

Universidad Autónoma de Baja California
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

FOLIO No. 041


Tijuana, Baja California, a 01 de noviembre de 2019

C. José Manuel Alejandro Gómez Castillo
Pasante de Ingeniero Químico
Presente:

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la
opción de Tesis

Es propuesto, por el Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki quien será el responsable de la calidad del trabajo que usted presente, referido al tema "Determinación de la calidad del agua del arroyo tecolote, tijuana, baja california" el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- RESUMEN
- II. INTRODUCCIÓN
- III. PARTE EXPERIMENTAL
- IV. DISCUSIÓN Y RESULTADOS
- V. CONCLUSIONES
- VI. REFERENCIAS
- VII. ANEXOS


Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki
Director de Tesis


Dr. José Luis González Vázquez
Director


Dra. Rocío Alejandra Chávez Santoscoy
Subdirectora



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
CAMPUS TIJUANA

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL ARROYO
TECOLOTE, TIJUANA, BAJA CALIFORNIA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

Presenta

GÓMEZ CASTILLO JOSE MANUEL ALEJANDRO

Asesores

Dr. FERNANDO TOYOHICO WAKIDA KUSUNOKI

M.C. TERESITA DE JESUS PIÑON COLIN

TIJUANA BAJA CALIFORNIA 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
PROBLEMÁTICA DEL AGUA	9
JUSTIFICACIÓN DE TESIS	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
CAPÍTULO 1 Marco Teórico	
1.1 Problemática del agua en México y Baja California	13
1.1.1 México	13
1.1.2 Baja California	14
1.2 Contaminantes del Agua	16
1.2.1 Clasificación de las fuentes	17
1.2.2 Fuentes por su naturaleza	17
1.2.3 Fuentes puntuales y difusas	17
1.2.4 Fuentes por su origen	18
1.2.4.1 Urbano	19
1.2.4.2 Industrial	20
1.2.4.3 Agropecuario	21
1.3 Principales contaminantes del agua	22
1.3.1 Contaminantes físicos	23
1.3.2 Contaminantes Químicos	24
1.3.3 Contaminantes Biológicos	25
1.4 La problemática de aguas residuales en Tijuana	26
1.4.1 Indicadores de gestión	27
1.4.2 Generación de aguas residuales en Tijuana	28



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

CAPÍTULO 2 Área de Estudio

[2.1 Área de Estudio del arroyo tecolote](#) 31

[2.2 Muestras de experimentación](#) 32

CAPÍTULO 3 Metodología

[3.1 Metodología de experimentación](#) 37

CAPÍTULO 4 Resultados y Discusión

[4.1 Resultados y discusión](#) 50

[4.2 Resultados de parámetros físicos](#) 51

[4.2.1 POTENCIAL DE HIDROGENO](#) 51

[4.2.2 CONDUCTIVIDAD](#) 51

[4.2.3 SÓLIDOS SUSPENDIDOS](#) 52

[4.2.4 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES](#) 52

[4.2.5 GRASAS Y ACEITES](#) 52

[4.3 Resultados de parámetros químicos](#) 53

[4.3.1 NITRATOS \(NO₃-N\)](#) 53

[4.3.2 NITRITOS \(NO₂-N\)](#) 54

[4.3.3 NITRÓGENO TOTAL Y AMONIACO](#) 54

[4.3.4 FÓSFORO](#) 55

[4.3.5 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO \(DQO\)](#) 55

[4.4 Determinación de metales pesados](#) 56

[4.4.1 Determinación de Plomo](#) 56

[4.4.2 Determinación de Cadmio](#) 58

[4.4.3 Determinación de Cromo](#) 59

[CONCLUSIONES](#) 61

[BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS](#) 64



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estadísticas del uso del agua en México (CONAGUA, 2016).....13

Figura 1.2 Distribución por tipo de usuario de Agua Potable (SENER, 2013)15

Figura 1.3 Distribución de la calidad del agua en cuerpos de aguas superficiales (CNA,2002).16

Figura 1.4 Esquema general de la descomposición de los residuos por causa del contacto con agua (Kiss y Mendoza, 1998).....19

Figura 1.5 Descarga de aguas residuales por giro industrial (Benítez et al. 2011).....20

Figura 1.6 Huella hídrica mundial por categoría de consumo (Chapagain y Hoekstra, 2004).....22

Figura 1.7 Litros por segundo de aguas residuales recolectadas y tratadas (CONAGUA, 2012)...28

Figura 2.1 Área de estudio mostrando los sitios de muestreo.....32

Figura 2.2 Sitio después de la unión de las descargas del Jibarito y el Monte con el Arroyo principal (descargas de otros fraccionamientos). Rancho El Monte 2.....34

Figura 2.3 Localizado en la calle Cañón Tecolote, sitio rodeado de casas habitación, al parecer el agua proviene de un afloramiento de agua subterránea. Cañón Tecolote.....35

Figura 2.4 Descarga de aguas residuales del arroyo Tecolote después de la unión de los fraccionamientos dirigiéndose al mar.....35

Figura 3.1. Curva de calibración para el plomo. $R^2=0.9996$41

Figura 4.1 Medición de Plomo en $\mu\text{g/L}$ para cada sitio del arroyo Tecolote.....56

Figura 4.2 Medición de Cadmio en $\mu\text{g/L}$ para cada sitio del arroyo Tecolote.....58

Figura 4.3 Medición de Cromo en $\mu\text{g/L}$ para cada sitio del arroyo Tecolote.....59



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Ejemplos de fuentes por su naturaleza.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 1.2 Ejemplos de contaminantes industriales.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 1.3 Límites máximos permisibles para contaminantes (Semarnat, 1996).....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla. 1.4 Descripción breve de parámetros físicos.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 1.5 Límites permisibles para metales pesados y cianuros (Semarnat, 1996).....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 1.6 Descripción breve de parámetros biológicos.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 1.7 Datos Básicos e Indicadores de Gestión 2018 (CESPT, 2018).....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2.1. Sitios del primer muestreo.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2.2 Sitios del segundo y tercer muestreo.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3.1. Métodos utilizados para la determinación de parámetros físicos y químicos</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3.2. Volúmenes, reactivos y celdas de muestras para la aplicación del procedimiento.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4.1 Rangos de parámetros fisicoquímicos (valores en mg/L, si no es señalado).....</i>	<i>50</i>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km^3 , de estos el 97.5% es agua salada, el 2.5%, es decir 35 millones de km^3 , es agua dulce y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos (CONAGUA, 2011).

La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque 2,100 millones de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento desde 1990, la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema importante que aqueja a todos los continentes (PNUD, 2018). Considerando las diferentes condiciones del agua, la salubridad y la calidad son fundamentales para el desarrollo y el bienestar humano. Proporcionar acceso a agua salubre es uno de los instrumentos más eficaces para promover la salud y reducir la pobreza (OMS, 2017).

Sin embargo, el desarrollo de las viviendas y el aumento de la contaminación, afectan a la cantidad y la calidad del agua disponible para los residentes, produciendo un impacto dramático sobre la salud. De hecho, las enfermedades relacionadas con el agua como el cólera, la diarrea y el gusano de Guinea, representan más del 80% de todas las enfermedades (UNESCO, 2006).



PROBLEMÁTICA DEL AGUA

En este apartado se realiza un análisis respecto a la problemática del agua debido a las diferentes causas ambientales y sociales provocando un impacto en el ser humano con enfermedades en el organismo, así como también para la flora y fauna. Su organización en la cual se distribuye será en dos partes, primeramente, un estudio de la problemática a nivel nacional y en la segunda casos específicos en Tijuana que se encuentra en el estado de Baja California, detallando las características de la ciudad y sus condiciones en estos últimos años sobre la utilización del recurso hídrico en su servicio urbano e industrial.



JUSTIFICACIÓN DE TESIS

La región de Baja California se encuentra en uno de los territorios con menor disponibilidad de agua a nivel nacional (25% de agua de lluvia), principalmente por la ubicación geográfica y las condiciones climáticas, las cuales favorecen el problema de escases del vital recurso en la región. La creciente demanda de agua en la ciudad debido al excesivo aumento de la población requiere de un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos. Teniendo en cuenta esa problemática, la urbanización exponencial de la ciudad (Alrededor de 3,315,766 habitantes), las características semidesérticas y la exposición a la contaminación de las aguas superficiales, alienta hoy en día a la planeación de proyectos para la protección, aprovechamiento y reúso de los recursos hídricos locales. Otro importante problema que se ha acentuado en los últimos años es el de las descargas de aguas residuales no tratadas que contaminan los cuerpos de agua de la región, una de estas descargas que ha causado controversia es el que se presenta en el arroyo el Tecolote, que desemboca a un costado del campo de golf Real del Mar y que ha ocasionado un gran número de quejas y denuncias ciudadanas. Es necesario destacar la gran importancia de conocer la calidad de agua de estos escurrimientos con el fin de proponer medidas que solucionen dicho problema de contaminación ambiental.



OBJETIVO GENERAL

Evaluar los contaminantes fisicoquímicos presentes en los escurrimientos del Arroyo Tecolote.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los contaminantes fisicoquímicos del arroyo para verificar que no sobrepasen el límite máximo permisible.
- Las condiciones actuales de calidad de agua en las que se encuentra el Arroyo Tecolote, respecto a la cuantificación de los resultados.
- Identificar las principales fuentes de contaminación del Arroyo.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO



1.1 Problemática del agua en México y Baja California.

Con el paso del tiempo las necesidades de la humanidad y el crecimiento acelerado de su población han desarrollado problemas ambientales en el país. Las grandes cantidades de productos industriales generados diariamente, así como la agricultura y las actividades urbanas requieren grandes cantidades del recurso hídrico para satisfacer sus necesidades, sin tomar en consideración las consecuencias que esto genera a su entorno.

1.1.1 México

El agua renovable es el agua que es factible a explotar anualmente en una región. México recibe anualmente aproximadamente 1 449 471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.1% es de evapotranspiración y regresa a la atmósfera, el 21.4% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos (SINA, 2018).

Debido al crecimiento industrial y demográfico del país, México enfrenta una disminución de la disposición de agua en las zonas más pobladas y una creciente contaminación de los cuerpos hídricos susceptibles de servir como fuente de abastecimiento (Ramos et al., 2003).

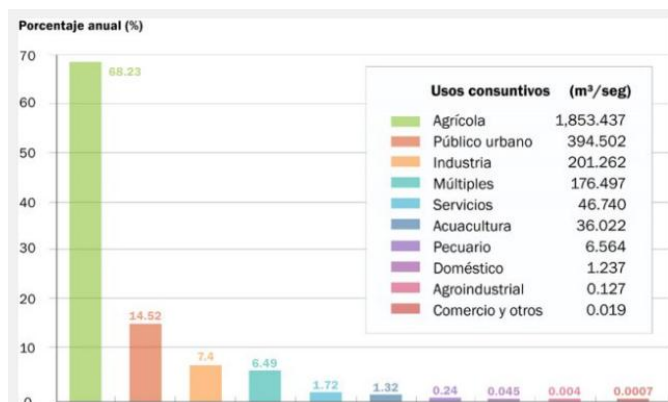


Figura 1.1 Estadísticas del uso del agua en México (CONAGUA, 2016).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

La Figura 1.1 muestra que el uso agrícola es la que utiliza un mayor volumen en México con un 68.23%, la fuente urbana con un 14.52% y la industrial con 7.4% siendo estos las mayores fuentes de contaminación. El menor consumo lo obtiene los servicios comerciales con un 0.0007%.

