados de plaguicidas organofosforados, organoclorados y glifosato con presencia en muestras de drenes y tributarios.

Punto de muestreo	Glifosato	Plaguicidas	
	(µg/L)	Organoclorados	Organofosforados
TD-2	ND	ND	ND
TD-6	1.74	ND	ND
AR 16-7	1.14	ND	ND
TD-10	0.87	ND	ND
AR 16-13	ND	ND	ND
TD-14	2.88	ND	ND
AR 16-15	33.1	ND	ND
PY-N	-	ND	ND
QTCA	-	Endrin: 0.000018 (µg/L)	ND
TERAS	-	ND	ND

*ND: Significa que el valor es menor al límite de detección.



Tabla 6-31 Resultados de las concentraciones de metales. en mg/kg (promedios y desviaciones estándar), en las fracciones de los sedimentos superficiales colectados en noviembre de 2017 en la laguna El Tóbari.

Sedimento noviembre 2017		Cd-FI	Cd-FII	Cd-FIII	Cd-FIV	Cd-Total	Cu-FI	Cu-FII	Cu-FIII	Cu-FIV	Cu-Total	Fe-FI	Fe-FII	Fe-FIII	Fe-FIV	Fe-Tot
P1	Prom	0.075	0.109	0.036	1.446	1.996	0.451	0.516	1.774	7.620	10.361	24.49	71.670	14.550	155.0318	179.2087
	DE	0.007	0.009	0.007	0.042	0.032	0.002	0.008	0.005	0.083	0.097	5.59	6.38	62.49	61.46	124.74
P2	Prom	0.100	0.159	0.045	1.688	2.353	0.408	0.443	1.708	9.364	11.922	22.60	73.83	15.8504	152.1212	177.5858
	DE	0.004	0.004	0.010	0.138	0.128	0.002	0.005	0.005	0.046	0.048	6.87	2.65	6.73	56.57	45.61
P3	Prom	0.088	0.121	0.0356	1.731	2.295	0.403	0.459	1.653	3.774	6.289	32.78	68.87	80.145	148.5348	166.6557
	DE	0.003	0.009	0.010	0.076	0.075	0.005	0.005	0.0119	0.139	0.248	56.9	6.31	5.92	40.18	84.74
P4	Prom	0.096	0.145	0.0386	2.513	3.140	0.363	0.418	1.961	9.332	12.073	24.10	74.84	15.8868	157.8465	183.6727
	DE	0.007	0.004	0.004	0.090	0.082	0.011	0.008	0.0023	1.032	0.990	2.00	0.53	2.89	40.91	41.28



P5	Prom	0. 0 6 1	0. 13 8	0. 41 3	2. 56 0	3. 17 2	0. 3 9 3	0. 37 8	1. 80 8	10 .9 61	13 .5 40	11 5. 93	70 4. 82	13 09. 10	157 93. 69	179 23. 54
	DE	0. 0 0 4	0. 00 1	0. 01 4	0. 03 6	0. 02 5	0. 0 1 1	0. 00 8	0. 03 9	0. 09 4	0. 13 6	3. 33	7. 26	94. 38	15. 98	106 .43
P6	Prom	0. 0 6 3	0. 23 7	0. 42 2	2. 39 1	3. 11 2	0. 4 4 2	0. 37 1	1. 94 4	8. 91 7	11 .6 74	59 .4 1	65 5. 88	69 3.6 5	155 80. 80	169 89. 74
	DE	0. 0 0 5	0. 01 4	0. 00 1	0. 01 7	0. 00 8	0. 0 1 1	0. 00 6	0. 02 7	0. 99 8	1. 02 9	10 .7 1	0. 57	69. 04	54. 01	3.7 5
P7	Prom	0. 0 5 9	0. 19 0	0. 42 3	2. 25 4	2. 92 6	0. 5 2 6	0. 47 0	2. 03 2	9. 10 5	12 .1 32	11 4. 95	64 9. 54	11 13. 95	156 00. 17	174 78. 61
	DE	0. 0 0 4	0. 00 5	0. 00 7	0. 04 0	0. 04 2	0. 0 1 1	0. 00 5	0. 02 9	0. 32 7	0. 35 0	11 .1 9	1. 56	2.4 5	11. 16	26. 36
P8	Prom	0. 0 6 6	0. 23 5 6	0. 52 6	1. 82 6	2. 65 4	0. 4 5 8	0. 38 4	1. 84 5	9. 90 8	12 .5 95	85 .7 2	59 3. 37	13 56. 67	156 20. 57	176 56. 33
	DE	0. 0 0 5	0. 00 5	0. 01 1	0. 06 5	0. 05 5	0. 0 0 2	0. 00 5	0. 05 3	1. 03 0	1. 09 0	19 .7 3	8. 07	36. 29	52. 75	77. 38
P9	Prom	0. 0 5 7	0. 18 9	0. 49 4	1. 72 8	2. 46 9	0. 4 4 0	0. 42 4	1. 83 0	7. 88 8	10 .5 83	79 .2 3	74 3. 68	14 55. 77	154 64. 95	177 43. 64
	DE	0. 0 0 4	0. 00 1	0. 00 6	0. 07 5	0. 06 6	0. 0 0 6	0. 00 3	0. 06 6	0. 16 0	0. 23 5	13 .2 9	20 .7 9	12. 17	26. 70	48. 60



