

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

CALIDAD SANITARIA DEL AGUA POTABLE DE LA RED MUNICIPAL DE OAXACA DE JUÁREZ, OAXACA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

AMAIRANY MATUS TRINIDAD

ASESOR:

DR. LUIS JAVIER TOLEDO FLORES

COMISIÓN REVISORA:

**DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA
DRA. MARÍA DE JESÚS RAMÍREZ ALTAMIRANO
M.C. MARIO DIAZ GONZALEZ**

OAXACA DE JUÁREZ, OAXACA

MARZO 2021

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES.....	5
OBJETIVOS	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTO TEÓRICO	7
1.1 Generalidades del agua	7
1.1.1 Importancia	8
1.1.2 Ciclo hidrológico.....	10
1.2 Propiedades del agua	11
1.2.1 Propiedades físicas	13
1.2.2 Propiedades químicas	14
1.3 Clasificación del agua	17
1.3.1 Procedencia.....	17
1.3.2 Usos.....	17
1.3.3 Características fisicoquímicas	18
1.4 Distribución y disponibilidad de agua	19
1.4.1 Distribución y disponibilidad en el mundo.....	20
1.4.2 Distribución y disponibilidad en México	21
1.5 Usos y consumo humano.....	23
1.5.1 Usos del agua.....	23
1.6 Calidad del agua	24
1.6.1 Parámetros físicos	25
1.6.2 Parámetros químicos	28
1.6.3 Parámetros biológicos.....	36
1.7 Enfermedades originadas por el agua de mala calidad	37
1.8 Contaminantes del agua	39
1.8.1 Situación actual de la contaminación.....	39
1.8.2 Tipos de contaminación	41

1.8.3	Fuentes de contaminación	41
1.9	Tratamiento de potabilización del agua	43
CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....		45
2.1	Muestreo	45
2.1.1	Selección de los puntos de muestreo	45
2.1.2	Obtención de las muestras.....	45
2.2	Determinaciones microbiológicas	45
2.2.1	Preparación de cultivos	45
2.2.1	Siembra de muestras	48
2.2.2	Cuenta de microorganismos.....	48
2.3	Determinaciones físicas y organolépticas.....	48
2.3.1	Determinación de color	48
2.3.2	Determinación de olor	49
2.3.3	Determinación de sabor	49
2.3.4	Determinación de turbiedad	49
2.4	Determinaciones químicas	49
2.4.1	Determinación de pH.....	49
2.4.2	Determinación de sólidos disueltos totales	50
2.4.3	Determinación de sólidos totales.....	50
2.4.4	Determinación de sólidos suspendidos	50
2.4.5	Determinación de cloro residual libre.....	51
2.4.6	Determinación de dureza	51
2.4.8	Determinación de cloruros	51
2.4.9	Determinación de sulfatos.....	52
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		53
3.1	Agosto 2019	53
3.2	Septiembre 2019	60
3.3	Octubre 2019	68
3.4	Noviembre 2019	76
CONCLUSIONES		86
REFERENCIAS		88

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres por ser los promotores de mis sueños, por siempre creer y confiar en mí. Son mi pilar fundamental, gracias por todas las enseñanzas, los valores que me han inculcado a lo largo de toda mi vida, gracias a mi madre por todas las noches de desvelo, por todas esas pláticas donde yo estaba a punto de tirar la toalla y nunca me soltaste la mano para darme la fuerza necesaria para seguir adelante, gracias a ti soy una mujer fuerte y responsable, gracias por siempre apoyarme en todas las decisiones que he tomado.

Gracias a mi hermana por ser mi amiga, por cuidarme y apoyarme en mi época de estudiante.

Gracias a mi tutor, el doctor Luis Javier Toledo Flores por ser mi maestro, por todas las enseñanzas durante mi residencia y el apoyo incondicional que me brindó durante la elaboración de mi proyecto.

Gracias a Dios por la vida de mis padres y mi hermana ya que sin ellos no hubiera sido posible esta meta que estoy a punto de cumplir, gracias Dios por todas las personas que has puesto en mi camino para que yo pueda cumplir mi sueño.

INTRODUCCIÓN

"They both listened silently to the water, which to them was not just water, but the voice of life, the voice of Being, the voice of perpetual Becoming."
Hermann Hesse, Siddhartha

El cuerpo humano está constituido por un 60 a 70% de agua (Badui Dergal, 2006). Este compuesto químico que es fundamental para la vida, está presente en todos los órganos y tejidos que componen el organismo, y además es el medio en el cual se desarrollan las complejas transformaciones bioquímicas que tienen lugar en todos los seres vivos y que denominamos metabolismo. Una persona adulta con actividad moderada y viviendo en un clima templado, consume 2,300 ml en promedio de agua por día, esta cantidad incluye los alimentos líquidos y sólidos que ingiere. Este volumen satisface los egresos que tiene por la piel, pulmones, orina y heces fecales (Vega Franco & Iñárritu Pérez, 2010).

En el año 2010 la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas reconoció que todos los seres humanos tienen derecho a una fuente de agua que sea suficiente, continua, segura, aceptable, físicamente accesible y asequible para su uso personal y doméstico (WHO, 2019). Para los diversos usos que puede tener en el contexto social como son el uso y consumo doméstico, producción de alimentos, cómo también el uso recreativo es fundamental la disponibilidad y seguridad del agua. Para esto, se debe tener un adecuado manejo del agua, desde las fuentes del líquido hasta su distribución, aprovechamiento y tratamiento, es un factor importante en el crecimiento económico y mejoramiento de la calidad de vida de una nación.

Las fuentes de agua para una gran parte de la población del planeta se encuentran contaminadas biológica o químicamente debido al manejo inadecuado de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas. A nivel mundial, muchas enfermedades como el cólera, diarrea, disentería, hepatitis A, tifoidea y polio están relacionadas con el consumo de agua contaminada y malas condiciones sanitarias en localidades y viviendas. Cerca de un millón de personas mueren anualmente de diarrea, la cual es totalmente prevenible cuando se cuenta con fuentes de agua y condiciones sanitarias apropiadas. El problema también tiene un considerable impacto socioeconómico, incluyendo menores gastos en tratamientos médicos y mayores tiempos de trabajo productivo cuando se dispone de fuentes de agua accesibles, seguras y baratas (WHO, 2019). El agua, además, es fundamental para alcanzar el desarrollo sostenible, contar con ecosistemas saludables y lograr la adaptación del género humano al cambio climático (CONAGUA, 2015).

La Comisión Estatal del Agua (CEA) es el órgano descentralizado del gobierno del estado de Oaxaca responsable de la planeación, construcción, administración y operación de la infraestructura hidráulica y sanitaria del estado. La CEA tiene como objetivo atender las necesidades de la población oaxaqueña en los rubros de agua potable, alcantarillado y saneamiento e implementar las acciones y medidas respectivas para la debida atención de los servicios públicos en esta materia (CEA, 2020). Por su parte, el organismo Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SAPAO) tiene como misión: “Proveer los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en forma eficiente e incluyente para todos los sectores de la población, orientando sus esfuerzos al desarrollo integral y sustentable del Municipio de Oaxaca de Juárez y su Zona Conurbada, a través del impulso de proyectos estratégicos en el sector, sin comprometer los recursos naturales y fomentando una cultura de uso racional del vital líquido, que permita mejorar la calidad de los usuarios, dentro de un marco de legalidad, democracia y convivencia armónica”, en tanto que la primera de sus funciones es “planear, programar, presupuestar, estudiar, proyectar, construir, rehabilitar, ampliar, operar, administrar, conservar y mejorar los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en los términos de las disposiciones legales y normativas de la materia que le sean aplicables” (SAPAO, 2017)

A través de los organismos citados anteriormente, el Gobierno del Estado operó entre 2014 y 2019 el Programa de Modernización del Sector Agua y Saneamiento del Estado De Oaxaca (Programa MAS Oaxaca) el cual arrancó el 14 de agosto de 2014, con un monto global de 93.5 millones de dólares presupuestados para abastecimiento de agua (65%), saneamiento (10%) y gastos administrativos (25%). El objetivo de desarrollo del programa fue apoyar la mejora del marco institucional del sector de abastecimiento de agua y saneamiento del Estado de Oaxaca y mejorar la calidad y la sostenibilidad del servicio de abastecimiento de agua en zonas urbanas seleccionadas (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2014). Sin embargo, las metas de incrementar la cobertura de acceso al líquido y al servicio de drenaje no pudieron alcanzarse cuatro años después de iniciado el programa (Ignacio, 2018).

Las consideraciones anteriores dieron pie al planteamiento de un estudio que atendiera uno de los componentes del problema del suministro de agua potable en la ciudad de Oaxaca de Juárez: la calidad microbiológica y fisicoquímica del líquido que es distribuido por SAPAO a los 264,251 individuos que habitan este municipio (DIGEPO, 2017). Las características inusuales de color, olor y sabor del agua distribuida por SAPAO, observadas

en muchas viviendas; así como la percepción de los usuarios del riesgo sanitario que representa su consumo, reforzaron la importancia de la realización de esta investigación.

La Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, define al agua para uso y consumo humano como “agua que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud. También se denomina como agua potable” (SSA, 2000). De acuerdo con esta norma, el agua distribuida por los sistemas municipales de agua potable — por ejemplo, Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SAPAO), en la ciudad de Oaxaca— debe estar libre de contaminantes químicos y biológicos.

ANTECEDENTES

En el periodo de octubre de 2010 a febrero de 2011, Ramírez Amaya realizó un estudio sobre la calidad microbiológica del agua para uso y consumo humano en el municipio de Oaxaca de Juárez. La investigación encontró una amplia prevalencia de organismos coliformes totales y múltiples muestras positivas a organismos coliformes fecales en nueve sitios de muestreo de la ciudad de Oaxaca (Ramírez Amaya, 2011).

Otro estudio realizado en la ciudad de Oaxaca específicamente en el municipio de Salina Cruz, Oaxaca; Alejandra Melchor Agustín llevó a cabo en el periodo de enero a junio del año 2018 un estudio microbiológico y fisicoquímico al agua que se distribuye en la red municipal de dicho lugar. Los resultados del estudio arrojaron que en todos los meses en las muestras hubo presencia de organismos mesófilos aerobios y coliformes totales y en la mayoría de ellas siendo positivas en los estudios de organismos coliformes fecales (Agustín, 2018).

Por otra parte, la revista Tecnología y Ciencias del Agua en 2017 publicó el artículo *Evaluación cuantitativa del riesgo microbiológico por consumo de agua en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México*, el estudio evaluó el riesgo por contaminación microbiana de las fuentes de agua del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado Municipal (SAPAM) mediante la aplicación de una Evaluación Cuantitativa del Riesgo Microbiológico (ECRM). Se analizó la contaminación por *Escherichia coli* en muestras de agua de todas las fuentes. Como resultado de este estudio todas las fuentes presentaron contaminación fecal. (Galdos-Balzategui, y otros, 2017).

Almanza Tovar realizó un estudio en el 2015 en un sistema acuífero ubicado en Valle de San Luis Potosí sobre la calidad del agua subterránea que abastece para consumo humano y otros usos como agrícola e industriales. Haciendo énfasis en el análisis para consumo humano los resultados mostraron que hay una alta prevalencia de organismos coliformes totales y fecales (Tovar, 2015).

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la calidad sanitaria del agua potable que se distribuye en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

Objetivos específicos

Obtener muestras de agua potable de la red municipal de Oaxaca de Juárez en el periodo agosto – diciembre de 2019.

Realizar análisis microbiológicos a las muestras de agua potable de la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

Realizar determinaciones químicas de pH, cloro libre, dureza total y sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, sulfatos y cloruros a las muestras de agua.

Evaluar la calidad física y organoléptica de las muestras de agua obtenidas cada mes.

Comparar los valores obtenidos en las determinaciones microbiológicas y fisicoquímicas con aquellos establecidos en la Norma Oficial Mexicana Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Generalidades del agua

El agua es una molécula sencilla formada por tres pequeños átomos, uno de oxígeno y dos de hidrógeno, con enlaces polares que permiten establecer puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes. Este enlace tiene una gran importancia porque confiere al agua propiedades que se corresponden con mayor masa molecular. La molécula tiene una geometría angular (los dos átomos de hidrógeno forman un ángulo de unos 105°) (Figura 1) lo que hace de ella una molécula polar que puede unirse a otras muchas sustancias polares (Carbajal & González Fernández, 2013).

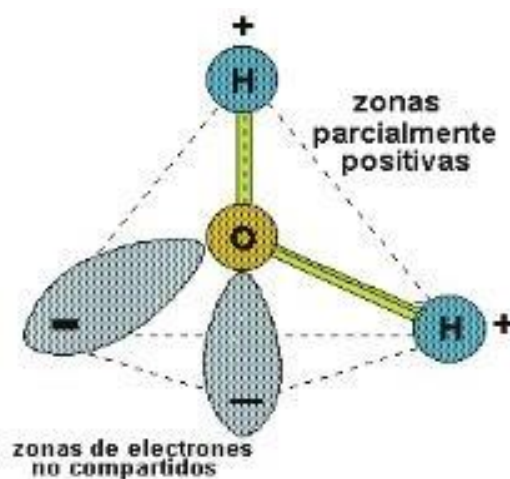


Figura 1 Geometría angular del agua (ángulo de 105°) **Fuente:** Carbajal & González Fernández, 2013

Es la sustancia que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso (ONUAA, 1996).

Dependiendo de la temperatura y la presión, el agua cambia muy fácilmente de un estado líquido a uno gaseoso o sólido. Así, a los 0°C se produce la congelación y el agua se solidifica en hielo, nieve o granizo. En contraste, a una temperatura de 100°C , el líquido se transforma en vapor (CEMDA, 2006).

Es en los océanos donde se encuentra la mayor reserva de agua, que contienen el 97% del agua que existe en la Tierra. Al ser agua salada sólo permite la vida de la flora y fauna marina. El resto es agua dulce, pero no toda está disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales (ONUAA, 1996).

Desde el punto de vista bioquímico el agua no se considera un nutrimento debido a que no contiene valor energético, y esto es porque no sufre cambios químicos durante su utilización biológica; sin embargo, sin ella no podrían llevarse a cabo las reacciones bioquímicas; tanto es así que existen muchas teorías que consideran que la vida en nuestro planeta se originó precisamente gracias a la presencia de este compuesto. Las principales funciones biológicas del agua estriban fundamentalmente en su capacidad para transportar diferentes sustancias a través del cuerpo, disolver otras y mantenerlas tanto en solución como en suspensión coloidal.

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de estos el 97.5% es agua salada, el 2.5% es agua dulce, es decir 35 millones de km³ y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o encarece su utilización efectiva (FEA, 2017).

1.1.1 Importancia

El agua es el factor abiótico más importante de la tierra y también es uno de los principales constituyentes del medio en que vivimos y de la materia viva. Constituye lo que llamamos hidrosfera, no hay límites precisos con la atmosfera y la litosfera porque se compenetra con ellas. La vida depende del agua tanto para los organismos que viven en ambientes acuáticos como para aquellos que viven en ecosistemas aeroterrestres.

Los organismos vivos están compuestos de agua en gran proporción, desde un 45% en insectos, un 70% en mamíferos y en algunos casos el 95% de sus cuerpos, como es el caso de las medusas. Por lo tanto, es el componente inorgánico más abundante de los seres vivos (Banús & Bertrán, 2010).

El agua es considerada como uno de los recursos naturales más fundamentales para el desarrollo de la vida, y junto con el aire, la tierra y la energía, constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo (Santafé, 2009).

El agua es en el hombre, el líquido en el que se produce el proceso de la vida y, de hecho, la supervivencia de las células depende de su capacidad para mantener el volumen celular y la homeostasia. Es fundamental para prácticamente todas las funciones del organismo y es también su componente más abundante (Carbajal & González Fernández, 2013).

El agua es indispensable; no tiene sustituto y no se conoce forma de vida que prescindiera de ella. Bosques, ciudades, polos, zonas industriales, pastizales, plantíos, bebés, bacterias, ballenas, aviones y cohetes, todos, de una manera u otra, necesitan el agua. El cuerpo de un bebé tiene 83% de agua; un hombre adulto, 60%; una mujer, 45%, y una medusa, 95%. Somos agua en gran medida. El agua es el origen a la vida y por ende la mantiene, ya que es un factor que regula el clima del planeta, esculpe y permite la existencia de los ecosistemas y de la humanidad. No debemos olvidar que somos naturaleza y que el agua viene de la naturaleza.

La disponibilidad de agua gobierna la vida y en consecuencia a los ecosistemas y, de manera paradójica, los ecosistemas llegan a influir en la disponibilidad, la cantidad y la calidad del agua. Bosques, selvas, pantanos, pastizales, etc., actúan como esponjas que retienen agua, como protectores que evitan la erosión, que detienen las avenidas torrenciales y que funcionan como filtros. Los bosques y las selvas están estrechamente vinculados con la dinámica del agua y, en consecuencia, con la diversidad de flora y fauna silvestres. Estos ecosistemas conforman una barrera física capaz de retener el agua y recargar los acuíferos subterráneos; sus raíces forman redes de contención que evitan la erosión del suelo, y su follaje contribuye a mantener la calidad del suelo, al amortiguar la caída de la lluvia y la fuerza del viento (CEMDA, 2006).

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible.

El agua es esencial para los ecosistemas naturales y la regulación del clima. Se denomina ciclo hidrológico a el movimiento continuo, sin principio ni fin, atrás de la superficie de la Tierra, por encima y por debajo de ella, como líquido, vapor o hielo. Aunque el total de agua presente en el planeta permanece relativamente constante en el tiempo, su disponibilidad resulta particularmente vulnerable al cambio climático (Díaz, 2013).