El afrontar este tipo de problemáticas han permitido que México desarrolle una gran experiencia que es compartida en diversos foros internacionales de alto nivel donde se ha posicionado como un activo impulsor del tema sobre impacto del cambio climático en el sector agua y las medidas de adaptación (CONAGUA, 2016).

1.1.2 Baja California.

El estado de Baja California se encuentra en el noroeste de la República Mexicana y queda en el interior del cuadrángulo geográfico dado por las coordenadas siguientes: 28°00'00" a 32°43'00" de latitud norte y de 117°07'00" a 112°48'00" de longitud oeste del meridiano de Greenwich (INEGI, 1995).

La precipitación ocurre de manera irregular en el estado; los registros pluviométricos promedian anualmente valores mayores en las zonas central y norte; y conforme se asciende de la costa a la sierra, se presentan las precipitaciones máximas mensuales entre los meses de diciembre a marzo, y el período de menor precipitación se presenta de mayo a julio. En la parte noroeste de esta provincia, la precipitación total anual va de 200 a 400 mm (INEGI, 1995).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

En Tijuana el servicio de agua potable atiende a 569,257 usuarios (535,910 residenciales, 30,911 comerciales y 2,436 industriales) con una longitud aproximada de redes de 3,523 kilómetros y con una cobertura promedio del 99 % en todo el municipio (SENER, 2013).

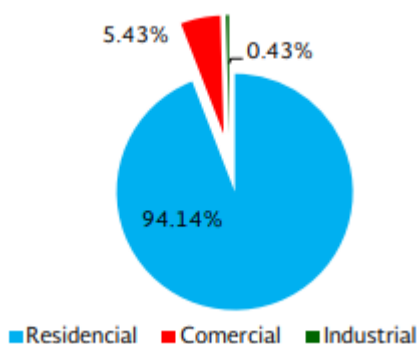


Figura 1.2 Distribución por tipo de usuario de Agua Potable (SENER, 2013).

La Figura 1.2 muestra que Tijuana cuenta con un gran consumo de agua para un tipo residencial (94.14%), es decir, las actividades que el ser humano que realiza como por ejemplo el baño, la regadera, lavar ropa, preparación de alimentos, limpieza, entre otros.

A raíz de la grave escasez de agua potable en la ciudad de Tijuana debido a su explosión demográfica (tasa de incremento promedio de 1930 a 1970 fue de 9.15%); y la ausencia de fuentes de abastecimiento suficientes y confiables cercanas a la ciudad, el gobierno federal a través de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos decidió en el año 1975 proyectar y construir el Acueducto río Colorado Tijuana. Captando el agua de la única fuente confiable en el estado, que son las aguas provenientes del Rio Colorado. (CESPT, 2006).



1.2 Contaminantes del Agua.

Cualquier sustancia podría ser un contaminante lo que da la referencia a ese término es la acumulación de una misma sustancia, teniendo efectos nocivos al medio en el que se encuentra. El agua puede contaminarse con la acumulación de parámetros físicos, químicos y biológicos que más adelante se mencionaran, dependiendo de las actividades realizadas por los grandes cuerpos que utilizan este recurso hídrico. La contaminación del agua desarrolla un riesgo para la salud humana y los seres vivos.

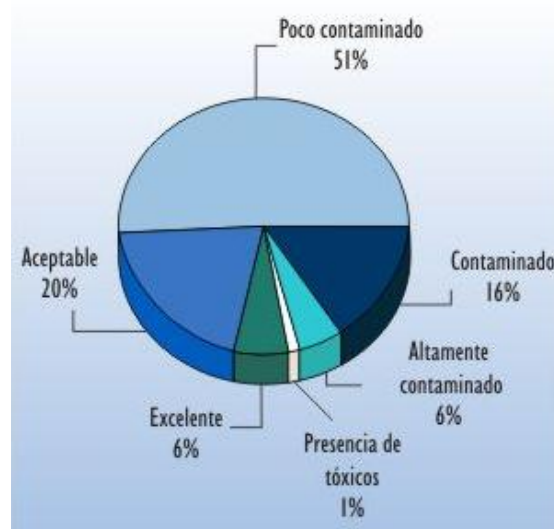


Figura 1.3 Distribución de la calidad del agua en cuerpos de aguas superficiales (CNA, 2002).

La Figura 1.3 nos describe que más del 50% del agua se encuentra con un cierto grado de contaminación, esta requiere de tratamiento para su uso en abastecimiento público, por otra parte, no es necesario el tratamiento y se puede aprovechar en el servicio industrial y agrícola. Solamente un 6% se encuentra en términos excelentes, así como también con el mismo porcentaje para una alta contaminación.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

1.2.1 Clasificación de las fuentes.

Muchas de las veces la contaminación del agua no es ocasionado por las actividades normales del ser humano, se puede generar por medio de un transporte localizado donde no se emplean medios de control para su prevención y en algunos de los casos es difícil detectar de donde provienen los contaminantes.

1.2.2 Fuentes por su naturaleza.

Los parámetros contaminantes fisicoquímicos que ingresan en los ríos, lagos y océanos provienen de fuentes puntuales o fuentes difusas, como se muestran en la Tabla 1.1, es importante clasificarse para tomar medidas de prevención.

1.2.3 Fuentes puntuales y difusas.

Las fuentes puntuales incluyen descargas de efluentes de plantas de tratamientos de aguas servidas municipales y de fábricas. Las descargas de contaminantes a partir de fuentes puntuales tienden a ser continuas, de poca variabilidad en el tiempo y a menudo pueden ser monitoreadas midiendo el caudal y la concentración de sustancias químicas periódicamente en un solo lugar. Consecuentemente, las fuentes puntuales son relativamente simples de monitorear y regular donde se pueden a menudo ser controladas mediante el tratamiento de la fuente (Carpenter et al., 1998).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Tabla 1.1 Ejemplos de fuentes por su naturaleza.

FUENTES PUNTUALES	FUENTES DIFUSAS
Fabricas	Campos de cultivo
Minas	Construcciones
Pozos de petróleo	Lotes de ganado
Plantas de tratamiento	Contaminación atmosférica

Fuente: Elaboración propia.

Las fuentes no puntuales pueden también ser continuas, pero más a menudo son intermitentes y relacionadas a las actividades agrícolas de carácter estacional, como plantaciones, laboreos (cultivo de la tierra o del campo) o eventos irregulares como fuertes lluvias o grandes construcciones. Las fuentes no puntuales, a menudo aumentan debido a la variada gama de actividades que producen cambios en el paisaje, consecuentemente, las fuentes difusas son difíciles de medir y regular (Carpenter et al., 1998).

1.2.4 Fuentes por su origen.

Las fuentes de agua superficial son eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas. En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto en presencia de materia orgánica natural) y de origen antropogénico (descargas de aguas residuales domésticas, esorrentía o escurrimiento agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros) (Torres et al., 2009).



Las fuentes por su origen se pueden clasificar como:

- a) Urbano
- b) Industrial
- c) Agropecuario

1.2.4.1 Urbano.

La disposición final de los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios o en tiraderos a cielo abierto da lugar a la generación de diferentes productos contaminantes, derivados de los procesos de descomposición microbiana y liberación de componentes contaminantes de los residuos (Kiss y Encarnación 2006).

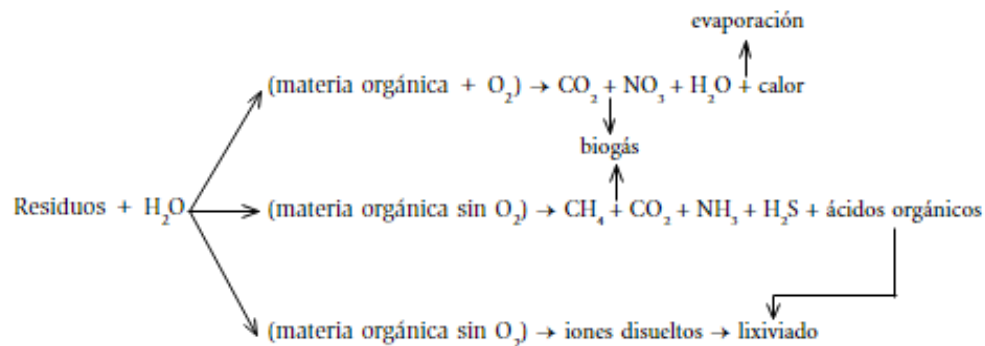


Figura 1.4 Esquema general de la descomposición de los residuos por causa del contacto con agua (Kiss y Mendoza, 1998).

La Figura 1.4 señala la producción de varios nutrientes que más adelante se verán con detalle, como podemos ver, los residuos urbanos al contacto del agua y presencia del oxígeno también generan cantidades de amoníaco, nitratos, algunos ácidos y hasta dióxido de carbono que con una mayor cantidad acumulada de estos nutrientes provocan riesgo a la flora, fauna (crecimiento excesivo de algas o plantas dificultando la vida acuática) como



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

también a la salud del ser humano ocasionando enfermedades crónicas como el cáncer, toxicidad al sistema nervioso, reacciones alérgicas, entre otras enfermedades.

1.2.4.2 Industrial.

La actividad industrial está integrada por una variedad muy amplia de procesos, contándose entre los principales los de la industria química, la petroquímica, de los plásticos, de ensamble electrónico, de productos de recubrimientos, la metalúrgica, la de pulpa y el papel, la fundición, la galvanoplástica, la textil, la del azúcar y de los alimentos (Ramos et al., 2003).

En la actualidad las industrias son muy importantes para la transformación de la materia prima por que se encargan de los recursos naturales para la obtención de todo lo que nos rodea, el agua es su principal recurso natural utilizándolo en grandes cantidades para llevar acabo las funciones de los equipos de procesos químicos, tales ejemplos seria: intercambiadores de calor, columnas de destilación, operación de lavado y transporte, entre otros. Su utilidad es inmensa.