P10	Prom	0. 0 5 7	0. 23 5 5	0. 45 6	2. 00 2	2. 75 0	0. 5 1 2	0. 46 0	1. 90 3	4. 89 9	7. 77 5	18 5. 96	70 2. 61	82 6.7 6	147 22. 98	164 38. 32
	DE	0. 0 0 4	0. 00 3	0. 00 2	0. 03 5	0. 02 5	0. 0 0 2	0. 00 6	0. 02 6	0. 0. 16 8	0. 0. 13 8	15 .0 6	1. 26	44. 04	147 .81	178 .04
P11	Prom	0. 0 5 4	0. 22 4	0. 53 1	1. 95 1	2. 76 0	0. 4 2 5	0. 46 0	1. 75 9	3. 68 8	6. 33 2	14 2. 90	70 3. 07	11 23. 21	144 16. 10	163 85. 29
	DE	0. 0 0 3	0. 00 4	0. 01 1	0. 03 6	0. 01 7	0. 0 0 4	0. 00 6	0. 01 9	0. 0. 31 9	0. 0. 31 1	9. 83	1. 64	32. 84	82. 42	123 .45
P12	Prom	0. 0 5 8	0. 24 0	0. 45 9	2. 07 4	2. 83 1	0. 3 8 8	0. 43 6	1. 96 7	5. 92 6	8. 71 7	15 7. 25	67 4. 10	94 5.8 3	150 41. 97	168 19. 15
	DE	0. 0 0 3	0. 00 3	0. 00 5	0. 07 0	0. 07 5	0. 0 0 6	0. 00 7	0. 03 2	0. 0. 20 1	0. 0. 15 5	4. 59	3. 27	33. 22	34. 02	8.6 6
P13	Prom	0. 0 5 6	0. 20 7	0. 43 3	2. 30 8	3. 00 4	0. 4 5 9	0. 38 1	1. 94 4	10 .6 62	13 .4 46	51 .2 9	70 8. 71	15 44. 57	156 89. 24	179 93. 81
	DE	0. 0 0 3	0. 00 7	0. 00 1	0. 02 9	0. 02 5	0. 0 0 2	0. 00 7	0. 00 8	0. 0. 67 2	0. 0. 65 8	1. 46	2. 11	15. 04	79. 25	90. 72
P14	Prom	0. 0 4 8	0. 24 9	0. 38 7	2. 52 5	3. 20 8	0. 5 0 5	0. 36 3	1. 68 3	10 .1 45	12 .6 95	92 .2 9	48 3. 33	96 1.3 0	157 26. 64	172 63. 57
	DE	0. 0 0 3	0. 00 4	0. 00 9	0. 07 0	0. 07 8	0. 0 0 7	0. 01 1	0. 02 1	0. 0. 32 9	0. 0. 29 0	10 .5 1	0. 36	71. 08	49. 67	131 .62



