

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VILLAHERMOSA**  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN POR AGUAS RESIDUALES EN  
EL ARROYO VENEGAS Y SU EVALUACIÓN AMBIENTAL”**

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN INGENIERÍA**

**LÍNEA DE TRABAJO**

INGENIERÍA EN DESARROLLO SUSTENTABLE

**PRESENTA**

LUCERITO VÁZQUEZ OLÁN

**DIRECTORA DE TESIS**

M.I.P.A. MARÍA BERZABE VÁZQUEZ GONZÁLEZ

VILLAHERMOSA, TABASCO.

SEPTIEMBRE 2017



"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

Dependencia: Div. de Estudios de Posgrado e Inv.  
Oficio No.: DEPI/412/2017  
Asunto: Autorización Impresión  
Fecha: 14 de septiembre de 2017

**C. LUCERITO VÁZQUEZ OLÁN**  
ESTUDIANTE DE LA MAESTRIA EN INGENIERÍA.  
PRESENTE.

De acuerdo al fallo emitido por la comisión revisora integrada por los CC. MIPA. María Berzabe Vázquez González, M.C. Nora Alicia Purata Pérez, Dra. Rocío del Carmen Antonio cruz, M.C. Roberto Morales Cruz, y considerando que cubre con todos los requisitos de Reglamento de Titulación en vigor, damos a usted nuestra Autorización para que proceda a imprimir su Trabajo Profesional Titulado

• **"Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental"**.

Hago de su conocimiento lo anterior para los efectos y fines correspondientes.

ATENTAMENTE



**M.C. CARLOS MARIO MARTÍNEZ IZQUIERDO**  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN.

Ccp. Archivo  
CMMI/CCDR



Carretera Villahermosa-Frontera Km. 3.5 Cd. Industrial C.P. 86010 Apdo 424  
Tels. 01 (993) 353-02-59, 353-26-49, Fax 137. Villahermosa, Tabasco, México  
[www.itvillahermosa.edu.mx](http://www.itvillahermosa.edu.mx)



Inicio: 2009.08.05  
Recertificación: 2015.07.24  
Terminación: 2018.07.24

## *Dedicatoria*

### *Al creador del Universo:*

*Dedico mis logros por darme la vida y la bendición de alcanzar cada una de mis metas. A ti sea la gloria y la honra por siempre. Gracias Padre por el proceso que me hiciste pasar para llegar a la tierra prometida. Hoy puedo entender aún más tu palabra que escrita está: Clama a mí y yo te responderé y te enseñaré cosas grandes y ocultas que tú no conoces. Jeremías 33:3*

## *Agradecimientos:*

### *A mis padres:*

*El Lic. Valentín Vázquez Díaz y la Señora Juana Olán Sánchez, quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a una hija: Amor. A quienes sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado parte de su vida para formarme y educarme. Gracias papás por su amor, tiempo, dedicación y confianza, gracias por comprenderme y demostrarme que soy capaz de recompensar sus sacrificios. Por eso y más... Gracias.*

### *A los docentes:*

*M.I.P.A. María Berzabe Vázquez González, M.C. Nora Alicia Purata Pérez, Dra. Rocío del C. Antonio Cruz y M.C. Roberto Morales Cruz; Gracias por todo el cariño y la comprensión que me brindaron. Mi agradecimiento por el empeño y la dedicación en la realización y revisión de mi tesis profesional.*

*He logrado nuevas metas que en mi vida se moverán dentro de planes bien coordinados. Un agradecimiento muy especial a todas las personas que fueron partícipes de este logro: MIS AMIGOS, a quienes siempre estuvieron conmigo en cada etapa de mi vida brindándome su cariño, amor, confianza y seguridad. Hoy se escribe una nueva página en el libro de mi vida, donde Dios es el protagonista y yo la actriz principal. #Bandera, #todos somos chichicapas.*

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	iv
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN .....	11
Antecedentes .....	12
Justificación .....	15
Planteamiento del problema .....	15
OBJETIVOS .....	16
Objetivo General .....	16
Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	17
1.1 El agua.....	17
1.1.1 Propiedades fisicoquímicas del agua.....	17
1.1.2 Clasificación de los cuerpos de agua.....	19
1.2 Contaminación de los cuerpos de agua .....	22
1.2.1 Contaminación del agua .....	22
1.2.2 Tipos de contaminantes.....	23
1.2.3 Efectos producidos por la contaminación del agua.....	27
1.2.4 Control de contaminación del agua.....	29
1.3 Aguas residuales.....	31
1.3.1 Fuentes de aguas residuales.....	31
1.3.2 Características de las aguas residuales .....	32
1.4 Evaluación de los contaminantes del agua .....	34
1.4.1 Parámetros fisicoquímicos .....	36
1.4.2 Parámetros bacteriológicos .....	39
1.4.3 Detección de metales pesados y cianuros.....	40
1.4.4 Parámetros permisibles de contaminantes .....	41
1.5 Muestreo y análisis de aguas residuales .....	45

1.5.1 Análisis fisicoquímicos .....	50
1.5.2 Análisis biológicos.....	55
1.5.3 Análisis de metales pesados y cianuros .....	56
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA.....	59
2.1 Diseño de la metodología .....	59
2.1 Caracterización del área de estudio.....	60
2.2 Estadística poblacional .....	61
2.3 Puntos de muestreos .....	66
2.4 Muestreo del agua residual.....	67
2.5 Pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas del agua residual .....	70
CAPÍTULO 3 RESULTADOS .....	71
3.1 Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental.....	71
3.1.1 Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos .....	80
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES .....	90
REFERENCIAS.....	91
ANEXOS .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1</b> Molécula del agua .....	17
<b>Figura 1. 2</b> Gráfica de distribución del agua .....	20
<b>Figura 1. 3</b> Gráfica de comportamiento de la DBO con distintas constantes, (k) depende la temperatura .....	27
<b>Figura 1. 4</b> Metales pesados y cianuros .....	40
<b>Figura 2. 1</b> Actividades a desarrollar en la metodología .....	59
<b>Figura 2. 2</b> Fotografía aérea de la zona de estudio: Arroyo Venegas 3.92km.....	60
<b>Figura 2. 3</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio: Arroyo Venegas 3.92km...	61
<b>Figura 2. 4</b> Censo poblacional (1ra. Parte).....	62
<b>Figura 2. 5</b> Censo poblacional (2da. Parte) .....	62
<b>Figura 2. 6</b> Censo Poblacional (3ra. Parte) .....	62
<b>Figura 2. 7</b> Censo poblacional (4a. Parte) .....	62
<b>Figura 2. 8</b> Ubicación de los puntos de muestreo Arroyo Venegas .....	66
<b>Figura 2. 9</b> Limpieza del recipiente.....	68
<b>Figura 2. 10</b> Muestreo del agua residual .....	68
<b>Figura 2. 11</b> Toma de muestra en otro punto .....	69
<b>Figura 2. 12</b> Aforar, etiquetar y cerrar recipiente .....	69
<b>Figura 2. 13</b> Medir materia flotante.....	69
<b>Figura 2. 14</b> Transportar muestras .....	69
<b>Figura 3. 1</b> Gráfica de las descargas de aguas residuales .....	71
<b>Figura 3. 2</b> Vegetación hidrófita emergente ( <i>Thalia geniculata</i> ) .....	73
<b>Figura 3. 3</b> Vegetación hidrófita flotante ( <i>Eichornia crassipes</i> ).....	73
<b>Figura 3. 4</b> Vegetación hidrófita flotante ( <i>Pistia stratiotes</i> ) .....	74
<b>Figura 3. 5</b> Ave ( <i>Ardea alba</i> ).....	75
<b>Figura 3. 6</b> Ave ( <i>Ardea cinérea</i> ).....	75
<b>Figura 3. 7</b> Ave ( <i>Gallinula chloropus</i> ) .....	76

<b>Figura 3. 8</b> Reptil (Kinostemon leucostomum).....	76
<b>Figura 3. 9</b> Reptil (Iguana iguana) .....	77
<b>Figura 3. 10</b> Reptil (Basiliscus vittatus).....	77
<b>Figura 3. 11</b> Gambusia affinis.....	78
<b>Figura 3. 12</b> Residuos sólidos .....	79
<b>Figura 3. 13</b> Sensibilización ambiental .....	79
<b>Figura 3. 14</b> Gráfica de resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual	82
<b>Figura 3. 15</b> Gráfica de resultados de los análisis bacteriológicos del agua residual	83
<b>Figura 3. 16</b> Gráfica de resultados de los análisis de cianuros del agua residual ....	84
<b>Figura 3. 17</b> Gráfica de resultados de los análisis de metales pesados del agua residual.....	85
<b>Figura 3. 18</b> Gráfica de resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual	87

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. 1</b> Propiedades fisicoquímicas del agua.....	19
<b>Tabla 1. 2</b> Principales enfermedades relacionadas con el agua.....	29
<b>Tabla 1. 3</b> Contaminantes básicos.....	35
<b>Tabla 1. 4</b> Contaminantes patógenos y parasitarios.....	35
<b>Tabla 1. 5</b> Metales pesados y cianuros.....	36
<b>Tabla 1. 6</b> Límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas .....	42
<b>Tabla 1. 7</b> Límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas .....	43
<b>Tabla 1. 8</b> Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.....	44
<b>Tabla 1. 9</b> Composición promedio de un agua residual doméstica.....	45
<b>Tabla 1. 10</b> Frecuencia de muestreo y análisis para descarga de aguas residuales de tipo municipal.....	46
<b>Tabla 2. 1</b> Formato de registro del censo poblacional (hoja de campo).....	63
<b>Tabla 2. 2</b> Bitácora de campo.....	65
<b>Tabla 2. 3</b> Coordenadas de los puntos de muestreos.....	67
<b>Tabla 2. 4</b> Pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas establecidas por la NOM-001- SEMARNAT-1996.....	70
<b>Tabla 3. 1</b> Mediciones de campo.....	80
<b>Tabla 3. 2</b> Informe de resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos....	81
<b>Tabla 3. 3</b> Informe de resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos....	86



## RESUMEN

La contaminación del cuerpo de agua del Arroyo Venegas en Tabasco y en todo el país es uno de los principales problemas ambientales, debido a la importancia estratégica de este recurso (*Mora, 2010*). La NOM-001-SEMARNAT-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales en bienes nacionales considerando como contaminantes básicos aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. Asimismo, considera como contaminantes patógenos y parasitarios aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna.

Es por ello que se llevó a cabo el diagnóstico de la contaminación que generan los vertimientos de aguas residuales aledañas en el Arroyo Venegas mediante un estudio hidrológico, basado en las metodologías establecidas en la Normas Mexicanas. Durante el estudio se hizo un muestreo y se determinó: Oxígeno disuelto, Coliformes fecales, pH, Demanda bioquímica de oxígeno, Nitratos, Fósforo total, Turbidez, Olor, Sólidos totales disueltos, Huevos de helminto, Temperatura (°C), Grasas y aceites, Materia flotante, Sólidos sedimentables, Metales pesados y Cianuros. Los resultados obtenidos indican que tres de los análisis evaluados están fuera de lo permitido en la norma, por lo que son indicadores de contaminación. Finalmente se establecieron estrategias de solución que permiten fortalecer el monitoreo de la calidad del agua con el fin de lograr y promover la seguridad, el desarrollo sustentable de este recurso, su tratamiento y reutilización.

**Palabras clave:** Arroyos, Agentes físicos, químicos y bacteriológicos, aguas residuales, contaminantes, parámetros.

## ABSTRACT

The Venegas stream water body pollution in Tabasco and in all the country is one of the main environmental problems, due to the strategic importance of this source (*Mora, 2010*). The NOM-001-SEMARNAT-1996, establish the available pollution top limits on residual waters flush on national goods taking into considerations as basic pollutant those compounds and settings which are on the residual waters flush and can be removed or establish due to conventional treatments. In fact taking into consideration pathogen pollutant parasitics those microorganisms, cyst and parasite eggs that can be found on residual waters and which represent a risk to the human and nature.

In order that a diagnostic was made about the out coming pollution generated by the residual waters dumps net to the Venegas stream through and hydrological study, based on the established methodologies on Mexican laws. During the study some tests was done and was determined: dissolve oxygen, faecal coliforms, pH, oxygen chemistry need, nitrate, total phosphor, turbidity, odor, dissolve total solids, helminth eggs, temperature (°C), fats and oils, floating material, sedimentary solids, heavy metals, and cyanides. The obtained results show that 3 of the evaluated analysis are out of the allowed in the law, in fact those are pollution indicators. Finally solution strategies were established that allow strengthening the looking of the quality of the water in order to reach and promote security, the sustainable development of this resource, its treatment and reusing.

**Key words:** Stream, chemistries, physics and bacteriologic agents, residual waters, pollutant, settings.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso finito indispensable para la salud pública, los ecosistemas, la biodiversidad, la producción de alimentos, la industria, la energía y el desarrollo económico, por ello se le considera un factor estratégico de Seguridad Nacional así como de estabilidad social y política de la Nación, ya que dada su condición de escasez, su manejo y aprovechamiento dependen el bienestar social, el desarrollo económico y la conservación del medio ambiente (*Plan Nacional Hidrico 2014-2018*).

*“Como objetivos principales el Plan Nacional Hidrico (PNH) plantea prevenir y reducir la contaminación del agua; fomentar su uso adecuado; proteger ríos, lagos y lagunas; y reducir los efectos de inundaciones y sequías” (Comisión Nacional del Agua, 2015).*

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) promueve la realización de proyectos emblemáticos para el saneamiento integral de arroyos, considerados de alto beneficio social, con ello se busca dar respuesta más efectiva a la solución de la problemática socio-ambiental de arroyos, ríos, lagunas, lagos y cuencas, con base en un consenso de usuarios. Esto responde a que en la actualidad podría establecerse que prácticamente la totalidad de los cuerpos de agua de México y en especial del Estado de Tabasco se encuentran en mayor o menor medida con verdaderos problemas de contaminación.

El Arroyo Venegas no es la excepción, ya que está considerado como contaminado (*Comisión Nacional del Agua, 2012*), debido a que sus descargas de aguas residuales, provienen de descargas domiciliarias, talleres mecánicos, restaurantes, instituciones educativas y albercas públicas; esto por no existir drenajes adecuados que transporten el agua hacia una planta de tratamiento, lo que ocasiona que sus descargas de aguas y desechos vayan directamente hacia el Arroyo Venegas, del cual una de las partes del cauce se localiza en un área de 3.92 Km en la Carretera Nacajuca-Jalpa de Méndez, del Ejido Rivera Alta.

## Antecedentes

**Robledo, (2014) en el artículo “Calidad del agua del río Túnico como respuesta al uso del suelo”** argumenta que la calidad de los cuerpos superficiales de agua de la subcuenca del río Túnico como expresión del uso de los suelos debe monitorearse a fin de garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas agropecuarios a través de la conservación de las fuentes hídricas. Basado en la zonificación del uso actual de la subcuenca y las lecturas mensuales de parámetros físico-químicos se determinó la calidad del agua del río Túnico como respuesta al uso del suelo mediante regresión logística, utilizando como valores máximos permisibles, los establecidos por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce. El estudio de variables fisicoquímicas permitió elaborar modelos estadísticos de naturaleza mixta con 5% de significación para predecir conductividad, total de sólidos disueltos y salinidad.

**Alvarado y López (2010) en la tesis “Diagnóstico y propuesta de tratamiento del agua contaminada para el proceso de recuperación de agua en los campos Tamaulipas-Constituciones de PEMEX, Exploración y Producción”:** realiza un muestreo integral y el análisis fisicoquímico del agua desechada en puntos claves del proceso que permiten la elaboración de un diagnóstico certero, mismo que da la información necesaria para proponer la solución de los problemas que presenta el proceso de recuperación de agua en una empresa petroquímica, lo anterior se traduce en una reducción de la alimentación de agua cruda. La metodología utilizada fue situar los puntos de muestreo, seleccionar los parámetros a analizar así como los métodos a utilizar, los cuales están descritos en las Normas Oficiales Mexicanas, tomar y preparar las muestras e interpretar los resultados. Finalmente los datos obtenidos en el diagnóstico del agua contaminada sirven como base para detectar problemas que se presentan en los equipos, detectar los puntos con mayor producción o desecho de contaminantes, las condiciones en que se generan y la selección y ubicación del equipo necesario para su tratamiento.

**La Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (2010) En el proyecto “Desazolve del Arroyo Venegas y Drén Nicolás Bravo, en la Ranchería Nicolás Bravo, municipio de Jalpa de Méndez, estado de Tabasco”,** da a conocer las especificaciones del proyecto que consiste en el desazolve del Arroyo Venegas, sus ramales y el Dren Nicolás Bravo; dicho proyecto de desazolve tendrá una longitud total de 5,216.456 metros, de los cuales 3,201.756 metros corresponden al Arroyo Venegas, 506.20 metros al ramal del Arroyo Venegas y 1,508.20 metros al Dren Nicolás bravo, además del desazolve en los diferentes tramos del proyecto se tiene programado la construcción de 18 alcantarillas de las cuales 9 serán alcantarillas de concreto tipo cajón y 9 alcantarillas camineras de 2 conductos, 9 alcantarillas se ubicarán a lo largo del Arroyo Venegas y las 9 restantes en el Dren Nicolás Bravo.