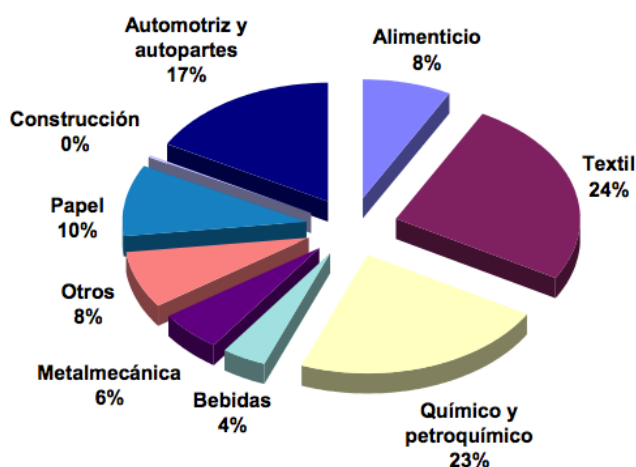


Figura 1.5 Descarga de aguas residuales por giro industrial (Benítez et al, 2011).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

La Figura 1.5 muestra la clasificación de industrias que proporcionan mayor cantidad de residuos industriales que afectan al agua, con un 24% la industria textil, el 23% la industria químico-petroquímico y otras siendo las que ocasionan un mayor impacto.

Tabla 1.2 Ejemplos de contaminantes industriales.

CONTAMINANTES	
Combustible	Desechos mineros
Disolventes	Desechos radioactivos
Aceites industriales	Baterías desechas
Hidrocarburos	Aumento térmico excesivo
Jabones y detergentes	Desechos orgánicos
Ácidos	Grasas
Metales pesados	

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 1.2 la industria desecha una gran cantidad de residuos siendo la mayoría contaminantes que están en presencia de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas.

1.2.4.3 Agropecuario.

La agricultura es la principal fuente no puntual de contaminación del agua. En México el 69% de las unidades de producción utilizan fertilizantes químicos, su uso al igual que el de los herbicidas e insecticidas se ha incrementado en los últimos años a diferencia de los abonos naturales, cuyo uso disminuyó 13%. Esto representa una fuerte carga de contaminantes que llegan a los cuerpos de agua por escorrentía, lixiviación, filtración o deposición atmosférica. Diversos estudios han evidenciado el sobreuso de pesticidas y sus impactos en la salud humana, a grandes rasgos éste se asocia al poco conocimiento sobre el



manejo de pesticidas y a una baja percepción del daño real que involucran las malas prácticas (Pérez, 2012).

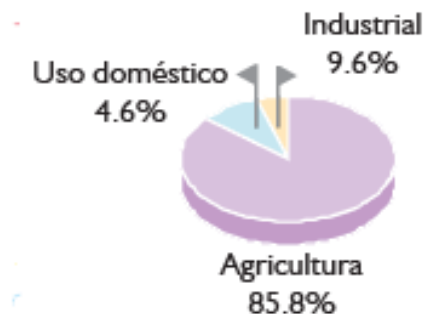


Figura 1.6 Huella hídrica mundial por categoría de consumo (Chapagain y Hoekstra, 2004).

La fuente de origen de consumo con mayor porcentaje corresponde a la agricultura (Figura. 1.6) con un 85.8%, para obtener un control en el riego del agua para el uso agrícola es muy complicado debido a las descargas que contienen fertilizantes son contaminantes que ayudan al crecimiento y reproducción masiva de las plantas y animales, sobre todo en las épocas de lluvia donde el contaminante (nutrientes con mayores cantidades de nitrógeno en el caso de los fertilizantes) es arrastrado a una diversidad de áreas afectando a la flora con un descontrol de crecimiento de plantas acuáticas y fauna, también a esta fuente se le conoce como fuente difusa.

1.3 Principales contaminantes del agua.

Existen diferentes contaminantes que dañan la calidad del agua y con el paso del tiempo hay más parámetros que se deben determinar y controlar, como se han mencionado, antes las aguas contaminadas tienen la mayor variedad de contaminantes que pueden ser físicos, químicos y biológicos por los diferentes tipos de procesos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Tabla 1.3 Límites máximos permisibles para contaminantes (SEMARNAT, 1996).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo
 (2) Muestra Simple Promedio Ponderado
 (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.
 P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 “LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES” (Tabla 1.3) trata sobre las aguas residuales y su disposición final reportando una tabla con varios parámetros contaminantes (físicos y químicos) como valores máximos en la determinación de la calidad del agua.

1.3.1 Contaminantes físicos.

Los parámetros físicos afectan el aspecto del agua y cuando los sólidos flotan o se sedimentan interfieren con la flora y la fauna. Son líquidos insolubles (se deshacen a través de la disociación de sus componentes) o sólidos de origen natural y productos sintéticos como resultados de acción del hombre (Alzugaray y Olivera, 2008).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Estos parámetros principalmente son sólidos en suspensión, color, olor, conductividad, temperatura entre otros. Tiene un gran impacto en la vida acuática cuando los parámetros presentados en la Tabla 1.4 no se encuentran en condiciones aceptables para el ecosistema.

Tabla. 1.4 Descripción breve de parámetros físicos.

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA / EFECTO
Olor	Estímulo de olfato
Sabor	Sensación del paladar
Color	Percepción visual
Turbidez	Medida de transparencia
Material en suspensión	Desechos orgánicos e inorgánicos
Temperatura	Aumento o disminución de calor
Conductividad	Conducción eléctrica por iones

Fuente: elaboración propia.

1.3.2 Contaminantes químicos.

Los efectos químicos son la disminución de la concentración de oxígeno disuelto en agua, necesario para la vida acuática, la presencia de metales pesados altamente tóxicos en el agua (Mora, 2015). En mayores concentraciones de la demanda química de oxígeno es más difícil oxidar los materiales orgánicos, biodegradables por qué se necesita de más oxígeno.

Los parámetros químicos principalmente son los fenoles, pesticidas, cloruros, nitrógeno, fósforo, azufre, metales pesados, grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno entre otros. Estos agentes están presentes en grandes cantidades en el agua debido a su uso en la industria, agricultura y en zonas urbanas, ya que su uso se relaciona con uso de algún equipo o producto en el cual se encuentre presentes estas sustancias químicas.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Tabla 1.5 Límites permisibles para metales pesados y cianuros (SEMARNAT, 1996).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																					
PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO						
(miligramos por litro)	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2	
Cianuro	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0	
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4	
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	

(*) Medidos de manera total.
 P.D.= Promedio Diario, P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable
 (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

En la Tabla 1.5 (Norma Oficial Mexicana 001) se muestra los valores máximos permisibles en aguas residuales para una disposición final adecuada (ríos, ensambles naturales y artificiales, aguas costeras y suelo), siendo así, el mercurio como el metal pesado más dañino al medio ambiente teniendo un rango de entre 0.005 a 0.02 mg/L. El plomo, cadmio y arsénico también cuentan con un valor de aceptación muy bajo de 0.5, 0.2 y 0.2 mg/L respectivamente.

1.3.3 Contaminantes Biológicos.

Los principales organismos encontrados en aguas superficiales y residuales se clasifican como protistas, plantas y animales. La categoría de los protistas incluye a las bacterias, hongos, protozoarios y algas (Tabla 1.6). Las plantas se clasifican como tales y organismos vertebrados e invertebrados se consideran dentro de la clasificación de los animales (Ramos et al., 2003).



Tabla 1.6 Descripción breve de parámetros biológicos.

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA
Algas	Contiene fundamentalmente clorofila
Bacterias	Coliformes, contaminación fecal
Hongos, mohos y levaduras	Heterótrofos y no contiene clorofila

Fuente: Elaboración propia

1.4 La problemática de aguas residuales en Tijuana.

Las aguas residuales contienen nutrientes dependiendo de las actividades que se realizaron (industrial, agropecuario o urbano) mayormente contienen sólidos disueltos, materia orgánica, presencia de iones, un cambio de pH, metales pesados, entre otras ocasionando un cambio en la calidad de agua. Es ahí cuando cada responsable tiene la obligación de tratar estas aguas, eliminando los contaminantes o disminuyendo la concentración de estos, lo anterior para reducir riesgo ecológico que se ocasionaría con una disposición final inadecuada.

En general, las aguas residuales consisten de dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo. Típicamente existen dos formas generales de tratar las aguas residuales. Una de ellas consiste en dejar que las aguas residuales se asienten en el fondo de los estanques (sedimentación), permitiendo que el material sólido se deposite en el fondo. El segundo método más común consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica (Reynolds, 2002).



Tijuana forma parte del Sistema Urbano Principal (SUP) que referido al Sistema de Ciudades en el país, está conformado por 118 localidades de más de 50 mil habitantes, de las cuales 37 son zonas metropolitanas que abarcan 252 municipios y 81 son ciudades ubicadas en este mismo número de municipios; Tijuana se ubica en el Rango 3 dentro de 16 ciudades principales (PNDU, 2001-2006).

El problema de contaminación del agua en Tijuana, está dado principalmente por el rezago en la cobertura de drenaje, la limitada capacidad para su tratamiento, los escurrimientos provenientes de los asentamientos humanos irregulares y las descargas de aguas negras provenientes de desarrollos habitacionales (SEMARNAT 2006).

1.4.1 Indicadores de gestión.

Un indicador de gestión es un número porcentual o absoluto que nos determina o indica el grado de avance en la gestión, operación y dirección de un organismo operador, y es un cociente que es obtenido de la información que maneja o se registra por alguna actividad (CONAGUA, 2011).

La comparación de Indicadores de Desempeño utilizado, empleados para la mejora de los servicios de agua potable y saneamiento, es un proceso que ha ido implementándose rápidamente a nivel internacional en los últimos años. Los Indicadores de Desempeño permiten representar de una manera formal y estándar el estado que guardan los servicios, su eficiencia en operación y gestión, mejorando la toma de decisiones tanto en sus niveles estratégicos como operativos (Hansen et al., 2016).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Tabla 1.7 Datos Básicos e Indicadores de Gestión 2018 (CESPT, 2018).

Concepto	Promedio (%)	
	6 meses	12 meses
<i>cobertura de agua potable</i>	99.8	99.6
<i>cobertura de alcantarillado</i>	89.6	89.4
<i>cobertura de tratamiento</i>	89.9	89.6
<i>dotación por habitante (L/hr/día)</i>	178.8	184.5
<i>cobertura de micro medición</i>	97.6	97.7
<i>eficiencia física</i>	81.7	81.7
<i>eficiencia comercial</i>	90.97	85.31
<i>eficiencia global</i>	74.33	69.73

Fuente: Elaboración propia. – (CESPT, 2018)

La Tabla 1.7 nos dice que la mayor parte de la población en Tijuana, Baja California cuenta con agua potable y servicio de alcantarillado con un valor promedio mayor del 99% en los últimos 6 y 12 meses, la situación de eficiencia global en la que se encuentra es del 69.73% a los 12 meses del año 2018.