Las características que tiene el agua como su densidad, su viscosidad, su alto calor específico, su polaridad y su constante dieléctrica, hacen que sea un agente mucho más

efectivo que cualquier otro elemento en la liga de los componentes de los paisajes terrestres (Toledo, 2006).

1.1.2 Ciclo hidrológico

El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. El agua de la Tierra está siempre en movimiento y constantemente cambiando de estado, desde líquido, a vapor, a hielo, y viceversa. El ciclo del agua ha estado ocurriendo por billones de años, y la vida sobre la Tierra depende de él (Gleick, 2011).

El ciclo hidrológico es análogo a la corriente sanguínea de la biosfera y podemos decir que los ríos y sus redes de drenaje constituyen el corazón y las venas del sistema circulatorio de los continentes. Regula procesos biofísicos críticos y funciones ambientales vitales de los ecosistemas. A través de sus funciones físicas, químicas y biológicas, el agua controla procesos y patrones de los paisajes terrestres. Físicamente, a través de la interacción entre evaporación, condensación y escurrimiento; químicamente, a través de la interacción entre la fragmentación del sustrato rocoso y la disolución de rocas y minerales; y biológicamente, a través de la fotosíntesis y de la transpiración. El agua participa de una manera preponderante en la moderación de los extremos climáticos. El agua, en razón de su calor específico y de su elevado calor latente, es un regulador de la energía acumulada por el sistema terrestre que almacena los excedentes y reduce los déficits. El agua que se desplaza en el ciclo hidrológico transporta grandes cantidades de energía, lo que tiende a uniformar espacialmente la temperatura del planeta. (Toledo, 2006)

El ciclo hidrológico es el proceso continuo de la circulación del agua, en sus diversos estados, en la atmosfera terrestre y sucede bajo la influencia de la radiación solar, la acción de la gravedad y la dinámica de la atmósfera, la litosfera y la biosfera. Las diferentes fases del ciclo son el marco de referencia para el estudio del estado y del comportamiento del agua. Junto con el balance del agua global son el modelo básico para entender el funcionamiento del sistema hídrico atmosférico movido básicamente por la energía solar, el cual es el enlace vital entre el océano y el continente, mediante la circulación y transformación del agua a través de la atmosfera, hidrosfera, litosfera y la biosfera (García, y otros, S.f).

Este consiste en una serie de cambios de fase, de características físicas, químicas y microbiológicas, e incluso de emplazamiento físico (mares, nubes, glaciares, ríos, aguas subterráneas) cuyo último efecto es la «renovación» periódica de la dotación de agua en

las grandes acumulaciones o depósitos de esta existentes en el planeta: océanos, ríos y lagos, atmósfera y litosfera. El motor del «ciclo hidrológico» es la radiación solar recibida por nuestro planeta que provoca la evaporación de cantidades ingentes de agua desde la superficie libre de los océanos y mares (especialmente) hasta la atmósfera, desde donde revierte depositándose bajo forma de lluvia. En el ciclo hidrológico además, intervienen otros factores como son la evaporación de agua desde el propio terreno, la evapotranspiración de plantas y seres vivos, e incluso, el balance entre detracción y aporte de agua usada por el hombre (Galvín, 2003).

Se produce vapor de agua por evaporación en la superficie terrestre y en las masas de agua, y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y se precipita en forma de lluvia o nieve. Al llegar a la superficie terrestre, el agua sigue dos trayectorias. En cantidades determinadas por la intensidad de la lluvia, así como por la porosidad, permeabilidad, grosor y humedad previa del suelo, una parte del agua se vierte directamente en los riachuelos y arroyos, de donde pasa a los océanos y a las masas de agua continentales; el resto se infiltra en el suelo. Una parte del agua infiltrada constituye la humedad del suelo y puede evaporarse directamente o penetrar en las raíces de las plantas para ser transpirada por las hojas. La porción de agua que supera las fuerzas de cohesión y adhesión del suelo se filtra hacia abajo y se acumula en la llamada zona de saturación para formar un depósito de agua subterránea, cuya superficie se conoce como nivel freático (Fraume, 2006). La figura 2 muestra gráficamente el ciclo del agua.

1.2 Propiedades del agua

Sin duda alguna, el agua es uno de los elementos más importantes desde el punto de vista fisicoquímico, hasta tal punto que sus temperaturas de transformación de un estado a otro han sido tomadas como puntos fijos, a pesar de que su punto de congelación y ebullición sean anormales, debido a las asociaciones moleculares. A temperatura ambiente, el agua pura es inodora, insípida e incolora, aunque adquiere una leve tonalidad azul en grandes volúmenes, debido a la refracción de la luz al atravesarla, ya que absorbe con mayor facilidad las longitudes de onda larga (rojo, amarillo, naranja) que las longitudes de onda corta (azul, violeta), desviando lentamente estas otras, provocando que en grandes cantidades de agua esas ondas cortas se hagan apreciables. Su importancia reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que suceden en la naturaleza, no solo en organismos vivos sino también en la superficie no organizada de la tierra, así como los que

se llevan a cabo en la industria tienen lugar entre sustancias disueltas en agua (Santafé, 2009).



Figura 2 Ciclo del agua

Fuente: Gleick, 2011

El agua es una sustancia incolora, inodora y no tiene sabor. Sin embargo, el agua no siempre se presenta así, porque sus propiedades pueden ser alteradas y en este caso no sería apta para el consumo. Las sustancias que contaminan el agua se presentan en una de estas formas:

Sólidos gruesos flotantes.

Sólidos fácilmente sedimentables.

Sólidos muy finos en suspensión en el agua (coloides: sólidos disueltos).

La presencia y concentración de los sólidos en el agua depende de las características de la cuenca (vegetación, suelos, estado) y del tiempo (invierno, verano).

1.2.1 Propiedades físicas

Este aspecto físico del agua se considera por la apariencia, la cual puede percibirse por los sentidos. Algunas características físicas del agua son turbiedad, color, temperatura, olor y sabor.

La turbidez es un estimador simple de los sólidos en suspensión. Se aplica a las aguas que contienen materia en suspensión en tal medida que interfiere con el paso de la luz a través del agua. A mayor penetración de la luz solar en la columna de agua, es menor la cantidad de sólidos o partículas en suspensión en la columna de agua y viceversa. Esto relacionado con el uso del suelo, tipo de suelos, cobertura del suelo, y periodos de muestreos, entre otros (Clara, 2005).

Otra característica importante es la temperatura, debido al efecto sobre las propiedades físicas, afecta la velocidad de las reacciones químicas y la solubilidad de los gases, amplía sabores y olores del agua y determina el desarrollo de los organismos presentes (SENA, 1999).

El agua químicamente pura es un líquido inodoro e insípido; incoloro y transparente en capas de poco espesor, toma color azul cuando se mira a través de espesores de seis y ocho metros, porque absorbe las radiaciones rojas.

Sus constantes físicas sirvieron para marcar los puntos de referencia de la escala termométrica Centígrada. A la presión atmosférica de 760 milímetros el agua hierve a temperatura de 100°C y el punto de ebullición se eleva a 374°C, que es la temperatura crítica a que corresponde la presión de 217,5 atmósferas; en todo caso el calor de vaporización del agua asciende a 539 calorías/gramos a 100° (IMTA, 2008).

La densidad del agua líquida es altamente estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A presión normal de 1 atmósfera, el agua líquida tiene una mínima densidad a 100 °C, cuyo valor aproximado es 0,958 Kg/l. Mientras baja la temperatura va aumentando la densidad de manera constante hasta llegar a los 3,8 °C donde alcanza una densidad de 1 Kg/l. Esta temperatura representa un punto de inflexión y es cuando alcanza su máxima densidad a presión normal. A partir de este punto, al bajar la temperatura, disminuye la densidad, aunque muy lentamente hasta que a los 0 °C alcanza 0,9999 Kg/l. Cuando pasa al estado sólido ocurre una brusca disminución de la densidad, pasando a 0,917 Kg/l. Por tanto, la viscosidad, contrariamente a lo que pasa con otros líquidos,

disminuye cuando aumenta la presión. Como consecuencia, el agua se expande al solidificarse.

El calor específico está en relación con los puentes de hidrógeno que se crean entre las moléculas de agua. El agua puede absorber grandes cantidades de calor que utiliza para romper los puentes de hidrógeno, por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. El calor específico del agua es de 1 cal/°C g. La capacidad calorífica del agua es mayor que la de otros líquidos. Para evaporar el agua se necesita mucha energía. Primero hay que romper los puentes y posteriormente dotar a las moléculas de agua de la suficiente energía cinética para pasar de la fase líquida a la gaseosa. Para evaporar un gramo de agua se precisan 540 calorías, a una temperatura de 20 °C (Santafé, 2009). En la tabla 1 muestra en resumen las propiedades físicas del agua.

Tabla 1 Propiedades físicas del agua

Propiedad	Descripción
Estado físico	Gas, líquido y sólido
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Sabor	Insípido
Punto de ebullición	100°C (a 1 atm)
Punto de congelación	0 °C
Calor específico	1 cal/°C g
Densidad	1 Kg/l a 3,8 °C (a 1 atm)
Temperatura crítica	374°C

Fuente: IMTA, 2008

1.2.2 Propiedades químicas

La disposición espacial de los átomos de la molécula de H₂O, unida a la más alta electronegatividad del oxígeno frente al hidrógeno, posibilita una acumulación relativa de carga negativa en las inmediaciones del átomo de O, o *carga local parcial negativa* (designada por δ^-), frente a una relativa acumulación de carga positiva, o *carga local parcial positiva* (designada por δ^+), alrededor de los átomos de H. Esto se supone una separación

relativa de cargas que a su vez lleva aparejada una polaridad en la molécula y, por lo tanto, la existencia de un momento dipolar, con un valor de 1.85×10^{-18} uec.

Como consecuencia de este momento dipolar, se da la posibilidad de formar uniones electrostáticas entre moléculas de agua vecinas, en concreto entre los átomos de hidrógeno con carga positiva de una molecular y los de oxígeno de moléculas vecinas, éstos cargados negativamente. A estos enlaces (que se extienden tridimensionalmente en el espacio) se los denomina *enlaces o puentes de hidrógeno* (Figura 3) y debido a la ordenación casi tetraédrica de los electrones situados alrededor del átomo de oxígeno, cada molécula de agua es capaz, potencialmente, de unirse mediante *puentes de hidrógeno* con cuatro moléculas de agua vecinas. Los *enlaces de hidrógeno* son relativamente débiles. Así, se calcula que en el agua líquida tienen una energía de enlace de sólo 4.5 kcal/mol, mientras que los enlaces H-O la tienen sensiblemente superior e igual a 110 kcal/mol. Además, los enlaces de hidrogeno presentan particularidad de que su fuerza es máxima cuando los dos grupos que interaccionan están orientados de modo que proporcionan el máximo de atracción electrostática (Mellado & Marín Galvín , 1999).

El agua es conocido como “disolvente universal” ya que es el líquido que más sustancias disuelve, esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias, ya que estas se disuelven cuando interaccionan con las moléculas polares del agua.

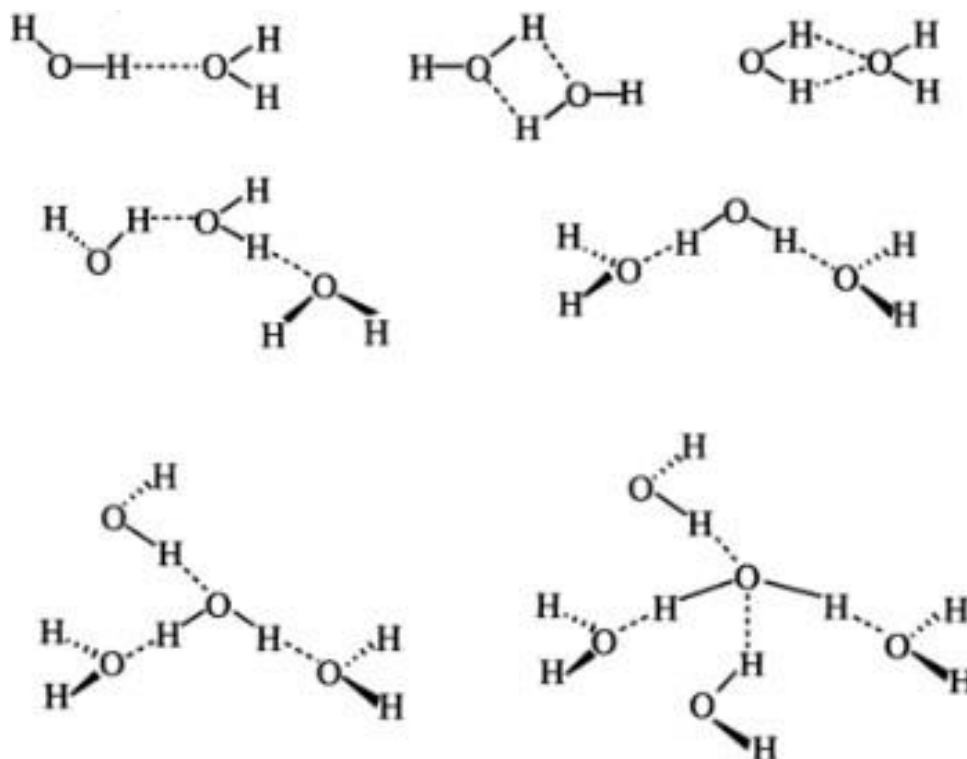


Figura 3 Algunas estructuras para agregados moleculares de agua por formación de enlaces de hidrógeno

Fuente: Mellado & Marín Galván, 1999

La capacidad disolvente es la responsable de dos funciones importantes para los seres vivos: es el medio en que transcurren las mayorías de las reacciones del metabolismo, y el aporte de nutrientes y la eliminación de desechos se realizan a través de sistemas de transporte acuosos. A medida que se aumenta la temperatura aumenta la solubilidad en el agua. Tiene una elevada constante dieléctrica, ya que, al poseer moléculas bipolares, el agua es un gran medio disolvente de compuestos iónicos, como las sales minerales, y de compuestos covalentes polares como los glúcidos. Las moléculas de agua, al ser polares, se disponen alrededor de los grupos polares del soluto, llegando a desdoblar los compuestos iónicos en aniones y cationes, que quedan así rodeados por moléculas de agua. Este fenómeno se llama solvatación iónica. Más el agua no disuelve todo, como por ejemplo las grasas, aceites, celulosa, metales nobles, cuarzo y una gran cantidad de materiales de naturaleza muy diversa (Valenzuela, S.f)

El agua por sí misma es un compuesto muy estable, fuertemente exotérmico, que presenta un calor de formación de $68.2 \text{ kcal mol}^{-1}$, lo que implica grandes cantidades de energía para su descomposición. A tal efecto, la energía libre de formación (que es la medida de la

estabilidad termodinámica de una sustancia) varía poco con la temperatura, siendo a 25°C de 54.64 kcal mol⁻¹ y a 2000 K de 32.30 kcal mol⁻¹. (Mellado & Marín Galvín , 1999)

1.3 Clasificación del agua

Existen diferentes tipos de agua de acuerdo a su procedencia, características físico-químicas y usos.

1.3.1 Procedencia

1. Agua subterránea: Agua que ocupa la zona saturada del subsuelo. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos. El subsuelo mexicano aloja un gran número de acuíferos; se han definido 653 para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales.
2. Agua superficial: Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales. Fluye o se almacena en la superficie del terreno y se considera de utilidad.
3. Agua fósil: Agua subterránea que ha permanecido por miles o millones de años retenida en las rocas sedimentarias desde su formación (FEA, 2017).

1.3.2 Usos

El agua es empleada de diversas formas, prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios (CONAGUA, 2011).

1. Agua potable: Con las denominaciones de agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancia o cuerpos extraños de origen biológico, inorgánico o radioactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, limpiada y transparente.
2. Agua potable salubre: Es el agua cuyas características microbianas, químicas y físicas cumplen con las pautas de la OMS o los patrones nacionales sobre la calidad del agua potable (OMS, 2014).

3. Aguas claras o aguas de primer uso: Aquellas provenientes de distintas fuentes naturales y de almacenamientos artificiales, que no han sido usadas previamente (FEA, 2017).
4. Aguas residuales, negras o servidas: Sus principales contaminantes son nutrimentos (nitrógeno y fósforo), organismos patógenos (bacterias y virus), materia orgánica, detergentes, metales pesados, sustancias químicas orgánicas sintéticas, hormonas y productos farmacéuticos (SEMARNAT, 2012).

Las cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales son (1) aguas domesticas o urbanas, (2) aguas residuales industriales, (3) escorrentías de usos agrícolas, (4) pluviales (Ramalho, 2003).

5. Agua estancada: Es el agua que queda atrapada en la superficie del suelo porque está saturado o porque es impermeable y no hay suficiente desnivel para que escurra. Si contiene una cantidad importante de materia orgánica y nutrientes los microorganismos proliferan hasta acabar con todo el oxígeno disuelto en el agua. Cuando esto ocurre, proliferan otros microorganismos que pueden vivir sin oxígeno y utilizan otras sustancias para respirar. El agua estancada tiene un típico olor a “podrido”, debido a la emisión de gases como sulfuros, metano e hidrógeno, producto de la respiración anaerobia de dichos microorganismos (FEA, 2017).