Esto debido a que en años anteriores en épocas de lluvias la ciudad de Jalpa de Méndez y localidades circunvecinas se han visto anegados productos de inundaciones provocadas por el desbordamiento de los ríos de la zona, principalmente por el Arroyo Venegas y sus ramales y con ello la contaminación de los mismos, ya que las familias de los alrededores no cuentan con un drenaje propio. Uno de los obstáculos que impiden la descarga del agua en exceso es la topografía plana o pendiente suave del terreno, la falta de drenaje natural y/o la falta de pequeñas ondulaciones en el terreno, impiden o retardan el escurrimiento natural del agua, e incluso esta misma puede quedar estancada en las depresiones, limitando su aprovechamiento.

**Hidalgo, (2010) en la tesis “Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada la macana, San Antonio de Prado. Municipio de Medellín”,** incluyó la evaluación de la calidad del agua y la caracterización de los usuarios. Se muestrearon 7 puntos para parámetros indicadores de la calidad (DBO<sub>5</sub>, DQO, coliformes totales, E. Coli, grasas y aceites y sólidos suspendidos) y se realizaron entrevistas dirigidas donde se encontró que el 62% de la carga total proviene de las viviendas con tanque séptico y el restante 38% de las que realizan el vertido directo.

La relación DBO/DQO muestra que en el tramo estudiado (300 m), la quebrada ha degradado el 80% de la carga contaminante debido a la alta capacidad de autodepuración de la corriente. El problema principal identificado de contaminación por aguas residuales domésticas fue por coliformes totales. Un análisis comparativo de los parámetros medidos en anteriores estudios realizados en la zona (años 2001, 2005 y 2007), mostró que la calidad del agua de la fuente receptora ha mejorado, evidenciada en la disminución de los valores observados especialmente en coliformes totales.

Las alternativas de solución que se propusieron son: tratamiento de aguas residuales no convencionales para las viviendas que aún realizan vertido directo, la política de manejo integral del recurso hídrico a través de las empresas comunales que actualmente manejan los acueductos veredales convirtiéndose en pequeñas empresas prestadoras de servicios públicos locales de acueducto y saneamiento quienes operarían y mantendrían el sistema en adecuado funcionamiento.

**Pérez, (2008) en el artículo “Alternativas para conocer el comportamiento de la calidad de agua en un tramo del arroyo Guachinango”** presenta estudios preliminares en un tramo de arroyo con vertimientos fundamentalmente urbanos con la intención de predecir la calidad de las aguas superficiales contaminadas a partir del seguimiento de indicadores fisicoquímicos. Estima la calidad del agua a partir de la determinación de los parámetros: pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, contenido de nitratos.

Para ello se parte del seguimiento de estos indicadores en puntos escogidos a partir del levantamiento de las fuentes contaminantes. Con los datos obtenidos se realizaron análisis estadísticos y se determinó la calidad del agua. En dicho estudio los autores concluyeron que el mayor aporte de residuales proviene del uso doméstico y que no hay aporte de residuales industriales.

## Justificación

La contaminación generalizada de cuerpos de agua por vertidos domésticos e industriales sin ningún tratamiento previo y la presencia de todo tipo de desechos en los espacios públicos han generado problemas severos de saneamiento, graves consecuencias en la salud de las personas y los ecosistemas, así como limitadas posibilidades para el desarrollo de las actividades económicas (E.N.M.A, 2013).

En el municipio de Nacajuca, Tabasco; ante la evidente falta de drenajes y plantas de tratamientos de aguas negras, han convertido a los ríos y arroyos en una gran fosa séptica, al grado de que animales mueren, debido a la alta contaminación generada por diversos tipos de residuos como: plásticos, maderas, metales, textiles, aceites y sus derivados (Pérez, 2012).

Aunado a esto se ha constatado que las descargas de aguas provenientes del mercado público, casa-habitación y puestos ambulantes; acarrear grandes cantidades de residuos sólidos urbanos, provocando con ello problemas en la salud, daño a la flora y fauna acuática y generación de malos olores.

Realizar el diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas mediante un estudio hidrológico permitirá plantear estrategias de solución para la recuperación del mismo, evitar enfermedades en la población, rescatar la riqueza de biodiversidad que ahí se alberga y generar nuevas líneas de investigación.

## Planteamiento del problema

¿Mediante el diagnóstico de la contaminación por aguas residuales aledañas en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental se podrán proponer estrategias de solución?

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Diagnosticar la contaminación que generan los vertimientos de aguas residuales aledañas en el Arroyo Venegas mediante un estudio hidrológico para su evaluación ambiental.

### Objetivos Específicos

- ✚ Realizar un censo poblacional para conocer el número de personas que descargan aguas residuales hacia el Arroyo Venegas, mediante el uso de técnicas e instrumentos de recolección de datos.
- ✚ Establecer los puntos de muestreos en las descargas de aguas residuales del Arroyo Venegas, de acuerdo a lo establecido en la NMX-AA-003-1980.
- ✚ Evaluar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos que determinan la calidad del agua en la corriente de descarga de aguas residuales del Arroyo Venegas.
- ✚ Analizar los resultados obtenidos de acuerdo a los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- ✚ Proponer estrategias de solución con base a los resultados obtenidos.



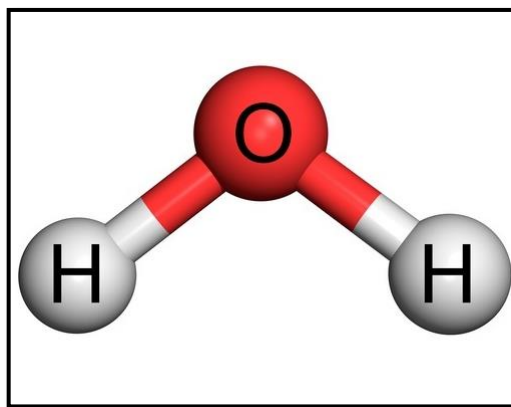
## CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 El agua

#### 1.1.1 Propiedades fisicoquímicas del agua

El agua es uno de los elementos más comunes en la tierra, y no es coincidencia que también se le llame el planeta azul: en estado líquido se halla en lagos, ríos y presas, en depósitos subterráneos (llamados acuíferos) y ocupa los mares y océanos circundantes; en estado gaseoso se presenta como vapor de agua en la atmósfera; y en estado sólido cubre las regiones polares y las montañas más altas en forma de hielo o nieve.

Químicamente la molécula de agua está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno unidos por un enlace covalente. Es decir, los dos átomos de hidrógeno y el de oxígeno se unen compartiendo electrones. Como se muestra en la figura 1.1



**Figura 1. 1** Molécula del agua

Fuente: Recuperado de <http://elblogdebuhogris.blogspot.mx/2012/10/los-timos-del-agua.html>.

La naturaleza fisicoquímica del agua, así como su abundancia y distribución, hacen de esta especie química la más importante de todas las conocidas. En la tabla 1.1 se muestran las propiedades físicas y químicas del agua.

Dentro de las propiedades físicas se observa que es un líquido inodoro e insípido. Tiene un cierto color azul cuando se concentra en grandes masas. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de fusión del agua pura es de 0°C y el punto de ebullición es de 100°C.

El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4°C (1g/cc). Su capacidad calorífica es superior a la de cualquier otro líquido o sólido, siendo su calor específico de 1 cal/g, esto significa que una masa de agua puede absorber o desprender grandes cantidades de calor, sin experimentar apenas cambios de temperatura, lo que tiene gran influencia en el clima (las grandes masas de agua de los océanos tardan más tiempo en calentarse y enfriarse que el suelo terrestre).

Desde el punto de vista químico, el agua reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza, no solo en organismos vivos, sino también en la superficie no organizada de la tierra, tienen lugar entre sustancias disueltas en agua, esto es en disolución. No posee propiedades ácidas ni básicas, combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas.

**Tabla 1. 1** Propiedades fisicoquímicas del agua

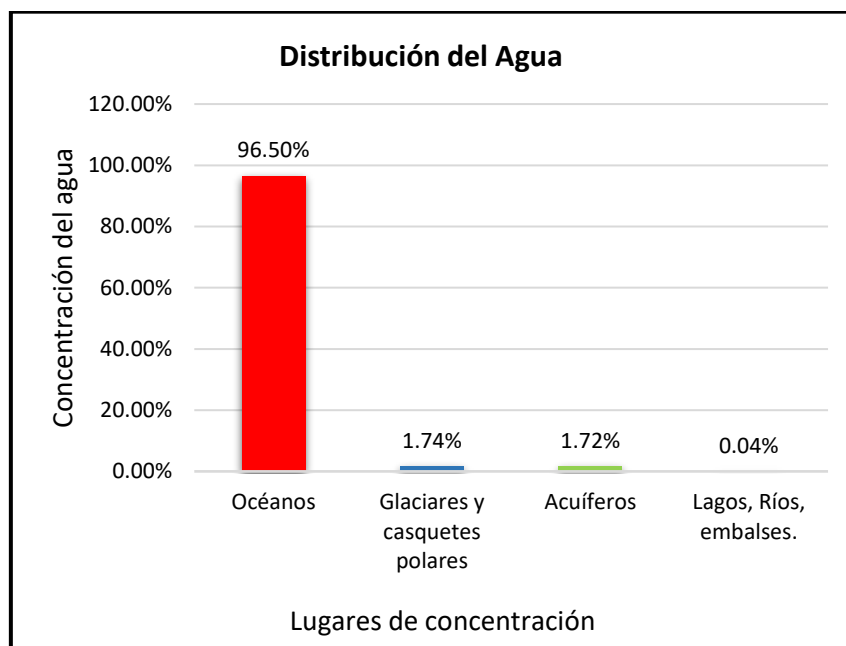
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA	
Estado físico	Sólida, líquida y gaseosa
Color	Incolora
Sabor	Insípida
Olor	Inodoro
Densidad	1 g./c.c. a 4°C
Punto de congelación	0°C
Punto de ebullición	100°C
Presión crítica	217,5 atm.
Temperatura crítica	374°C
Calor específico	1 cal/g

Fuente: Recuperado en <http://www.agua.org.mx>.

### 1.1.2 Clasificación de los cuerpos de agua

Todos los cuerpos de agua están interconectados, desde la atmósfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre (López, 2011).

En la figura 1.2 se observa que en los océanos se concentra el 96.5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1.74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1.72% y el restante 0.04% se reparte en lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.



**Figura 1. 2** Gráfica de distribución del agua  
Fuente: Recuperado en <http://www.agua.org.mx>.

Es por ello que se define que los cuerpos de agua que componen la tierra, se clasifican de la siguiente manera:

**Ríos:** Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0.1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje.

En general, los ríos son cuerpos de agua los cuales pueden considerarse permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo.

**Lagos:** En estos sistemas acuáticos, la velocidad promedio es relativamente baja, varía entre 0.01 y 0.001 m/s (valores en la superficie).

Este hecho hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Con respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los períodos de estratificación.

**Aguas subterráneas:** En los acuíferos el régimen de flujo es relativamente estable en términos de velocidad y dirección. Las velocidades promedio pueden variar entre  $10^{-10}$  y  $10^{-3}$  m/s y son gobernadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato.

Existe otro tipo de cuerpos de agua de carácter transitorio que están caracterizados por su variabilidad hidrodinámica. Entre ellos, los más importantes son:

- ✚ Embalses. Se pueden considerar cuerpos de agua intermedios entre lagos y ríos y se caracterizan porque su hidrodinámica y calidad de agua dependen de las reglas de operación.
- ✚ Ciénagas. Son ecosistemas considerados cuerpos de agua intermedios entre lago y un acuífero freático.
- ✚ Estuarios. Son sistemas acuáticos intermedios entre río y mar.

Así es como la variedad de regímenes hidráulicos que se presentan en los distintos cuerpos de agua hace que estén caracterizados por su tamaño y las condiciones climáticas de la cuenca. El factor que caracteriza los ríos es la variabilidad del caudal. En los lagos y embalses lo más importante es el tiempo de residencia (estado trófico) y su régimen térmico, mientras que en las aguas subterráneas importa altamente el grado de saturación del suelo.

## **1.2 Contaminación de los cuerpos de agua**

### **1.2.1 Contaminación del agua**

La calidad del agua puede ser alterada como consecuencia de las actividades humanas o naturales que producen efectos adversos que cambian su valor físico, químico y biológico. Entonces, cualquier alteración de estas, que provoque un efecto inaceptable de su utilidad o valor ecológico es considerada como contaminación del agua y un contaminante es el factor o la sustancia que provoca esa alteración.

Todas las aguas naturales contienen varios contaminantes que provienen de la erosión, la lixiviación y los procesos de la intemperie. A esta contaminación natural, se agrega aquella causada por aguas residuales de origen doméstico o industrial, que se pueden disponer de varias maneras, por ejemplo, en el mar, en la tierra, en estratos subterráneos, o más comúnmente en aguas superficiales.

Cualquier cuerpo de agua es capaz de asimilar cierta cantidad de contaminación sin efectos serios, debido a los factores de dilución y autopurificación que están presentes. Si hay contaminación adicional se altera la naturaleza del agua receptora y deja de ser adecuada para sus diferentes usos (*Teodoro, 2013*).

El origen de la contaminación del agua es muy variado pero se pueden citar como causantes a los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas (accidentales o intencionales), los efluentes de plantas depuradoras, los subproductos de los procesos de depuración, la ruptura de drenajes y el elevado de la atmósfera, entre otros.

Uno de los principales orígenes de la contaminación de cuerpos de agua se realiza por descargas puntuales y no puntuales o también llamadas difusas. Las primeras concentran en un sitio a los contaminantes, estas se encuentran bien definidas tales como los sistemas aguas residuales municipales e industriales.

Mientras que la segunda es producida por las aguas de lluvia, identificándolas como escurrimientos superficiales que acarrean contaminantes naturales y los resultantes de la actividad humana, siendo los depósitos finales los lagos, ríos, costas, pantanos, humedales y aguas subterráneas (Corzo, 2010).

En general, se considera como “contaminante” el exceso de materia o energía (calor) que provoque daños a los humanos, animales, plantas y bienes, o bien, que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua.

De esta forma no existe una división precisa entre las aguas contaminadas y las no contaminadas; este calificativo se atribuye en función del uso, las exigencias higiénicas y del grado de avance de la ciencia y termología a terminar los efectos y medir los contaminantes.

### **1.2.2 Tipos de contaminantes**

Los contaminantes se comportan de diferentes maneras cuando se agregan al agua clasificándose como conservativos y no conservativos. Estos últimos incluyen a la mayoría de las sustancias orgánicas, algunas sustancias inorgánicas y muchos microorganismos que se degradan por los procesos naturales de autopurificación, de modo que sus concentraciones se reducen con el tiempo. El tiempo de descomposición de estos materiales depende de cada contaminante en particular, de la calidad del agua receptora, de la temperatura y de otros factores ambientales.

Los procesos naturales no afectan a muchas sustancias inorgánicas, por lo que las concentraciones de los contaminantes conservativos sólo se pueden reducir por dilución. Por lo regular, los procesos naturales o de tratamiento de aguas no afectan a los contaminantes conservativos, y su presencia en una fuente de agua limita su uso (Noyola, 2000).

Los contaminantes que afectan la calidad del agua también se conocen como contaminantes potenciales y se dividen de la siguiente forma:

- ✚ Compuestos infecciosos y tóxicos
- ✚ Materiales que afectan el balance de oxígeno en el agua
- ✚ Compuestos orgánicos persistentes
- ✚ Nutrientes
- ✚ Materia suspendida
- ✚ Temperatura

### **Compuestos infecciosos y tóxicos**

Esta categoría incluye una amplia variedad de sustancias que han demostrado tener un impacto negativo en el ser humano al estar presentes en el agua para beber, utilizando a esta como vehículo de transporte. Las bacterias son las representativas de los compuestos infecciosos relacionándolas con grandes epidemias, también se encuentran los virus, gusanos y otros organismos patógenos (*Noyola, 2000*).

### **Materiales que afectan el balance de oxígeno en el agua**

Algunos compuestos orgánicos son utilizados por los microorganismos presentes en la corriente como fuentes de energía y crecimiento. El proceso metabólico en estas transformaciones causa el rompimiento de los compuestos orgánicos generando estructuras más sencillas y residuos. De esta forma, las reacciones bioquímicas llevadas a cabo emplean el oxígeno disuelto en el agua, limitando la disponibilidad de este en la corriente. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) depende del tipo y cantidad de compuestos orgánicos presentes, número y tipo de organismos en el agua, temperatura, pH, presencia de nutrientes y elementos necesarios para el crecimiento así como algunos parámetros ambientales. La presencia en exceso de organismos y/o materiales puede causar el agotamiento del oxígeno disuelto y la muerte de todos los organismos vivos (peces).