1.4.2 Generación de aguas residuales en Tijuana.

Actualmente del agua residual generada se trata el 98%, de esta el 30% se usa y el resto se envía a los cuerpos receptores, entre otros el Delta del Río Colorado (CEA, 2011).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

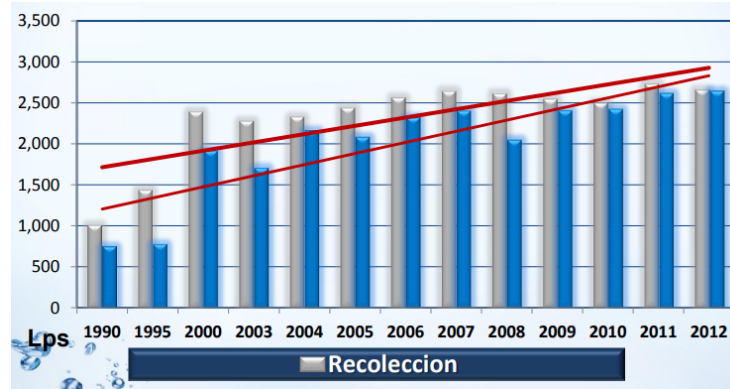


Figura 1.7 Litros por segundo de aguas residuales recolectadas y tratadas (CONAGUA, 2012).

La Figura 1.7 brinda la recolección del tratamiento de aguas residuales en Tijuana, donde se muestra que el año 1990 hay una recolección de aproximadamente 1,000 litros por segundo, con el paso de los años se presenta un aumento de su tratamiento alcanzando más de 2,500 litros por segundo en los últimos años. Actualmente Tijuana necesita plantas de tratamientos o el mantenimiento necesario de las plantas, para una disposición adecuada de este recurso disminuyendo los contaminantes que se dirigen al mar, previniendo un impacto ambiental en la flora y fauna como también la salud del ser humano.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDIO



2.1 Área de Estudio del arroyo Tecolote.

El arroyo Tecolote localizado en Colinas del Mar se encuentra ubicado en el municipio de Tijuana (Figura 2.1), cuyo clima es clasificado como árido y templado, con lluvias en invierno y veranos secos, donde las temperaturas oscilan entre 15°C y 36°C. El promedio de precipitación pluvial anual es de 196.2 milímetros (Gobierno del Estado, 2015).

La longitud del arroyo Tecolote es de 14.8 kilómetros, teniendo su origen en el poblado La Gloria. Aproximadamente a 5.8 kilómetros aguas abajo de su origen, se une por su margen izquierdo el denominado arroyo La Gloria, a 1.2 kilómetros adelante este cambia de dirección al Suroeste. Después, a dos kilómetros por la margen derecha se le une el arroyo Las Carretas y 0.8 kilómetros más adelante por la misma margen recibe aguas del arroyo Xicoténcatl Leyva Mortera.

El arroyo continua 5 kilómetros más adelante, desembocando finalmente en el Océano Pacífico a medio kilómetro al noroeste de la entrada al desarrollo habitacional de Real de Mar (DOF, 1993). Su naturaleza es de régimen intermitente, es decir que en condiciones naturales sólo conduciría agua en la estación de lluvia. Sin embargo, debido a descargas de aguas residuales no tratadas, el arroyo tiene una corriente continua que se origina aproximadamente 5.8 kilómetros de su desembocadura. A diferencia de los orígenes, se observó en visitas de campo posibles afloramientos de aguas subterráneas en el Sitio 1 (Figura 2.1).

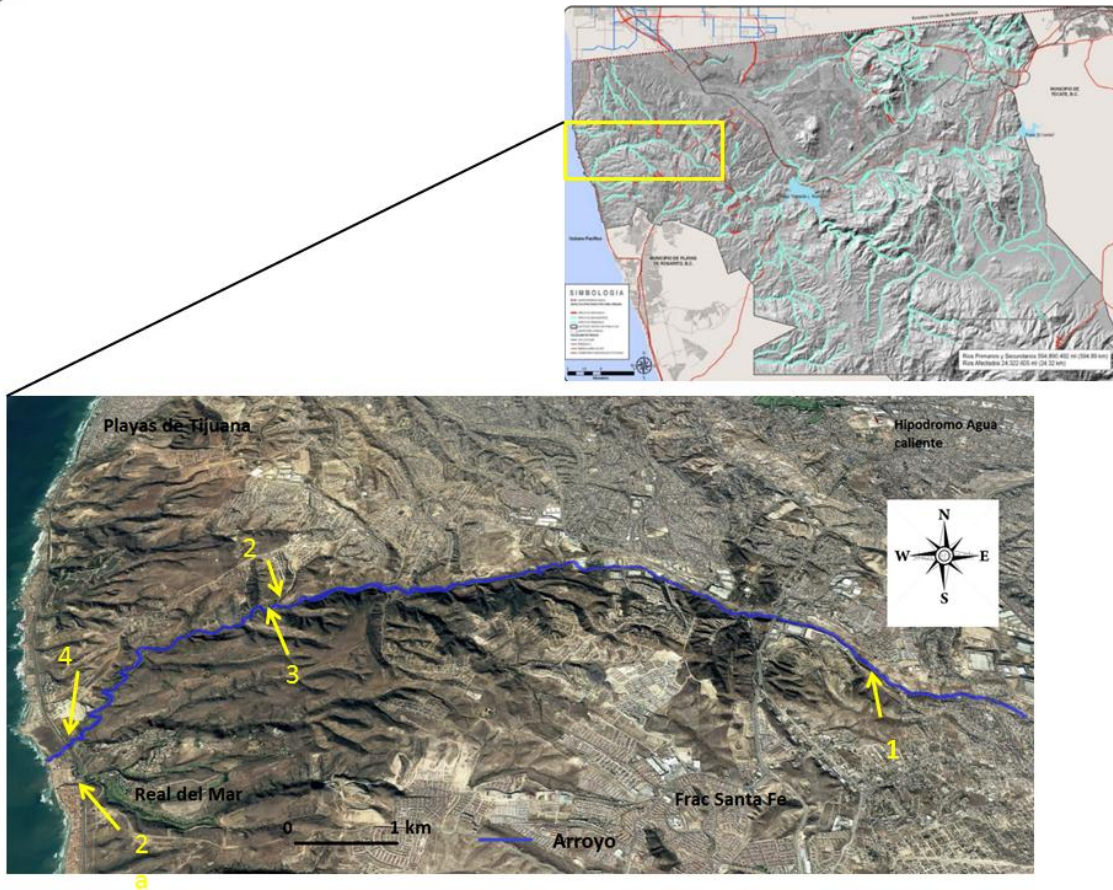


Figura 2.1 Área de estudio mostrando los sitios de muestreo.

2.2 Muestreos de experimentación.

Se realizaron tres muestreos en el arroyo ubicado en Tijuana, Baja California, los cuales consistieron en tomas de muestra simple que es aquella que se recoge de una sola vez, en aguas negras y residuales durante los días: 2 de febrero, 7 de abril y 19 de septiembre en el 2018 para la determinación de la calidad del agua (2 muestras en cada sitio), los sitios del muestreo se manifiestan a continuación en las Tablas 2.1 y 2.2:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Tabla 2.1. Sitios del primer muestreo.

Sitio	Nombre del sitio	Coordenadas	Descripción
1	Cañón Tecolote	32°27'17.24''N 117°00'03.89''O	Localizado en la calle Cañón Tecolote, sitio rodeado de casas habitación, al parecer el agua proviene de un afloramiento de agua subterránea
2	Real del Mar	32°26'38.38 N 117°06'04.20 O	Descarga de planta de tratamiento de conjunto residencial real del Mar
3	Descarga del arroyo en Real del mar	32°26'54.38'' N 117°06'19.47''O	El sitio se encuentra aproximadamente a 280 metros al este de su desembocadura al mar

Tabla 2.2 Sitios del segundo y tercer muestreo.

Sitio	Nombre del sitio	Coordenadas	Descripción
1	Cañón Tecolote	32°27'17.24''N 117°00'03.89''O	Localizado en la calle Cañón Tecolote, sitio rodeado de casas habitación, al parecer el agua proviene de un afloramiento de agua subterránea
2	Rancho del Monte 1	32°28'08.12'' N 117°05'07.58'' O	Descarga de aguas residuales de los fraccionamientos El Monte y el Jibarito
3	Rancho del Monte 2	32°28'06.89'' N 117°05'08.19 O	Sitio después de la unión de las descargas del Jibarito y el Monte con el arroyo principal (descargas de otros fraccionamientos)
4	Descarga del arroyo en Real del mar	32°26'54.38'' N 117°06'19.47''O	El sitio se encuentra aproximadamente a 280 metros al este de su desembocadura al mar

Para la finalidad de evaluar la calidad del arroyo tecolote se realizaron muestreos de 2 a 4 meses en 4 sitios que conforman el arroyo.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

El primer sitio donde se encuentra presente el afloramiento alrededor de una zona urbana, el segundo y tercer sitio ubicados cerca de un rancho llamado del Monte y por último el cuarto sitio que está cerca de un campo de golf en el real del mar a una distancia aproximadamente 505 m donde la descarga va directa al mar.

Las muestras fueron colectadas con la ayuda de un muestreador y vaciadas en un recipiente de plástico con tapa, a excepción de las muestras destinadas para los análisis de aceites y grasas, en las cuales fueron guardadas o almacenadas en recipientes de vidrio ámbar. Posteriormente las muestras fueron conservadas bajo refrigeración aproximadamente 15 °C durante su transporte y previo a los análisis al laboratorio.

El recolectado de las muestras se llevó a cabo en los sitios que se mencionan en las Tablas 2.1 y 2.2 se observa algunas imágenes de lo anterior:



Figura 2.2 Sitio después de la unión de las descargas del Jibarito y el Monte con el arroyo principal (descargas de otros fraccionamientos). Rancho El Monte 2.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería



Figura 2.3 Localizado en la calle Cañón Tecolote, sitio rodeado de casas habitación, al parecer el agua proviene de un afloramiento de agua subterránea. Cañón Tecolote.



Figura 2.4 Descarga de aguas residuales del arroyo Tecolote después de la unión de los fraccionamientos dirigiéndose al mar.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

CAPITULO 3

METODOLOGÍA



3.1 Análisis de muestras

Se determinaron parámetros fisicoquímicos tales como, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno (pH), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos (SS), grasas y aceites (GYA), además de parámetros químicos como demanda química de oxígeno (DQO), nitratos como nitrógeno ((NO₃) – N), nitritos como nitrógeno ((NO₂) – N), nitrógeno amoniacal (NH₃ – N), nitrógeno total (NT), fósforo total – fosfato como fósforo ((PO₄) – P) y metales pesados (Cd, Pb y Cr).

Tabla 3.1. Métodos utilizados para la determinación de parámetros físicos y químicos.