1.3.3 Características fisicoquímicas

1. Agua destilada: Agua purificada por destilación de manera que se eliminen las sales disueltas y otros compuestos (Press, 2000).
2. Agua dulce: Lagos, estanques, ríos y arroyos son portadores de agua dulce. También lo son las ciénagas, las marismas y los pantanos. Si los unimos a todos, estos ecosistemas contienen toda el agua en el mundo que no está congelada, fundamentalmente sin sal, y accesible a los humanos (National Geographic, 2011).
3. Agua salada: Agua en la que la concentración de sales minerales es relativamente alta aproximadamente 35 gramos por litro. Se puede encontrar en los océanos y mares de la Tierra.
4. Agua salobre: Tiene más sales disueltas que el agua dulce, pero menos que el agua de mar. Puede resultar de la mezcla de agua de mar con agua dulce, como ocurre en estuarios, deltas o en algunos acuíferos fósiles (FEA, 2017).

5. Agua dura: En lo que respecta a componentes activos, los iones calcio y magnesio son dos de los componentes químicos más importantes presentes en las aguas de consumo público y constituyen el mayor porcentaje de lo que se conoce como Dureza del Agua. Si bien, la dureza del agua se debe, principalmente, a la presencia de calcio y magnesio, también contribuyen a ella el estroncio, hierro, manganeso, bario y otros iones polivalentes, los cuales se combinan con aniones como el sulfato, cloruro, nitrato y bicarbonato (Gutiérrez, 2006).
6. Agua blanda: Agua en la que se encuentran disueltas mínimas cantidades de sales, tiene menos de 0.5 partes por mil de sal disuelta (FEA, 2017).

1.4 Distribución y disponibilidad de agua

La disponibilidad del agua puede verse como una función de dos elementos distintos pero inseparables. El primero se relaciona con el suministro de agua, el cual corresponde a los volúmenes de agua que pueden extraerse de forma sostenible de fuentes de superficie y subterráneas, así como de fuentes no convencionales. El segundo se refiere a la accesibilidad, lo cual implica transportar agua desde la fuente y ponerla a disposición de diferentes usuarios en cantidades suficientes y con la calidad adecuada para su uso deseado.

Es entonces, que la disponibilidad de agua depende de la cantidad de agua físicamente disponible y de cómo se almacena, maneja y distribuye a distintos usuarios. Incluye aspectos relacionados con la gestión de las aguas superficiales y subterráneas, así como el reciclaje y reutilización del agua. En cambio, la accesibilidad del agua se refiere a la forma en que el agua se suministra u obtiene físicamente. El agua suministrada mediante tuberías es el método más barato para abastecer de agua a las áreas densamente pobladas. Donde no se dispone de redes de tuberías, la gente depende principalmente de pozos o sistemas de suministro de agua comunitarios (como por ejemplo el suministro de agua a través de quioscos y expendedores o camiones cisterna (UNESCO , 2019).

La disponibilidad del agua de una región o país depende del balance de agua, esto es, del volumen que se recibe por precipitación y de lo que se pierde por la evaporación de los cuerpos de agua y por la evapotranspiración de la vegetación. El volumen restante puede dirigirse hacia la recarga de los acuíferos o escurrir superficialmente. Debido a que la distribución de la precipitación y de la evapotranspiración varía notablemente, la

disponibilidad de recursos hídricos muestra diferencias muy importantes en las diferentes regiones del planeta. (SEMARNAT, 2012)

Las distintas actividades humanas ejercen una presión importante, directa e indirectamente, sobre el ciclo hidrológico, lo que ha tenido consecuencias negativas en muchas regiones no sólo en la calidad de vida de la población, sino también en los ecosistemas naturales y su biodiversidad. En un mundo caracterizado por una población creciente y con mayor capacidad económica que le permite acceder a más bienes y servicios, la necesidad de producir más alimentos y energía, así como de abastecer con mayores volúmenes de agua a la población y a las actividades productivas, ha incrementado significativamente su demanda y ha presionado fuertemente su calidad en sus reservorios naturales. (SEMARNAT, S.f) La crisis de agua ¿es más un problema ecológico o social? Sin duda alguna, mantener ambas variables en equilibrio es esencial. Las actividades humanas han influido en el desabasto del agua, un gran ejemplo de ello es el desarrollo urbano, que ocasiona que el agua se evapore porque no se le permite su filtración al subsuelo y se afecta la recarga de mantos acuíferos. Frente al crecimiento de la población a nivel mundial, se han presentado cada vez más situaciones conflictivas a nivel social con respecto a la gestión del agua. Algunos problemas a enfrentar son: distribución ineficiente, el poco financiamiento a su saneamiento y reciclaje y mantenimiento a su infraestructura (FEA, 2019).

1.4.1 Distribución y disponibilidad en el mundo

A nivel mundial, el agua subterránea es más abundante que la que vemos en los ríos y lagos superficiales. Se calcula que el agua dulce bajo tierra es 30% del total, que en ríos y lagos superficiales está sólo 0.03% y que el resto, 69.7%, se encuentra congelada en los polos y glaciares (CEMDA, 2006). Es decir 35 millones de km³, es agua dulce y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo, esta poca agua es la que ha hecho posible la vida como hoy la conocemos.

Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o

vuelve imposible su utilización efectiva. Se estima que solamente el 0.77% se encuentra como agua dulce accesible al ser humano (FEA, 2017).

La mayoría de los recursos de agua dulce del planeta se concentran en sólo seis países: Brasil, Rusia, Canadá, Estados Unidos, China e India. Más del 40% de los ríos del mundo se concentran en estos países. El mayor de ellos, el Amazonas, contribuye con el 16% de los montos totales descargados por los ríos del planeta. El 27% de las aguas dulces de la Tierra corresponden a los aportes de cinco grandes cuencas de aguas: Amazonas, Ganges-Bramaputra, Congo, Yantzé y Orinoco. Los ríos con flujos promedios superiores a los 100 km³ por año concentran el 46% de los recursos de agua dulce de la Tierra.

La cantidad de recursos acuáticos en los continentes varía de acuerdo con las estaciones del año. Por ejemplo: la mayor parte de los flujos en los ríos de Europa ocurren entre abril y julio (46%), en Asia, durante junio y octubre (54%), en África en septiembre-diciembre (44%), Sudamérica durante abril-julio (45%) y Australia y Oceanía durante enero-abril (46%). En promedio cerca del 46% del total global de las descargas de los ríos ocurren entre mayo y agosto (Toledo, 2006).

En la actualidad, más de 80 países –que albergan a 40% de la población mundial– sufren una escasez grave de agua. Las condiciones pueden llegar a empeorar en los próximos 50 años, en la medida que aumente la población y que el cambio climático global perturbe los regímenes de precipitaciones (CEMDA, 2006).

De acuerdo a la tabla 2 las tres regiones con más recursos de agua dulce en el mundo son Oceanía, Sudamérica y África Central con 53711, 36988 y 20889 metros cúbicos anuales (promedio per cápita) respectivamente. La región que le continúa es América del Norte con 16801 m³ anuales, le continúa Europa del Este y Europa Occidental con 14818 y 1771 m³ anuales (per cápita). Así, las tres regiones con menos recursos de agua dulce son Asia Central y del Sur (1465 m³), África del Sur (1289 m³) y África del Norte (495 m³).

1.4.2 Distribución y disponibilidad en México

En todo el país llueve aproximadamente 1 511 km³ de agua cada año, y alrededor de 72% (1 084 km³) de esa agua de lluvia regresa a la atmósfera por evapotranspiración.

Tabla 2 Recursos de agua dulce en el mundo

Región	Metros cúbicos anuales (promedio per cápita)
Oceanía	53 711
Sudamérica	36 988
África Central	20 889
América del Norte	16 801
Europa del Este	14 818
Europa Occidental	1 771
Asia Central y del Sur	1 465
África del Sur	1 289
África del Norte	495

Fuente: CEMDA, 2006

En su mayor parte, México es un país árido o semiárido (56%), es decir, los estados norteros abarcan 50% de la superficie y ahí llueve sólo 25% del total.³ En la parte angosta del país, que ocupa 27.5% del territorio, cae la mayoría del agua de lluvia (49.6%), en los estados del sur-sureste: Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco.

Alrededor de 67% de las lluvias en México caen entre junio y septiembre. Si promediamos toda la lluvia, el país recibe cerca de 711 mm por año, lo cual no es mucho comparado con otros países (1 mm de lluvia = 1 litro por m²). En la clasificación mundial, México está considerado como un país con disponibilidad baja de agua. Los países más ricos en disponibilidad de agua son Canadá y Brasil (CEMDA, 2006). En la figura 4 se observa cuánta disponibilidad hay en cada ciudad en México.

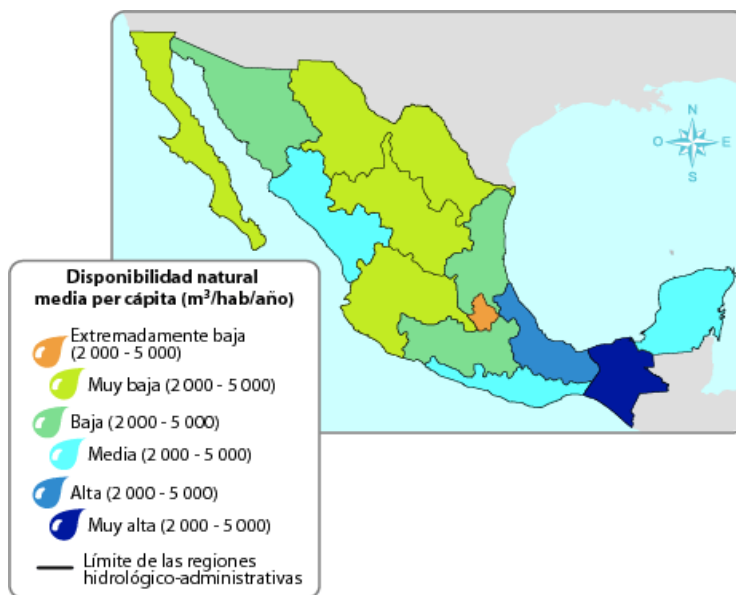


Figura 4 Disponibilidad de agua en México

Fuente: Inegi, 2008

1.5 Usos y consumo humano

1.5.1 Usos del agua

El uso del agua ha ido aumentando en todo el mundo aproximadamente un 1% por año desde la década de 1980. Este aumento constante se ha debido principalmente a la creciente demanda en los países en desarrollo y en las economías emergentes (aunque el uso del agua per cápita en la mayoría de estos países sigue estando muy por debajo del uso del agua en los países desarrollados, simplemente los están alcanzando). Este crecimiento es impulsado por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y patrones de consumo en evolución. La agricultura (incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura) es, con mucho, el mayor consumidor de agua, dado que representa el 69% de las extracciones anuales de agua a nivel global. La industria (incluyendo la generación de energía) representa el 19%, y los hogares el 12% (UNESCO 2019).

1.6 Calidad del agua

La calidad del agua es la condición que permite su uso para consumo humano: libre de microorganismos, sustancias químicas o sustancias radioactivas, además con olor, color y sabor aceptables. (Piña, 2016) Se determina mediante la caracterización física y química de muestras de agua y su comparación con normas y estándares de calidad. De esta forma se puede identificar si el agua es idónea para los requerimientos de calidad asociados a un uso determinado; por ejemplo: el consumo humano o el ambiente, y en su caso, los eventuales procesos de depuración requeridos para la remoción de elementos indeseables o riesgosos. El deterioro de la calidad del agua ocurre por procesos naturales o antropogénicos (CONAGUA, 2018).

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas. La calidad de las aguas puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos. Cuando los factores externos que degradan la calidad natural del agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación (Ministerio del Medio Ambiente , 2000).

Un valor orientativo de la calidad del agua de beber representa la concentración de un constituyente que no presenta ningún riesgo significativo para la salud del consumidor a lo largo de un consumo de toda la vida. El agua de beber debe ser adecuada para el consumo humano y para todos los usos domésticos corrientes. Cuando se rebasa un valor orientativo, hay que averiguar la causa y adoptar una medida correctiva. La medida en que se puede exceder un valor orientativo, y durante cuánto tiempo, sin poner en peligro la salud humana depende de la sustancia de que se trate (OMS, 1998).

La calidad de las aguas se puede ver alterada debido a los vertidos de muy distintas sustancias, entre las que destacan: materia orgánica, nutrientes, metales pesados, plaguicidas, etc. Gran cantidad de estas sustancias se incorporan al agua por la acción humana, principalmente a través de los vertidos municipales e industriales, de las actividades agrícolas y ganaderas, etc. Los cuatro parámetros para determinar la calidad del agua, se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: físicos, químicos, biológicos y radiológicos.

Las mediciones químicas permiten conocer algunas características sobre la composición del agua, así como la cantidad de oxígeno disuelto, materia orgánica, sales, nutrientes y sustancias tóxicas que contenga. Las mediciones físicas sirven para precisar aspectos como temperatura, volumen, turbiedad y color, en tanto que las biológicas permiten definir el tipo de microorganismos presentes (CEMDA, 2006).

El agua para consumo humano tiene que ser de buena calidad y respetar los estándares que fija la *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994*, norma que habla de salud ambiental, agua para uso y consumo humano, de límites permisibles de calidad y tratamientos que debe someterse el agua para su potabilización.

1.6.1 Parámetros físicos

Las características físicas y organolépticas se refieren, en general, a mediciones indirectas de componentes químicos presentes en el agua que pueden o no ser tóxicos. Dentro de este tipo de parámetros se encuentran aquellos relacionados con la calidad estética, cuya importancia reside en que el agua debe agradar a los consumidores y no provocarles desconfianza ni perjuicios en sus instalaciones o bienes (CONAGUA, 2016).

Los parámetros físicos del agua son aquellos que se pueden detectar por medio de los sentidos, es decir, organolépticos. Éstos parámetros son color, olor, sabor y turbiedad. La importancia de tomar en cuenta estos parámetros radica en que pueden disminuir la calidad del agua y como consecuencia genere rechazo por parte de la población.

1. Color: El color de un agua se debe, fundamentalmente, a diferentes sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella. En aguas naturales el color proviene de las numerosas materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua. En aguas naturales de lagos y embalses suele existir una relación directa entre color y pH, de forma que cuando aumenta el segundo lo hace el primero. El agua potable debe ser incolora. La importancia del color en el agua de consumo es fundamentalmente de carácter organoléptico: cuando solo se dispone para el consumo de agua coloreada, ineludiblemente se la asocia a agua «no adecuada» para la salud. En todo caso, la

mayor parte de los individuos perciben niveles de coloración a partir de unos 15 mg/L de Pt-Co (Galvín, 2003).

El color aparente es el color causado por la materia suspendida y disuelta, se determina en la muestra original, sin filtrado ni centrifugado. En cambio, el color verdadero es el color del agua, cuya turbidez ha sido eliminada, mediante centrifugación o filtración (Carvajal, Giraldo Gómez, & Gutiérrez Gallego, 2010).

2. Olor: Algunos olores son indicativos de un aumento de la actividad biológica, mientras que otros pueden ser el resultado de una contaminación industrial. Las inspecciones sanitarias deben incluir siempre la investigación de las fuentes de olor, posibles o existentes, y en todos los casos se debe intentar corregir los problemas de olor.
3. Sabor: Las sales metálicas como la del cobre, el zinc o el hierro causan sabores metálicos. El sabor está relacionado con el olor y es causado por las mismas condiciones. La materia mineral disuelta causa sabor en el agua. Los cloruros y sulfatos mayores a 250 mg/lit (miligramos por litro). hace que 'el agua tenga sabor salado. El sabor es una medida de aceptación del agua por el consumidor. Un sabor metálico o salino puede indicar polución en el abastecimiento de agua (SENA, 1999).

La cloración de aguas para bebida que porten cantidades apreciables de materias orgánicas producen aguas con problemas de olor y sabor, poco apreciadas por el consumidor que automáticamente identifica estos problemas con exceso de cloro en el agua, lo que no es la verdadera causa. Las fuentes de sabores y olores en un agua responden a dos orígenes: naturales y artificiales. Respecto a las primeras incluyen gases, sales, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos y compuestos procedentes de la actividad vital de los organismos acuáticos. Los compuestos productores de olor/sabor de origen artificial pueden ser también orgánicos e inorgánicos y están probablemente más definidos, al poder identificarse la fuente concreta productora del problema (Galvín, 2003).

4. Turbiedad: La turbiedad del agua se determina a través de en un turbidímetro, el cual está formado por una fuente de luz; un sistema de lectura de la luz que pasa a través del agua contenida en un recipiente blanco transparente o de la luz que dispersan las partículas, y una escala de medida Se expresa en unidades nefelométricas o en unidades de turbiedad. La legislación vigente fija los siguientes valores de la turbiedad para el agua que se suministra a una comunidad:

Valor deseable: ≤ 1 UTN

Valor admisible: ≤ 5 UTN

La turbiedad puede presentarse también por: arcillas, sílice, azufre, carbonato de calcio precipitado en las aguas duras, hidróxido de aluminio en las aguas tratadas, hidróxido férrico y por organismos microscópicos (SENA, 1999).

5. Conductividad: La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos, sus concentraciones absolutas y relativas, su movilidad y su valencia y de la temperatura y la viscosidad de la solución, la conductividad puede causar variación la actividad biológica presente en el agua (Sierra, Castillo Bertel, & Acevedo Barrios, 2013).

La conductividad representa la concentración de sales en aguas naturales, permite describir las variaciones de los sólidos disueltos en las descargas, facilita el trabajo de laboratorio, pues se emplea para calcular diluciones y controlar la calidad de otras pruebas; en la industria se emplea para conocer el grado de corrosión del aguade calderas y la eficiencia de los suavizadores (CONAGUA, 2016).