Además, la ausencia de oxígeno disuelto afecta el crecimiento de los microorganismos produciendo subproductos causantes de olores desagradables. El agotamiento del oxígeno disuelto (OD) en las corrientes ha recibido especial atención en los estándares de calidad.

Por esta razón la prueba de la DBO es una medida para evaluar las características orgánicas de las descargas de aguas residuales. Otro tipo de sustancias que entorpecen la transferencia de oxígeno a través de la interfase aire-agua son las grasas y aceites, ya que forman películas protectoras en la interfase reduciendo la transferencia de oxígeno y amplificando los efectos de sustancias que consumen este elemento.

### **Compuestos orgánicos persistentes**

Estos compuestos no se descomponen a través de la acción biológica, por lo que pueden permanecer indefinidamente. Ya que la naturaleza no puede eliminarlos por sí misma, estos se acumulan alcanzando concentraciones peligrosas para el medio acuático y teniendo un gran impacto en la salud. Un ejemplo de estas sustancias son los pesticidas resistentes al ataque bioquímico que pueden generar problemas crónicos o agudos en la salud.

### **Nutrientes**

Los microorganismos requieren condiciones favorables para su crecimiento y reproducción. Estos elementos incluyen carbón, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre y algunos otros, presentes en cantidades trazas. Cuando alguno de ellos no existe, el crecimiento y la reproducción se afectan. El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes más importantes en el contexto de la eutroficación ya que algunas algas pueden fijar el nitrógeno atmosférico, se acepta generalmente que el fósforo es el nutriente limitante en el agua. Los fosfatos existen en los efluentes de agua residual debido a las excretas humana y al uso de detergentes sintéticos.

### **Materia suspendida**

La materia suspendida tiene un tamaño de partícula mayor que las moléculas disueltas y los iones, dividiéndose en partículas suspendidas y coloidales. Esta presenta efectos desagradables en la calidad del agua. Por ejemplo, el incremento de la turbiedad restringe los usos que se pueden obtener del agua tratada. Además, las partículas interfieren con la penetración de la luz, causando un impacto considerable a los organismos acuáticos que dependen de ella para crecer y reproducirse. Teniendo de esta forma, una gran influencia en el balance ecológico de los cuerpos de agua.

Los sólidos suspendidos sedimentan con facilidad y se acumulan en el fondo de los ríos o en depósitos creados con ese fin. Si el contenido de materia orgánica es alto, la descomposición de los lodos puede generar olor, pero el efecto de mayor interés es la reducción de la capacidad de los cuerpos de agua debido a estas acumulaciones, ya que promueven la muerte de los peces al obstruir sus agallas y destruyen la vida en el fondo del cuerpo de agua.

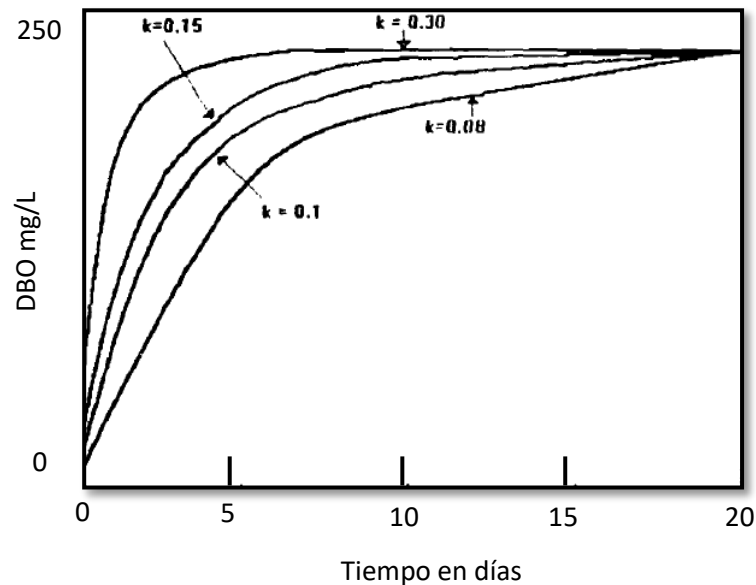
La materia suspendida está presente en las corrientes y lagos debido a que es arrastrada en el agua superficial de campos de cultivo y áreas urbanas, o por la descarga de residuos industriales o municipales.

### **Temperatura**

La temperatura es el principal ejemplo de la complejidad del agua, ya que su efecto puede ser dañino o benéfico dependiendo de las circunstancias.

El mayor impacto del incremento de la temperatura en las corrientes es que abate el valor de las fuentes para sus usos posteriores. El valor de la DBO<sub>5</sub> se incrementa sustancialmente con el aumento en la temperatura, porque la rapidez de la reacción bioquímica en la corriente se acelera con el incremento de la temperatura.

La figura 1.3 esquematiza el comportamiento de la DBO. Al aumentar la actividad microbiana, se reduce el OD disponible del sistema. Además, la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura, por lo tanto la "reacción" del agua es más ineficiente. Por otro lado, al aumentar la temperatura de la corriente, se acelera la muerte de algunas especies.



**Figura 1. 3** Gráfica de comportamiento de la DBO con distintas constantes, ( $k$ ) depende la temperatura  
Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2000).

### 1.2.3 Efectos producidos por la contaminación del agua

Cualquier cuerpo de agua es capaz de asimilar cierta cantidad de contaminantes sin mostrar efectos serios debido a los factores de dilución y autopurificación que están presentes.

Si hay contaminantes adicionales, se altera la naturaleza del cuerpo de agua receptor y deja de ser adecuado para sus diferentes usos, ocasionando así la contaminación del cuerpo de agua.

Los contaminantes del agua pueden ocasionar efectos adversos a corto y largo plazo.

**Efectos inmediatos o a corto plazo:**

- ✚ **Estéticos:** la acumulación de espuma de los detergentes en las descargas de aguas domésticas, las natas de productos insolubles provenientes de industrias y las botellas de plástico o poliestireno que flotan en la superficie.
  
- ✚ **Ecológicos:** la mortandad de peces y la desaparición o modificación de la vegetación cercana a los cuerpos de agua.

**Efectos a largo plazo:**

- ✚ Presencia y acumulación de tóxicos en sedimentos.
- ✚ Eutroficación acelerada.

Dado el papel que juega el agua en el desarrollo de la vida, cuando está contaminada, se convierte en un medio con gran potencial para transmitir una amplia variedad de males y enfermedades. En el mundo desarrollado las enfermedades hídricas son raras, lo que se debe esencialmente a la presencia de sistemas eficientes de abastecimiento de agua y eliminación del agua residual. Sin embargo, en el mundo en vías de desarrollo, cerca de 2,000 millones de personas no cuentan con abastecimiento de agua seguro y saneamiento adecuado, como resultado, las enfermedades hídricas en estas áreas alcanzan cifras alarmantes.

En la tabla 1.2 se dan a conocer algunas de las enfermedades infecciosas, en cuya incidencia puede influir el agua. La causa de estas enfermedades puede tener su origen en bacterias, protozoarios o gusanos. Su control y detención tiene como fundamento la naturaleza del agente causante, aunque es más útil tomar en consideración los aspectos relacionados con el agua en la diseminación de la infección.

**Tabla 1. 2** Principales enfermedades relacionadas con el agua

ENFERMEDAD	TIPO DE RELACIÓN CON EL AGUA
<b>Cólera</b> <b>Hepatitis</b> <b>Tifoidea</b> <b>Paratifoidea</b>	Transmitidas por el agua
<b>Disentería amibiana</b> <b>Disentería bacilar</b> <b>Gastroenteritis</b>	Agua /agua de aseo personal
<b>Ascariasis</b> <b>Conjuntivitis</b> <b>Enfermedades diarreicas</b> <b>Lepra</b> <b>Sarna Sepsis y ulcera de la piel</b> <b>Tracoma</b>	En el agua para el aseo
<b>Gusano de Guinea</b> <b>Esquistosomiasis</b>	Desarrollados en el agua
<b>Paludismo</b> <b>Fiebre amarilla</b>	Insectos vectores relacionados

*Fuente de información: Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (2000).*

### 1.2.4 Control de contaminación del agua

Debido a la necesidad de conciliar las diferentes demandas de sus recursos hidráulicos, la mayoría de los países tienen departamentos para controlar la contaminación y mejorar la calidad del agua.

Es importante citar que la contaminación del agua es la descarga por el hombre de sustancias en el ambiente acuático, que tienen riesgos para la salud humana, daña los recursos vivos y los ecosistemas acuáticos.

Se concluye que para que una descarga se denomine contaminante, debe haber evidencia de deterioro o daños.

Cuando se establecen métodos para el control de la contaminación del agua, los patrones se pueden basar ya sea en la calidad requerida en el agua receptora (enfoque de objetivos de calidad del río) o bien pueden aplicarse directamente al efluente sin referencia al agua receptora (enfoque de patrones de emisión).

El método de objetivos de calidad resulta lógico pero puede ser causa de problemas cuando se agrega una nueva descarga al sistema ya que todos los niveles de descarga existentes deben revisarse río abajo o la nueva descarga puede enfrentar un estándar muy alto imposible de lograr. Podría ser desigual el grado de tratamiento requerido para aguas residuales similares que se descargan en diferentes tramos de un mismo río. Un efluente aguas abajo podría requerir más tratamiento debido a que el agua de dilución sería de una calidad inferior como resultado de la descarga aguas arriba. Es importante considerar que, además de las descargas de efluentes de agua residual, hay contaminación considerable de fuentes no puntuales que son difíciles o imposibles de controlar. Estas fuentes sin origen fijo que contaminan el ambiente son, esencialmente descarga de escurrimiento directo superficial de las áreas urbanas, donde los contaminantes incluyen aceite y compuestos de caucho de la superficie de carreteras y de áreas rurales, donde es probable que los principales contaminantes sean nutrientes inorgánicos.

Los derrames sin control de agua de lluvia en los alcantarillados combinados, se incluyen en la categoría de contaminación no puntual. Cuando se practica un control eficiente de las fuentes puntuales, las fuentes no puntuales pueden tener una contribución significativa en la contaminación; es vital que cuando se preparen políticas de control de la contaminación se tenga muy en cuenta esta contribución, ya que de otra manera se pueden sobreestimar los resultados de la política para el control del medio ambiente.

## 1.3 Aguas residuales

### 1.3.1 Fuentes de aguas residuales

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos. Es un hecho que el vertido de aguas residuales sin depurar ocasiona daños, en ocasiones irreversibles al medio ambiente, afectando tanto a ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el vertido de aguas residuales no tratadas supone riesgos para la salud pública. Es por esto por lo que es preciso el tratamiento de estas aguas antes de su vertido (*Manual de aguas residuales, 2017*).

La NOM-001-SEMARNAT-1996 define las aguas residuales como aquellas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ella; es decir que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.

Dentro de este concepto se incluyen las fuentes de las aguas residuales:

- ✚ **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- ✚ **Aguas blancas:** pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

- ✚ **Aguas residuales industriales:** proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.
- ✚ **Aguas residuales agrícolas:** procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

### 1.3.2 Características de las aguas residuales

Las características de las aguas residuales son parámetros importantes para el tipo de tratamiento que se vaya a realizar, así como para la gestión técnica de la calidad ambiental.

Para ello se consideran las siguientes características:

#### **Temperatura**

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes son otra causa de este aumento de temperatura.

#### **Turbidez**

La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida.



## **Color**

El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales.

El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica.

## **Olor**

El olor es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica.

## **Sólidos o residuos**

La determinación de sólidos permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que tiene el agua, son la materia residual que queda cuando una muestra de agua se deseca a una temperatura establecida:

- ✚ Disueltas, formado átomos y moléculas invisibles. No influyen físicamente en la turbiedad pero si podrán definir su color u olor.
- ✚ Formando sistemas coloidales, que son partículas visibles.
- ✚ En forma de partículas relativamente grandes, las cuales se precipitan rápidamente cuando el agua se somete al reposo.

## Agentes Espumantes

El hecho de que el agua, por agitación, muestre la formación de espuma. Puede deberse a la presencia de residuos de detergentes. Estos residuos pueden interferir en los siguientes procesos:

- ✚ Coagulación
- ✚ Sedimentación
- ✚ Filtración

Las concentraciones menores de 0.5 miligramos de detergente por litro no afectan los procesos de tratamiento de agua ni la salud.

## Alcalinidad

Es un parámetro que está relacionado con el contenido de aniones; carbonato bicarbonato y oxhidrilo. La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la presencia de iones disueltos. La alcalinidad es necesaria en el tratamiento del agua porque reacciona con los coagulantes favoreciendo los procesos de eliminación de sólidos coloidales.

### 1.4 Evaluación de los contaminantes del agua

La calidad del agua está determinada por la presencia y cantidad de contaminantes, factores fisicoquímicos, bacteriológicos, cantidad de sales y presencia de fertilizantes. Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores, pues ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias contaminantes que no están presentes de forma natural. Para ello la NOM-001-SEMARNAT-1996, establece que los contaminantes básicos son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales.

Asimismo, considera como contaminantes patógenos y parasitarios aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna.

De igual manera define que los metales pesados y cianuros son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. Esta norma sólo considera los que se presentan en la tabla 1.3, 1.4 y 1.5 respectivamente.

**Tabla 1. 3** Contaminantes básicos

<b>Contaminantes Básicos</b>	Grasas y aceites
	Materia Flotante
	Sólidos sedimentables
	Sólidos suspendidos y disueltos
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )
	Nitrógeno total
	Fósforo total
	Temperatura
	pH

Fuente de información: NOM-001-SEMARNAT-1996.

**Tabla 1. 4** Contaminantes patógenos y parasitarios

<b>Contaminantes patógenos y parasitarios</b>	Coliformes fecales, coliformes totales, E.Coli
	Huevos helminto

Fuente de información: NOM-001-SEMARNAT-1996.

**Tabla 1. 5 Metales pesados y cianuros**

<b>Metales pesados y cianuros</b>	
	Arsénico
	Cadmio
	Cobre
	Cromo
	Mercurio
	Níquel
	Plomo
	Zinc
	Cianuros

*Fuente de información: NOM-001-SEMARNAT-1996.*

#### **1.4.1 Parámetros fisicoquímicos**

La Norma Oficial Mexicana-001-SEMARNAT-1996, establece los siguientes parámetros fisicoquímicos como contaminantes básicos en aguas residuales:

**Grasas y aceites:** Son las natas, películas y capas iridiscentes que se separan de la porción acuosa y flotan sobre ella. Son sustancias pobremente solubles, difíciles de transportar, no se digieren fácilmente por medios biológicos, reducen la capacidad de flujo del agua y afectan la transferencia de oxígeno del agua a las células interfiriendo así con el procedimiento del tratamiento aerobio. La determinación de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos (NMX-AA-005-SCFI-2013).

**Materia flotante:** Uno de los criterios importantes para la evaluación de los posibles efectos de los contaminantes de las aguas residuales en cuerpos receptores es determinar la materia flotante que contienen estas últimas. En general se encuentran dos tipos de materia flotante: partículas de materia, que incluyen bolas de grasa y componentes líquidos capaces de esparcirse como una fina película sobre grandes áreas de agua. La materia flotante en aguas residuales se acumula en la superficie, es altamente visible, está sujeta a ser transportada por el viento, puede contener bacterias y/o virus patógenos y puede concentrar significativamente metales e hidrocarburos clorados, tales como pesticidas y bifenil policlorado (PCB). La determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas es de importancia para el control y tratamiento de descargas de aguas residuales (*NMX-AA-006-SCFI-2010*).

**Sólidos sedimentables:** Los sólidos sedimentables presentes en una muestra de agua indica la cantidad de sólidos que pueden sedimentarse a partir de un volumen dado de muestra en un tiempo determinado (*NMX-AA-004-SCFI-2013*).

**Sólidos disueltos:** Son todas aquellas sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran disueltas en el agua y no son retenidas por un medio filtrante. Mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos). Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas (*NMX-AA-034-SCFI-2001*).

**Sólidos suspendidos totales:** Son los sólidos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en el agua, son partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua en suspensión o en suspensión y materia orgánica que se encuentra en suspensión y coloidal, que son detenidas por un medio filtrante; pueden ser partículas de óxidos metálicos (como del fierro o el magnesio) y otros sólidos como sedimentos, arena arcilla o cuerpos bacterianos (*NMX-AA-034-SCFI-2015*).

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Se determina la cantidad de oxígeno que necesita una población microbiana heterogénea para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Esta determinación requiere de periodos grande de tiempo y depende de la temperatura. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de las aguas (*NMX-AA-028-SCFI-2001*).

**Nitrógeno Total:** Los compuestos nitrogenados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Las fuentes de nitrógeno incluyen además de la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, productos de limpieza y tratamiento de aguas potables. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos, es importante el monitoreo y control de descargas del mismo al ambiente (*NMX-AA-026-SCFI-2010*).

**Fósforo Total:** El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas como fosfatos. Éstos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos órganofosfatados. Estas formas de fosfatos provienen de una gran cantidad de fuentes, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc. El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos en cantidades nocivas (*NMX-AA-029-SCFI-2001*).