PARÁMETRO	METODOLOGÍA
Conductividad Eléctrica	Método Potenciométrico NMX-AA-093-SCFI-2000
Sólidos Disueltos Totales	Método Potenciométrico
Potencial de Hidrógeno	Método Potenciométrico NMX-AA-008-SCFI-2011
Sólidos Suspendidos Totales	Método Gravimétrico NMX-AA-034-SCFI-2001
Grasas y Aceites	Método de Extracción por Soxhlet NMX-AA-005-SCFI-2013
Demanda Química de Oxígeno	Método 8000 HACH Reacción por digestión (0 - 1500 mg/L DQO)
Nitratos	Método 8171 HACH Cadmio reductor (0.1 - 10 mg/L NO ₃ -N)
Nitritos	Método 8507 HACH Diazotización (0.002 – 0.3 mg/L NO ₂ -N)
Nitrógeno Amoniacal	Método 10031 HACH Salicilato (0 - 50 mg/L NH ₃ -N)
Nitrógeno Total	Método 10071 HACH Digestión con persulfato (de 0.5-25 mg/L NT)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Fósforo Total	Método 8190 HACH : primer muestreo en los sitios 2,3 y 4 de 0-100 mg/L y segundo muestreo para el sitio 1 de 0.06 a 3.50 mg/L
Metales Pesados	Método EPA 3005A

Análisis de parámetros químicos.

Para el análisis espectrofotométrico se utilizó un HACH DR-4000, el cual se encontraba dentro de calibración durante su uso.

¿Cómo utilizar el Espectrofotómetro DR/4000?

1. Preparar la muestra y la solución de blanco (si es necesario) para las mediciones tal como se describe en el procedimiento de prueba aplicable.
2. Llenar una celda de muestra limpia con la cantidad de muestra requerida para la prueba (la muestra). Agregar los reactivos apropiados y mezclar.
3. Llenar otra celda de muestra limpia con la cantidad de reactivo requerido para el blanco de reactivo (el blanco). Agregar los reactivos apropiados y mezclar.
4. Presionar la tecla programable debajo de PROGRAMA HACH. Seleccionar el número de programa almacenado correspondiente ingresando el número con el teclado numérico. Presionar ENTER.
5. Instalar el adaptador para celda de muestra apropiado en el módulo de celda de muestra.
6. Abrir la tapa del módulo del Espectrofotómetro DR/4000 y colocar el blanco en el compartimento de la celda.
7. Presionar la tecla programable debajo de CERO.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

8. Extraer el blanco de la celda de muestra, reemplazarlo con la muestra y cerrar la tapa. Los resultados aparecerán en pantalla.

Tabla 3.2. Volúmenes, reactivos y celdas de muestras para la aplicación del procedimiento.

Parámetro	Muestra (mL)	Blanco (agua desionizada, mL)	HACH	No. Programa	Sustancia adicional
Nitratos	10	10	Reactivo en polvo, NitraVer 5, para la determinación de nitrato, 10 mL, HR, MR.	353	
Nitritos	10	10	Reactivo para la determinación de nitrito, NitriVer 3, 10 mL.	371	
Nitrógeno Amoniacal	0.1	0.1	Reactivo en polvo, Salicilato de Amoniac y Cianurato de Amoniac.	343	
Nitrógeno Total	2	2	Persulfato en polvo, reactivo de bisulfito A en polvo y reactivo indicador B en polvo.	350	
Fósforo Total	5	5	Persulfato de potasio para fosfonato y contenido en polvo PhosVer 3 en polvo.	536	2 mL de NaOH 1.54 N.

Elaboración Propia.

Para la determinación de los parámetros químicos se utiliza el mismo procedimiento en la preparación de muestras y del Espectrofotómetro DR/4000, solamente cambia los volúmenes para las muestras y blancos (agua desionizada), así como también la adición de los reactivos en polvo como se muestra en la Tabla 3.2.

Solamente para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realiza pasos diferentes como se muestra a continuación.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

1. Homogenizar 100 mL de muestra durante 30 segundos.
2. Precalentar a 150 °C.
3. Sostener un tubo a 45 grados y colocar con la pipeta 2 mL de muestra en el frasco.
4. Cerrar el tubo y enjuagar la parte exterior del tubo con agua desionizada. Secar con papel.
5. Invertir varias veces para mezclar.
6. Preparar un blanco repitiendo los pasos 3 a 5.
7. Calentar los tubos durante 2 horas.
8. Esperar aproximadamente 20 minutos hasta que los tubos se enfríen a 120 °C o menos.
9. Invertir varias veces mientras aún está caliente.

Determinación colorimétrica, 0 a 1500 mg/L de DQO

- Ingresar el número de programa al Espectrofotómetro
- Colocar el adaptador de tubos.
- Limpiar la parte exterior del blanco con una toalla.
- Colocar el blanco en el adaptador y presionar CERO.
- Limpiar la parte exterior del tubo de muestra con una toalla.
- Colocar el tubo en el adaptador.
- Presionar READ y aparecerá el resultado.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Para la determinación de metales pesados se utilizó el método EPA 3005A, el cual es un procedimiento de digestión ácida con preparación a la superficie y muestras de agua para análisis de espectrofotometría.

La preparación de las muestras se puede analizar por el método Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS) o Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP), para la determinación de los metales pesados se utilizó me método por Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito marca GBCmodel GF-5000. Se realizaron curvas de calibración, se presenta la curva de calibración del plomo que tuvo un coeficiente de correlación de $r^2=0.9996$ Figura 3.1.

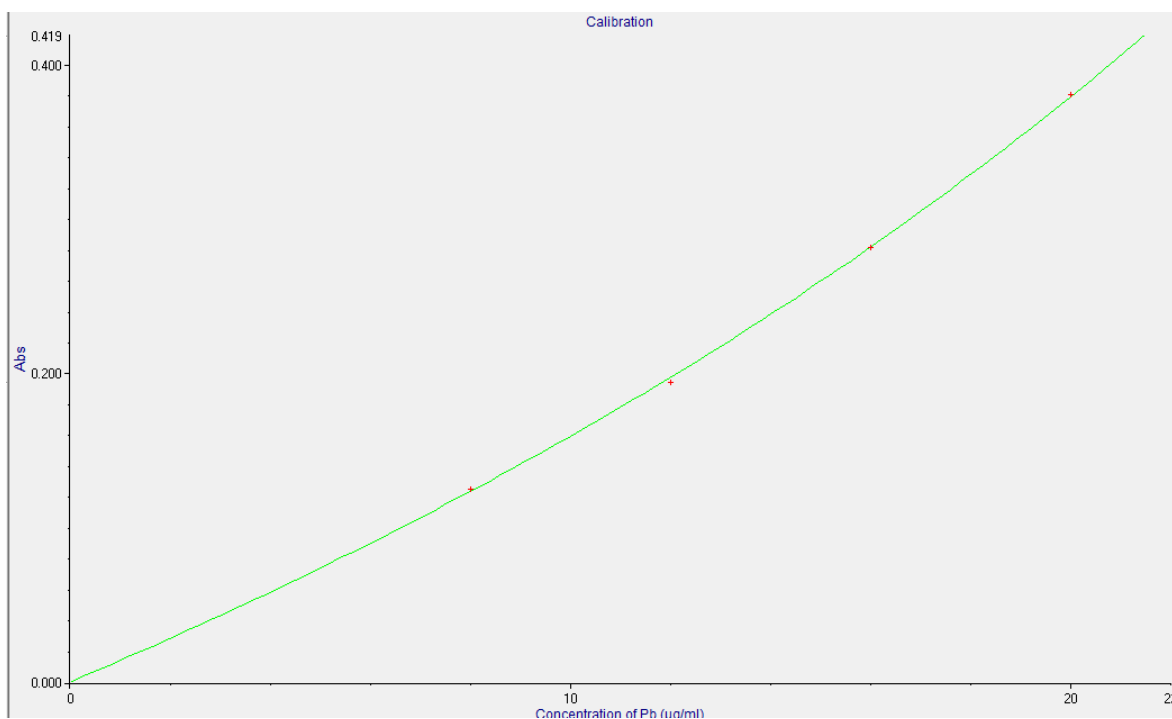


Figura 3.1. Curva de calibración para el plomo. $R^2=0.9996$



Materiales y reactivos.

Vasos de precipitado de diferentes tamaños o equivalentes.

Papel de filtro cualitativo y embudos de filtro.

Probeta de vidrio graduada.

Pizeta 250 mL

Ácido Nítrico HNO_3 (concentrado).

Ácido clorhídrico HCl (concentrado).

Vidrio de reloj

Procedimiento para el método EPA 3005A.

Es importante la preparación de todos los recipientes de muestra deben lavarse previamente con algún detergente de preferencia libre de fosfatos y abundante agua para la eliminación de impurezas. Es más adecuado utilizar recipientes de vidrio.

1. Se transfirió en un vaso de precipitado 100 mL de muestra para cada uno con una buena agitación anticipada.
2. En cada muestra se añadió 5 mL de HNO_3 y 5 mL de HCl cubriéndolos con un vidrio de reloj posteriormente dejándolas en reposo en un lugar adecuado.
3. Después de dejar en reposo, filtre o centrifugue la muestra para elimine los silicatos y otros materiales insolubles que puedan obstruir el nebulizador. La filtración debe hacerse solo si existe la preocupación de que los materiales insolubles puedan



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

obstruir el nebulizador; este paso adicional puede causar contaminación de la muestra a menos que el filtro y el aparato de filtración estén completamente limpios y enjuagados con HNO_3 diluido.

4. Ajuste el volumen final a 100 ml con agua reactiva.

Toda la muestra se acidifica en el momento de colección con ácido nítrico. En el momento del análisis, la muestra se calienta con ácido y sustancialmente se reduce en volumen (Rohrbough et al., 1986).

Análisis de parámetros físicos.

Para la determinación de los parámetros físicos se utilizó como referencias varias normas mexicanas donde se indica su procedimiento.

- Conductividad eléctrica “NMX-AA-093-SCFI-2000”

Equipo: Medidor de conductividad (Conductímetro).

1. Preparar el equipo para su uso de acuerdo a las instrucciones del fabricante y seleccionar un electrodo con la constante de celda apropiada para el intervalo de medición en que se usará.
2. La cantidad de la muestra depende del equipo por usar. Utilizar de 150 a 200 mL de muestra.
3. Las muestras y la disolución de calibración deben estar a 25°C de preferencia o a la temperatura ambiente.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

4. Enjuagar la celda con porciones de la disolución de prueba antes de realizar la medición para evitar contaminación de la muestra por electrolitos.
 5. Sumergir la celda en la disolución de prueba, el nivel de la disolución debe cubrir los orificios de ventilación de la celda, agitar la celda verticalmente para expulsar las burbujas de aire.
 6. Seleccionar el rango adecuado de medición en el instrumento, una vez que se establezca la lectura, anotar el valor de conductividad.
 7. Después de cada determinación, retirar la celda de la disolución y enjuagarla con agua desionizada.
- Potencial de Hidrógeno “NMX-AA-008-SCFI-2011”.