Sedimento noviembre 2017		Mn-FI	Mn-FII	Mn-FIII	Mn-FIV	Mn-Tot
P1	Prom	84.055	56.038	22.542	365.182	527.817
	DE	2.838	1.193	1.981	0.194	6.206
P2	Prom	65.543	61.652	56.033	362.746	545.975
	DE	6.914	3.213	1.340	9.485	4.444
P3	Prom	63.633	58.460	24.494	412.031	558.618
	DE	2.032	0.965	1.065	5.309	3.178
P4	Prom	69.178	57.114	61.115	419.716	607.123
	DE	2.904	5.384	0.820	11.316	14.616
P5	Prom	159.219	111.733	34.272	391.019	696.243
	DE	6.167	1.463	1.504	11.688	8.487
P6	Prom	129.913	99.205	42.350	368.286	639.754
	DE	11.332	2.791	0.998	1.281	14.406
P7	Prom	88.404	97.548	37.060	353.878	576.891
	DE	2.199	13.887	0.711	5.242	10.133
P8	Prom	146.538	84.638	45.982	337.855	615.013
	DE	6.506	9.752	1.232	13.071	11.058
P9	Prom	128.418	84.686	43.303	444.841	701.249
	DE	5.624	2.976	0.953	11.715	21.268
P10	Prom	75.187	73.721	34.884	428.018	611.811
	DE	1.522	0.926	1.245	17.875	16.034
P11	Prom	79.578	78.152	25.745	411.732	595.206
	DE	0.928	0.966	0.325	0.705	2.924
P12	Prom	52.074	81.855	42.495	476.240	652.664
	DE	0.197	1.940	1.392	10.879	14.409
P13	Prom	152.931	137.799	34.066	485.493	810.289
	DE	6.966	2.778	1.365	7.477	18.586
P14	Prom	185.965	146.208	28.097	480.492	840.763
	DE	4.942	6.287	0.640	5.776	3.791

Zn-FI	Zn-FII	Zn-FIII	Zn-FIV	Zn-Tot
2.983	9.144	7.377	62.067	81.571
0.142	0.356	0.929	8.617	10.044
2.919	14.471	9.476	70.589	97.455
0.028	1.202	0.354	2.212	3.896
2.576	6.099	2.599	32.233	43.507
0.041	0.317	2.025	1.180	3.563
3.435	12.700	8.608	77.957	102.700
0.520	0.139	1.011	7.739	9.409
4.811	15.111	6.172	88.349	114.453
0.103	0.589	0.648	0.730	2.070
6.139	18.277	2.705	63.733	90.854
0.682	0.161	0.111	9.030	9.984
3.201	10.704	3.037	65.447	82.389
0.001	0.007	0.206	0.445	0.659
2.924	9.643	5.778	76.780	95.125
0.023	0.083	0.950	6.018	7.074
2.216	12.258	4.673	63.591	82.738
0.126	1.806	0.160	2.915	4.107
2.102	7.032	1.601	32.386	43.121
0.064	0.372	0.004	1.425	1.865
2.361	6.930	2.273	28.103	39.667
0.472	0.085	0.167	1.518	2.242
2.578	7.430	2.438	45.455	57.901
0.035	0.232	0.395	2.394	3.056
3.403	13.648	7.203	88.475	112.729
0.206	0.344	0.551	6.911	8.012
2.987	10.357	3.600	90.036	106.980
0.463	0.973	0.273	3.687	5.396



Sedimento noviembre 2017		Pb-FI	Pb-FII	Pb-FIII	Pb-FIV	Pb-Tot
P1	Prom	0.116	0.154	0.149	55.502	55.921
	DE	0.005	0.004	0.004	0.062	0.059
P2	Prom	0.126	0.171	0.115	55.358	55.770
	DE	0.005	0.005	0.004	0.966	0.961
P3	Prom	0.118	0.157	0.095	55.931	56.300
	DE	0.004	0.035	0.003	1.196	1.231
P4	Prom	0.122	0.119	0.116	58.920	59.276
	DE	0.007	0.009	0.005	0.475	0.468
P5	Prom	0.110	0.123	0.063	57.303	57.598
	DE	0.003	0.000	0.003	0.552	0.551
P6	Prom	0.118	0.127	0.072	62.997	63.313
	DE	0.001	0.006	0.001	1.301	1.310
P7	Prom	0.107	0.160	0.115	55.284	55.666
	DE	0.006	0.003	0.005	0.905	0.900
P8	Prom	0.098	0.155	0.118	57.192	57.563
	DE	0.005	0.004	0.001	0.523	0.520
P9	Prom	0.119	0.133	0.065	64.972	65.290
	DE	0.004	0.006	0.007	0.338	0.321
P10	Prom	0.122	0.135	0.115	58.897	59.269
	DE	0.007	0.003	0.004	0.615	0.630
P11	Prom	0.104	0.155	0.080	56.081	56.420
	DE	0.004	0.003	0.007	1.064	1.057
P12	Prom	0.111	0.124	0.073	59.144	59.451
	DE	0.006	0.009	0.001	0.586	0.587
P13	Prom	0.119	0.155	0.114	55.765	56.154
	DE	0.005	0.003	0.004	0.406	0.404
P14	Prom	0.109	0.160	0.119	64.435	64.822