**Temperatura:** El método de prueba normado establece el procedimiento para realizar la medición en el sitio donde se encuentra el agua y el resultado se expresa en grados Celsius (°C).

Las temperaturas elevadas en el agua pueden ser indicadores de actividad biológica, química y física, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes (*NMX-AA-007-SCFI-2013*).

**pH:** La medición del pH del agua es muy importante para muchos tipos de muestra. Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directa o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático. Asimismo, es importante para el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de aguas y su control (por ejemplo, floculación y desinfección de cloro), el control de plumbosolencia de aguas potables y tratamiento biológico de aguas residuales y los vertidos de aguas residuales (*NMX-AA-008-SCFI-2016*).

#### **1.4.2 Parámetros bacteriológicos**

La Norma Oficial Mexicana-001-SEMARNAT-1996, establece como parámetros bacteriológicos a los siguientes contaminantes patógenos y parasitarios:

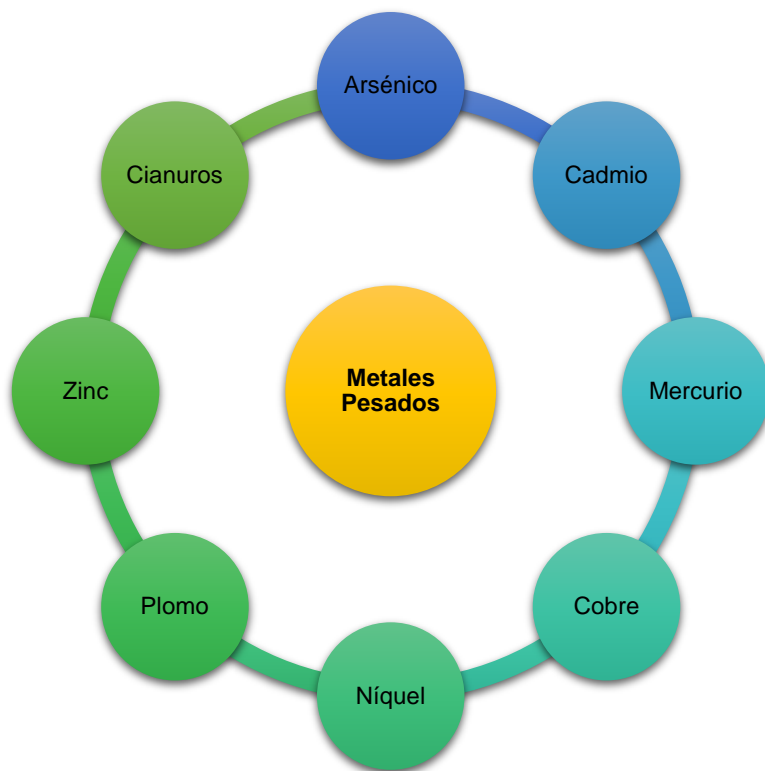
**Coliformes fecales:** La presencia y el grado de contaminación fecal es un factor importante en la evaluación de la calidad de un cuerpo de agua, ya que la habilidad de algunos organismos miembros del grupo de las bacterias coliformes de sobrevivir en el agua es limitada, su cantidad puede también ser utilizada para estimar el grado de contaminación fecal reciente (*NMX-AA-042-2015*).

**Huevos de Helminto:** Los helmintos representan un elevado riesgo a la salud humana debido a que sus diversos estadios infecciosos (huevos embrionados o larvas) son altamente persistentes en el agua contaminada.

Así, el agua constituye un vehículo directo o indirecto de diseminación de helmintos, aun cuando se encuentren en bajas concentraciones, dando lugar a enfermedades gastrointestinales, sobre todo cuando ésta se emplea para el riego de cultivos (NMX-AA-113-SCFI-2012).

### 1.4.3 Detección de metales pesados y cianuros

Los metales pesados y cianuros son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. La presencia de estos en aguas residuales y municipales exige un tratamiento efectivo de las mismas para su uso posterior o bien para un confiable desecho a corriente y cuerpos de agua, tales como ríos y sus deltas, lagos, lagunas, presas, estuarios y costas; todo ello acorde a la normatividad establecida (Najera, 2016). La NOM-001-SEMARNAT-1996 sólo considera los que se muestran en la figura 1.4.



**Figura 1. 4** Metales pesados y cianuros  
Fuente de información: NOM-001-SEMARNAT-1996.



#### 1.4.4 Parámetros permisibles de contaminantes

Con el fin de facilitar la interpretación de los datos físicos, químicos y biológicos de la contaminación de agua, la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales, en la cual se tienen las siguientes especificaciones:

- ✚ La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades. Ver tabla 1.6 y 1.7.
  
- ✚ Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.
  
- ✚ Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helminto).

**Tabla 1. 6** Límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas

Parámetros  (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.M.	P.M.	P.D.
Temperatura °(C) (1)	N.A.	40	40	40	40	40
Grasas y aceites (2)	15	25	15	25	15	25
Materia flotante (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	150	200	75	150	30	60
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10

Fuente de información: NOM-001-SEMARNAT-1996.

Simbología de la tabla 1.6

- ✚ Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006-SCFI-2010
- ✚ 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 Derecho






**Tabla 1. 7 Límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas**

**Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros**

Parámetros (Miligramos por litro)	Ríos					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.M.	P.M.	P.D.
<b>Arsénicos</b>	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
<b>Cadmio</b>	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
<b>Cianuros</b>	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0
<b>Cobre</b>	4	6	4	6	4	6
<b>Cromo</b>	1	1.5	0.5	1	0.5	1
<b>Mercurio</b>	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
<b>Níquel</b>	2	4	2	4	2	4
<b>Plomo</b>	0.5	1	0.2	0.2	0.4	0.4
<b>Zinc</b>	10	20	10	20	10	20

Fuente de información: NOM-001-SEMARNAT-1996.

Simbología de la tabla 1.7

-  (\*) 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.

Asimismo la NOM-003-SEMARNAT-1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población ver tabla 1.8

- ✚ La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006-SCFI-2010.
- ✚ El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la tabla 1.6 y 1.7 respectivamente.

**Tabla 1. 8** Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

<b>Límites máximos permisibles de contaminantes</b>					
Promedio Mensual					
<b>Tipo de reúso</b>	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
<b>Servicios al público con contacto directo</b>	240	≥ 1	15	20	20
<b>Servicios al público con contacto indirecto u ocasional</b>	1000	≤ 5	15	30	30

Fuente de información: NOM-003-SEMARNAT-1997.

## 1.5 Muestreo y análisis de aguas residuales

Para obtener un indicio verdadero de la naturaleza de un agua natural o residual es necesario asegurarse primero de que la muestra es representativa de la fuente. Satisfecho este requisito, se deben desarrollar los análisis apropiados mediante procedimientos estándar y comparar los resultados obtenidos con análisis diferentes. La tabla 1.9 muestra la composición promedio de un agua residual doméstica.

**Tabla 1. 9** Composición promedio de un agua residual doméstica

CONTAMINANTES	UNIDAD	CONCENTRACIÓN		
		DÉBIL	MEDIANA	ALTA
<b>Sólidos disueltos</b>	mg/L	350	720	1200
• Disueltos totales	mg/L	250	500	850
• Disueltos fijos	mg/L	145	300	525
• Disueltos volátiles	mg/L	105	200	325
• Suspendidos totales	mg/L	100	220	350
• Suspendidos fijos	mg/L	20	55	75
• Suspendidos volátiles	mg/L	80	165	275
<b>Sólidos sedimentales</b>	mg/L	5	10	20
<b>DBQ</b>	mg/L	250	500	1000
<b>DBQ<sub>5</sub></b>	mg/L	110	220	400
<b>Nitrógeno (total como N)</b>	mg/L	20	40	85
• Orgánico	mg/L	8	15	35
• Amoniaco	mg/L	12	25	50
• Nitritos	mg/L	0	0	0
• Nitratos	mg/L	0	0	0
<b>Fosforo (total como P)</b>	mg/L	4	8	15
• Orgánico	mg/L	1	3	5
• Inorgánico	mg/L	3	5	10
<b>Cloruros</b>	mg/L	30	50	100
<b>Sulfato</b>	mg/L	20	30	50
<b>Alcalinidad (como CaCO)</b>	mg/L	50	100	200
<b>Grasas</b>	mg/L	50	100	150
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100ml	1x10 <sup>6</sup>	1x10 <sup>7</sup>	1x10 <sup>8</sup>

Fuente de información: Meftca y Eddy, 1991.

La determinación de la calidad del agua es una de las operaciones más importantes dentro del manejo de su tratamiento, y para efectuarlo es necesario recolectar muestras bajo normas establecidas. Entre las cuales se encuentran:

✚ **NOM-001-SEMARNAT-1996:** Límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

✚ **NMX-AA-003-1980:** Aguas Residuales-Muestreo

**NOM-001-SEMARNAT-1996: Límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales en aguas y bienes nacionales**

En las especificaciones de la NOM- 001-SEMARNAT-1996; establece la periodicidad de análisis y frecuencia del muestreo para descargas de aguas residuales municipales con la finalidad de determinar el promedio diario y mensual.

La frecuencia de muestreo y análisis, depende del rango de la población que descarguen aguas residuales de tipo municipal hacia el área a evaluar. Ver tabla 1.10

**Tabla 1. 10** Frecuencia de muestreo y análisis para descarga de aguas residuales de tipo municipal

---

Rango de población	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte
Mayor de 50,000 habitantes	Mensual	Trimestral
De 20,001 a 50,000 habitantes	Trimestral	Semestral
De 2,501 a 20,000 habitantes	Semestral	Anual

---

Fuente de información: NOM-001-SEMARNAT-1996.

### **NMX-AA-003-1980: Aguas Residuales-Muestreo**

Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes. Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas residuales, por lo que se recomiendan los recipientes de polietileno o vidrio. Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y se recomienda que sean de material afín al del recipiente. Se recomienda que los recipientes tengan una capacidad mínima de 2 dm<sup>3</sup> (litros). Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Para ello se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro.

Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información:

- ✚ Identificación de la descarga.
- ✚ Número de muestra.
- ✚ Fecha y hora de muestreo.
- ✚ Punto de muestreo.
- ✚ Temperatura de la muestra.
- ✚ Profundidad de muestreo.
- ✚ Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.

Por consiguiente, es necesario llevar una hoja de registro con los datos anteriores e incluir:

- ✚ Resultados de pruebas de campo practicadas en la descarga muestreada.
- ✚ Cuando proceda, el gasto o flujo de la descarga de aguas residuales que se muestreo.
- ✚ Descripción detallada del punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar.
- ✚ Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas.

Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir los siguientes requisitos:

- ✚ Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.
- ✚ Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.

### **Muestreo en tomas**

- ✚ Se recomienda, se instalen tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto con el objeto de caracterizar debidamente las aguas residuales.
- ✚ Las tomas deben tener un diámetro adecuado para muestrear correctamente las aguas residuales en función de los materiales que puedan contener, deben ser de la menor longitud posible y procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas de la descarga.
- ✚ Se recomienda el uso de materiales similares a los del conducto, de acero al carbón o de acero inoxidable.
- ✚ Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo.

### **Muestreo en descargas libres**

Cuando las aguas residuales fluyan libremente en forma de chorro, debe emplearse el siguiente procedimiento:

- ✚ El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces antes de efectuar el muestreo.
- ✚ Se introduce el recipiente muestreador en la descarga o de ser posible, se toma directamente la muestra en su recipiente.
- ✚ La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra, cuidando de que ésta siga siendo representativa.



### **Muestreo en canales y colectores**

- ✚ Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.
- ✚ Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.
- ✚ El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.
- ✚ El recipiente muestreador, atado con una cuerda y sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra.
- ✚ Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe cuidar que ésta siga siendo representativa.

### **Cierre de los recipientes de muestreo**

Las tapas o cierres de los recipientes deben fijarse de tal forma que se evite el derrame de la muestra.

### **Obtención de muestras compuestas**

Se recomienda que las muestras sean compuestas, para que representen el promedio de las variaciones de los contaminantes. El procedimiento para la obtención de dichas muestras es el siguiente:

- ✚ Las muestras compuestas se obtienen mezclando muestras simples en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y momento del muestreo.
- ✚ El intervalo entre la toma de cada muestra simple para integrar la muestra compuesta, debe ser el suficiente para determinar la variación de los contaminantes del agua residual.

- ✚ Las muestras compuestas se deben tomar de tal manera que cubran las variaciones de las descargas durante 24 horas como mínimo.

### **Preservación de las muestras**

Solo se permite agregar a las muestras los preservativos indicados en las Normas de Métodos de Prueba.

- ✚ Preservar la muestra durante el transporte por medio de un baño de hielo y conservar las muestras en refrigeración a una temperatura de 277K (4°C).
- ✚ Se recomienda que el intervalo de tiempo entre la extracción de la muestra y su análisis sea el menor posible y que no exceda de tres días.

### **1.5.1 Análisis fisicoquímicos**

#### **NMX-AA-005-SCFI-2013 Análisis de agua: Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.**

Este método permite una estimación del contenido de grasas y aceites en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, al determinar gravimétricamente las sustancias que son extraídas con hexano de una muestra acuosa acidificada. La medición de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos.

En la medición de grasas y aceites no se mide una sustancia específica, sino un grupo de sustancias con unas mismas características fisicoquímicas (solubilidad). Entonces la medición de grasas y aceites incluye ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano.

Este método se basa en la adsorción de grasas y aceites en tierra de diatomeas, los cuales son extraídos en un equipo de extracción por recirculación empleando hexano como disolvente. Una vez terminada la extracción se evapora el hexano y se pesa el residuo que ha quedado en el recipiente; siendo este valor, el contenido de grasas y aceites.

**NMX-AA-006-SCFI-2010 Análisis de agua: Determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas.**

Esta norma establece el método de prueba para la medición de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas. Se basa en la observación flotante en una muestra de aguas residuales en el sitio de muestreo mediante la separación de ésta en una malla de aproximadamente 3 mm de abertura, por lo que este método es una prueba cualitativa.

**NMX-AA-004-SCFI-2013 Análisis de agua: Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.**

La materia sedimentable se define como la cantidad de sólidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo de un recipiente en condiciones estáticas. Las aguas naturales, residuales o residuales tratadas con altos contenidos de sólidos sedimentables no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias o las plantas potabilizadoras, de ello se deriva el interés por medir en forma cuantitativa este parámetro. Esta norma mexicana establece el método de prueba para la medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

**NMX-AA-034-SCFI-20015 Análisis de agua: Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.**

Las aguas naturales o residuales con altos contenidos de sólidos suspendidos o sales disueltas no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias o por las plantas potabilizadoras. De ello se deriva el interés por determinar en forma cuantitativa estos parámetros.

El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

**NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de agua: Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO<sub>5</sub>) y residuales tratadas.**

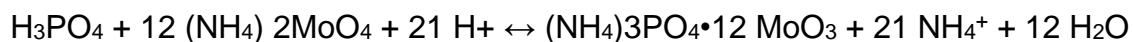
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>): Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. Se determina la cantidad de oxígeno utilizada por una población microbiana heterogénea para transformar la materia orgánica, en un periodo de incubación de 5 días a 20°C.

**NMX-AA-026-SCFI-2010 Análisis de agua: Medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.**

Los compuestos nitrogenados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Las fuentes de nitrógeno incluyen además de la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, productos de limpieza y tratamiento de aguas potables. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos, es importante el monitoreo y control de descargas del mismo al ambiente. Analíticamente el nitrógeno orgánico y el amoniacal pueden ser determinados por el método Kjeldahl, el cual se aplica para la determinación del contenido de nitrógeno en sustancias orgánicas e inorgánicas.

**NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas: Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.**

Este método se basa en la reacción del fósforo contenido en la muestra como ortofosfato con el ácido molíbdico para formar el ácido 12-molibdofosfórico según la reacción:



El ácido 12-molibdofosfórico es reducido por el cloruro de estaño a azul de molibdeno, compuesto de composición desconocida que contiene una mezcla de Mo (VI) y Mo (V), que absorbe a 690 nm. La intensidad del color azul formado depende de la concentración de fosfatos adicionados al heteropoliácido. El método es aplicable cuando el contenido de fósforo en las muestras se encuentra entre las concentraciones de 0,01 mg P/L a 6,0 mg P/L. Todo el fósforo contenido en la muestra debe estar como ion ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), ya que el método espectrofotométrico es esencialmente específico para este ion ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). La materia orgánica de la muestra es destruida por medio de una digestión con persulfato de amonio y ácido sulfúrico, rompiendo las ligaduras orgánicas del fósforo (C-P y/o C-O-P), e hidrolizando los polifosfatos a ortofosfatos.

**NMX-AA-007-SCFI-2013 Análisis de agua: Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.**

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la medición de la temperatura, cuando se usan instrumentos de medición directa o instrumentos que indican expansiones o fuerzas proporcionales en los cambios de temperatura, en aguas naturales crudas no salinas (epicontinentales, subterráneas y pluviales), en aguas salinas (marinas, costeras, de estuarios, esteros, marismas y subterráneas), aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales en el intervalo comprendido entre 0 °C y 45 °C.