A continuación, en la tabla 3 se muestran los límites permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 3 Límites permisibles de las características físicas del agua potable

Característica	Límite permisible
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Fuente: SSA, 1999

1.6.2 Parámetros químicos

De manera natural, el agua que comúnmente se utiliza para el consumo humano contiene sustancias inorgánicas como arsénico, selenio, cromo, cobre, molibdeno, níquel, zinc y sodio. Algunas de ellas son elementos esenciales en la nutrición de hombre. Otras forman parte de los ciclos naturales, como los nitratos y nitritos dentro del ciclo del nitrógeno. Sin embargo, cuando se altera el equilibrio de estos elementos debido a su exceso o carencia, también se modifica la calidad del cuerpo de agua y puede limitar su uso (CONAGUA, 2016).

1. **Acidez:** La acidez se refiere a la presencia de sustancias disociables en agua y que como producto de disociación generan el ión hidronio (H_3O^+), como son los ácidos fuertes, ácidos débiles y de fuerza media; también la presencia de ciertos cationes metálicos como el Fe (III) y el Al (III) contribuyen a la acidez del medio (SCFI, 2001). La acidez del agua es una medida de la cantidad total de sustancias ácidas (H^+) presentes. Se expresa como partes por miligramos por litro de carbonato de calcio equivalente ($CaCO_3$). La acidez mineral o acidez fuerte se da cuando el pH es menor de 4.3 produciendo malos olores y sabores. La acidez débil se encuentra cuando el pH del agua está entre 4.3 y 8.3. Este tipo de acidez no tiene ningún efecto en la salud, pero trae problemas de corrosión en las tuberías. La acidez desaparece en el agua cuando el pH es mayor de 8.3 (SENA, 1999).
2. **Alcalinidad:** La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (OH^-), como son las bases fuertes, y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos; contribuyen también en forma importante a la alcalinidad los carbonatos y fosfatos. La presencia de boratos y silicatos en concentraciones altas también contribuyen a la alcalinidad del medio (SCFI, 2001). La alcalinidad es la capacidad que tiene un agua para reaccionar con un ácido. Se debe frecuentemente a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. En las aguas naturales se debe a la disolución de rocas calizas que aportan bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos de calcio, magnesio, sodio, hierro y otros elementos. Cuando el pH del agua es mayor a 8.3 se debe a la presencia de hidróxidos en el agua y de algunos carbonatos. Si el pH del agua está entre 4.3 y 8.3 la alcalinidad

se debe a bicarbonatos y carbonatos. Cuando el pH del agua es menor de 4.3 no hay alcalinidad.

Se expresa como miligramos por litro de (CaCO₃) carbonato de calcio (SENA, 1999).

3. pH: Valor admisible: $6.5 > PH < 9.0$

El agua siempre se ioniza en pequeñas proporciones, produciendo tanto iones hidrógeno como iones hidróxilo. El pH es la forma de medir el ion de hidrógeno (H⁺) o el ion de hidróxilo (OH⁻). El pH es igual al logaritmo en base 10 del inverso de la concentración del ion hidrógeno:

$$pH = \text{Log } 1/[H^+]$$

$$pH \text{ neutro} = 7$$

pH ácido cuando es menor de 7

pH alcalino cuando es mayor de 7

El pH se determina por la comparación colorimétrica o por potenciometría, y se expresa en unidades de pH.

4. Dureza: La dureza del agua se debe a la presencia del calcio, magnesio principalmente. La dureza también es temporal, cuando hay presencia de carbonatos y bicarbonatos de calcio magnesio e hidróxidos. La dureza es permanente cuando encontramos principalmente sales de calcio, magnesio, manganeso y hierro. La dureza la expresamos en miligramos por litro de carbonato de calcio (SENA, 1999).

La presencia de sales de magnesio y calcio en el agua depende fundamentalmente de las formaciones geológicas atravesadas por el agua de forma previa a su captación. Las aguas subterráneas que atraviesan acuíferos carbonatados (calizas) son las que presentan mayor dureza y dichos acuíferos están formados por carbonatos de calcio y magnesio. En cambio, las que provienen de acuíferos con composición eminentemente silicatada dan lugar a un agua blanda (Facsá, 2017). En la tabla 4 se muestra una clasificación del agua según la dureza que contenga.

5. Cloruros: Los cloruros son compuestos de cloro con otro elemento o radical que se encuentran presentes en casi todas las aguas naturales y en un amplio intervalo de concentraciones. De los más abundantes y estables son el cloruro de sodio (sal común) y en menor grado el cloruro de calcio y magnesio. Los cloruros provienen de la disolución de rocas basálticas y sedimentarias, así como de efluentes industriales.

Tabla 4 Clasificación de las aguas según su dureza

Dureza (mg/L CaCO₃)	Tipo de agua
0-75	Suave
75-150	Agua poco dura
150-300	Agua dura
Más de 300	Agua muy dura

Fuente: Carvajal, Giraldo Gómez, & Gutiérrez Gallego, 2010

A pesar de que los cloruros no implican un daño a la salud, la ingestión de sal puede ser perjudicial, aunque la principal fuente de sal es la comida. Un exceso de cloruro de sodio genera enfermedades del corazón y del riñón. El cloruro, por ser muy soluble, es muy difícil de eliminar, y para este fin se aplica ósmosis inversa, intercambio iónico, electrodiálisis y destilación (CONAGUA, 2016).

En agua potable, el sabor salado producido por la concentración de cloruros es variable. En algunas aguas conteniendo 25 mg Cl⁻ /L se puede detectar el sabor salado si el catión es sodio. Por otra parte, éste puede estar ausente en aguas conteniendo hasta 1g Cl⁻ /L cuando los cationes que predominan son calcio y magnesio. Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas (SCFI, 2001).

6. Sulfatos: Los sulfatos están presentes en forma natural en diversos minerales. La concentración en aguas naturales varía en un intervalo de pocos mg/L hasta cientos de mg/L y contribuyen a la dureza no carbonatada. Los sulfatos son comunes en los acuíferos y pueden ser utilizados como fuente de oxígeno por bacterias sulfatorreductoras que lo convierten en ácido sulfhídrico (CONAGUA, 2016).

Su afectación en el ser humano tiene que ver principalmente con el efecto laxante que surge al ingerir una alta concentración de sulfato de sodio y sulfato de magnesio, en el orden de más de 100 mg/L; además, los sulfatos en concentraciones superiores a los 200 mg/L favorecen la corrosión de los metales y cambian el sabor al agua (Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya, 2017).

7. Cloro residual: El cloro residual libre en el agua de consumo humano se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH. El cloro residual combinado es el resultado de la

combinación del cloro con el amonio (cloraminas), y su poder desinfectante es menor que el libre. La suma de los dos constituye el cloro residual total (Agbar agua, 2003).

En este caso, la NOM-127 SSA1 establece un valor para el contenido de cloro residual libre no como un límite máximo sino como la cantidad mínima que debe haber en el agua de distribución para asegurar que durante su transporte del sitio de potabilización al usuario no haya contaminación por patógenos. Este valor fue establecido con base en estudios sobre recrecimiento de coliformes fecales, así como por la sensibilidad de algunos patógenos comunes. Sin embargo, si el agua contiene partículas en suspensión puede haber un residual de cloro a pesar de haber coliformes fecales (CONAGUA, 2016).

8. Sólidos totales: Residuo que queda después de la evaporación y el secado a una temperatura definida (103°C). Los sólidos totales incluyen el residuo retenido por un filtro (sólidos suspendidos) y el residuo que pasa a través del filtro (sólidos disueltos). La medición de la conductividad está directamente relacionada con los sólidos disueltos, y puede ser usado como un parámetro para determinar el tamaño de la muestra (Carvajal, Giraldo Gómez, & Gutiérrez Gallego, 2010).
9. Sólidos disueltos totales (SDT): Se entiende por sólido disuelto todo residuo que queda después de filtrar en membranas de 1.2 µm de diámetro de poro. Los sólidos disueltos incluyen tanto las sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y hierro) como materia orgánica. Los sólidos disueltos pueden tener importantes efectos en el sabor. Se considera que menos de 600 mg/L no se perciben, aunque contenidos muy bajos producen un agua insípida (CONAGUA, 2016).
10. Sólidos suspendidos totales: La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105 °C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. La diferencia entre los sólidos totales y los disueltos totales, puede emplearse como estimación de los sólidos suspendidos totales (Sierra, Castillo Bertel, & Acevedo Barrios, 2013).
11. Hierro: La presencia de hierro en el agua es objetable no desde el punto de vista fisiológico sino, en términos generales, desde el punto de vista estético, de sabor, y aún de olor. Al oxidarse el hierro deja sobre la ropa blanca y sobre los artefactos de

porcelana esa mancha típica amarilla rojiza desagradable y difícil de remover. También le imparte al agua el color característico que resulta desagradable para ser usada en fines domésticos generales, incluyendo el consumo humano.

En las aguas crudas la determinación del Hierro Ferroso y/o el Hierro Total se hace con el fin de determinar la clase de tratamiento que debe hacerse al agua. En las aguas tratadas para comprobar la eficacia del tratamiento. En las muestras que se toman de la red, la determinación de hierro puede servir como base para demostrar el efecto corrosivo que el agua puede estar teniendo sobre las redes y sobre las instalaciones metálicas del sistema de distribución (SENA, 1999).

12. Nitratos: Los nitratos son compuestos presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En concreto es la forma oxidada estable de ese ciclo. Su concentración en el agua superficial y en el agua subterránea suele ser baja (entre 5 y 10 mg/l) aunque puede alcanzar, en determinadas zonas, niveles muy elevados (por encima de 100 mg/l), debidos a la contaminación provocada por las explotaciones agrícolas, donde se utiliza el nitrógeno como fertilizante químico, y a la procedente del nitrógeno presente en las aguas residuales ganaderas, principalmente en los purines depuradas (Agbar agua, 2003).

Se ha comprobado que altas concentraciones de nitratos en el agua produce cianosis o metahemoglobinemia, que afecta especialmente a los niños menores de 6 años. Las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados (Orellana, 2005).

13. Fosfatos: En las aguas naturales y residuales, el fósforo se presenta mayoritariamente en forma de fosfatos. Estos son clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros polifosfatos) y fosfatos enlazados orgánicamente. Se encuentran en solución, en partículas o detritus o en cuerpos de organismos acuáticos y pueden provenir de diversas fuentes (Sierra, Castillo Bertel, & Acevedo Barrios, 2013).

14. Aluminio: El aluminio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre y se encuentra en minerales, rocas y arcillas. Esta amplia distribución explica su presencia en prácticamente todas las aguas naturales, bajo la forma de sales solubles, coloidales o insolubles. La intensidad del color depende de la concentración de aluminio, el pH, el tiempo de reacción, la temperatura y la

concentración de otros iones en la muestra (Sierra, Castillo Bertel, & Acevedo Barrios, 2013).

15. Arsénico: El arsénico es un elemento común en la corteza y por tanto, en agua y alimentos. Las altas concentraciones en el agua superficial son consecuencia de la disolución de minerales y menas, efluentes industriales y el lavado de la atmósfera. En aguas subterráneas el contenido se debe a la composición geológica del suelo. El arsénico inorgánico es clasificado por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) en el grupo 1, es decir, es carcinógeno. Por ello, la OMS ha establecido un valor guía provisional de 0.01 mg/L. La NOM 127 SSA1 estableció un valor inicial de 0.05 mg/L que ha ido disminuyendo anualmente hasta llegar a 0.025 mg/L en el año 2005 (CONAGUA, 2016). En la tabla 5 muestra los efectos tóxicos que causa el arsénico en el humano.
16. Cobre: En forma natural solo se encuentran indicios de la presencia del cobre y en el agua potable puede existir debido a la corrosión de las cañerías o accesorios de cobre o bronce, también el sulfato de cobre (CuSO_4) que se aplica para controlar las algas en las plantas de potabilización. La presencia de cobre en aguas naturales no acarrea problemas de salud y en las concentraciones que pueden ser tóxicas, adquiere un sabor muy desagradable que la hacen imbebible.
17. Zinc: De forma similar al cobre solo hay indicios en las aguas naturales. En el agua potable proviene de la corrosión de las tuberías de hierro galvanizado o bronce. El exceso produce rechazo por el sabor desagradable (Orellana, 2005).
18. Fluoruro: El flúor representa 0.3 g/kg de la corteza terrestre. La concentración máxima presente en forma natural en el agua de abastecimiento rara vez excede de 5 mg/L aunque se llegan a encontrar valores hasta de 10 mg/L.
El exceso de flúor en agua se puede remover con precipitación con cal, compuestos de magnesio (como dolomitas), alumbre, hidroxilapatita, resinas de intercambio iónico, alúmina activada o carbón de hueso. También la ósmosis inversa lo elimina. El valor guía de las OMS y el de la NOM 127 es de 1.5 mg/L y se basa en aspectos sanitarios (CONAGUA, 2016).

Tabla 5 Efectos tóxicos causados por arsénico en el ser humano

Concentración	Comentario
0-10 µg/L	Sin efectos
10-200 µg/L	Concentración tolerable, con bajo riesgo de cáncer en la piel
200-300 µg/L	Posibles lesiones en la piel, se incrementa el riesgo de contraer cáncer en la piel después de un largo periodo de exposición.
300-600 µg/L	Posibles efectos adversos en personas sensibles. La exposición durante un corto periodo no tiene efectos Lesiones en la piel que incluyen hiperpigmentación después de un largo periodo.
600-1,000 µg/L	Aparecen síntomas de envenenamiento crónico como lesiones en piel e hiperpigmentación después de un largo periodo de exposición.
1,000-10,000 µg/L	Puede provocar cáncer y muerte.
>10,000 µg/L	Muerte por envenenamiento agudo.

Fuente: CONAGUA, 2016

19. Metales: Los metales son elementos que se encuentran en el agua, los cuales se clasifican, según su efecto sobre el ser humano, en tóxicos y no tóxicos. Los metales no tóxicos son el sodio, el hierro y el manganeso. Sin embargo, cualquiera de ellos en cantidades excesivas se puede convertir en elemento toxico. Por ejemplo, el sodio en exceso causa un sabor amargo al agua, así como problemas en los riñones y corazón; es corrosivo para superficies metálicas y es toxico para las plantas. Por otra parte, el hierro y manganeso pueden causar problemas de olor y sabor en el agua (Gómez, 2000).

Los metales se pueden clasificar según su condición física en:

Metales filtrables disueltos: Son aquellos constituyentes de una muestra no acidificada que pasan a través de un filtro de membrana de 0,45 mieras.

Metales suspendidos: Son los componentes (metálicos) de una muestra sin acidular que son retenidos por un filtro de membrana 0,45 mieras.

Metales totales: Concentración de metales determinados en una muestra sin filtrar tras una digestión intensa, o la suma de fracciones disuelta y suspendida.

Metales extraíbles con ácido: La concentración de metales en solución, tras el tratamiento de una muestra sin filtrar con ácido mineral diluido caliente (Carvajal, Giraldo Gómez, & Gutiérrez Gallego, 2010).

20. Manganeseo: El manganeseo es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y por lo general se encuentra junto con el hierro. El manganeseo se asocia con cloruros, nitratos y sulfatos. El manganeseo es un oligoelemento indispensable. El requerimiento diario es de 2 a 3 mg en adultos y puede llegar hasta 20 mg sin efectos perjudiciales. Concentraciones por arriba de 0.1 mg/L (valor guía de la OMS) generan problemas estéticos como la coloración del agua y un incremento en la turbiedad. En México, la NOM-127 establece un valor de 0.15 mg/L (CONAGUA, 2016).
21. Selenio: Normalmente se presencia no es significativa en los servicios de agua superficiales, pero suele encontrarse con mayor frecuencia en los abastecimientos de aguas subterráneas, y depende naturalmente de la composición del suelo de donde se extrae el agua (Orellana, 2005).
22. Sodio: Es el catión principal en la biosfera y constituye 2.83% de la corteza terrestre. Se encuentra solamente en estado combinado, en sales extremadamente solubles por lo que está en altas concentraciones en toda agua. La concentración umbral del sabor depende del anión asociado con el sodio y de la temperatura. A temperatura ambiente el umbral es de 200 mg/L, que es el valor recomendado con fines estéticos por la OMS y la NOM-217-SSA1-1994.
23. Plomo: Las aguas naturales rara vez contienen plomo en concentraciones superiores a 5 µg/L. El plomo presente en el agua de la llave procede, en cierta medida, de las fuentes de suministro, pero sobre todo de la propia fontanería que contiene plomo y que lo libera por corrosión. Su contenido depende de varios factores, en particular del pH, temperatura, dureza del agua y tiempo de residencia del agua en la tubería. El agua blanda y ácida es la que mejor disuelve el plomo (plumbosolvencia).
La presencia de carbonato limita la solubilidad del plomo en tanto un pH menor de 8 la favorece. El CIIC clasificó al plomo y sus compuestos inorgánicos en el grupo 2B (CONAGUA, 2016).

A continuación, en la tabla 6 se muestran los límites permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana Modificación a la OM-217-SSA1-1994.

Tabla 6 Límites permisibles de características químicas

Características	Límite permisible
Cloro residual libre	0.2 – 1.50
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
pH en unidades de Ph	6.5 – 8.5
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400.00

Fuente: SSA, 1999

1.6.3 Parámetros biológicos

Estos parámetros son indicativos de la contaminación orgánica y biológica. Tanto la actividad natural como la humana, contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas; así como también la descomposición animal y vegetal, los residuos domésticos, detergentes y otros. Estos tipos de contaminantes son más difíciles de controlar que los químicos o físicos y además los tratamientos deben estar regulándose constantemente.