Ni-FI	Ni-FII	Ni-FIII	Ni-FIV	Ni-Tot
0.222	0.612	0.629	9.038	10.502
0.003	0.014	0.007	0.256	0.280
0.220	0.490	0.620	10.541	11.872
0.033	0.005	0.007	0.259	0.214
0.179	0.483	0.455	4.442	5.559
0.003	0.001	0.007	0.070	0.065
0.262	0.459	0.597	11.295	12.614
0.009	0.001	0.049	0.642	0.699
0.323	0.487	0.538	11.933	13.281
0.005	0.004	0.036	0.296	0.331
0.296	0.452	0.624	8.597	9.969
0.006	0.009	0.004	0.610	0.590
0.232	0.469	0.517	9.688	10.907
0.006	0.005	0.018	0.484	0.456
0.245	2.698	0.467	11.397	14.807
0.006	3.116	0.006	1.285	4.414
0.243	0.483	0.618	9.154	10.499
0.004	0.003	0.008	0.050	0.044
0.257	0.449	0.456	4.827	5.988
0.005	0.006	0.008	0.073	0.063
0.273	0.424	0.614	4.102	5.415
0.011	0.001	0.009	0.266	0.246
0.284	0.435	0.500	6.470	7.689
0.005	0.006	0.014	0.130	0.117
0.239	0.477	0.549	6.176	7.442
0.004	0.003	0.018	0.118	0.101
0.256	0.477	0.615	7.850	9.197



	DE	0.004	0.004	0.002	0.794	0.792
--	----	-------	-------	-------	-------	-------

	0.004	0.010	0.034	0.355	0.315
--	-------	-------	-------	-------	-------

0

Sedimento noviembre 2017		Hg-FI	Hg-FII	Hg-FIII	Hg-FIV	Hg-Tot	Hg-FI
P1	Pro m	0.165	0.143	0.232	0.925	1.465	0.165
	DE	0.004	0.036	0.010	0.030	0.013	0.004
P2	Pro m	0.149	0.172	0.213	0.992	1.526	0.149
	DE	0.001	0.008	0.007	0.010	0.010	0.001
P3	Pro m	0.137	0.152	0.155	1.179	1.622	0.137
	DE	0.011	0.004	0.005	0.025	0.034	0.011
P4	Pro m	0.148	0.163	0.172	1.037	1.520	0.148
	DE	0.012	0.026	0.005	0.020	0.062	0.012
P5	Pro m	0.142	0.183	0.170	0.963	1.459	0.142
	DE	0.002	0.007	0.005	0.011	0.011	0.002
P6	Pro m	0.132	0.181	0.159	0.766	1.238	0.132
	DE	0.005	0.002	0.012	0.010	0.025	0.005
P7	Pro m	0.139	0.187	0.122	0.918	1.365	0.139
	DE	0.001	0.003	0.012	0.019	0.003	0.001
P8	Pro m	0.152	0.177	0.176	0.998	1.503	0.152
	DE	0.006	0.003	0.006	0.010	0.013	0.006
P9	Pro m	0.130	0.155	0.162	1.146	1.592	0.130
	DE	0.036	0.009	0.015	0.012	0.018	0.036
P10	Pro m	0.114	0.145	0.179	0.953	1.391	0.114



Sedimento noviembre 2017		Hg-FI	Hg-FII	Hg-FIII	Hg-FIV	Hg-Tot	Hg-FI
	DE	0.000	0.013	0.015	0.036	0.065	0.000
P11	Pro m	0.126	0.146	0.186	0.944	1.402	0.126
	DE	0.005	0.003	0.007	0.021	0.022	0.005
P12	Pro m	0.115	0.222	0.197	0.891	1.425	0.115
	DE	0.011	0.002	0.020	0.032	0.044	0.011
P13	Pro m	0.116	0.146	0.206	0.946	1.413	0.116
	DE	0.006	0.001	0.003	0.013	0.005	0.006
P14	Pro m	0.106	0.141	0.191	0.963	1.401	0.106