Para su uso doméstico, como fuente de abastecimiento de agua potable, público urbano, recreativo con y sin contacto directo, riego agrícola, pecuario, acuacultura, industrial y protección de la vida acuática marina y de agua dulce y descarga en cuerpos receptores y alcantarillado municipal o reúso.

**NMX-AA-008-SCFI-2016 Análisis de agua: Determinación del pH, método de prueba.**

Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático. Asimismo, es importante para el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de aguas y su control (por ejemplo, floculación y desinfección de cloro), el control de plumbosolencia de aguas potables y tratamiento biológico de aguas residuales y los vertidos de aguas residuales. Se utilizan distintos métodos de determinación, que van desde la simple utilización de papel indicador a sofisticados métodos utilizando un medidor de pH. La determinación de pH se puede clasificar en dos clases, colorimétricas y electrométrico métodos. Los métodos colorimétricos emplean indicadores que desarrollan una gama de colores a diferentes pH. Su precisión es restringida y sólo son satisfactorias para su uso en una prueba de campo. Esta norma establece el método de prueba para la medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, en el intervalo de pH 0 a pH 14 y en un intervalo de temperatura de 0 °C a 50 °C.

**NMX-AA-030/1-SCFI-2012: Análisis de agua: Medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba parte 1.**

La demanda química de oxígeno (DQO) del agua, medida a través de este método del dicromato, puede ser considerada como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno, por ejemplo: la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación química total de constituyentes orgánicos a productos inorgánicos finales.

Esta norma especifica un método para la medición de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua. Es aplicable a muestras de aguas naturales crudas no salinas (epicontinentales, subterráneas y pluviales), aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales mediante método de reflujó abierto.

### 1.5.2 Análisis biológicos

**NMX-AA-042-SCFI-2015: Calidad del agua determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva.**

Esta Norma Mexicana establece un método para la detección y enumeración en agua de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva (E. coli) mediante el cultivo en un medio líquido en tubos múltiples y él cálculo de sus números más probables (NMP) en la muestra.

Este método es aplicable para todo tipo de agua, incluyendo aquellos que contienen una cantidad apreciable de materia en suspensión. La selección de las pruebas usadas en la detección y confirmación del grupo de organismos coliformes, incluyendo E. coli, puede verse como parte de una secuencia continua. El grado de confirmación con una muestra en particular depende parcialmente de la naturaleza del agua y parcialmente de las razones para realizar el examen. En la práctica, la detección de E. coli presuntiva, da usualmente una indicación satisfactoria de contaminación fecal.

**NMX-AA-113-SCFI-2012 Análisis de agua: Medición del número de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica.**

Esta norma mexicana establece el método para la cuantificación e identificación de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas con el fin de evaluar la calidad del agua y la eficiencia de los sistemas de tratamiento de la misma.

Este método de análisis se basa en la diferencia de densidades entre los huevos de helminto, las demás sustancias presentes en las aguas residuales, y las que se agregan para permitir la separación. El método comprende los procesos de sedimentación, flotación, decantación y la técnica bifásica para recuperar los huevos de helminto y efectuar el conteo.

### **1.5.3 Análisis de metales pesados y cianuros**

**NMX-AA-051-SCFI-20016 Análisis de agua: Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.**

Los efectos de los metales que se encuentran en las aguas naturales, potables y residuales sobre la salud humana, pueden ir desde el intervalo de benéficos, causantes de problemas hasta tóxicos, esto es dependiendo de su concentración, por lo que su cuantificación en cuerpos de agua es importante. Algunos metales son esenciales, otros pueden afectar adversamente a los consumidores de agua, sistemas de tratamiento de aguas residuales y cuerpos receptores de agua. Esta norma mexicana establece el método de espectrofotometría de absorción atómica por medio de atomización por flama, horno de grafito, generador de hidruros y vapor frío para la medición de metales disueltos, totales, suspendidos y extractables en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Considera como metales pesados al arsénico, cadmio, cobre, cromo total, mercurio, níquel, plomo y zinc.



**NMX-AA-058-SCFI-2001 Análisis de aguas: Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.**

Cianuros se refiere a todos los grupos  $CN^-$  en compuestos cianurados que pueden ser determinados como ion cianuro. Los cianuros son compuestos potencialmente tóxicos ya que un cambio de pH en el medio puede liberar ácido cianhídrico, compuesto generalmente asociado con la máxima toxicidad de estos compuestos; es por ello que es de suma importancia determinar como ion Cianuro ( $CN^-$ ) la presencia de todos los compuestos cianurados en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

Esta norma mexicana establece dos métodos de análisis para la determinación de cianuros en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

**NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de aguas: Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas**

El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas, se presenta generalmente a nivel de trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas.

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas, pero en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico desnitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como N/L.

El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos. Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. En las aguas de algunos pozos suele encontrarse cantidades apreciables de nitratos, lo que es objetable desde el punto de vista sanitario. Esta norma mexicana establece dos métodos de prueba para la determinación de nitratos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

### **NMX-AA-099-SCFI-2006 Análisis de aguas: Determinación de nitritos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas**

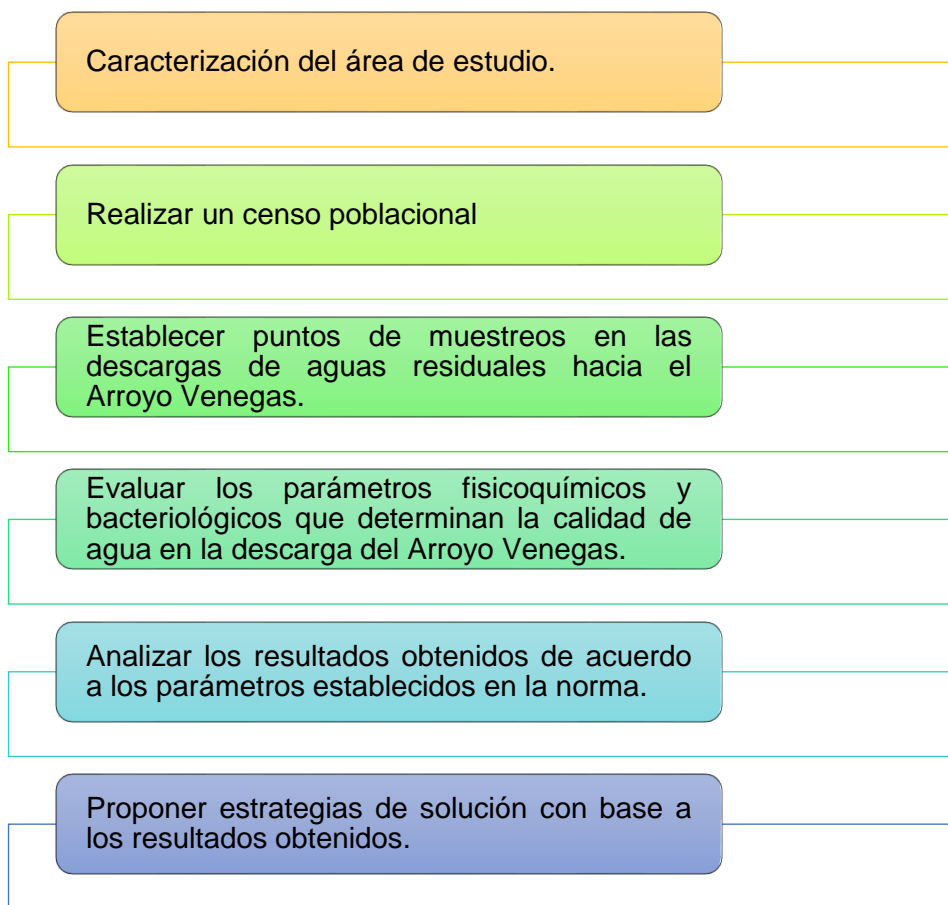
El nitrito considerado como una etapa intermedia en el ciclo del nitrógeno puede estar presente en el agua como resultado de la descomposición biológica de materiales protéicos. En aguas superficiales crudas, las huellas de nitritos indican contaminación. También se puede producir el nitrito en las plantas de tratamiento o en los sistemas de distribución de agua, como resultado de la acción de bacterias sobre el nitrógeno amoniacal.

Esta norma mexicana especifica un método de prueba espectrofotométrico para la determinación de nitrógeno de nitritos, en agua natural, residual y residual tratada, en un intervalo de 0,01 mg/L a 1 mg/L de N-NO<sub>2</sub>.

## CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Diseño de la metodología

Para llevar a cabo el diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental, se desarrolló la metodología experimental y de campo que comprende las actividades que se muestran en el la figura 2.1.



**Figura 2. 1** Actividades a desarrollar en la metodología  
Fuente de información: Vázquez 2017.

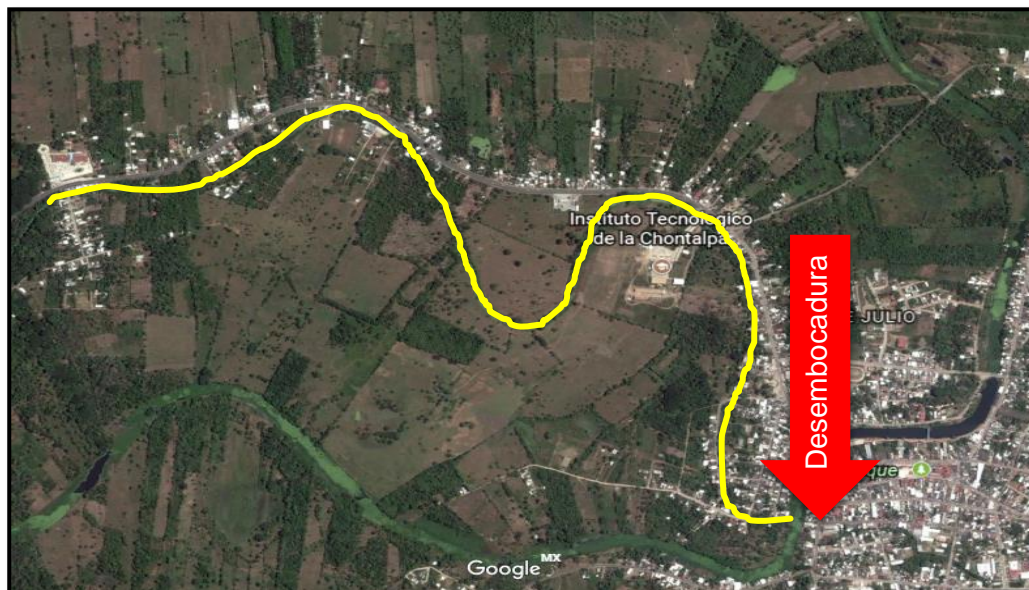
## 2.1 Caracterización del área de estudio

El Arroyo Venegas se localiza en sus inicios en el Municipio de Jalpa de Méndez, Tabasco y desemboca hacia el río Nacajuca teniendo las siguientes coordenadas: latitud  $18^{\circ} 10' 4.68''$  y longitud  $93^{\circ} 2' 3.79''$ . El área de estudio de este cuerpo receptor se encuentra dentro de las márgenes de la Carretera Jalpa de Méndez – Nacajuca en 3.92 Km, Ejido Rivera Alta.

Actualmente el Arroyo Venegas tiene una profundidad promedio de 1.5 metros y 16 metros de ancho. Como característica principal topográfica e hidráulica del cuerpo receptor se encuentran las formaciones de meandros, es decir, curvaturas descritas por el curso del arroyo, formándose con mayor facilidad en los ríos de las llanuras aluviales con pendiente muy escasa, estos meandros que se presentan en el Arroyo Venegas se debe a que el agua no fluye a la misma velocidad por cada una de sus secciones. Ver figura 2.2 y 2.3 respectivamente.



**Figura 2. 2** Fotografía aérea de la zona de estudio: Arroyo Venegas 3.92km  
Fuente de información: Denis & Vázquez 2017.



**Figura 2. 3** Ubicación geográfica de la zona de estudio: Arroyo Venegas 3.92km  
Fuente de información: Recuperado en Google Earth 2017, INEGI.

## 2.2 Estadística poblacional

La NOM-001-SEMARNAT-1996; en una de sus especificaciones, establece la periodicidad de análisis y frecuencia del muestreo para descargas de aguas residuales con la finalidad de determinar el promedio diario y mensual; ya que la frecuencia de muestreo y análisis, depende del rango de la población que descarguen aguas residuales de tipo municipal hacia el área a evaluar cómo se observa en la tabla 1.9 descrita en el capítulo 1.

Para ello se llevó a cabo un censo poblacional con el objetivo de saber hacia dónde descargan las aguas residuales las personas que tienen una casa-habitación localizada cerca del Arroyo Venegas en una área de 3.92 km de la Carretera Jalpa de Mendez-Nacajuca, Ejido Rivera Alta como se observan en las figuras 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7.

El censo poblacional se realizó mediante el uso de técnicas y recolección de datos como son hoja y bitácora de campo para el registro de información, tabla 2.1 y 2.2 respectivamente (Sampieri, 2015).



**Figura 2. 4** Censo poblacional (1ra. Parte)  
Fuente de información: Vázquez, (2016).



**Figura 2. 5** Censo poblacional (2da. Parte)  
Fuente de información: Vázquez, (2016).



**Figura 2. 6** Censo poblacional (3ra. Parte)  
Fuente de información: Vázquez, (2016).



**Figura 2. 7** Censo Poblacional (4a. Parte)  
Fuente de información: Vázquez, (2016).

**Tabla 2. 1** Formato de registro del censo poblacional (hoja de campo)

<b>Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental</b>				
<b>(Sección 1)</b>				
<b>Fecha:</b>				
<b>Lugar:</b>		<b>(Sección 2)</b>		
		<b>(Sección 5)</b>		
<b>(Sección 3)</b>	<b>(Sección 4)</b>	<b>(Sección 6)</b>	<b>(Sección 7)</b>	<b>(Sección 8)</b>

*Fuente de información: Sampieri Hernández, Roberto. Metodología de la investigación. McGraw Hill. México, D.F. 2015. Diseño de hoja de campo: Vázquez 2016.*

En la tabla 2.1 se observa el formato de registro del censo poblacional (hoja de campo), el cual se describe a continuación:

**Sección 1:** en esta parte se registra el nombre del proyecto de investigación que se desarrolla y de ser necesario el logotipo de la institución a la cual pertenecen las personas que realizan el censo poblacional.

**Sección 2:** en esta sección es importante escribir el nombre del lugar a censar y fecha en que se lleva a cabo la actividad.

**Sección 3:** seguidamente en la sección 3 se registra el nombre del jefe (a) de familia de la casa-habitación en la que se realiza el censo poblacional.

**Sección 4:** en este apartado se anota el número total de personas que habitan en la casa.

**Sección 5:** en esta parte del formato de registro se escribe hacia donde descargan las aguas residuales las personas de cada casa-habitación; si es en fosa séptica (**sección 6**), si es hacia algún drenaje (**sección 7**) o si las descargan directamente hacia el Arroyo Venegas (**sección 8**).