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): La degradación de las sustancias orgánicas es realizada por los microorganismos a través de los procesos bioquímicos de oxidación o reducción. Para que dichos procesos ocurran, se necesita oxígeno; de ahí surge el parámetro DBO, el cual mide la cantidad de oxígeno que requieren los elementos orgánicos para ser degradados, se suele referir al consumo en 5 días (DBO5), también suele emplearse (DBO21) días. Se mide en ppm de O₂ que se consumen. Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm, un contenido superior, es sinónimo de contaminación por infiltración freática. En las aguas superficiales es muy variable y depende de las fuentes contaminantes aguas arriba. En aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm. En aguas industriales alcanza varios miles de ppm.
2. Demanda Química de Oxígeno (DQO): Representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente el carbono orgánico a dióxido de carbono. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es la medición casi inmediata, la

unidad de medida son ppm de O₂. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm. Las aguas residuales domésticas están entre 260 y 600 ppm. Hay un índice que indica que tipo de aguas se están analizando y se obtiene con la relación (DBO/DQO) si es menor de 0.2 el vertido será de tipo inorgánico y si es mayor de 0.6 se interpretará como un vertido orgánico (Gómez, 2000).

En la tabla 7 se muestran los límites permisibles que la Norma Oficial Mexicana Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 7 Límites permisibles de los microorganismos presentes en el agua apta para consumo humano

Característica	Límite permisible
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
Organismos coliformes fecales	Ausencia o no detectables

Fuente: SSA, 1999

1.7 Enfermedades originadas por el agua de mala calidad

A nivel mundial, el 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales y una tercera parte de las defunciones causadas por éstas se deben al uso y consumo de agua insalubre. La falta de higiene y la carencia o el mal funcionamiento de los servicios sanitarios son algunas de las razones por las que la diarrea continúa representando un importante problema de salud en países en desarrollo.

El agua y los alimentos contaminados se consideran como los principales vehículos involucrados en la transmisión de bacterias, virus o parásitos. Los organismos transmitidos por el agua habitualmente crecen en el tracto intestinal y abandonan el cuerpo por las heces (Delgado, 2003).

Bacterias transmitidas por el agua:

1. *Shigellae dysenteriae*, que causa la disentería (diarrea sangrante), una enfermedad que se manifiesta con fiebres altas, síntomas tóxicos, retortijones, pujos intensos e incluso convulsiones.
2. *Salmonella typhi*, es un bacilo que causa la fiebre tifoidea, una enfermedad sistémica grave que puede dar lugar a hemorragia o perforación intestinal.

3. *Salmonella spp.*, agente de salmonelosis, enfermedad más frecuente que la fiebre tifoidea, pero generalmente menos severa.
4. *Vibrio cholerae*, agente etiológico del cólera, se transmite habitualmente a través del agua.
5. *Escherichia coli*, generalmente las cepas de *E. coli* que colonizan el intestino son comensales, sin embargo, dentro de esta especie se encuentran bacterias patógenas causantes de una diversidad de enfermedades gastrointestinales. Dentro de los *E. coli* patógenos se incluyen: *E. coli* enteropatogénico, *E. coli* enterotoxigénico, *E. coli* enteroinvasivo, *E. coli* enterohemorrágico, *E. coli* enteroadherente, *E. coli* enteroagregativo.

Virus relacionados con brotes de afecciones transmitidas por el agua:

Entre ellos, se encuentran los virus de la hepatitis A y E, los enterovirus, los adenovirus y los rotavirus, una de las principales causas de la gastroenteritis infantil.

Protozoos de importancia en el agua:

1. *Giardia lamblia*, agente de giardiasis, una forma de gastroenteritis aguda. Es un protozoo flagelado que se transmite a las personas principalmente por el agua contaminada.
2. *Cryptosporidium*, agente de cryptosporidiosis caracterizada por una fuerte diarrea, autolimitada en individuos normales (Delgado, 2003).

La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente.

Se calcula que unas 842 000 personas mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua, de un saneamiento insuficiente o de una mala higiene de las manos. Sin embargo, la diarrea es ampliamente prevenible y la muerte de unos 361 000 niños menores de cinco años se podría prevenir cada año si se abordaran estos factores de riesgo. En los lugares donde el agua no es fácilmente accesible, las personas pueden considerar que lavarse las manos no es una prioridad, lo que aumenta la probabilidad de propagación de la diarrea y otras enfermedades. La diarrea es la enfermedad más conocida que guarda relación con el consumo de alimentos o agua contaminados. Sin embargo, hay

también otros peligros. Casi 240 millones de personas se ven afectadas por esquistosomiasis.

En muchas partes del mundo, los insectos que viven o se crían en el agua son portadores y transmisores de enfermedades como el dengue. Algunos de estos insectos, denominados vectores, crecen en el agua limpia, y los contenedores domésticos de agua de bebida pueden servir como lugares de cría. Tan solo con cubrir los contenedores de agua es posible reducir la cría de vectores, y reducir también la contaminación fecal del agua en el ámbito doméstico (OMS, 2019).

Los que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños pequeños, las personas debilitadas y los adultos mayores, especialmente si viven en condiciones antihigiénicas. Generalmente, los que están en situación de riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua pueden necesitar tomar medidas adicionales para protegerse contra la exposición a agentes patógenos en el agua, tales como hervir el agua que van a beber (OMS, 2018).

Las principales enfermedades causadas por el agua se muestran en la tabla 8.

1.8 Contaminantes del agua

Por contaminación se entiende generalmente una presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores a las condiciones naturales. Entre los contaminantes más importantes se encuentran los microbios, los nutrientes, los metales pesados, los químicos orgánicos, aceites y sedimentos; el calor también puede ser un agente contaminante, al elevar la temperatura del agua (WWAP, 2009).

1.8.1 Situación actual de la contaminación

El 26% de los ríos, lagos y embalses que monitorea la Conagua son de buena calidad, en tanto que en el 74% restante el agua tiene diferentes grados de contaminación. Los principales contaminantes son: materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y microorganismos (coliformes totales y coliformes fecales), pero hay otros como los metales y los derivados de hidrocarburos, que se presentan en áreas con actividad industrial. Los resultados de la evaluación de la calidad del agua en el país muestran que las cuencas que tienen ríos con mayor grado de contaminación son las de Lerma, Alto Balsas, Río Colorado y Alto Pánuco. En contraste, las cuencas con menor grado de contaminación son las del

Grijalva, el Usumacinta, el Medio y Bajo Pánuco, el Tehuantepec, el Soto la Marina, el Sonora y el Yaqui.

Tabla 8 Principales enfermedades transmitidas por el agua

Enfermedades	Causa y vía de transmisión
Disentería amebiana	Los protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.
Disentería bacilar	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.
Enfermedades diarreicas (inclusive la disentería amebiana y bacilar)	Diversas bacterias, virus y protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.
Cólera	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.
Hepatitis A	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.
Fiebre paratifoidea y tifoidea	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.
Poliomielitis	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.

Fuente: Delgado, 2003

Las principales fuentes de contaminación son: lixiviados de desechos sólidos, descargas de agua residual no incorporadas al drenaje municipal y disolución de minerales y formaciones rocosas. También se presenta un problema general de contaminación difusa en los acuíferos que subyacen en las zonas agrícolas (CEMDA, 2006).

La reducción de la contaminación del agua requiere una fuerte inversión en infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales y representaría un ahorro en cuanto a la atención médica que debe darse al tratamiento de enfermedades diarreicas provocadas por

agua y productos agrícolas contaminados. En 2015 murieron en México 3 754 personas debido a enfermedades infecciosas intestinales (FEA, S.f.).

1.8.2 Tipos de contaminación

1. Contaminantes físicos: Algunos contaminantes físicos incluyen cambios térmicos, causados por aguas provenientes de plantas industriales, relativamente calientes después de haber sido utilizadas en enfriadores (Gómez, 2000).

Los contaminantes físicos son principalmente sólidos o materiales en suspensión, cuyos impactos en los ecosistemas dulceacuícolas, son consecuencia de la obstrucción de la luz que generan

2. Contaminantes químicos: Los contaminantes químicos pueden ser de origen inorgánico o bien de origen orgánico.

La contaminación inorgánica consiste en el aporte de nutrientes, detergentes y metales que llegan a los cuerpos de agua. Los metales pesados son los compuestos químicos más preocupantes; el cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn).

Los compuestos orgánicos se subdividen en naturales y sintéticos; los primeros producen mal olor y sabor, mientras los sintéticos son de origen industrial y son tóxicos, en esta categoría se encuentran los compuestos orgánicos persistentes (COP) y residuos de plaguicidas (FEA, S.f.).

3. Contaminantes biológicos: Los contaminantes biológicos son los responsables de transmisión de enfermedades por medio de las aguas de abastecimiento o agua potable. Los contaminantes biológicos son patógenos, como bacterias, virus, protozoarios u hongos, los cuales son descargados al sistema de agua potable (Gómez, 2000).

1.8.3 Fuentes de contaminación

La mayor parte de la contaminación se origina en los usos urbano, industrial y agrícola, sin dejar de lado el impacto de la contaminación natural del agua, que afecta principalmente a las aguas subterráneas próximas a las costas debido a la intrusión salina, la cual normalmente es provocada por la extracción excesiva de agua para consumo humano (CEMDA, 2006).

Las fuentes de contaminación pueden clasificarse en puntuales (fuentes localizadas) como las descargas industriales y municipales; y no puntuales (fuentes no localizadas o difusas) que son aquellas en las que no hay un punto exacto de descarga de contaminantes, por ejemplo, los vertimientos provenientes de escorrentía de la industria agrícola y la filtración de agroquímicos.

La importancia de esta clasificación radica en el manejo de la contaminación, mientras la proveniente de fuentes puntuales puede ser controlada mediante acciones concretas, determinar las fuentes específicas de contaminación no puntual es sumamente complicado y, por tanto, identificar al responsable de la descarga, darle seguimiento, o controlarla (FEA, S.f.).

1. Industria: El agua es fundamental en los procesos industriales, ya sea como vehículo energético, de transporte, disolvente, en operaciones de lavado, intercambiadores de calor, etcétera. De esta forma, la contaminación industrial es la más diversa y a pesar de constituir fuentes generalmente puntuales, los vertimientos comúnmente no se tratan, de hecho, el 70 por ciento de los residuos industriales son vertidos sin tratamiento previo.

La contaminación industrial se caracteriza por su variedad de contaminantes, puede aportar contaminantes orgánicos, pero también industrias como la del petróleo, el acero y la minería representan el mayor riesgo en la liberación de metales pesados o compuestos tóxicos, sustancias persistentes y bioacumulables, que son transportadas a través del agua o la atmósfera, que además del peligro que representa para la salud humana y el ecosistema.

2. Navegación: Esta actividad se lleva a cabo tanto en aguas marinas, como continentales. A pesar de estar prohibido, es común que se descargue lastre, escombros, basura y aguas residuales, además del cloro y demás sustancias utilizadas para la limpieza de las embarcaciones. La navegación es la actividad que ocasiona más vertido de hidrocarburos al agua en el mundo. Además, la navegación es también la principal vía de introducción de especies invasoras, principalmente en las aguas utilizadas como lastre por las grandes embarcaciones (FEA, S.f.).
3. Prácticas agrícolas: Los principales contaminantes son los pesticidas, llevados hasta los ríos por la lluvia y la erosión del suelo, cuyo polvo vuela hacia los ríos o el mar y los contamina. Además, los campos pierden fecundidad por el abuso de las técnicas agrícolas. Las aguas de retorno agrícola son una fuente de contaminación

importante cuyo impacto se manifiesta en el alto porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutrofización.

4. Urbanización: Descargas de residuos de origen doméstico y público que constituyen las aguas residuales municipales. Está relacionada con la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado, se incrementa en los grandes asentamientos urbanos.
5. Sector pecuario: Constituido por los efluentes de las instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor (CEMDA, 2006).

1.9 Tratamiento de potabilización del agua

La potabilización del agua es un conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano. Una planta potabilizadora es un complejo que se encarga de someter el agua superficial o subterránea de un río, o de cualquier otro embalse, a varios procesos con la finalidad de garantizar que sea apta para su consumo y uso en las actividades diarias de la población.

Las fases de una planta potabilizadora son:

1. Captación: El agua cruda se recolecta. Este proceso suele hacerse con un conjunto de electrobombas que elevan el líquido hasta la cámara de carga y que posteriormente se lleva a los tanques. Durante el bombeo de agua, esta pasa por medio de rejillas de diferentes tamaños con la finalidad de retener la mayor cantidad de residuos sólidos (CONAGUA, 2017).
2. Desbaste: En esta etapa se retiran del agua sólidos más grandes mediante rejillas. Estas rejillas están instaladas en las tomas de agua cruda superficial y en los canales de ingreso a los decantadores.
3. Desarenado (predecantación): En esta operación se extrae del agua arena y partículas más o menos finas (barros), con suficiente peso para decantar, evitando sedimentaciones posteriores en los canales y conductos, protegiendo las bombas y otros aparatos / instalaciones contra la abrasión, como así también sobrecargas en las etapas siguientes (OSSE, 2017).
4. Coagulación y floculación: En el agua de los tanques se separan todas las partículas para que floten y puedan ser extraídas. Se forman sólidos que son conocidos como

flóculos (floculación), coágulos o grumos. En este proceso se eliminan algas y plancton (CONAGUA, 2017).

5. Decantación: En esta etapa el agua disminuye significativamente la velocidad y de esta manera las partículas sólidas formadas en la etapa anterior, pueden sedimentar. Los fangos depositados en el fondo de la unidad, se retiran periódicamente y el agua más limpia queda en la superficie y pasa a la siguiente etapa.
6. Filtración: Esta es la última etapa de la clarificación. Los filtros contienen arena que retiene los sólidos más finos, presentes aún en el agua. El agua sale de estas unidades con una calidad física (turbiedad), que cumple con las normas vigentes.
7. Desinfección (cloración): Es el proceso más importante y garantiza que el agua sea de “calidad segura”. Una vez filtrada el agua se somete a la desinfección, que consiste en el agregado de clorógeno, donde el elemento activo es el cloro. Este tratamiento es indispensable para asegurar la calidad bacteriológica del suministrada (OSSE, 2017). En esta fase se eliminan los organismos y agentes agua patógenos causantes de enfermedades y el agua queda lista para su empleo (CONAGUA, 2017).
8. Almacenamiento: Una vez realizada la desinfección, el agua es conducida a las reservas de almacenamiento, donde la permanencia es las mismas asegura el tiempo de contacto necesario con el cloro, para hacer efectivo el tratamiento.
9. Distribución: De las cisternas salen los conductos que permiten la distribución del agua potable (OSSE, 2017).

CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Muestreo

2.1.1 Selección de los puntos de muestreo

Para la elaboración de este proyecto se tomaron como referencia 9 puntos de muestreo en todo el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca. Se hicieron dos recolecciones de muestra de agua, una de agua almacenada y otra de agua corriente mensualmente, durante un periodo de 4 meses (agosto, septiembre, octubre y noviembre) del presente año, obteniendo, de la manera posible ocho muestras analizadas por cada punto de muestreo a lo largo de este proyecto. En la tabla 9 muestra la dirección de los puntos de muestreo y en la figura 5 se observa la ubicación de los nueve puntos de muestreo en el mapa geográfico del municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

2.1.2 Obtención de las muestras

Para la recolección de muestras se utilizaron 9 recipientes de plásticos previamente esterilizados. Se recogieron 500 mililitros de muestra en cada punto de muestreo. Posteriormente en una hielera fueron depositados los recipientes ya con las muestras para su transporte al laboratorio en un tiempo no mayor a 6 horas.