Equipo: Potenciómetro

1. Las disoluciones amortiguadoras de pH y las muestras deben tener la misma temperatura, cuando sea posible.
2. llevar a cabo la calibración del medidor de pH o potenciómetro siguiendo las instrucciones del fabricante del equipo.
3. Lave el electrodo con agua desionizada y sumérgalo en la disolución amortiguadora. Agite la disolución suavemente con el electrodo y permita que la disolución repose.
4. Terminando la calibración realizar el mismo procedimiento con las muestras con un volumen de 150 a 200 mL. Tomar lectura sin agitación.



- Sólidos Suspendidos Totales “NMX-AA-034-SCFI-2001”.

Preparación de cápsulas

1. Introducir las cápsulas al horno a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 min como mínimo.
2. Trasladar la cápsula al desecador y dejar enfriar por 20 min como mínimo.
3. Pesar las cápsulas y repetir el ciclo horno-desecador hasta obtener una diferencia $\leq 0,0005\text{ g}$ en dos pesadas consecutivas. Registrar valor del peso.

Preparación de dispositivo de filtración y/o soportes de secado.

1. Utilizar filtro de fibra de vidrio que adapte al dispositivo de filtración y/o secado y/o charola de aluminio, con la ayuda de unas pinzas colocarlo con la cara rugosa hacia arriba en el dispositivo de secado y/o filtración.
2. El soporte de secado con el filtro se introduce al horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 20 min como mínimo, después de este tiempo transferirlo a un desecador.
3. Pesar el dispositivo de filtración y/o soportes de secado y repetir el ciclo horno-desecador hasta obtener una diferencia $\leq 0,0005\text{ g}$ en dos pesadas consecutivas.
Registrar datos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Medición de sólidos suspendidos totales (SST).

1. Homogeneizar la muestra mediante agitación vigorosa del envase, transferir de forma inmediata y en un solo paso un volumen adecuado de muestra a una probeta.
 2. Filtrar la muestra, Enjuagar la probeta con el volumen suficiente para arrastrar los sólidos y verter en el filtro.
 3. Introducir el soporte de secado con el filtro al horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1 h como mínimo, en caso de usar un soporte de secado diferente al crisol Gooch retirar con cuidado el filtro del equipo de filtrado usando pinzas. Posteriormente llevar a masa constante y registrar masa obtenida.
- Grasas y Aceites “NMX-AA-005-SCFI-2013”

Equipo de extracción por recirculación del solvente.

1. Medir el pH de las muestras el cual debe ser de dos o menor, si no tiene este valor acidifique con ácido clorhídrico 1:1 o ácido sulfúrico 1:1.
2. Para muestras con un pH menor de 8, generalmente es suficiente con adicionar 5 mL de ácido clorhídrico 1:1 ó 2 mL de sulfúrico 1:1; para aquellas muestras con pH superior a 8 agregar ácido concentrado para evitar la dilución de la muestra.
3. Preparar los matraces de extracción introduciéndolos al horno a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, enfriar en desecador y pesarlos, repetir el procedimiento hasta obtener una diferencia de $< 0,0005\text{ g}$ en dos ciclos consecutivos; para los cálculos utilizar el último valor de la masa.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

4. Preparar el material filtrante colocando un papel filtro en el embudo Büchner, colocar el embudo en un matraz Kitazato y agregar 100 mL de la suspensión de tierra de diatomeas-sílice sobre el filtro, aplicar vacío y lavar con al menos 100 mL de agua.
5. Transferir el total de la muestra acidificada al embudo Büchner preparado, aplicando vacío hasta que cese el paso de agua. Para determinar el volumen inicial de la muestra vierta el filtrado en una probeta de 1 L.
6. Con ayuda de unas pinzas, transferir el material filtrante a un cartucho de extracción. Limpiar las paredes internas del embudo y el frasco contenedor de la muestra, así como la contratapa del frasco con trozos de papel filtro o algodón previamente impregnados de disolvente (hexano), tener cuidado en remover la película de grasa y los sólidos impregnados sobre las paredes; colocar los trozos de papel o algodón en el mismo cartucho.
7. Secar el cartucho en el horno a $103\text{ }^{\circ}\text{C} + 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por un período de 30 minutos mínimo; transcurrido este período colocar en el equipo de extracción.
8. Adicionar el volumen adecuado de hexano al recipiente de extracción previamente puesto a masa constante y preparar el equipo de extracción. Evitar tocar con las manos el cartucho y el recipiente de extracción, para ello utilizar pinzas o guantes de látex.
9. Colocar el equipo de extracción sobre la parrilla de calentamiento, controlar la temperatura del reflujo y extraer a una velocidad de 20 ciclos/hora durante un período de 4 h, el cual se contabiliza a partir del primer reflujo del n-hexano en el equipo de extracción.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

10. Una vez terminada la extracción recuperar la mayor cantidad del disolvente y evaporar el remanente.
11. El recipiente de extracción libre de disolvente se coloca en el desecador hasta que alcance la temperatura ambiente. Pesar el recipiente de extracción y por diferencia de masa medir las grasas y aceites recuperables.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

4.1 Resultados y discusión.

En la Tabla 4.1 se muestran los rangos obtenidos para cada sitio del arroyo Tecolote.

Tabla 4.1 Rangos de parámetros fisicoquímicos (valores en mg/L, si no es señalado).

Parámetro	1	2	3	4	NOM
pH (escala de 0 a 14)	7.5-7.62	7.1-7.7	7.6-13	7.64-8.2	6.5-8.5
Conductividad (ms/cm)	4.73-5.4	2.02-2.4	2.28-2.32	2.24-2.35	NN
Sólidos suspendidos	25.33-54	137-177.5	162.67-251.33	113.33-184.33	125
Sólidos disueltos totales (g/L)	3-3.69	1.360-1.6	1.511-1.571	1.485-1.586	1
Grasas y aceites	1.3-13	25.2-49.2	30-34.3	31-33.2	25
Nitratos (NO ₃ -N)	1-3.2	1.3-3.3	2-6.6	1.4-2	10
Nitritos (NO ₂ -N)	0.082-0.4	0.05-0.1	0-0.046	0-0.074	0.05
Nitrógeno total	7.6-19.5	32.8-73.5	50-61	39-40	60
NH ₃	0.8-2.2	33.8-48.1	29.6-52.9	33.5-46.1	0.50
Fosforo	1.42-3.45	20-32.2	21.3-25.1	19.8-26.6	30
DQO	117-237	479-974	739-812	553-748	NN

NN: No normado

NOM: NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-SEMARNAT-1996

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.1 están presentes los intervalos de concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, así como también los Límites Máximos Permisibles (LMP) por la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 para las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales como referencia para los parámetros de Sólidos Suspendidos, Grasas y Aceites, Nitrógeno Total y Fósforo Total, así como también para la NOM-127-SSA1-1994 “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano” en los parámetros de Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Sólidos Disueltos Totales y Potencial de Hidrógeno.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Lamentablemente en México aún no se encuentran una norma para la Conductividad y Demandan Química de Oxígeno.

4.2 Resultados de parámetros físicos.

4.2.1 Potencial de hidrógeno.

De acuerdo a lo analizado el potencial de hidrógeno se puede observar en la Tabla 4.1 un intervalo de 7.1 y 8.2 cumpliendo los estándares del agua a excepción del 3er sitio con un valor de 13, esto nos indica que hay presencia de una fuente de contaminación cuyo origen puede ser descargas de aguas industriales o alguna sustancia con alto pH. Este parámetro con un valor mayor de 9 podría causar daños en la población o si está en contacto con el humano.

4.2.2 Conductividad.

Se obtuvo una mayor conductividad en el primer sitio con un intervalo de 4.73-5.4 ms/cm (Tabla 4.1) debido que el afloramiento está presente de polvos y gran cantidad de materia sólida disuelta en el agua a comparación de los demás sitios con un intervalo de 2.02-2.4 ms/cm, los resultados de los sitios 2, 3 y 4 no tienen gran variación entre ellos disminuyendo la cantidad de materia disuelta en el arroyo. Si la población llegara a consumir agua con un valor alto de conductividad podría causar problemas en la salud obteniendo un desequilibrio osmótico provocando problemas en los riñones, aumento de peso e hinchazón, problemas hepáticos, pérdida de cabello entre otras enfermedades. Al tener o presentar mayor conductividad, el agua es capaz de conducir electricidad.



4.2.3 Sólidos suspendidos.

En cuanto a los sólidos suspendidos la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 establece un LMP de 125, donde se puede observar en la Tabla 4.1 el intervalo 23.33-54 para el sitio 1 cumpliendo con la norma, para los resultados de los demás sitios presentan un valor alto sobre todo en el sitio 3 donde puede haber una mayor presencia de la fuente contaminante como, desechos humanos, desperdicios de alimentos entre otras materias flotantes.

4.2.4 Sólidos disueltos totales.

Si observa en la Tabla 4.1 que el comportamiento de los análisis de la conductividad y sólidos disueltos totales son muy similares debido que es proporcional, el intervalo 3-3.69 g/L para el sitio 1 se encuentra enriquecida de minerales, metales y sales disueltos, la disminución de la concentración para los demás sitios es causa del arrastre de los iones por la corriente y pueden ocasionar problemas de olor, sabor y riesgos para la salud. Todos los valores analizados se encuentran por encima del LMP de la norma oficial mexicana.

4.2.5 Grasas y aceites.

Para la concentración de grasas y aceites que muestra la Tabla 4.1 el intervalo menor fue de 1.3-13 mg/L para el primer sitio donde se considera el segundo muestreo el valor de menor concentración, en los demás sitios analizados hay una mayor concentración de 30-34.3 mg/L para el tercer sitio, es probable que el aumento de la concentración a partir del sitio 2 es por la presencia del rancho por que se genera grasa animal, principalmente la de los



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

cerdos como la manteca. También el aceite animal y vegetal (cultivo de maíz, girasol, entre otros) es otro factor de aumento en la concentración y los desechos que contienen jabones o cosméticos. Sólomente en el primer sitio su intervalo se encuentra dentro del LMP.

4.3 Resultados de parámetros químicos.

4.3.1 Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$).

En la determinación de nitratos se obtuvieron valores mínimos a comparación de lo establecido en la norma NOM-127-SSA1-1994 siendo los intervalos 1.3-3.3 mg/L y 2-6.6 mg/L los más altos que se pueden observar en la Tabla 4.1. En el sitio 3 ubicado en el rancho del Monte presenta una mayor concentración de 6.6 mg/L, el motivo puede ser por que la fuente cercana tiene actividades con fertilizantes en el campo y estos pueden ser añadidos al agua provocando aumentar la concentración de nitratos. Este parámetro no es tóxico considerando que no es encontrado en grandes cantidades efecto negativo en el ser humano si este llega a ser ingerido o descargado al medio ambiente.