En la tabla 2.2 se observa el formato (bitácora de campo) donde se registra con mayor fidelidad los datos que se obtienen con el uso la hoja de campo. Para ello, las partes que integran este formato son:

- ✚ Nombre del proyecto que se desarrolla
- ✚ Lugar, horario y periodo en que se lleva a cabo la actividad
- ✚ Objetivo
- ✚ Materiales y/o equipos utilizados
- ✚ Descripción de la actividad
- ✚ Evidencias fotográficas y
- ✚ Observaciones



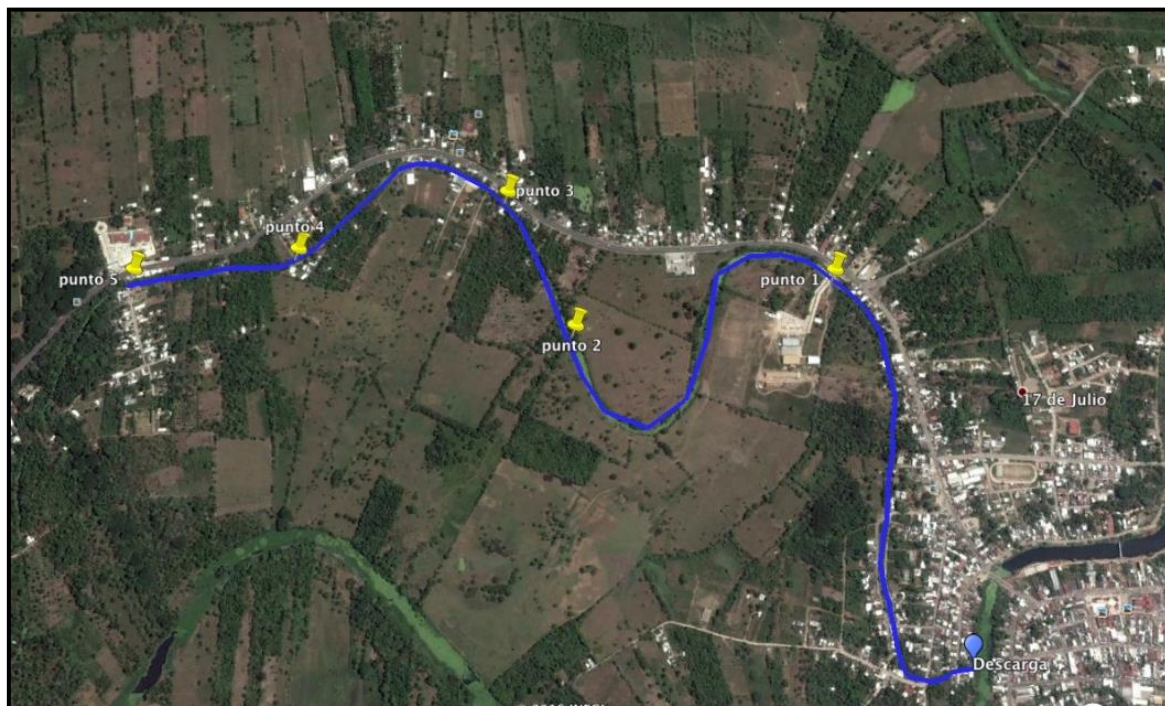
**Tabla 2. 2** Bitácora de campo

<b>Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental</b>			
<b>Lugar:</b>		<b>Hora:</b>	<b>Periodo:</b>
<b>Actividad:</b>			
<b>Objetivo:</b>		<b>Descripción de la actividad:</b>	<b>Evidencia fotográfica de la actividad:</b>
<b>Materiales y/o equipos:</b>	<b>Integrantes:</b>		
<b>Observaciones:</b>			

*Fuente de información: Sampieri Hernández, Roberto. Metodología de la investigación. McGraw Hill. México, D.F. 2015. Diseño de bitácora de campo: Vázquez 2016.*

### 2.3 Puntos de muestreos

Esta actividad consiste en establecer puntos de muestreos en zonas estratégicas del Arroyo Venegas, de acuerdo al número de descargas observadas para definir en donde se debe tomar la muestra del agua residual como lo establece la NMX-AA-003-1980: Aguas Residuales-Muestreo, con el fin de determinar sus características físicas y químicas; especificando si se debe realizar un muestreo en tomas, en descargas libres o en canales y colectores. Para delimitar los puntos de muestreos se llevaron a cabo dos recorridos; uno de manera física y otro con el uso de la tecnología drom vía aérea. Con base a lo anterior se establecieron cinco puntos de muestreos, los cuales se describen y observan sus coordenadas en la figura 2.8 y tabla 2.3 respectivamente.



**Figura 2. 8** Ubicación de los puntos de muestreo Arroyo Venegas  
Fuente de información: Recuperado en Google Earth 2017, INEGI.

**Tabla 2. 3** Coordenadas de los puntos de muestreos

Puntos de Muestreos	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
1	18° 10' 37.48''	93° 1' 32.10''
2	18° 10' 33.63''	93° 1' 55.97''
3	18° 10' 45.89''	93° 2' 1.26''
4	18° 10' 41.95''	93° 2' 20.26''
5	18° 10' 40.97''	93° 2' 35.37''

*Fuente de información: Denis & Vázquez 2017.*

## 2.4 Muestreo del agua residual

De acuerdo a los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales establecidos en la NMX-AA-003-1980, se llevó a cabo el muestreo del agua residual en la descarga final del Arroyo Venegas, que desemboca hacia el río Nacajuca teniendo las siguientes coordenadas: latitud 18° 10' 4.68'' y longitud 93° 2' 3.79', el día 24 de Julio del presente año.

El tipo de muestreo realizado fue en descarga libre mediante el siguiente procedimiento:

- ✚ El recipiente muestreador se limpió repetidas veces con agua antes de efectuar el muestreo.
- ✚ Luego se introdujo el recipiente muestreador en la descarga.
- ✚ Seguidamente se tomaron porciones, a diferentes profundidades, para evaluar los contenidos de grasas y aceites.
- ✚ Posteriormente se aforaron las muestras con los preservativos indicados en las Normas de Métodos de Prueba.
- ✚ Una vez aforadas las muestras, se cerraron los recipientes de forma segura para evitar el derrame de la muestra.

Asimismo se emplearon etiquetas pegadas en los recipientes con la siguiente información:

- ✚ Identificación de la descarga.
- ✚ Número de muestra.
- ✚ Fecha y hora de muestreo.
- ✚ Punto de muestreo.
- ✚ Temperatura de la muestra.
- ✚ Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.
- ✚ Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas.

Finalmente se colocaron las muestras en una nevera con hielo durante su transporte para el análisis de las mismas. A continuación se presentan una serie de figuras donde se observa el desarrollo del muestreo del agua residual para evaluar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.



**Figura 2. 9** Limpieza del recipiente



**Figura 2. 10** Muestreo del agua residual



**Figura 2. 11** Toma de muestra



**Figura 2. 12** Aforar, etiquetar y cerrar recipiente



**Figura 2. 13** Medir materia flotante



**Figura 2. 14** Transportar muestras

## 2.5 Pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas del agua residual

Los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos fueron realizados por la empresa Desarrollo Ecológico Industrial S.A. DE C.V. (DEISA), mediante las metodologías establecidas en las normas que se muestran en la tabla 2.4.

**Tabla 2. 4** Pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas establecidas por la NOM-001-SEMARNAT-1996

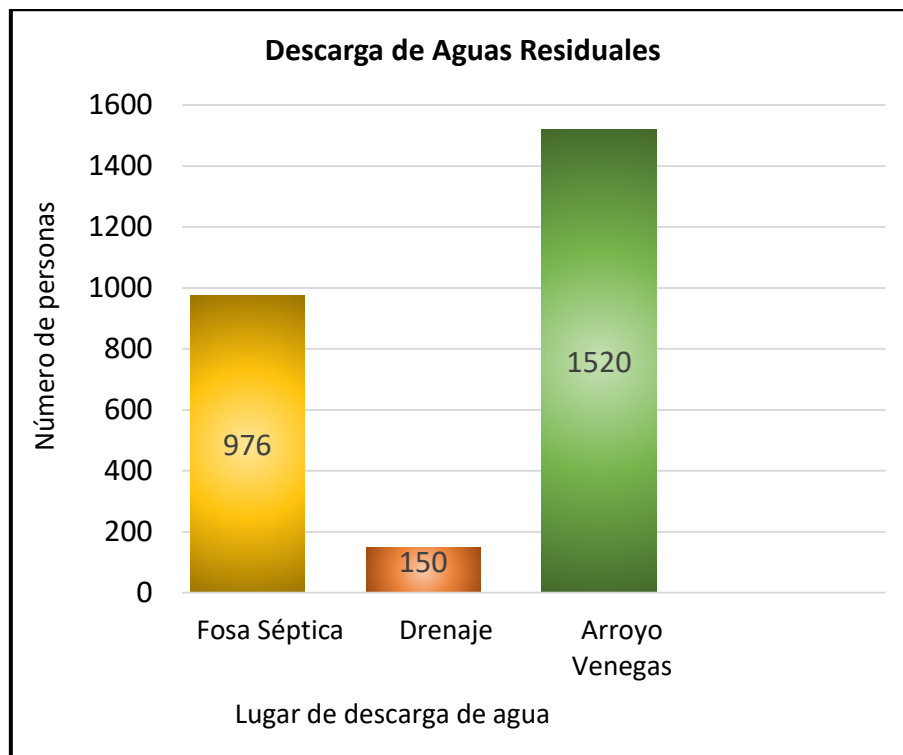
<b>NOM-001-SEMARNAT-1996</b>	
Pruebas Realizadas	Metodología
Potencial de Hidrogeno (pH)	NMX-AA-008-SCFI-2016
Huevos de Helminto	NMX-AA-113-SCFI-2012
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	NMX-AA-042-SCFI-2015
Temperatura (°C)	NMX-AA-007-SCFI-2013
Grasas y aceites (mg/L)	NMX-AA-005-SCFI-2013
Materia Flotante	NMX-AA-006-SCFI-2010
Sólidos Sedimentables (mL/L)	NMX-AA-004-SCFI-2013
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	NMX-AA-034-SCFI-2015
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	NMX-AA-028-SCFI-2001
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)	NMX-AA-026-SCFI-2010
N-Nitritos (mg/L)	NMX-AA-099-SCFI-2006
N-Nitratos (mg/L)	NMX-AA-079-SCFI-2001
Fosforo Total (mg/L)	NMX-AA-029-SCFI-2001
Arsénico (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016
Cadmio (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016
Cianuros (mg/L)	NMX-AA-058-SCFI-2001
Cobre (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016
Cromo Total (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016
Mercurio (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016
Níquel (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016
Plomo (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016
Zinc (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	NMX-AA-030/1-SCFI-2012

Fuente de información: NOM-001-SEMARNAT-1996.

## CAPÍTULO 3 RESULTADOS

### 3.1 Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental

Durante el diagnóstico realizado se llevó a cabo un censo poblacional en 303 casas con un total de 2626 personas; incluyendo una tienda oxo, una gasolinera, restaurantes, un taller mecánico, una alberca pública y dos instituciones educativas; obteniendo como resultado que del número total de personas 976, 150 y 1520 descargan las aguas residuales hacia fosas sépticas, drenajes y hacia el Arroyo Venegas respectivamente. Como se muestra en la figura 3.1.



**Figura 3. 1** Gráfica de las descargas de aguas residuales  
Fuente: Censo poblacional.

Es importante precisar que aunque los resultados estadísticos dan a conocer el número de personas que descargan las aguas residuales hacia las tres fuentes antes mencionadas, todas las descargas finalmente van hacia el Arroyo Venegas.

Esto se debe a que la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en el municipio de Jalpa de Méndez que tiene a su cargo el cárcamo principal de Nacajuca y Jalpa carece de mantenimiento y no cuenta con la capacidad para recibir el agua que debe llegar de los cárcamos; lo que ocasiona que estos descarguen las aguas residuales al Arroyo Venegas y a ríos cercanos, convirtiéndose así en un ciclo; ya que la poca o mucha agua que recibe la planta de tratamiento es descargada en el Arroyo Venegas de la misma manera en que es recibida sin tener un tratamiento previo.

Con los resultados estadísticos obtenidos y de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996, se determinó realizar las pruebas de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos en la descarga del agua residual del cuerpo receptor para saber si estos cumplen con los parámetros permitidos en la norma. De no cumplir con los límites máximos permisibles los resultados de los análisis se pueden plantear alternativas de solución para la mejora del cuerpo receptor del agua aún con la problemática que presenta. Los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas se dan a conocer más adelante.

Analizando cada uno de los resultados estadísticos y tomando en cuenta la potabilidad del agua, el área de estudio Arroyo Venegas se caracteriza por la presencia de una gran riqueza biológica, ya que en ella se albergan vegetación acuática y subacuática, aves, reptiles y peces; las cuales se muestran a continuación.

**Vegetación hidrófita emergente:** Caracterizada por masas puras de popal, que por lo general presenta una altura que puede ser desde 1 a 3 metros, misma que varía de acuerdo a la profundidad en que se encuentre. Como se muestra en la figura 3.2.



Nombre científico: *Thalia geniculata*

Nombre común: Popal



**Figura 3. 2** Vegetación hidrófita emergente (*Thalia geniculata*)  
Fuente de información: Luciano, (2016).

**Vegetación hidrófita flotante:** Se concentra en ambientes netamente lacustres y se asocia a los palustres. Algunas de las especies que la conforman en el Arroyo Venegas son: *Eichornia crassipes* y *Pistia stratiotes* como se observan en las figuras 3.3 y 3.4 respectivamente.

Nombre científico: *Eichornia crassipes*

Nombre común: Jacinto / lirio acuático



**Figura 3. 3** Vegetación hidrófita flotante (*Eichornia crassipes*)  
Fuente de información: Luciano, (2016).

Nombre científico: *Pistia stratiotes*

Nombre común: Lechuguilla de pantano



**Figura 3. 4** Vegetación hidrófita flotante (*Pistia stratiotes*)  
Fuente de información: Luciano, (2016).

## Aves

Nombre Científico: *Ardea alba*

Nombre Común: Garza blanca



**Figura 3. 5** Ave (*Ardea alba*)  
Fuente de información: Luciano, (2016).

Nombre Científico: *Ardea cinérea*

Nombre Común: Garza gris



**Figura 3. 6** Ave (*Ardea cinérea*)  
Fuente de información: Luciano,(2016).

Nombre Científico: *Gallinula chloropus*

Nombre Común: Gallineta



**Figura 3. 7** Ave (*Gallinula chloropus*)  
Fuente de información: Luciano, (2016).

### Reptiles

Nombre Científico: *Kinosternon Leucostomum*

Nombre Común: Pochitoque



**Figura 3. 8** Reptil (*Kinostemon leucostomum*)  
Fuente de información: Luciano, (2016).

Nombre Científico: *Iguana iguana*

Nombre Común: Iguana verde



**Figura 3. 9** Reptil (*Iguana iguana*)  
Fuente de información: Luciano, (2016).

Nombre Científico: *Basiliscus vittatus*

Nombre Común: Toloque



**Figura 3. 10** Reptil (*Basiliscus vittatus*)  
Fuente de información: Luciano, (2016).

## Peces

Nombre Científico: *Gambusia affinis*

Nombre Común: Gambusia



**Figura 3. 11** *Gambusia affinis*  
Fuente de información: Luciano, (2016).

## Proyectos afines

Durante el recorrido y las investigaciones realizadas en las márgenes del Arroyo Venegas, se identificó que a partir de este diagnóstico surgen otros proyectos afines que se pueden llevar a cabo con la biodiversidad que este alberga y de esta manera contribuir al mejoramiento ideal del saneamiento del cuerpo de agua en mención. Entre los proyectos destacan:

- ✚ Especies nativas de peces para controlar biológicamente las larvas de moscos.
- ✚ Uso de materia orgánica para la eliminación de metales pesados en el agua.
- ✚ Manejo adecuado de los residuos sólidos. Ver figura 3.12
- ✚ Pláticas de Sensibilización Ambiental a la Comunidad que habita las márgenes del Arroyo Venegas. Ver figura 3.13



**Figura 3. 12** Residuos sólidos  
Fuente de información: Luciano, (2016).



**Figura 3. 13** Sensibilización ambiental  
Fuente de información: Luciano, (2016).

### 3.1.1 Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos

Para llevar a cabo los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua residual en la descarga del Arroyo Venegas, se hicieron las primeras mediciones de campo para la temperatura de muestra y potencial de hidrógeno; en las cuales se tomaron tres lecturas obteniendo las siguientes mediciones:

Lecturas	Temperatura de muestra (°C)	pH
1	29.9	6.58
2	29.7	6.56
3	29.8	6.58

Con base a las lecturas registradas, se obtuvo el promedio de la temperatura de la muestra y del potencial de hidrógeno, asimismo físicamente se observó la presencia de la materia flotante en el agua, el color y olor de la misma; como se muestra en la tabla 3.1.

**Tabla 3. 1** Mediciones de campo

Mediciones de Campo								
N° de muestra	Hora de muestreo	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de muestra (°C)	Ph promedio	Color	Olor	Materia flotante	
							Presente	Ausente
1	10:28 a.m.	28	30	6.6	Gris	Putrefacto	SI	
Promedio		28	30	6.6				

Fuente de información: Laboratorio Desarrollo Ecológico Industrial S.A de C.V.