2.2 Determinaciones microbiológicas

2.2.1 Preparación de cultivos

Se prepararon los medios de cultivo siguiendo el procedimiento descrito en la etiqueta de cada uno de los medios. Para este proyecto se trabajó con dos medios de cultivo, los cuales son:

1. Agar cuenta estándar, marca MCD LAB (ACS)
2. Agar cromogénico de coliformes, marca CONDA (ACC)

Tabla 9 Dirección de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Dirección
1	Calle Diamante No. 403, colonia La Joya, Pueblo Nuevo, código postal 68276
2	Avenida Central Oriente esquina Segunda Privada Norte, colonia del maestro, “casa de huéspedes”
3	Avenida Chihuahua, colonia San Felipe, “casa particular”
4	Calle Durango No. 119, colonia Linda Vista Santa Rosa Panza Cola, código postal 68030, “casa de huéspedes”
5	Avenida Félix Romero esquina Manuel Santibañez No. 207B, código postal 68040, “casa particular, unidad habitacional ISSSTE”
6	Calle Dalías, colonia Reforma, “casa particular”
7	Calle Tulipanes, colonia Jacarandas No. 230-D San Martin Mexicapam
8	Calle Colón 628, Zona Feb 10 2015, colonia Centro, código postal 68000 “oficina de gobierno estatal Dirección de Regulación y Fomento Sanitario, Gobierno estatal”
9	Calle Huerto Limonares esquina Trinidad de las Huertas, “casa particular”

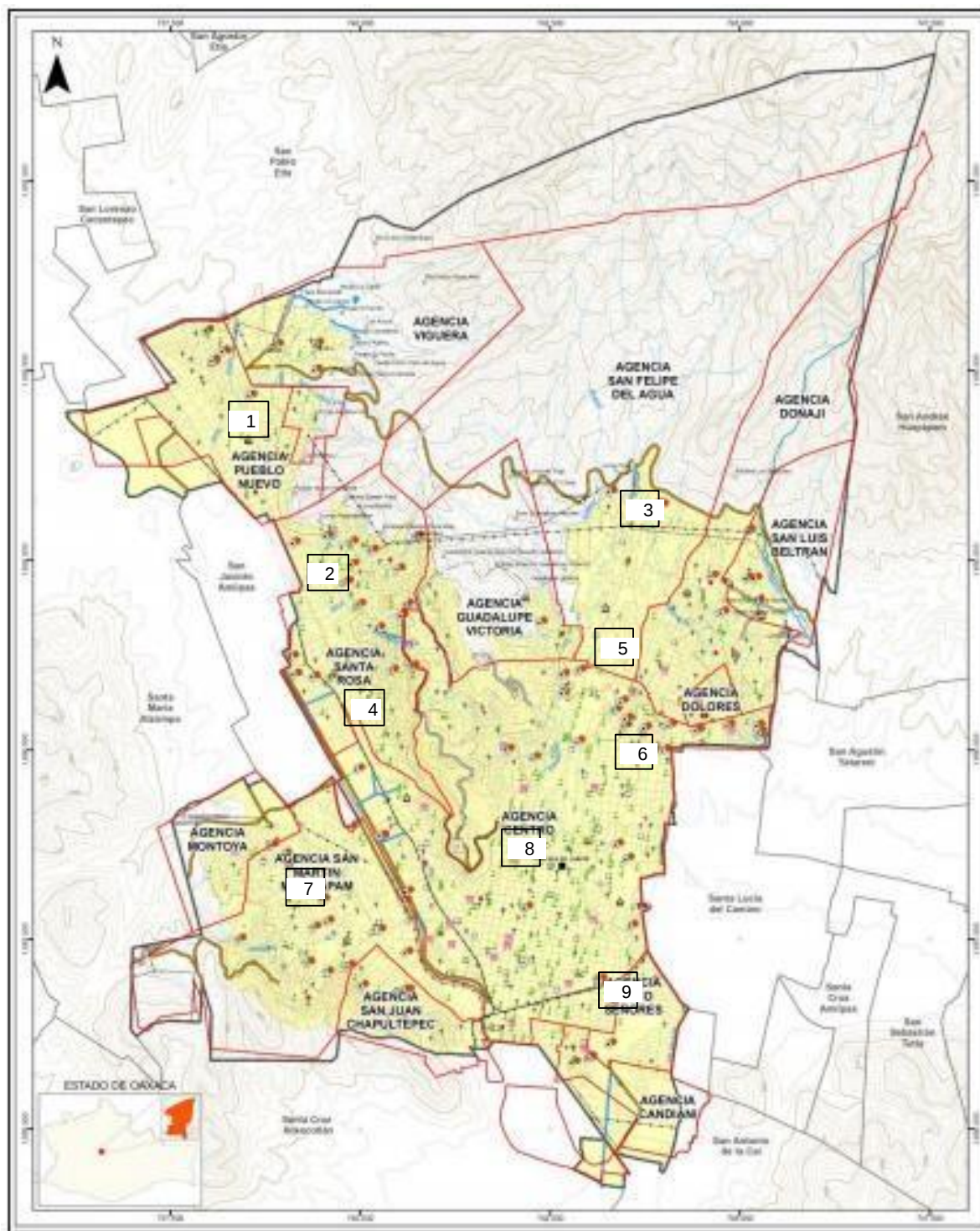


Figura 5 Ubicación de los puntos de muestreo en el mapa geográfico del municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca

2.2.1 Siembra de muestras

Coliformes totales, fecales y mesófilos aerobios

Para cada muestra se utilizaron cuatro cajas Petri, dos cajas con agar cromogénico de coliformes (ACC) y dos con agar cuenta estándar (ACS) solidificado, en cada caja Petri se sembró 0.1 mililitros de muestra. Posteriormente con la espátula Drigalski de vidrio se extendió la muestra en toda la superficie del medio. Cabe recalcar que el sembrado se realizó en un medio esteril, con ayuda de una campana de flujo laminar, utilizando bata, cubrebocas, guantes y previo al sembrado se hizo una limpieza con alcohol y cloro en el área de trabajo. Finalmente se incubaron las cajas Petri de ACS Y ACC en una estufa a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, transcurrido el tiempo se observaron las cajas, si no hay crecimiento se dejaron incubar otras 24 horas. El procedimiento anterior se repitió para cada una de las muestras, para la determinación de microorganismos mesófilos aerobios y organismos coliformes totales y fecales.

2.2.2 Cuenta de microorganismos

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana *NOM-201-SSA1-2015, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias* se hizo el conteo total de organismos mesófilos aerobios presentes en las cajas Petri con el medio ACS, en donde se reportan como UFC/ml. Para el caso del conteo de organismos coliformes totales y fecales se realizó en base a la Norma Oficial Mexicana *NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos*, la cual se reporta como unidades formadoras de colonias en 100 mililitros (UFC/100ml).

2.3 Determinaciones físicas y organolépticas

2.3.1 Determinación de color

La Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 marca los límites permisibles respecto al color que debe tener un agua para uso humano, el cual establece que ésta debe ser incolora, hasta 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto (UPC). Para la determinación del color de cada muestra se usó una escala de color verdadero de agua, el cual nos muestra las unidades de color de 0 a 150 UPC.

2.3.2 Determinación de olor

Basándose en la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, el cual detalla que el agua para uso humano debe tener un olor agradable, por lo que se hizo una encuesta a 10 personas y en base a eso se determinaba el olor de cada muestra

2.3.3 Determinación de sabor

Al igual que el olor, la *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994* establece que el sabor del agua para uso humano debe ser agradable. Para la determinación del sabor de las muestras se hizo una evaluación por el gusto de la persona encargada.

2.3.4 Determinación de turbiedad

De acuerdo con la norma *NMX-AA-038-SCFI-2001* se realizó el análisis de turbidez presente en las muestras recolectadas, el cual se utilizó un turbidímetro de marca LaMOTTE modelo 2008. Primeramente, se calibró el equipo colocando una disolución patrón en el porta celda, el manejo de la celda siempre fue por la parte superior para evitar el contacto con la parte que estuvo en contacto con el haz de luz y limpiar con un paño suave el líquido y suciedad de la superficie externa de la celda antes de introducirlo al portacelda, se le reguló a 20 NTU debido a que las muestras a simple vista no presentaron turbidez. Posteriormente se retiró la disolución patrón y se introdujo la celda el cual contenía la muestra, que previamente se enjuagó con la misma. Finalmente se tomó registro de la lectura de la turbidez en cada muestra.

2.4 Determinaciones químicas

2.4.1 Determinación de pH

Antes de comenzar a tomar lectura para cada muestra, se calibró el medidor de pH (marca HANNA Instruments modelo pHep Tester) en una solución buffer de pH 7. Posteriormente, se tomaron las lecturas de cada muestra de acuerdo a la norma *NMX-AA-008-2016*, para esto se introdujo el potenciómetro en la muestra la cual previamente se vertió en un vaso de precipitado de 100 mililitros a temperatura ambiente, se agitó levemente y se esperó un tiempo aproximado de 1 a 2 minutos hasta que la lectura se mantuvo estable para poder

registrarla. Para tomar la lectura de las demás muestras no fue necesario calibrarla de nuevo, solo se enjuagó con agua destilada el electrodo después de cada lectura y secar.

2.4.2 Determinación de sólidos disueltos totales

En un vaso de precipitado el cual contiene la muestra se introdujo el instrumento medidor TDS portátil modelo YL-TDS2-A de modo que el electrodo tenga contacto con la muestra, se esperó un tiempo aproximado de 10 a 20 segundos para que la lectura se estabilizara y se registró. Se tomó como referencia el límite permisible en base a la *MODIFICACIÓN A LA NORMA NOM-127-SSA1-1994* el cual establece que el límite máximo permisible es 1000 ppm. Para las demás lecturas sólo se enjuagó el electrodo con agua destilada.

2.4.3 Determinación de sólidos totales

Para la determinación de los sólidos totales contenidos en cada muestra se hizo de acuerdo con la norma *NMX-AA-034-SCFI-2015*. Primeramente, se introdujeron las cápsulas correspondientes de cada muestra a un horno a 350°F (176.7°C) durante una hora. Al término de ese lapso, se llevaron las cápsulas a un desecador de 20 a 30 minutos para dejarlas enfriar. Posterior a esto, se pesa la cápsula en una balanza analítica marca Adam modelo Nimbus, se registra el peso de cada una. A continuación, se vertió la muestra en la cápsula, se volvió a pesar y se toma registro. Después, se introdujo la cápsula ya con la muestra a un horno de secado a una temperatura de 100°C durante 6 horas para la eliminación del agua. Cabe recalcar que en el manejo de la cápsula se hizo con unas pinzas, evitando el contacto con las manos. Transcurrido el tiempo de las 6 horas se volvió a pesar la cápsula y se registró el peso. Todos los datos de los pesos que se obtuvieron se utilizaron para determinar los sólidos totales en mg/L.

2.4.4 Determinación de sólidos suspendidos

En base a la norma *NMX-AA-034-SCFI-2015*, se determinó los sólidos suspendidos. Al tener ya los datos de los sólidos totales y sólidos disueltos totales se hizo una resta de estos dos datos para obtener la concentración de sólidos suspendidos en las muestras.

2.4.5 Determinación de cloro residual libre

Siguiendo el procedimiento para la determinación de cloro residual libre correspondiente a la norma *NMX-AA-108-SCFI-2001* se utilizó un kit de prueba. Se enjuagó el tubo del analizador con la muestra, seguidamente se vertió 10 ml de la muestra en el recipiente y se agregó una pastilla N, N-Dietil-p-fenilendiamina (DPD). Posteriormente se tapó el recipiente y se agitó. Finalmente se esperó unos 10 segundos y se comparó el color de la muestra con la escala de color proporcionada en el kit.

2.4.6 Determinación de dureza

En base a la norma *NMX-AA-072-SCFI-2001* se determinó la dureza del agua, el cual se hizo con un kit de prueba para la dureza total de la marca HACH® modelo HA-71A. Para saber cuánto de muestra ocupar, se utilizó un tubo de plástico en el cual se vertió la muestra hasta llenarlo completamente para después depositarlo en un frasco de vidrio. Posteriormente se agregaron 3 gotas de una solución buffer para alcanzar un pH de 10.1 ± 0.1 . Después se añadió 1 gota de indicador, se agitó y si tornaba un color azul es indicio de ser un agua suave, pero para el caso de las muestras, tornó color rojo, entonces se agregó solución titulante EDTA 0.015M continuamente hasta que virara de color rojo a azul. Se registró las gotas utilizadas y se multiplicó por el factor 17.1 para la determinación de dureza en mg/L (ppm) de CaCO_3 .

2.4.8 Determinación de cloruros

En base a la norma *NMX-AA-073-SCFI-2001* se realizó la determinación de cloruros presente en cada muestra. Inicialmente en un matraz Erlenmeyer de 250 mL se vertió 50 ml de la muestra, debido a que la muestra estaba entre el rango de pH establecido en la norma, se prosiguió a agregar 0.5 ml de disolución indicadora de cromato de potasio, agitar suavemente. Después se valoró con una disolución patrón de nitrato de plata, gota a gota, agitando continuamente hasta el vire de amarillo a naranja rojizo. Por último, se tomó registro de cuantos mililitros se gastó y por medio de los cálculos explicados en la norma se calcula los mg/L de iones cloruro.

2.4.9 Determinación de sulfatos

Siguiendo el procedimiento descrito en la norma *NMX-AA-074-SCFI-2014* para la determinación del ion sulfato en cada una de las muestras. Se comenzó por verter 50 mL de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, después se le agregó 10 mL del reactivo buffer A y con un agitador magnético mezclar la solución a una velocidad de agitación constante. Mientras se agitaba se le añadió una cucharilla de cloruro de bario. En el momento que se le agregó el cloruro de bario se tomó el tiempo de 6 minutos. Se mantuvo en agitación 1 minuto y después se retiró de la agitación. Posteriormente se vació a la celda, se sujetó la celda de la parte roñosa y se limpió con un paño suave la parte donde se dará el paso óptico de luz. Se introdujo la celda en un espectrofotómetro a 420 nm y se el tiempo restante a los 6 minutos se esperó para tomar registro de la absorbancia leída de cada una de las muestras. Finalmente, para determinar la concentración en mg/L de SO_4 se hizo por medio de una curva de calibración.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto abarcó el periodo agosto-diciembre 2019, en el cual se recogieron muestras en los meses agosto, septiembre, octubre y noviembre. En cada muestreo se recolectó 9 muestras del agua contenida en tinacos y se trató de recolectar en los 9 puntos de muestreo agua directamente de la tubería distribuida por el municipio.

Los resultados microbiológicos, físicos, sensoriales y químicos del agua para uso y consumo humano que se distribuye en el municipio de Oaxaca de Juárez se muestran en las tablas y gráficas que están a continuación, en donde vienen separadas en 5 secciones, una para cada mes.

3.1 Agosto 2019

En los 9 puntos de muestreo la cuenta de mesófilos aerobios tuvo una variación significativa, ya que se obtuvo como valor mínimo en el punto de muestreo 2 de 280 UFC/ml, por el contrario, en el punto de muestro 1 se obtuvo 60000 UFC/ml, siendo éste el valor máximo. Por otra parte, en la cuenta de coliformes totales los puntos de muestreo 2, 4, 6, 7, 8 y 9 no hubo presencia de coliformes totales y en el punto de muestreo 5 donde se obtuvo el valor máximo de 670000 UFC/100 ml. En el caso del conteo de coliformes fecales en los nueve puntos de muestreo no hubo presencia de este indicador de contaminación fecal.

Teniendo estos valores en cuenta (Tabla 10) y siguiendo lo que marca la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, el agua para uso y consumo humano no debe de haber presencia de organismos totales y organismos fecales para que esta sea apta, por lo que, solamente en los puntos de muestreo 2, 4, 6, 7, 8 y 9 son aptas para uso y consumo humano, contrariamente, el agua que se distribuye en los puntos de muestreo 1, 3 y 5 no son aptas, debido a que la presencia de estos organismos en las aguas para consumo humano puede provocar enfermedades digestivas o infecciosas en el consumidor, que puede ser enfermedades de gravedad o de pococ cuidado según sea la cantidad de agua consumida.

Tabla 10 Contenido de microorganismos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de agosto 2019 (agua almacenada)

Punto de muestreo	Organismos Mesófilos Aerobios (UFC/ml)	Organismos Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Organismos Coliformes Fecales (UFC/100 ml)
1	60000	1000	0
2	280	0	0
3	540	31,000	0
4	1610	0	0
5	14000	670,000	0
6	3000	0	0
7	310	0	0
8	500	0	0
9	790	0	0
Límite permisible*	NR**	No detectables	No detectables

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros físicos y organolépticos del mes de agosto. En general, en los 9 puntos de muestreo presentaron un olor y sabor agradable de acuerdo con la evaluación sensorial realizada, de igual forma en color todos los puntos de muestreo estuvieron por debajo de 5 unidades de la escala de color Platino-Cobalto estando muy por debajo del límite permisible. En cuanto a turbiedad también los 9 puntos de muestreo presentaron valores muy bajos, ya que para ser un agua aceptada por los consumidores este valor debe estar debajo de 5 UTN. Por lo que, basándose en la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, en el mes de agosto los 9 puntos de muestreo cumplieron el límite establecido.

Por lo que, en base a los resultados obtenidos del análisis físico y organoléptico el agua almacenada que fue recolectada en el mes de agosto cumplió con todos los parámetros dictada por la norma, por lo que, no habría algún rechazo o disgusto del consumidor hacia el agua distribuida.

Tabla 11 Características físicas y organolépticas del agua distribuida en el mes de agosto 2019 en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (agua almacenada)

Punto de muestreo	Color (UPC)	Olor	Sabor	Turbiedad (UTN)
1	<5	Agradable	Agradable	0.65
2	<5	Agradable	Agradable	1.67
3	<5	Agradable	Agradable	0.27
4	<5	Agradable	Agradable	0.99
5	<5	Agradable	Agradable	1.13
6	<5	Agradable	Agradable	1.7
7	<5	Agradable	Agradable	1.3
8	<5	Agradable	Agradable	1.77
9	<5	Agradable	Agradable	0.3
Límite permisible*	20	Agradable	Agradable	5

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000)

En cuanto a los parámetros químicos mostrados en la tabla 12, en los 9 puntos de muestreo los valores de pH estuvieron dentro del límite permisible propuesto por la norma (6.5-8.5 unidades de pH). Así también, los valores obtenidos de dureza y sulfatos en todos los puntos de muestreo están por debajo del límite establecido en dicha norma (500 mg/L y 400 mg/L respectivamente). Por otra parte, solamente el punto de muestreo 9 presentó un valor alto de 359 mg/L en cloruros y en sólidos disueltos totales se obtuvo un valor de 1034mg/L, por lo que, es el único punto donde rebasa el límite permisible establecidos en la norma Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994 para cloruros y sólidos disueltos totales y en consecuencia los valores de sólidos totales y sólidos suspendidos son elevados. Otro parámetro que se determinaron en las 9 muestras fue cloro libre, obteniendo que en los puntos de muestreo 4 y 8 presentaron un valor de 0.6 mg/L, siendo los únicos que se encuentran en el intervalo que contempla la norma (0.2-1.5 mg/L).

Estos datos obtenidos de los análisis físicos, organolépticos y químicos demuestran que el agua que se distribuyó en el municipio de Oaxaca de Juárez en el mes de agosto 2019 fue sometida a procesos como ablandamiento químico para reducir la dureza, ósmosis inversa o coagulación química para obtener los valores de cloruros y sulfatos dentro del límite permisible. Sin embargo, el proceso de cloración no se lleva a cabo correctamente, ya que en la mayoría de las muestras que se recogieron presentaron valores nulos de cloro libre y, por ende, en los análisis microbiológicos resultaron también con organismos totales resultando que en algunos puntos de muestreo el agua no fue apta para uso y consumo humano.