4.3.2 Nitritos (NO₂-N).

La formación de nitritos es por medio de la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal y otros compuestos orgánicos nitrogenados. La mayoría de las concentraciones obtenidas se encuentran por encima del LMP teniendo los valores más altos en los sitios 1 y 2 con 0.4 mg/L y 0.1 mg/L respectivamente presentados en la Tabla 4.1. Su formación puede provenir de algunas descargas de residuos o el arrojar mayor cantidad de compuestos orgánicos nitrogenados como por ejemplo desechos domésticos que contienen proteínas donde a grandes cantidades pueden producir compuestos cancerígenos.

4.3.3 Nitrógeno total y amoniacal.

Se encontraron concentraciones altas de nitrógeno total de 7.6 a 73.5 mg/L (Tabla 4.1) solamente para los valores de 61 y 73.5 mg/L no cumplen con la norma (NOM-127-SSA1-1994). El nitrógeno total corresponde a la cantidad de nitrógeno inorgánico y orgánico presente en el agua, las concentraciones altas se encuentran en el rancho del monte donde pudiera haber actividades como lavado de suelos enriquecidos con abonos nitrogenados. En cambio, para el amoniaco se observaron o se tuvieron concentraciones de 0.8 y 52.9 mg/L mostradas en la Tabla 4.1. Normalmente las aguas superficiales no deben contener amoniaco por ser un químico peligroso y en todas las muestras hay una alta concentración de amoniaco, se puede observar un gran incremento a partir del sitio 2 donde nos indica una fuente de contaminación cuyo origen proviene de infiltraciones de aguas residuales no tratadas.



4.3.4 Fósforo.

Para el fósforo se detectó un intervalo de concentración de entre 1.42 a 3.45 mg/L siendo los valores menores de la Tabla 4.1. Para el sitio 1 cumpliendo el LMP, se puede notar que hay una fuente de contaminación ocasionando el aumento de la concentración obteniendo un intervalo de 20 – 32.2 mg/L a partir del sitio 2, la causa podría ser por descargas de aguas residuales que contengan detergentes, los cuales contienen grandes cantidades de fósforo por medio de aguas residuales domésticas. El fósforo es un nutriente necesario para las plantas al igual que el nitrógeno, en presencia de elevadas concentraciones ocasiona agotamiento de oxígeno y el excesivo crecimiento de algas.

4.3.5 Demanda química de oxígeno (DQO).

Para la determinación de este parámetro se encontraron valores muy altos (Tabla 4.1) donde solamente el primer sitio tiene un intervalo moderado de 117-237 mg/L. En el segundo sitio ubicado en el rancho del monte presenta la más alta concentración de 974 mg/L. De acuerdo a los resultados se puede observar que los productos nitrogenados que son utilizados en el rancho son la principal fuente de contaminación por el tipo de desechos generados que no son de origen natural, esto quiere decir que requiere de una mayor cantidad de oxígeno para oxidar la materia orgánica, biodegradables y no biodegradables que también puede provenir de las descargas de las industrias y actividades urbanas.



4.4 Determinación de metales pesados.

En las siguientes Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran las concentraciones obtenidas de los metales pesados como plomo, cadmio y cromo respectivamente, presentes en cada sitio que conforman el arroyo Tecolote.

La norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 para descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales se utilizará como referencia para el cumplimiento de los LMP.

4.4.1 Determinación de plomo.

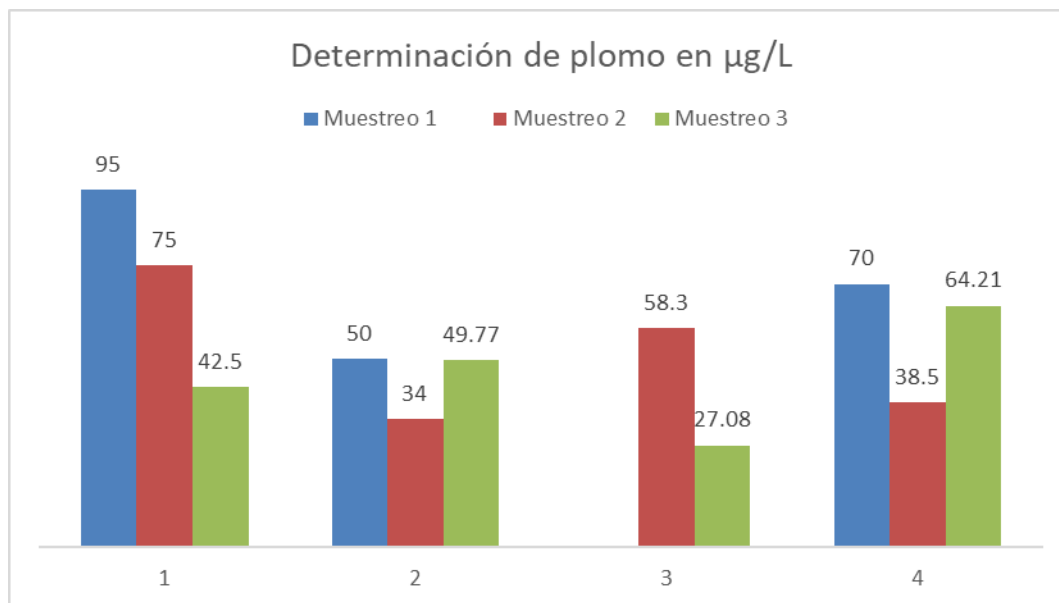


Figura 4.1 Medición de plomo en $\mu\text{g/L}$ para cada sitio del arroyo Tecolote.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

En la Figura 4.1 se muestran los valores obtenidos de plomo para cada muestra en cada sitio del arroyo Tecolote, la NOM-001-SEMARNAT-1996 menciona un LMP de 0.4 mg/L siendo igual a 400 $\mu\text{g/L}$ donde se puede observar que todos los muestreos analizados se encuentran dentro del LMP siendo el primer sitio con valores altos de plomo en el muestreo 1 y 2 con 95 $\mu\text{g/L}$ Y 75 $\mu\text{g/L}$ respectivamente. El plomo se considera un contaminante estable porque es una sustancia química no degradable, que además es peligrosa para el ser humano por ser tóxico acumulable. Su concentración en aguas de consumo humano donde la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) hace mención que no puede ser superior de 0.015 mg/L (EPA, 2016).

Estas aguas no son aptas para consumo humano por su elevada concentración de plomo ocasionando daños a la salud. Los sitios pueden estar afectados por una fuente contaminante donde esté presente algún derrame de pintura o lixiviados de vertederos, donde principalmente se debe a una fuente puntual de origen industrial. También es importante mencionar que existen casos donde las aguas están enriquecidas naturalmente en metales pesados donde al traspasar por acuíferos formados por rocas contienen este componente.



4.4.2 Determinación de cadmio.

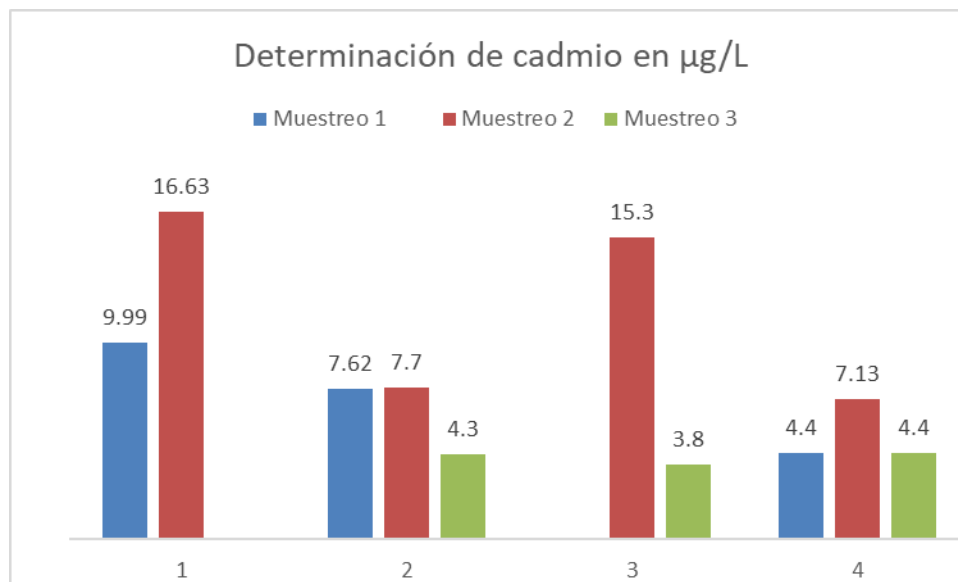


Figura 4.2 Medición de cadmio en µg/L para cada sitio del arroyo Tecolote.

Se encontraron valores elevados de cadmio (Figura 4.2) en el segundo muestreo para cada sitio de 7.13 a 16.63 µg/L y valores mínimos en el tercer muestreo de 3.8 a 4.4 µg/L. Todas las concentraciones analizadas se encuentran dentro del LMP para la descarga de aguas, solamente para la actividad y consumo humano no son considerables por exceder de los 0.005 mg/L.

En el mes que se tomó la segunda muestra se encontraba con una mayor cantidad de cadmio donde nos indica presencia de una fuente contaminante de origen industrial o urbano como por ejemplo el desechar tuberías galvanizadas, alguna descarga de lodos provenientes de aguas negras industriales y baterías eléctricas.



El sitio 3 pudiera ser afectado por actividades de cultivo por parte del rancho del monte por ejemplo fertilizantes, abonos y agroquímicos que contienen superfosfatos. La disponibilidad del cadmio en el suelo depende de la cantidad y años de aplicación de fertilizantes fosforados, Actualmente la estrategia está orientada al uso de los fertilizantes fosforados con bajas concentraciones de este metal. Por esta razón, en lugares como Japón, Australia y algunos países de Europa se han propuesto límites de tolerancia en la concentración de Cd de los fertilizantes fosforados que se comercializan (Laegreid et al., 1999).