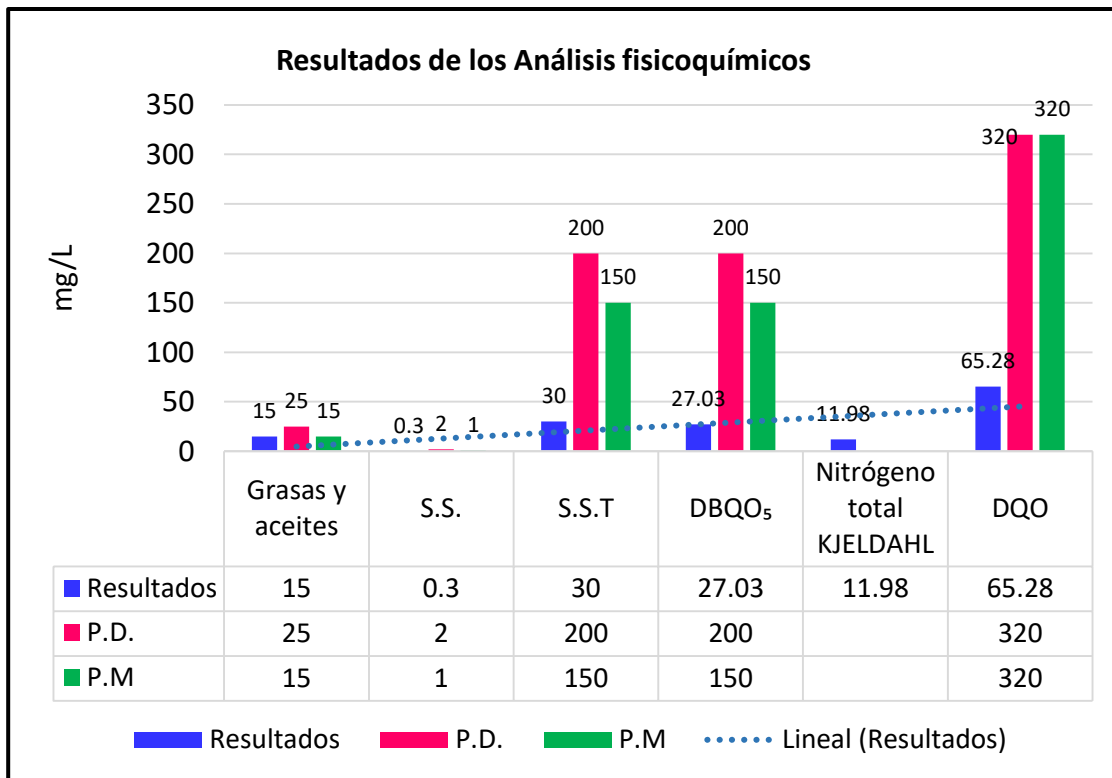


**Tabla 3. 2** Informe de resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos

<b>NOM-001-SEMARNAT-1996</b>			
Pruebas Realizadas	Resultados de pruebas	Límites máximos permisibles*	
		Promedio diario	Promedio mensual
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.6	5-10	5-10
Huevos de Helminto	<1	5	5
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	<b>≥2400</b>	<b>2000</b>	<b>1000</b>
Temperatura (°C)	30,0	N.A	N.A
Grasas y aceites (mg/L)	15,00	25	15
<b>Materia Flotante</b>	<b>PRESENTE</b>	<b>AUSENTE</b>	<b>AUSENTE</b>
Sólidos Sedimentables (mL/L)	0,3	2,0	1,0
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	30	200	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	27,03	200	150
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)	11,98	----	----
N-Nitritos (mg/L)	0,0229	----	----
N-Nitratos (mg/L)	0.348	----	----
Fósforo Total (mg/L)	1.22	30	20
Arsénico (mg/L)	<0,00050	0,4	0,2
Cadmio (mg/L)	<0,020	0,4	0,2
Cianuros (mg/L)	<0,0238	3,0	2,0
Cobre (mg/L)	<0,050	6,0	4,0
Cromo Total (mg/L)	<0,100	1,5	1,0
Mercurio (mg/L)	<0,0005	0,02	0,01
Níquel (mg/L)	<0,100	4,0	2,0
Plomo (mg/L)	<0,100	1,0	0,5
Zinc (mg/L)	<0,050	20	10
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) ***	65,28	320	

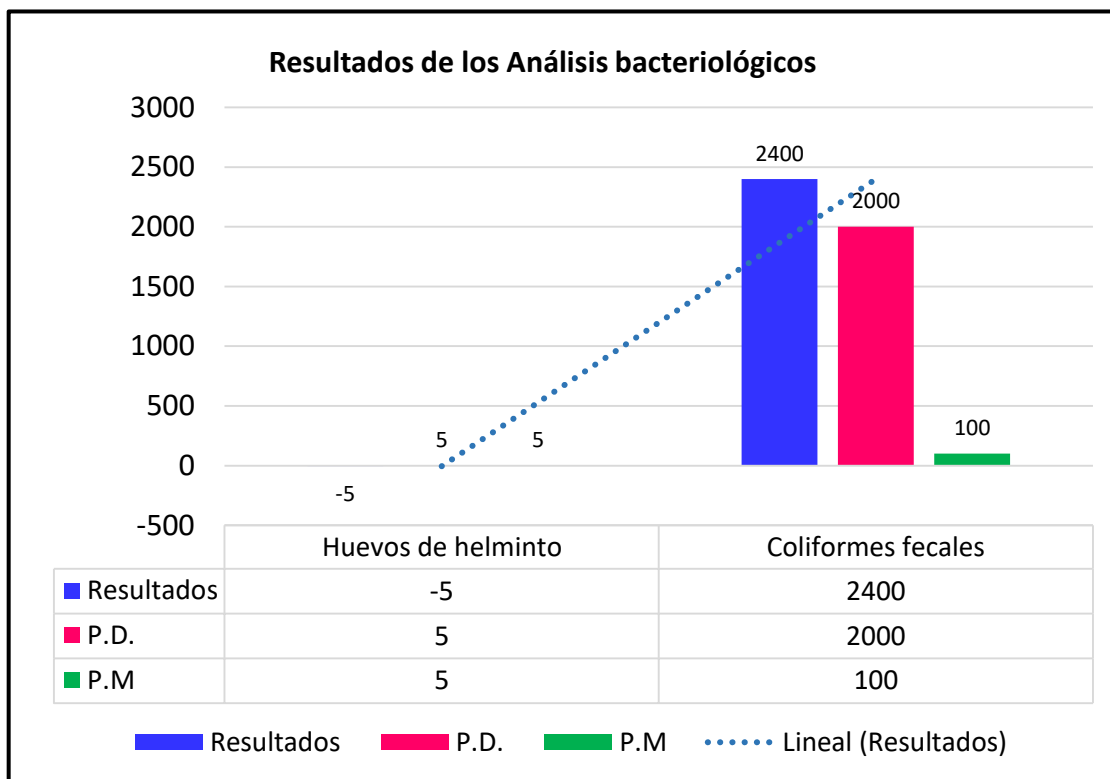
Fuente de información: Laboratorio Desarrollo Ecológico Industrial S.A de C.V.

Una vez llevada a cabo las mediciones de campo y tomadas las muestras de agua residual a como lo establece la NMX-AA-003-1980, los análisis fueron realizados por la empresa certificada Desarrollo Ecológico Industrial S.A. de C.V.; emitiendo los resultados que se muestran en la tabla 3.2; los cuales indican que dos parámetros de ellos no están dentro de los límites máximos permisibles que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996. Como es de observancia, los resultados de los análisis muestran la presencia de materia flotante y que el nivel de coliformes fecales es  $\geq 2400$  NMP/100mL en la descarga de aguas residuales del Arroyo Venegas; lo cual significa que son indicadores de contaminación, cuyo contenido no está permitido. Para una mejor apreciación de los resultados obtenidos, en las figuras 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17 se muestran las comparaciones de los análisis realizados con los parámetros establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996.



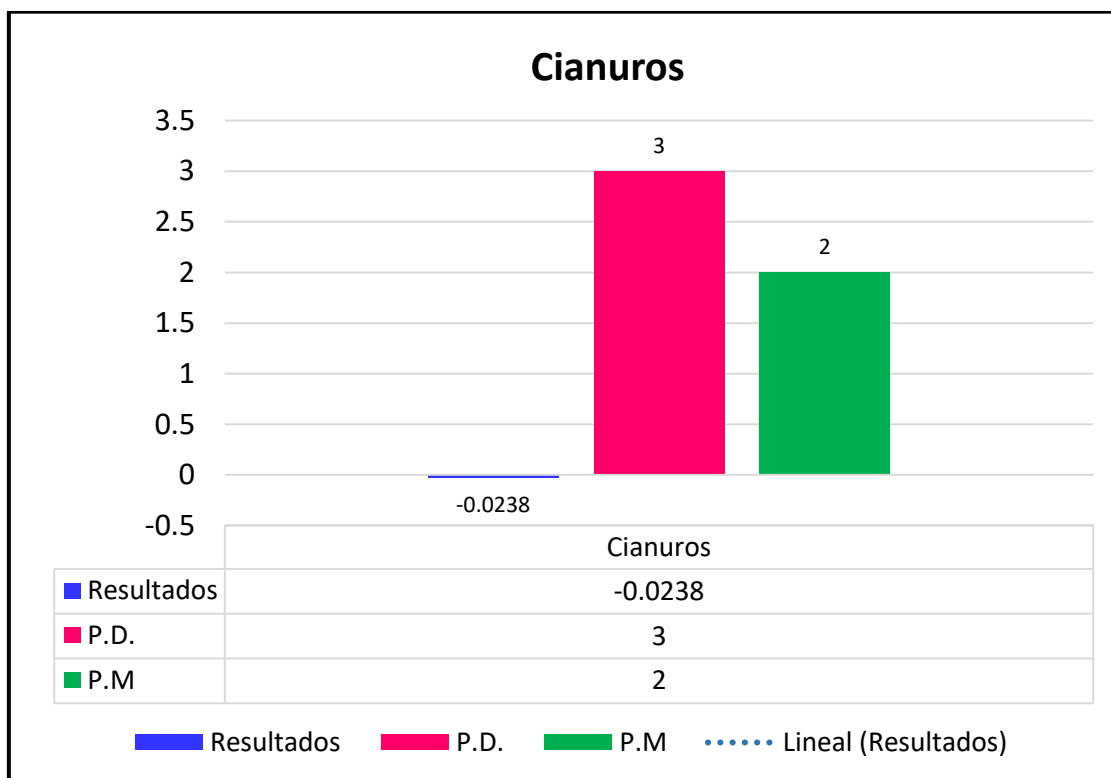
**Figura 3. 14** Gráfica de resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual  
 Fuente de información: Laboratorio Desarrollo Ecológico Industrial S.A de C.V.

En la figura 3.14 se muestran las concentraciones de los análisis fisicoquímicos realizados y los parámetros que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996. Lo cual indica que las grasas y aceites, sólidos totales, sólidos disueltos, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total kjeldahl y demanda química de oxígeno se encuentran dentro de los parámetros de la norma.



**Figura 3. 15** Gráfica de resultados de los análisis bacteriológicos del agua residual  
 Fuente de información: Laboratorio Desarrollo Ecológico Industrial S.A de C.V.

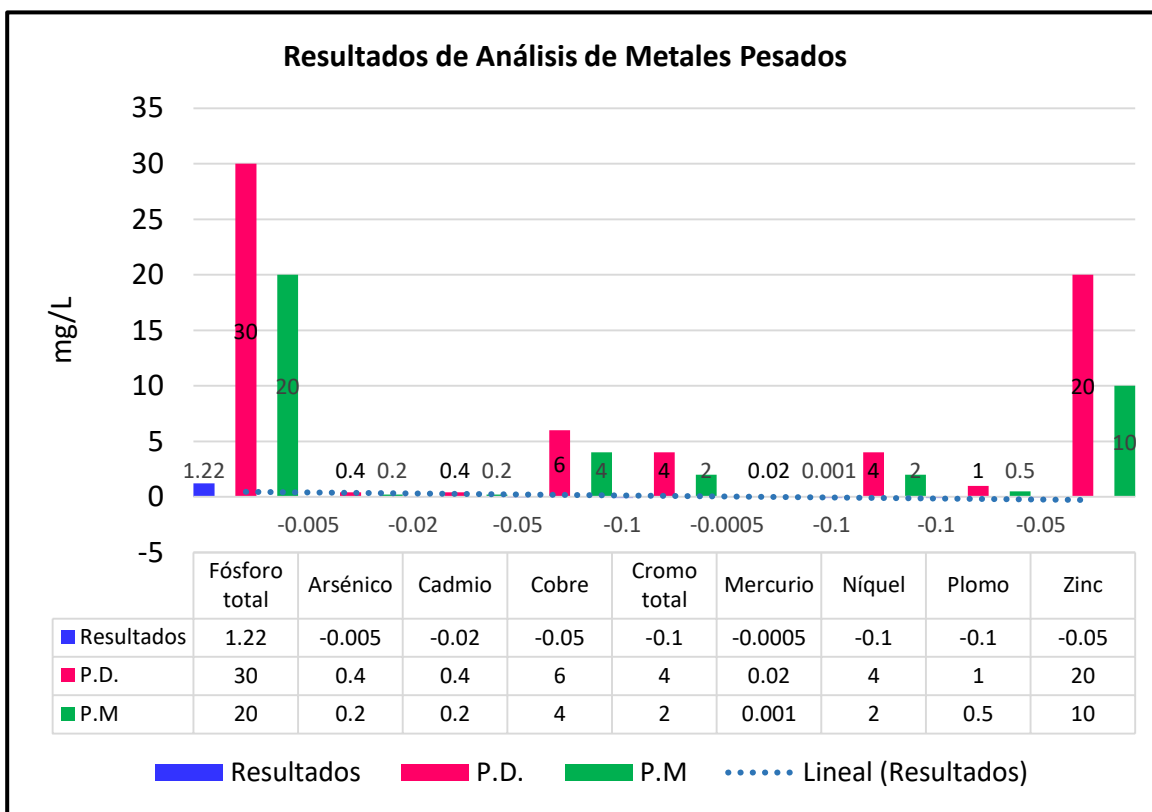
En la figura 3.15 se observa que los resultados de los análisis realizados en las coliformes fecales se encuentran por encima de los parámetros establecidos en la norma, lo cual se interpreta que es un indicador contaminante; mientras el resultado de los análisis en los huevos de helminto esta dentro los parámetros que la norma establece.



**Figura 3. 16** Gráfica de resultados de los análisis de cianuros del agua residual  
 Fuente de información: Laboratorio Desarrollo Ecológico Industrial S.A de C. V.

En la figura 3.16 se muestran las concentraciones obtenidas en las pruebas de cianuros en el agua residual, lo que indica que estos están presentes por debajo de los permitidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Asimismo en la figura 3.17 se observan los resultados de los análisis de metales pesados realizados en la descarga de aguas residuales del Arroyo Venegas. Los resultados mostrados en la gráfica indican que la presencia de metales pesados en el cuerpo receptor está muy por debajo de los parámetros establecidos en la norma, por lo que estos pueden recibir un tratamiento de tal manera que elimine por completo la presencia de los metales pesados.



**Figura 3. 17** Gráfica de resultados de los análisis de metales pesados del agua residual  
 Fuente de información: Laboratorio Desarrollo Ecológico Industrial S.A de C.V.

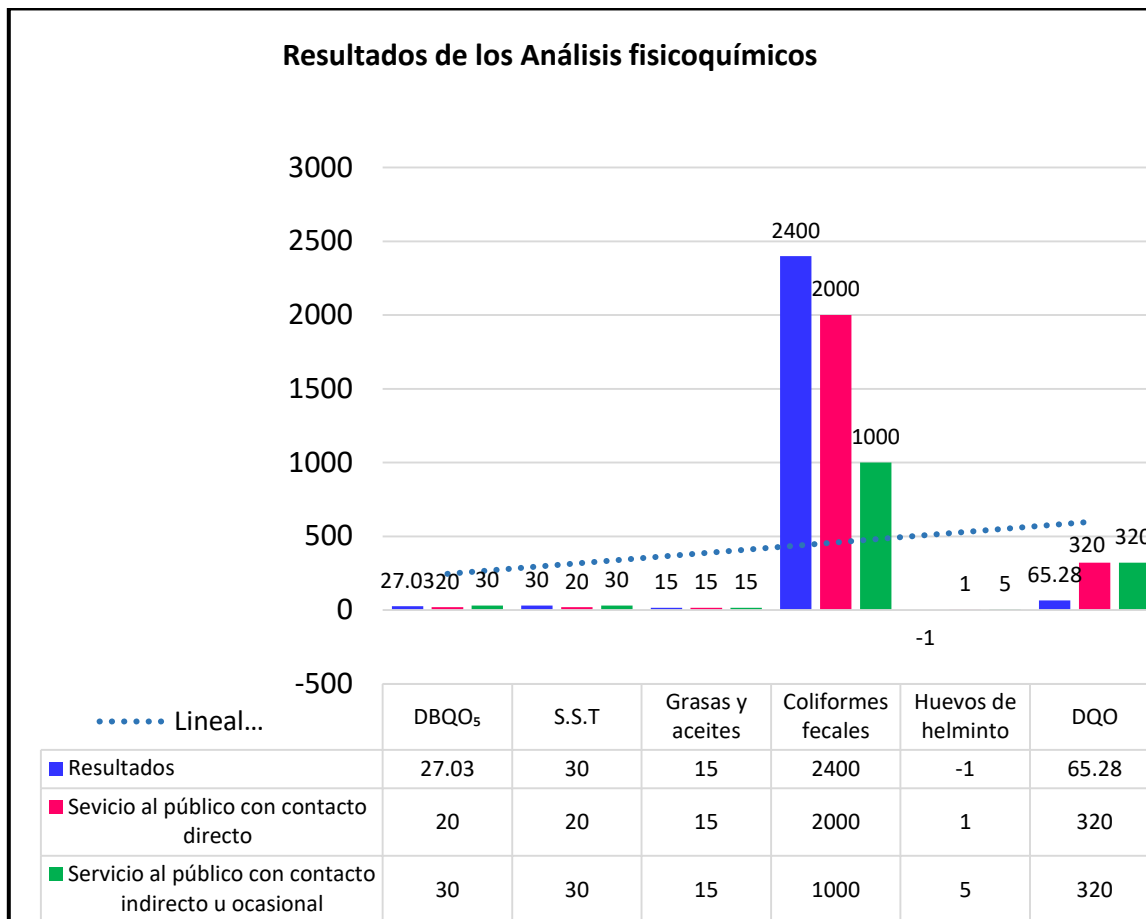
En la tabla 3.3 se muestra el informe de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Por lo que al sobrepasar los límites permisibles que esta norma establece, se consideran como un indicador de contaminación.