Cabe mencionar que en punto de muestreo 2 no se pudo determinar los sólidos totales, debido a que no se contó con la suficiente cantidad de muestra.

Como se mencionó al principio de este apartado, se trató de recolectar muestras de agua corriente que distribuye el municipio en todos los puntos de muestreo, esto quiere decir que, el agua que está mandando el municipio en el momento, sin haber pasado ni un solo día almacenado en algún tinaco, esto para demostrar la diferencia entre el agua que está almacenada y el agua directa. Para este mes de agosto, solamente se pudo recolectar muestras en los puntos 3, 4 y 8.

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de las muestras de agua corriente, donde se observa que en el conteo de mesófilos aerobios se obtuvo como valor mínimo de 8000 UFC/ml en el punto de muestreo 8 y como valor máximo un valor de 14000 UFC/ml recolectado en el punto 4. Para el conteo de organismos coliformes totales se obtuvo un valor de 34000 UFC/100 ml siendo éste el valor máximo perteneciente al punto de muestreo 8 y en el punto 3 no hubo presencia de coliformes totales. Similarmente, en los 3 puntos de muestreo no se detectaron presencia de organismos coliformes fecales.

En base a la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, la cual señala que, el agua que es para uso y consumo humano no se deben detectar organismos coliformes totales ni organismos fecales. Esto quiere decir que, el agua correspondiente al mes de agosto que se distribuyó en los puntos de muestreo 4 y 8 no son apropiadas para el uso y consumo humano desde el punto de vista microbiológico.

Tabla 12 Constituyentes químicos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de agosto 2019 (agua almacenada)

Punto de muestreo	pH (unidades de pH)	Cloro libre (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sólidos Totales mg/L)	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
1	7.29	0	154	18	38	371	197	174
2	7.75	0	291	87	30	-	398	-
3	7.47	0	393	100	46	794	539	255
4	7.69	0.6	257	65	63	346	331	15
5	7.43	0.1	359	100	99	714	533	181
6	7.2	0.1	359	105	102	730	566	164
7	7.41	0	445	116	113	847	607	240
8	7.55	0.6	359	87	99	722	559	163
9	7.67	0	342	88	359	1151	1034	117
Límite permisible*	6.5 – 8.5	0.2 – 1.5	500	400	250	NR**	1000	NR**

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 13 Contenido de microorganismos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de agosto 2019 (agua corriente)

Punto de muestreo	Organismos Mesófilos Aerobios (UFC/ml)	Organismos Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Organismos Coliformes Fecales (UFC/100 ml)
1	-	-	-
2	-	-	-
3	13,000	0	0
4	14,000	1000	0
5	-	-	-
6	-	-	-
7	-	-	-
8	8000	34000	0
9	-	-	-
Límite permisible*	NR**	No detectables	No detectables

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Las características físicas y organolépticas correspondientes al agua que se recolectó en el mes de agosto de los puntos de muestreo 3, 4 y 8 presentaron olor y sabor agradable de acuerdo con la evaluación sensorial realizado, así también las tres muestras de agua presentaron un color muy ligero, estando por debajo de 5 unidades de la escala de color Platino-Cobalto cumpliendo así con las especificaciones indicadas por la norma, el cual indica que el agua debe presentar un color verdadero de 20 unidades de la escala de color de Platino-Cobalto. Por otra parte, solamente en el punto de muestreo 1 presentó un valor de turbiedad mayor del que señala la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, por lo que no cumple con dicha norma, la cual establece como límite permisible 5 UTN. Estos valores que se obtuvieron de los análisis físicos y organolépticos se observan en la tabla 14.

Tabla 14 Características físicas y organolépticas del agua distribuida en el mes de agosto 2019 en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (agua corriente)

Punto de muestreo	Color (UPC)	Olor	Sabor	Turbiedad (UTN)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	<5	Agradable	Agradable	0.23
4	<5	Agradable	Agradable	5.65
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	<5	Agradable	Agradable	1.13
9	-	-	-	-
Límite permisible*	20	Agradable	Agradable	5

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

Similarmente, los valores de los constituyentes químicos del agua en los 3 puntos de muestreo se indican en la tabla 15. En general, en todas las muestras de agua recolectadas el pH que se determinaron están dentro del intervalo establecido por la norma obteniendo como resultado valores de 7.2, 7.23 y 7.74. De igual forma en los 3 puntos de muestreo los valores determinados de dureza, sulfatos, cloruros y sólidos disueltos totales están dentro del límite permisible que la norma indica de 500, 400, 250 y 1000 mg/L, respectivamente. Pero correspondiente al cloro libre que se determinaron en los 3 puntos de muestreo arrojaron valores de cero, esto explica que los resultados de los análisis microbiológicos (tabla 8) no hayan cumplido con la norma anteriormente mencionada, debido a la presencia de organismos totales en las muestras de agua, por lo que se intuye que el proceso de cloración aplicados en las plantas es insuficiente para que las aguas sean aptas para uso y consumo humano.

Tabla 15 Constituyentes químicos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de agosto 2019 (agua corriente)

Punto de muestreo	pH (unidades de pH)	Cloro libre (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sólidos Totales mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	7.74	0	445	93	131	823	509	314
4	7.2	0	274	75	31	-	399	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	7.23	0	291	39	74	432	385	47
9	-	-	-	-	-	-	-	-
Límite permisible*	6.5 - 8.5	0.2 - 1.5	500	400	250	NR**	1000	NR**

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

3.2 Septiembre 2019

En el segundo muestro realizado en el mes de septiembre 2019, el conteo de los microorganismos presentes en el agua se encuentra en la tabla 16. Para el caso de mesófilos aerobios, el conteo en los 9 sitios de muestreo varía desde un valor mínimo de 240 UFC/ml en el punto de muestreo 4 hasta un valor máximo de 18000 UFC/ml en el punto de muestreo 6. En este mes se pudo observar que en todos los sitios de muestreo el valor de unidades formadoras de colonias de mesófilos aerobios fueron altos a comparación del primer mes de muestreo a excepción del sitio de muestreo 4, que arrojó un valor bajo. Por otra parte, en el conteo de organismos coliformes totales solamente en los puntos de muestreo 1, 4 y 7 no se detectaron crecimiento, caso contrario en el punto 6, ya que tuvo un valor máximo de 125000 UFC/100ml. Para el caso del conteo de organismos coliformes fecales, en este mes si hubo crecimiento, presentándose en el punto de muestreo 5 un valor de 2000 UFC/100 ml.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, la cual indica los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para que ésta sea apta para uso y consumo humano, en el caso de los parámetros microbiológicos no se deben detectar organismos totales y fecales, por lo que comparando los valores obtenidos del análisis microbiológico del muestreo realizado en el mes de septiembre 2019, el agua que se distribuye en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca no se considera apropiada para el uso y consumo humano, ya que puede generar enfermedades mortales como diarreas agudas, las cuales producen que las toxinas estimulen nuestro organismo a la secreción de los intestinos y producir la pérdida de fluidos, deshidratación y, en muchos casos, llegar a la muerte, por lo cual es muy importante la calidad del agua que se distribuye.

Respecto a los parámetros físicos y organolépticos del agua del estudio realizado en el mes de septiembre mostradas en la tabla 17, en general, en los 9 sitios de muestreo presentaron un olor y sabor agradable de acuerdo con la evaluación sensorial realizada y un color muy ligero, menor a 5 unidades en la escala de color Pt-Co, el cual está por debajo del límite permisible de 20 unidades en la escala de color Pt-Co establecido por la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*. De igual forma, en ocho sitios de muestreo de los 9 en donde se recolectaron las muestras de agua cumplen con el límite permisible de acuerdo a turbiedad de 5 UTN, siendo en el sitio de muestreo 2 donde el agua presentó una turbiedad

de 9.1 UTN, por lo que puede generar algún disgusto en el aspecto físico en el consumidor de esta zona.

Con base en el análisis físico y organoléptico, los resultados indican que el agua almacenada recolectada en el mes de septiembre en todos los sitios de muestreo a excepción del sitio 2 se encuentra dentro de las especificaciones físicas y organolépticas citadas por la norma mencionada anteriormente.

Tabla 16 Contenido de microorganismos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de septiembre 2019 (agua almacenada)

Punto de muestreo	Organismos Mesófilos Aerobios (UFC/ml)	Organismos Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Organismos Coliformes Fecales (UFC/100 ml)
1	3000	0	0
2	13000	2000	0
3	13000	38000	0
4	240	0	0
5	16000	28000	2000
6	18000	125000	0
7	4000	0	0
8	1700	1000	0
9	1000	50000	0
Límite permisible*	NR**	No detectables	No detectables

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 17 Características físicas y organolépticas del agua distribuida en el mes de septiembre 2019 en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (agua almacenada)

Punto de muestreo	Color (UPC)	Olor	Sabor	Turbiedad (UTN)
1	<5	Agradable	Agradable	2.22
2	<5	Agradable	Agradable	9.1
3	<5	Agradable	Agradable	0.58
4	<5	Agradable	Agradable	1.48
5	<5	Agradable	Agradable	0.32
6	<5	Agradable	Agradable	4.12
7	<5	Agradable	Agradable	3.01
8	<5	Agradable	Agradable	1.44
9	<5	Agradable	Agradable	0.53
Límite permisible*	20	Agradable	Agradable	5

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

Finalmente, la tabla 18 muestra los datos obtenidos del análisis de constituyentes químicos del agua recolectada en el mes de septiembre 2019. Los valores de pH varían de 6.95 en el sitio 1 de muestreo hasta un valor máximo de 7.68 unidades de pH en el punto 3, los encuentran dentro del intervalo señalado por la norma. Así también, los datos obtenidos de dureza en todos los sitios de muestreo están por debajo del límite permisible de 500 mg/L. Dentro de los valores obtenidos de sulfatos y cloruros en todos los puntos de muestreo sí cumplen con los límites permisibles establecidos por la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994* de 400 mg/L y 250 mg/L respectivamente. De igual forma, los resultados de sólidos disueltos totales están por debajo 1000 mg/L que es lo que marca la norma para que sea apta para uso y consumo humano. Por otro lado, solamente en las muestras de los sitios 2 y 8 se encuentran dentro del intervalo indicado por la norma correspondiente a cloro libre (0.2 – 1.5 mg/L), por lo que se demuestra que el proceso de cloración realizadas en las plantas de potabilización es insuficiente, razón por la cual se detectaron crecimiento de organismos coliformes totales y fecales.

Tabla 18 Constituyentes químicos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de septiembre 2019 (agua almacenada)

Punto de muestreo	pH (unidades de pH)	Cloro libre (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
1	6.95	0	137	21	45	247	195	52
2	7.42	0.6	359	137	99	670	526	144
3	7.68	0	359	79	113	705	518	187
4	7.67	0	376	106	102	591	465	126
5	7.65	0	325	108	130	603	465	138
6	7.6	0	308	98	126	716	547	169
7	7.23	0	445	150	134	906	500	406
8	7.52	0.6	342	82	106	670	513	157
9	7.55	0	359	81	334	998	905	93
Límite permisible*	6.5-8.5	0.2-1.5	500	400	250	NR**	1000	NR**

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Para el mes de septiembre se recolectaron muestras de agua corriente en los sitios de muestreo 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Los resultados del análisis microbiológico de agua corriente del mes de septiembre 2019 se presentan en la tabla 19. En el conteo de organismos mesófilos aerobios de este mes muestran una variación grande, dado que en el punto de muestreo 4 se obtuvo el valor máximo de 28000 UFC/ml, al igual en el sitio 7 se obtuvo un valor alto de 19000 UFC/ml. En el sitio de muestreo 5 se contaron 600 UFC/ml siendo este el valor mínimo obtenidos en el mes de septiembre para el conteo de organismos mesófilos aerobios de agua corriente. De igual manera, los resultados del análisis de organismos coliformes totales se observa que en 4 de 7 sitios de muestreo hubo crecimiento, desde un valor mínimo de 1000 UFC/ml obtenido en el punto 1 hasta un valor máximo de 70000 UFC/ml en el punto de muestreo 7. Así también en el punto 2 se obtuvo un valor de 2000 UFC/ml, y 8000 UFC/mL en el sitio 3. Para el caso de la cuenta de organismos coliformes fecales en todos los puntos de muestreo no se detectaron presencia de estos organismos.

Siguiendo la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994* el cual establece que, para que el agua sea considerada como apta para el uso y consumo humano no se debe detectar presencia de organismos totales ni de organismos fecales, que, comparándolos con los datos obtenidos del análisis microbiológico del mes de septiembre el agua corriente de los puntos de muestreo 1, 2, 3 y 7 no son apropiadas para estos fines ya que podría haber efectos negativos en la salud del consumidor de dicha, descartando a los puntos 4, 5 y 6 que no presentaron crecimientos de organismos totales ni fecales que aunque se obtuvieron valores altos de organismos mesófilos aerobios, este parámetro no está establecida por la norma mencionada con anterioridad, por lo tanto, el agua que se distribuye en estos puntos si se pueden considerar aptas para uso y consumo humano.

Tabla 19 Contenido de microorganismos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de septiembre 2019 (agua corriente)

Punto de muestreo	Organismos Mesófilos Aerobios (UFC/mL)	Organismos Coliformes Totales (UFC/100 mL)	Organismos Coliformes Fecales (UFC/100 mL)
1	1300	1000	0
2	1000	2000	0
3	1,600	8,000	0
4	28,000	0	0
5	600	0	0
6	4000	0	0
7	19000	70000	0
8	-	-	-
9	-	-	-
Límite permisible*	NR**	No detectables	No detectables

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994

En la tabla 20 se encuentran los resultados del análisis físico y organoléptico de las muestras de agua corriente recolectadas en los siete puntos de muestreo correspondiente al mes de septiembre. Se puede observar en dicha tabla que todos los sitios de muestreo presentaron un color muy ligero, menor a 5 unidades en la escala de color Platino-Cobalto, los cuales son valores inferiores al límite permisible que señala la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994* de 20 unidades Pt-Co. De igual forma presentaron los siete sitios de muestreo un olor y sabor agradable con base a la evaluación sensorial realizada. En cuanto a la turbiedad, los puntos de muestreo 1, 2, 3, 4 y 6 se encuentran por debajo del límite establecido de 5 UTN, cumpliendo así, con la norma citada anteriormente, por tanto, los sitios 5 y 7 rebasan con dicho parámetro.

Tabla 20 Características físicas y organolépticas del agua distribuida en el mes de septiembre 2019 en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (agua corriente)

Punto de muestreo	Color (UPC)	Olor	Sabor	Turbidez (UTN)
1	<5	Agradable	Agradable	0.35
2	<5	Agradable	Agradable	0.81
3	<5	Agradable	Agradable	1.72
4	<5	Agradable	Agradable	4.95
5	<5	Agradable	Agradable	5.03
6	<5	Agradable	Agradable	1.65
7	<5	Agradable	Agradable	6.79
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
Límite permisible*	20	Agradable	Agradable	5

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F. 22 de noviembre de 2000).

A partir de la tabla 21 de los constituyentes químicos del agua corriente analizada, se observa que en el punto de muestreo 7 tuvo un valor mínimo de 6.97 y en el sitio de muestreo 1 se obtuvo el valor máximo de 7.61, lo que quiere decir que los valores de pH determinados están dentro del intervalo establecido por la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994* (6.5 – 8.5 unidades de pH). De igual forma, los valores obtenidos en las determinaciones de dureza total, sulfatos, cloruros y sólidos disueltos totales todos los sitios de muestreo están por debajo del límite permisible señalado por la norma mencionada, las cuales son 500 mg/L, 400 mg/L, 250 mg/L y 1000 mg/L respectivamente. Por otra parte, los resultados del análisis de cloro libre residual solamente en los sitios de muestreo 4, 5 y 6 están en el rango que marca la norma que va de 0.2 a 1.5 mg/L, razón por la cual en los resultados del conteo de organismos coliformes totales en esos tres sitios de muestreo no se detectaron crecimiento, a diferencia de los otros cuatro sitios, donde los procesos de cloración no fue el suficiente para que estas aguas fueran aptas para uso y consumo humano y presentara crecimiento de organismos coliformes totales y fecales.

Tabla 21 Constituyentes químicos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de septiembre 2019 (agua corriente)

Punto de muestreo	pH (unidades de pH)	Cloro libre (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sólidos Totales mg/L)	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
1	7.61	0	359	40	213	858	663	195
2	7.6	0	376	111	98	656	461	195
3	7.35	0	359	61	93	607	421	186
4	7.39	1	359	116	102	716	505	211
5	7.33	0.6	342	122	123	768	551	217
6	7.42	0.6	309	105	140	678	476	202
7	6.97	0	445	158	128	881	581	300
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-
Límite permisible*	6.5 - 8.5	0.2 - 1.5	500	400	250	NR**	1000	NR**

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

3.3 Octubre 2019

Los datos mostrados en la tabla 22 corresponden a los resultados obtenidos del análisis microbiológico realizados a las muestras de agua almacenada en el mes de octubre 2019. De acuerdo al conteo de mesófilos aerobios hubo una variación significativa en cada uno de los sitios de muestreo, ya que, en el sitio 6 se obtuvo un valor mínimo de 120 UFC/ml y se obtuvo como valor máximo de 30000 UFC/ml en el sitio 1. Para los demás sitios, por ejemplo, en el sitio de muestreo 3 se obtuvo un valor de 200 UFC/ml, seguido del sitio 4, donde se registró el valor de 370 UFC/ml, siendo para este mes, los sitios 6, 3 y 4 donde se registraron los valores más bajos del conteo de mesófilos aerobios. En el caso de coliformes totales, en 8 sitios de muestreos se registraron presencia de estos organismos, siendo el sitio de muestreo 8 el único donde no hubo presencia de coliformes totales y para el sitio 9 se obtuvo el valor más alto de este análisis siendo de 27000 UFC/100 ml. Similarmente, los resultados del estudio de coliformes fecales en todos los sitios de muestreo no presentaron crecimiento de estos organismos.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis microbiológico y siguiendo la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, el agua suministrada en el municipio de Oaxaca de Juárez correspondiente al mes de octubre 2019 no cumple con los límites permisibles que establece dicha norma, ya que hay presencia de organismos totales y aunque no se detectó crecimiento de organismos fecales, el agua sigue siendo un riesgo a la salud humana, debido a que puede ocasionar enfermedades digestivas en el consumidor, pudiendo ser de grado agudas o crónicas dependiendo de la cantidad de agua ingerida o del sistema inmunológico del consumidor.