4.4.3 Determinación de cromo.

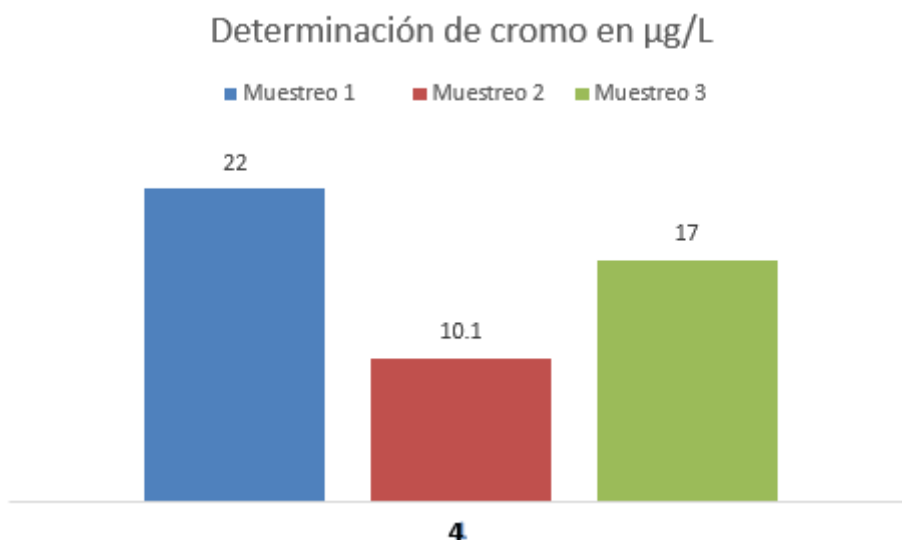


Figura 4.3 Medición de cromo en $\mu\text{g/L}$ para cada sitio del arroyo Tecolote.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Para la determinación de cromo donde se muestra en la Figura 4.3 no hubo concentraciones de este metal pesado en los primeros 3 sitios, sólo para el sitio 4 se obtuvo un intervalo de 10.1 a 22 $\mu\text{g/L}$ cumpliendo con el LMP debido que la NOM establece un LMP de 1 mg/L (1000 $\mu\text{g/l}$). Es importante mencionar que el cromo también se encuentra presente en forma natural en las rocas, plantas y suelos, debido a su alto valor encontrado y sobre todo detectado en este sitio ubicado a 505 m para la descarga al mar está siendo afectado por una descarga industrial (residuo presente con pigmentos textiles, aleaciones, catalizadores, agentes anticorrosivos, fungicidas, recubrimientos metálicos) sin el adecuado tratamiento ocasionando riesgo al medio ambiente y para la salud humana.

Siendo valores mínimos de concentración para los 3 metales pesados y en el transcurso que van pasando los días, llega al mar una gran cantidad de agua afectada contaminando la fuente de vida más grande del planeta poniendo en peligro a la flora y fauna acuática, disminuyendo a las especies y sobre todo ocasionando enfermedades a los seres humanos por medio de la cadena alimenticia.



CONCLUSIONES

Tijuana es una ciudad que se encuentra en crecimiento y cada vez más hay que satisfacer a los nuevos hogares con este recurso hídrico de gran importancia, cabe decir que llegará un día en el que el abastecimiento del río Colorado no pueda cumplir con la demanda de la ciudad de Tijuana. Es ahí cuando debemos actuar a tiempo para cambiar las mentes para la prevención de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas cuando hay presencia de un acuífero, sobre todo tener un control en las zonas donde haya agricultura a baja escala o existan descargas de aguas provenientes de las industrias.

El análisis que se llevó a cabo en la investigación nos indica que el agua del arroyo Tecolote se encuentra con una escasa calidad para que este recurso pueda ser sustentable y sobre todo no es apta para uso humano. Al prevenir su contaminación generaría un impacto positivo para el crecimiento, sobre todo si es de gran tamaño para satisfacer la futura demanda. Estos son los puntos críticos que determino la calidad del agua:

- Es importante cumplir con los Límites Máximo Permisibles (LMP) establecidos para el equilibrio del medio ambiente, mayormente el sitio 1 ubicado en el cañón Tecolote se encuentra con una mejor calidad del agua, donde varios parámetros se encuentran dentro del LMP como por ejemplo pH, sólidos suspendidos, grasas y aceites, nitrógeno total y fósforo, esto es debido a que el origen de este escurrimiento es un acuífero circulante por lo que se detectó la presencia de organismos de agua dulce.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

El resto de los sitios los parámetros de contaminación se detectaron en concentraciones variadas donde algunos de los parámetros cumplen con el LMP, sin embargo, no se consideran un peligro mayor para el ecosistema en excepción de los sitios (mayormente 2 y 3) que presentan elevadas concentraciones como nitrógeno total y amoniacal. Es importante mencionar el riesgo para el ser humano si se llegara a consumir provocando enfermedades en el organismo.

- Como se mencionó anteriormente el arroyo Tecolote se encuentra con una baja calidad de agua y si fuera considerada para uso humano tendría que tener un tratamiento previo. En las condiciones actuales presenta un riesgo a la salud humana y equilibrio ecológico. Muchas de las veces estos desechos son generados por la falta conocimiento de la población y sobre todo en las consecuencias que podrían generar, sería una buena acción realizar programas de información ambiental donde se les enseñe a las comunidades la disposición correcta de los desechos manejando apropiadamente las pinturas, solventes, aceites, fertilizantes, baterías. Así como el valor de la importancia de cuidar las aguas subterráneas.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

- En los sitios ubicados en el Rancho del Monte 2 y 3, la mayor fuente de contaminación son descargas de aguas negras sin tratar provenientes de la colonia Terrazas der Mar y otras colonias circundantes. Sin embargo, no se puede descartar en menor medida fuentes de contaminación difusa por las actividades a baja escala de cultivo y ganado que se realizan, uno de los parámetros con mayor concentración fue el de amoniac que está presente en los fertilizantes, cuando no hay una adecuada disposición del fertilizante se presenta acumulación de dicha sustancia provocando escurrimientos que no son detectados y están dirigidos al arroyo en tiempos de lluvia. Se puede observar en los resultados cuando un sitio presenta una elevada concentración y después disminuye, es debido a la presencia de una fuente contaminante del tipo puntual, por ejemplo: la descarga de una industria. En cuanto a la determinación de cromo solamente se encontró concentraciones del metal en el sitio 4, por descargas sin ningún tratamiento adecuado de una fuente contaminante puntual.



BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Alzugaray G., Olivera J., (2008), "Guía del Mundo", Ediciones SM, 28660-Boadilla del Monte, Madrid, España.

Benítez R., Castilla C., Villalvazo I. V., (2011) "Rescate y limpieza del Rio ATOYAC", Puebla.

Carpenter S., Chair, Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpley A.N., y Smith V.H, (1998), "Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen", p.3

CEA, Comisión Estatal del Agua, (2011), "Uso de agua residual tratada".

CESPT, Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, (2006), "Historia de los Acueductos en Tijuana y Playas de Rosarito, capítulo III - sistemas de abastecimiento" Tijuana, Baja California.

CESPT, Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, (2018), "Datos básicos e indicadores de gestión, Subdirección de planeación."

Chapagain A.K, Hoekstra A.Y., (2004) "Water footprints of nations. Value of Water Research Report Series No. 16", UNESCO-IHE. Delft. The Netherlands.

CNA, Gerencia de Saneamiento y Calidad de Agua, (2002), "Estadísticas Mundiales de la Contaminación del Agua, Información del Índice de la Calidad del Agua 2001".

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, (2011), "Programa de Seguimiento de Indicadores de Gestión para Cumplimiento de Meta de Eficiencia Global" www.conagua.gob.mx, pp. 4

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, (2016), "La Conagua fortalece políticas públicas e infraestructura para contribuir a reducir riesgos hidrometeorológicos", 29 de noviembre 2016, prensa No. 778-16.

Dibble, S., (2018). Los derrames de aguas residuales de Tijuana han sido un problema ambiental durante décadas. Cuál es la solución. San Diego Union Tribune, Marzo 28 2018. Disponible en: <http://www.sandiegouniontribune.com/hoy-san-diego/noticias/san-diego/sdhoy-los-derrames-de-aguas-residuales-de-tijuana-han-sido-un-problema-ambiental-durante-decadas-cual-es-l-20180326-story.html>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

DOF, *Diario Oficial de la Federación*, (1993). *DECLARATORIA de propiedad nacional de las aguas de los arroyos Las Playas, San Antonio del Mar, Tecolote o Colinas del Mar, La Gloria, Las Carretas y Xicoténcatl Leyva Mortera, que se localizan en el Municipio de Tijuana, B.C. 30/09/1993. Mayo 16, 2018.*

EPA, *Environmental Protection Agency United States.*, (2016), *Table of Regulated Drinking Water Contaminants. Recuperado de <http://www.epa.gov/your-drinkingwater/table-regulated-drinking-water-contaminants#Inorganic>*

Estrucplan ,(2004), *Contaminantes del agua residual y tipos de tratamientos. Consultado en 23 de mayo 2018. Disponible <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=831>*

Gobierno del Estado de Baja California. (2015). *Medio Físico Tijuana. Mayo 15, 2018, de Gobierno del Estado de Baja California Sitio web: http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/clima_tij.jsp*

Hansen M.P., Saavedra J.R., Rodríguez J.M., (2016), “*Indicadores de Gestión Prioritarios en Organismos Operadores*”, *Coordinación de Hidráulica.*

Implan, *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Tijuana 2010–2030* (2010) *Disponible en: https://drive.google.com/file/d/0B8Gk_56FBALrdXZUVlJqMmVBdW8/view*

INEGI, *Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática*, (1995), *Estado de estudio Hidrológico del Estado de Baja California, "Clima-Precipitación" pag.7*

Kiss K.G., Aguilar G.E., (2006), “*Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final*”. *Gaceta Ecológica, Editorial Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. pp. 39-51*

LAEGREID, M.; BOCKMAN, O. C.; KAARSTAD, E. O., (1999), *Agriculture fertilizers and environment. Wallingford: CAB. 294 p.*



Mora A., (2015), "Contaminación del agua: actividades mineras, industriales, agrícolas y urbanas." Universidad nacional de Loja., Ecuador.

Navarro-Chaparro K., Rivera P, Sánchez R. (2016). *Análisis del manejo de agua en la ciudad de Tijuana, Baja California: Factores críticos y retos. Estudios fronterizos [online]. 2016, vol.17, n.33, pp.53-82.*

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, "Los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales".

OMS, Organización Mundial de la Salud, (2017), "Agua, saneamiento e higiene. Salubridad y calidad del agua".

Pérez-Espejo, R.H. (2012). "La contaminación agrícola del agua: aspectos generales y teoría." En Pérez-Espejo, R.H. (coord.) *Agricultura y contaminación del agua*. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, 288 p

PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, (2018), *Objetivos de desarrollo sostenible "AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"*.

Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio (PNDU-OT 2001-2006), publicado en el DOF 30 de mayo del 200.

Ramos O., R., Marques R., S., Moreto F.V., (2002), "Agua en el ambiente: muestreo y análisis" Mexicali, Baja California, Plaza y Valdes, pp. 212

Reynolds K.A., MSPH, Ph.D.(2002), "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica, Identificación del Problema", pp. 3

Rohrbough, W.G., et al ,(1986), *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, 7th ed.; American Chemical Society: Washington, DC.*

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos (2014). *El medio ambiente en México: introducción. Disponible*

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [reporte], (2006), "La Gestión Ambiental en México", México.

SENER, Sector de Energía, (2013), "Evaluación rápida del uso de la energía," pp.52

SINA, Sistema Nacional de Información del Agua, (2018), "Situación de los Recursos Hídrico." Capítulo 2, *Estadísticas del agua en México 2018.*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería

Torres P., Cruz C., Patiño P., (2009), "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica", Revista Ingenierías Universidad de Medellín,

UNESCO, (2006), "Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, Agua y salud en Mali".

Zambrano A.N., (2015), "Recolección de aguas residuales" Universidad del Cauca, Lemoine Editores, pp.280.