**Tabla 3. 3** Informe de resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos

<b>NOM-003-SEMARNAT-1997</b>			
Pruebas Realizadas	Resultados de pruebas	Límites máximos permisibles*	
		Servicio al público con contacto directo	Servicio al público con contacto indirecto u ocasional
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	27,03	20	30
<b>Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
Grasas y aceites (mg/L)	15	15	15
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	<b>≥2400</b>	<b>2000</b>	<b>1000</b>
<b>Materia Flotante</b>	<b>PRESENTE</b>	<b>AUSENTE</b>	<b>AUSENTE</b>
Huevos de Helminto	<1	≤1	≤5

Fuente de información: Laboratorio Desarrollo Ecológico Industrial S.A de C.V.

Con base a lo anterior el informe de resultados muestra que los sólidos suspendidos totales, las coliformes fecales y la materia flotante son indicadores de contaminación; ya que no están dentro de los parámetros establecidos en la norma. Es decir que el agua del Arroyo Venegas no puede ser utilizada para actividades de contacto directo como: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines. Todo esto con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de la población. Para una mejor apreciación de los resultados ver la figura 3.18.



**Figura 3. 18** Gráfica de resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual  
 Fuente de información: Laboratorio Desarrollo Ecológico Industrial S.A de C.V.

## CONCLUSIONES

En este trabajo de acuerdo al censo poblacional que se desarrolló mediante el uso de técnicas e instrumentos para la recolección de datos durante el diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas, se concluye que las 2626 personas que se localizan cerca del área de estudio descargan las aguas residuales hacia este cuerpo receptor; lo que origina que en tiempos de lluvia las personas se vean afectadas con inundaciones. Con base a lo anterior se establecieron de manera estratégica cinco puntos de muestreos alrededor de las márgenes del Arroyo Venegas; lo que permitió realizar la toma de muestra del agua residual en la corriente de descarga final del cauce y de esta manera llevar a cabo los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos que determinan la calidad del agua, obteniendo como resultados que los sólidos suspendidos totales, las coliformes fecales y la materia flotante son indicadores de contaminación en el cauce; ya que se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001 y 003 de la SEMARNAT 1996 y 1997 respectivamente.

Dado que los aspectos que están generando contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas se identifican como:

- ✚ Descargas directas al cuerpo receptor de agua.
- ✚ Presencia de animales, residuos sólidos u otros.
- ✚ Dificultad en el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- ✚ El sistema de producción deficiente de la planta de tratamiento.
- ✚ El asentamiento de la población a las márgenes del Arroyo Venegas.
- ✚ El uso de defensivos agrícolas.
- ✚ Olores putrefactos generados en las fosas sépticas realizadas por los habitantes.



Tal como lo demuestran los resultados de los análisis realizados en la descarga de la zona de estudio, la calidad del agua de la fuente receptora ha disminuido considerablemente en el tiempo. Las concentraciones de coliformes fecales, sólidos sedimentables y materia flotante; son los indicadores de contaminación en la descarga de aguas residuales del Arroyo Venegas. Por lo que para minimizar estos parámetros se plantean las siguientes estrategias de solución:

- ✚ Implementar un sistema de limpieza del Arroyo Venegas, así como realizar el desazolve transversal del mismo.
  
- ✚ Implementar un sistema de construcción integral de tratamiento convencional de aguas residuales con el fin de disminuir estas cargas contaminantes a la fuente. Porque de acuerdo con los resultados obtenidos en el área de estudio, los habitantes generan el 85% de la carga contaminante al cuerpo de agua. Este sistema de construcción integral debe constar de un colector perimetral y cárcamos que permitan que las aguas pueden ser transportadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal.
  
- ✚ La construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que cumpla con las especificaciones y características que demanda la comunidad, en donde exista una entidad responsable de la administración, control, operación y mantenimiento desde la separación de sólidos hasta la culminación del tratamiento terciario y así el efluente final pueda ser descargado o reintroducido de nuevo en una masa de agua natural (corriente, río, arroyo) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.); y de esta manera garantizar la efectividad y adecuado funcionamiento de la misma a mediano y largo plazo preservando así la calidad de la fuente receptora.

## RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental, se recomienda para futuras investigaciones:

- ✚ Seleccionar las descargas de aguas residuales hacia los cuerpos receptores que resulten necesario para realizar los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de acuerdo a lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas.
- ✚ El muestreo de las descargas debe ser continuo, es decir, se debe estar tomando muestras para los análisis durante 24 horas en cada descarga.
- ✚ Realizar un análisis fisicoquímico y bacteriológico en el lugar donde se intercepten todas las descargas de las aguas residuales.
- ✚ De igual manera se deberá tomar una muestra de agua en la descarga final del cuerpo receptor para su análisis.

## REFERENCIAS

- ✚ Alvarado L. y López A. (2010). *Diagnóstico y propuesta de tratamiento del agua contaminada para el proceso de recuperación de aguas en los campos Tamaulipas-Constituciones de PEMEX Exploración y Producción*. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. México.
- ✚ Corzo C. y Hansen A. (2010). *Contaminación de la cuenca del Arcediano y propuesta de saneamiento*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- ✚ Comisión Nacional del Agua.(2010). *Desazolve del Arroyo Venegas y Dren Nicolás Bravo, en la Ranchería Nicolás Bravo, municipio de Jalpa de Méndez, estado de Tabasco*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx>
- ✚ Comisión Nacional del Agua.(2014). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx>
- ✚ Comisión Nacional del Agua.(2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos en México*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx>
- ✚ Hidalgo Maritza & Molina S. (2010). *Diagnóstico de la contaminación por aguas domésticas, cuenca baja de la quebrada la macana, San Antonio de Prado municipio de Medellín*. (Especialista en gestión ambiental). Universidad de Antioquía. Medellín.
- ✚ López, E. (Ed.).(2011). *Calidad del agua*. Medellín. Colombia: Ediciones de la U.

- ✚ Mora, J. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, Vol. 23, N.º 5, Número Especial 2010, P. 34-40
  
- ✚ Noyola, R. (2000). *Alternativas de tratamiento de aguas residuales*. México: IMTA.
  
- ✚ Pérez, P. (2008, 18 de septiembre). Alternativas para conocer el comportamiento de la calidad del agua en un tramo del arroyo guachinango. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 17, núm. 3, (pp. 6-9).
  
- ✚ Robledo, J. (2014, septiembre). Calidad del río Túnico como respuesta al uso del suelo. *Revistas de ciencias agropecuarias*. ISSN -1010-2760, RNPS-0111, Vol. 23, No. 3, (pp. 41-45).
  
- ✚ Sampieri Hernández, Roberto. *Metodología de la investigación*. McGraw Hill. México, D.F. 2015.
  
- ✚ Teodoro, J. (2013, Noviembre). Calidad química del agua subterránea y superficial en la cuenca del río duero, Michoacán. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. IV, núm. 5, (pp. 127-146).
  
- ✚ NOM-001-SEMARNAT-1996: “Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”.
  
- ✚ NOM-003-SEMARNAT-1997: : “Límites máximos permisibles de contaminantes para aguas residuales tratadas que se reúsen en servicio al público.
  
- ✚ NMX-AA-003-1980: “Aguas Residuales-Muestreo”

- NMX-AA-058-SCFI-2001: Análisis de Aguas: “Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas”. Método de prueba

## ANEXOS

### Anexo 1 Muestra de hoja de censo poblacional


**Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental**

<b>Fecha:</b>	24 de Agosto de 2016
<b>Lugar:</b>	Ejido, Rivera Alta

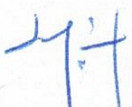
Nombre del jefe de familia	Número de personas	¿En donde descargan las aguas residuales?		
		Fosa séptica	Drenaje	Arroyo Venegas
Gilberto López Cruz	4			
Esmeralda Alcudia Torres	3			✓
Ángel Hernández	4			✓
Rosa Aurora Morales Magaña	4			✓
Liliana Naranjo Lara	7			✓
Ana León Hernández	2	✓		
Maria Morales Pérez	3		✓	
Victor Morales Pérez	4	✓		
Adriana Morales Pérez	6			✓
Juan Antonio Bautista Rodríguez	4	✓		

**Anexo 2** Muestra de bitácora de campo

**Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales en el Arroyo Venegas y su evaluación ambiental**

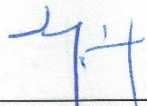
<b>Lugar:</b> Ejido, Rivera Alta	<b>Hora:</b> 12:30 p.m.	<b>Periodo:</b> 24-26 de Agosto
<b>Actividad:</b> Realizar el censo de población		
<p><b>Objetivo:</b> Realizar un censo del rango de la población ubicada en la colonia frente a la UJAT para cuantificar la cantidad de personas que descargan aguas residuales hacia el Arroyo Venegas tramo el ITECH.</p>	<p><b>Descripción de la actividad:</b></p> <p>Durante las fechas asignadas se realizó el censo poblacional en la colonia ubicada frente a las instalaciones de la UJAT, en la cual se visitaron alrededor de 26 viviendas con un un total de 103 personas.</p> <p>Con los resultados obtenidos en el área asignada se conoció el número de personas que descargan aguas residuales hacia el Arroyo Venegas, fosas sépticas y drenaje.</p>	<p><b>Evidencia fotográfica de la actividad:</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>
<p><b>Materiales y/o equipos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tabla de trabajo.</li> <li>➤ Hoja de censo</li> <li>➤ Cámara fotográfica</li> <li>➤ Lapiceros</li> </ul>	<p><b>Integrantes:</b></p> <p>Estephan Romellon Toache</p> <p>Daniel Paul Pérez</p> <p>Fernando Copto Betancourt</p> <p>Ángel Yair Frias Ovando</p> <p>Eduardo Bisa Rodríguez de la Rosa</p>	
<b>Observaciones:</b> Ninguna.		

**Anexo 3** Informe de resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua residual de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

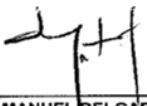
PRUEBAS REALIZADAS	RESULTADOS DE PRUEBAS	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES*		METODOLOGÍA	OBSERVACIONES **
		PROMEDIO DIARIO	PROMEDIO MENSUAL		
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	6,6	5 - 10	5 - 10	NMX-AA-008-SCFI-2016	DENTRO
HUEVOS DE HELMINTO (Huevos de Helminto/L)	< 1	5	5	NMXAA-113-SCFI-2012	DENTRO
COLIFORMES FECALIS (NMP/100 mL)	≥ 2400	2000	1000	NMX-AA-042-SCFI-2015	FUERA
TEMPERATURA (°C)	30,0	N.A.	N.A.	NMX-AA-007-SCFI-2013	N.A.
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	15,00	25	15	NMX-AA-005-SCFI-2013	DENTRO
MATERIA FLOTANTE	PRESENTE	AUSENTE	AUSENTE	NMX-AA-006-SCFI-2010	FUERA
SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)	0,3	2,0	1,0	NMX-AA-004-SCFI-2013	DENTRO
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	30	200	150	NMX-AA-034-SCFI-2015	DENTRO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L)	27,03	200	150	NMX-AA-028-SCFI-2001	DENTRO
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL (mg/L)	11,98	---	---	NMX-AA-026-SCFI-2010	N.A.
N-NITRITOS (mg/L)	0,0229	---	---	NMX-AA-099-SCFI-2006	N.A.
N-NITRATOS (mg/L)	0,348	---	---	NMX-AA-079-SCFI-2001	N.A.
NITRÓGENO TOTAL (mg/L)	12,3509	60	40	NOM-001-SEMARNAT-96	DENTRO
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	1,22	30	20	NMX-AA-029-SCFI-2001	DENTRO
ARSENICO (mg/L)	< 0,0050	0,4	0,2	NMX-AA-051-SCFI-2016	DENTRO
CADMIO (mg/L)	< 0,020	0,4	0,2	NMX-AA-051-SCFI-2016	DENTRO
CIANUROS (mg/L)	< 0,0238	3,0	2,0	NMX-AA-058-SCFI-2001	DENTRO
COBRE (mg/L)	< 0,050	6,0	4,0	NMX-AA-051-SCFI-2016	DENTRO
CROMO TOTAL (mg/L)	< 0,100	1,5	1,0	NMX-AA-051-SCFI-2016	DENTRO
MERCURIO (mg/L)	< 0,0005	0,02	0,01	NMX-AA-051-SCFI-2016	DENTRO
NIQUEL (mg/L)	< 0,100	4,0	2,0	NMX-AA-051-SCFI-2016	DENTRO
PLOMO (mg/L)	< 0,100	1,0	0,5	NMX-AA-051-SCFI-2016	DENTRO
ZINC (mg/L)	< 0,050	20	10	NMX-AA-051-SCFI-2016	DENTRO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L) ***	65,28	320		NMX-AA-030/1- SCFI-2012	DENTRO
<p>*NOM-001-SEMARNAT-1996</p> <p>OBSERVACIONES:</p> <p>&lt; : Este signo indica que el resultado es menor al límite de Cuantificación.      ≥ : Este signo indica que el resultado es mayor o igual.</p> <p>** Se compara con el límite máximo permisible "Promedio Diario"</p> <p>***Límite máximo permisible establecido en la ley Federal De Derecho.</p> <p>P.T.A.R. = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.</p>					
<p><b>JEFE DEL DEPTO. DE AGUAS RESIDUALES</b></p>    <p><b>LIC. JUAN MANUEL DELGADILLO S.</b> CED. PROF. 2087613</p>					
<p>ESTE INFORME PRESENTA ÚNICAMENTE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS SOMETIDAS A PRUEBA, NO SE REFIERE A LA POBLACIÓN DE DONDE PROVIENE.</p>					



**Anexo 4** Informe de resultados de los análisis bacteriológicos del agua residual de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997.

PRUEBAS REALIZADAS	RESULTADOS DE PRUEBAS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES*		METODOLOGÍA	OBSERVACIONES
		SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L)	27,03	20	30	NMX-AA-028-SCFI-2001	DENTRO
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	30	20	30	NMX-AA-034-SCFI-2015	FUERA
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	15,00	15	15	NMX-AA-005-SCFI-2013	DENTRO
COLIFORMES FECALES (NMP/100 ml)	≥ 2400	240	1000	NMX-AA-042-SCFI-2015	FUERA
MATERIA FLOTANTE	PRESENTE	AUSENTE	AUSENTE	NNX-AA-004-SCFI-2010	FUERA
HUEVOS DE HELMINTO (Huevos de Helminto/L)	< 1	≤ 1	≤ 5	NMXAA-113-SCFI-2012	DENTRO
*NOM-003-SEMARNAT-1997 OBSERVACIONES: < : Este signo indica que el resultado es menor al límite de cuantificación.					
JEFE DEL DEPTO. DE AGUAS RESIDUALES   LIC. JUAN MANUEL DELGADILLO S. CED. PROF. 2087613					

**Anexo 5** Informe de resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997.

PRUEBAS REALIZADAS	RESULTADOS DE PRUEBAS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES*		METODOLOGÍA	OBSERVACIONES
		PROMEDIO DIARIO	PROMEDIO MENSUAL		
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	6,60	5 – 10	5 – 10	NMX-AA-008-SCFI-2016	DENTRO
TEMPERATURA (°C)	30,0	N.A.	N.A.	NMX-AA-007-SCFI-2013	N.A.
ARSENICO (mg/L)	< 0,0050	0,4	0,2	NMX-AA-051-SCFI-2001	DENTRO
CADMIO (mg/L)	< 0,020	0,4	0,2	NMX-AA-051-SCFI-2001	DENTRO
COBRE (mg/L)	< 0,050	6,0	4,0	NMX-AA-051-SCFI-2001	DENTRO
PLOMO (mg/L)	< 0,100	1,0	0,5	NMX-AA-051-SCFI-2001	DENTRO
NIQUEL (mg/L)	< 0,100	4,0	2,0	NMX-AA-051-SCFI-2001	DENTRO
ZINC (mg/L)	< 0,050	20,0	10,0	NMX-AA-051-SCFI-2001	DENTRO
MERCURIO (mg/L)	< 0,0005	0,02	0,01	NMX-AA-051-SCFI-2001	DENTRO
CROMO TOTAL (mg/L)	< 0,100	1,5	1,0	NMX-AA-051-SCFI-2001	DENTRO
CIANUROS (mg/L)	< 0,0238	3,0	2,0	NMX-AA-058-SCFI-2001	DENTRO
<p>*NOM-003-SEMARNAT-1997  OBSERVACIONES:  &lt; : Este signo indica que el resultado es menor al límite de cuantificación.  P.T.A.R. = Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.</p>					
<p>JEFE DEL DEPTO. DE AGUAS RESIDUALES</p>  <p>LIC. JUAN MANUEL DELGADILLO S.  CED. PROF. 2087613</p>					