La tabla 23 muestra las características físicas y organolépticas del agua correspondiente al mes de octubre 2019. Los resultados de los nueve sitios del análisis que se realizó cumplieron con lo señalado en la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, las muestras de agua presentaron un olor y sabor agradable de acuerdo con la evaluación sensorial realizada; y un color muy ligero, por debajo de 5 unidades de la escala de color Platino-Cobalto, siendo un valor muy bajo comparándolo con el límite permisible de 20 Pt-Co. De igual forma, las nueve muestras de agua presentaron una turbiedad menor a 5 UTN, que es el límite permisible establecido por la norma mencionada.

Tabla 22 Contenido de microorganismos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de octubre 2019 (agua almacenada)

Punto de muestreo	Organismos Mesófilos Aerobios (UFC/mL)	Organismos Coliformes Totales (UFC/100 mL)	Organismos Coliformes Fecales (UFC/100 mL)
1	30000	10000	0
2	4900	1100	0
3	200	2,500	0
4	370	2000	0
5	1900	6,000	0
6	120	6000	0
7	600	2500	0
8	4500	0	0
9	7000	270000	0

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 23 Características físicas y organolépticas del agua distribuida en el mes de octubre 2019 en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (agua almacenada)

Punto de muestreo	Color (UPC)	Olor	Sabor	Turbiedad (UTN)
1	<5	Agradable	Agradable	0.49
2	<5	Agradable	Agradable	0.86
3	<5	Agradable	Agradable	4.27
4	<5	Agradable	Agradable	2.06
5	<5	Agradable	Agradable	1.45
6	<5	Agradable	Agradable	0.74
7	<5	Agradable	Agradable	0.71
8	<5	Agradable	Agradable	1.25
9	<5	Agradable	Agradable	1.31
Límite permisible*	20	Agradable	Agradable	5

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

De acuerdo con los resultados del análisis químico realizados a las muestras de agua mostrados en la tabla 24, los valores obtenidos de pH en todos los sitios de muestreo se encuentran dentro del intervalo de 6.5 a 8.5 unidades de pH que señala la Norma Oficial Mexicana para consumo humano. Así también, en las nueve muestras de agua los resultados del análisis de dureza, sulfatos, cloruros y sólidos disueltos totales estuvieron por debajo del límite permisible, cumpliendo con la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, que son de 500, 400, 250 y 1000 mg/l respectivamente.

Por otro lado, la *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994* nos indica un intervalo de 0.2-1.5 (mg/l) de concentración de cloro libre como límite permisible, sin embargo, ninguna de las muestras tuvo concentraciones de cloro libre dentro de este rango, ya que se encuentra por debajo de este intervalo. Con estos datos de cloro libre, se puede decir que no existe un adecuado tratamiento y podría ser la causa de que haya presencia de organismos coliformes totales y coliformes fecales en las muestras de agua, lo que puede provocar problemas gastrointestinales en el consumidor del agua que se suministra en el municipio de Oaxaca de Juárez.

En el tercer muestreo correspondiente al mes de octubre se recolectaron 6 muestras de agua corriente, pertenecientes a los sitios de muestreo 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Los resultados del análisis microbiológico, la cuenta de organismos mesófilos aerobios en los seis sitios de muestreo mostró una variación, obteniendo un valor mínimo de 64 UFC/ml en el punto de muestreo 6 a un valor máximo de 6000 UFC/ml en el punto de muestreo 7, presentándose también un valor alto en el sitio 4 con 2500 UFC/ml. Seguidamente se observa que en los sitios de muestreo 5 y 6 no se detectaron crecimiento de organismos coliformes totales, caso contrario en el sitio de muestreo 4, donde se registró un valor máximo de 62000 UFC/100 ml, haciendo mención que en los sitios de muestreo 3 y 7 se obtuvieron valores altos de 5000 y 3000 UFC/100 ml respectivamente. Por último, en ninguna de las muestras de agua corriente recolectadas se registraron crecimiento de organismos coliformes fecales (Tabla 25).

Tabla 24 Constituyentes químicos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de octubre 2019 (agua almacenada)

Punto de muestreo	pH (unidades de pH)	Cloro libre (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sólidos Totales mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
1	6.7	0	17	14	16	151	11	140
2	7.25	0	291	108	74	503	333	170
3	7.64	0	239	50	58	512	284	228
4	7.32	0	257	71	59	651	338	313
5	7.52	0	342	105	124	754	505	249
6	7.48	0	342	104	118	651	458	193
7	7.21	0	410	143	123	750	565	185
8	7.59	0.1	359	109	135	741	528	213
9	7.42	0	393	88	185	943	714	229
Límite permisible*	6.5-8.5	0.2-1.5	500	400	250	NR**	1000	NR**

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Con base en los resultados del análisis microbiológico de la recolección de agua corriente correspondiente al mes de octubre presentados en la tabla 25, refleja una contaminación alta en la mayoría de las muestras, las cuales rebasan el límite permisible establecido por la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, la cual nos indica que el agua es apta para consumo humano cuando ésta no se detecta crecimiento de organismos coliformes totales y fecales, por lo que, el agua suministrada en los sitios de muestreo 2, 3, 4 y 7 no se considera apta para consumo humano. Excluyendo a las muestras de agua correspondientes de los sitios 5 y 6, debido a que los valores resultantes del conteo de mesófilos aerobios fueron muy bajos y que no hubo crecimiento de organismos coliformes totales y fecales, por lo tanto, las aguas suministradas en este mes en dichas áreas se consideran aptas para los mismos fines mencionados.

Tabla 25 Contenido de microorganismos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de octubre 2019 (agua corriente)

Punto de muestreo	Organismos Mesófilos Aerobios (UFC/ml)	Organismos Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Organismos Coliformes Fecales (UFC/100 ml)
1	-	-	-
2	84	100	0
3	960	5,000	0
4	2500	62000	0
5	80	0	0
6	64	0	0
7	6000	3000	0
8	-	-	-
9	-	-	-
Límite permisible*	NR**	No detectables	No detectables

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994

En la tabla 26 muestra los resultados de las características físicas y organolépticas que presentaron las muestras de agua. En los sitios de muestreo 2, 3, 5, 6 y 7 cumplieron con lo señalado en la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*. Las muestras de agua recolectadas en los seis sitios de muestreo presentaron un olor y sabor agradable, de acuerdo con la evaluación sensorial realizada, también presentaron un color muy ligero, por debajo de 5 unidades de la escala de color Platino-Cocalto, donde el límite permisible señalado en la norma anteriormente mencionada es de 20 unidades. El sitio de muestreo 4 presentó un valor de 6.24 UTN, de forma que, el agua suministrada en esta área presentó un valor alto de turbiedad, estando por arriba del límite permisible establecido en la norma de 5 UTN, por lo tanto, no cumple con las características físicas que debe tener el agua para que sea considerada como apta, por lo que puede generar algún rechazo del consumidor por esta agua.

Tabla 26 Características físicas y organolépticas del agua distribuida en el mes de octubre 2019 en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (agua corriente)

Punto de muestreo	Color (UPC)	Olor	Sabor	Turbiedad (UTN)
1	-	-	-	-
2	<5	Agradable	Agradable	0.9
3	<5	Agradable	Agradable	1.69
4	<5	Agradable	Agradable	6.24
5	<5	Agradable	Agradable	2.76
6	<5	Agradable	Agradable	1
7	<5	Agradable	Agradable	0.49
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
Límite permisible*	20	Agradable	Agradable	5

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

Los valores de los constituyentes químicos en los seis sitios de muestreo del mes de octubre se presentan en la tabla 27. El pH en todos los sitios de muestreo se encontró dentro del intervalo señalado en la norma (6.5-8.5 unidades de pH). Así también, los resultados del estudio de dureza, sulfatos, cloruros y sólidos disueltos totales en los seis sitios de muestreo estuvieron por debajo del límite permisible marcado por la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, siendo de 500, 400, 250 y 1000 mg/l, respectivamente.

Por otro lado, las muestras recolectadas en los sitios 2, 3, 4, 6 y 7, el cloro libre no cumple con la norma, el cual nos indica que debe estar entre 0.2 y 1.5 mg/l para que el agua sea apta para consumo humano. Este dato puede ser un factor para que en las muestras de agua se detectaran presencia de organismos, presentadas en la tabla 25, confirmando así, que el agua suministrada no se considera apta para consumo humano.

Tabla 27 Constituyentes químicos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de octubre 2019 (agua corriente)

Punto de muestreo	pH (unidades de pH)	Cloro libre (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	7.23	0	239	104	66	389	312	77
3	7.94	0	239	20	52	383	282	101
4	7.02	0.1	239	76	61	491	355	136
5	7.32	0.6	308	111	128	687	532	155
6	7.5	0	359	106	121	713	462	251
7	7.01	0	445	146	119	650	575	75
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-
Límite permisible*	6.5-8.5	0.2-1.5	500	400	250	NR**	1000	NR**

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994

3.4 Noviembre 2019

En el mes de noviembre se recolectaron las últimas muestras de agua almacenada en los nueve sitios de muestreo, donde en la tabla 28 se muestran los resultados del estudio microbiológico realizado. La cuenta de organismos mesófilos aerobios en los nueve sitios de muestreo tuvo una variación alta, obteniendo en el sitio muestreo 5 un valor máximo de 18000 UFC/ml y un valor mínimo de 210 UFC/ml en el punto de muestreo 2. Haciendo mención que en el sitio 5 se obtuvo un valor alto de mesófilos aerobios de 15000 UFC/ml y en sitio 4 de 260 UFC/ml, siendo valores muy cercanos a los valores máximos y mínimos, respectivamente. Asimismo, el resultado del conteo de organismos coliformes totales fue muy dispareja en los sitios de muestreo, ya que en los sitios de muestreo 2, 4 y 6 no se detectó crecimiento, contrariamente, en el punto 9 se tuvo el valor máximo de estemuestreo, siendo de 11000 UFC/100mL. Por último, el resultado del análisis de organismoscoliformes fecales fue el mismo en todas las muestras de agua recolectadas, ya que no sedetectaron contaminación fecal.

De acuerdo a los resultados del análisis microbiológico del agua almacenada en el mes de noviembre y comparando con la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, la cual indica que el agua para uso y consumo humano debe estar exenta de organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales, por lo que, el agua recolectada en los puntos de muestreo 1, 3, 5, 7, 8 y 9 no se consideran apropiadas para el uso y consumo humano desde el punto de vista microbiológico, ya que, la presencia de estos organismos en el agua puede ocasionar alguna afección en la salud, específicamente en el aparato digestivo, siendo enfermedades de poco cuidado o hasta problemas graves en el consumidor. Se puede decir que en el agua en los sitios 2, 4 y 6 se consideran aptas para el uso y consumo humano, ya que no presentaron crecimiento de organismos coliformes totales ni fecales y que fueron los tres sitios donde se obtuvo los valores más bajos de organismos mesófilos aerobios, indicativo de buenas prácticas de manufactura.

Tabla 28 Contenido de microorganismos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de noviembre 2019 (agua almacenada)

Punto de muestreo	Organismos Mesófilos Aerobios (UFC/ml)	Organismos Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Organismos Coliformes Fecales (UFC/100 ml)
1	3300	200	0
2	210	0	0
3	1900	6000	0
4	260	0	0
5	18000	1000	0
6	1600	0	0
7	1700	400	0
8	8300	2000	0
9	15000	11000	0
Límite permisible*	NR**	No detectables	No detectables

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994

En la tabla 29 se observan los resultados del análisis físico y organoléptico realizadas en el mes de noviembre a las muestras de agua almacenada en los nueve sitios de muestreo. Los valores de turbiedad muestran que en todos los sitios están por debajo de 5 UTN, el cual es el límite permisible establecida por la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, aunque en los sitios de muestreo 5 y 9 se obtuvieron valores muy cercanos al límite establecido. De igual forma, de acuerdo con la evaluación sensorial realizada en todas las muestras de agua almacenada presentaron olor y sabor agradable; y un color muy ligero, menor a 5 unidades de la escala Pt-Co, y que en base a la norma citada está por debajo del límite permisible de 20 unidades.

Tabla 29 Características físicas y organolépticas del agua distribuida en el mes de noviembre 2019 en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (agua almacenada)

Punto de muestreo	Color (UPC)	Olor	Sabor	Turbiedad (UTN)
1	<5	Agradable	Agradable	0.43
2	<5	Agradable	Agradable	1.94
3	<5	Agradable	Agradable	1.19
4	<5	Agradable	Agradable	0.79
5	<5	Agradable	Agradable	4.35
6	<5	Agradable	Agradable	0.75
7	<5	Agradable	Agradable	0.82
8	<5	Agradable	Agradable	0.87
9	<5	Agradable	Agradable	4.68
Límite permisible*	20	Agradable	Agradable	5

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

Finalmente, en la tabla 30 muestran los resultados del análisis químico realizado en cada punto de muestreo durante el mes de noviembre. Observando que en todos los sitios de muestreo los valores de pH se mantienen en el intervalo de 6.5–8.5 unidades de pH, establecido por la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*. Así también, las nueve muestras de agua almacenada presentaron una dureza menor a 500 mg/L, que es el límite permisible señalado por la norma para uso y consumo humano, siendo 445 mg/L el valor más alto obtenido en el punto de muestreo 7. Mostrando los mismos resultados en el análisis de sulfatos realizado, ya que en los nueve sitios de muestreo los valores se mantuvieron por debajo de 400 mg/L. En el estudio de cloruros, todos los puntos de muestreo cumplieron con el límite permisible indicado por la norma de 250 mg/L excepto el sitio 9, que tuvo un valor de 437 mg/L. La norma también indica que el agua no debe exceder de 1000 mg/L de sólidos disueltos, por lo que, de igual de forma se cumple con el límite permisible establecido. Por otra parte, en ocho de las nueve muestras de agua almacenada no se obtuvo la concentración de cloro libre dentro del intervalo que marca la norma de 0.2–1.5 mg/L, siendo el sitio 5 el único que sí cumplió con lo estipulado.

Tabla 30 Constituyentes químicos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de noviembre 2019 (agua almacenada)

Punto de muestreo	pH (unidades de pH)	Cloro libre (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
1	7.15	0	120	24	26	120	89	31
2	7.4	0	291	117	99	483	279	204
3	7.28	0	376	75	87	624	430	194
4	7.38	0	120	22	24	214	140	74
5	7.41	0.6	308	107	111	584	483	101
6	7.61	0	291	98	103	629	461	168
7	7.05	0	445	151	138		558	-558
8	7.49	0.1	291	105	106	630	484	146
9	7.56	0	376	96	437	1012	789	223
Límite permisible*	6.5-8.5	0.2-1.5	500	400	250	NR**	1000	NR**

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994

En este último muestreo, se recolectaron cuatro muestras de agua corriente correspondientes a los sitios de muestreo 2, 3, 4, 5 y 6.

De acuerdo a los resultados del análisis microbiológico mostrados en la tabla 31, el conteo de organismos mesófilos aerobios de los cinco sitios de muestreo hubo una variación significativa, resultando como valor máximo de 16000 UFC/ml recolectado en el sitio 4 y como valor mínimo de 0 UFC/ml en el punto de muestreo 6, siendo la única ocasión donde no se presentó crecimiento de mesófilos aerobios durante los 4 muestreos realizados. Asimismo, de acuerdo con los resultados del análisis de coliformes totales, la cuenta de este parámetro resultó que en los sitios de muestreo no hubo presencia de coliformes totales y que, por el contrario, en el sitio de muestreo 4 se obtuvo el valor máximo de coliformes totales de 2000 UFC/100 ml. También se observa en la tabla los valores resultantes de la cuenta de organismos coliformes fecales —organismo indicador de contaminación fecal— teniendo que en las cinco muestras de agua corriente no se detectaron presencia de organismos coliformes fecales.

Teniendo en cuenta los resultados del estudio microbiológico y haciendo una comparación con la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, el cual señala que el agua que sea destinada para uso y consumo humano no debe haber presencia de organismos coliformes totales ni organismos fecales, por lo que el agua recolectada en los sitios 5 y 6 son apropiadas, debido a que no hubo crecimiento de coliformes totales ni fecales y también que el número de mesófilos aerobios fue muy pequeño, indicador de buenas prácticas.

Respecto a las características físicas y organolépticas que presentaron las muestras de agua corriente recolectadas en el mes de noviembre, las cuales se muestran en la tabla 32, las cinco muestras de agua presentaron un olor y sabor agradable de acuerdo con la evaluación sensorial realizada, así también presentaron un color menor a cinco unidades de la escala de color Platino-Cobalto, estando por debajo del límite permisible de 20 unidades de la escala Pt-Co que indica la Norma Oficial Mexicana *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*. En cuanto a la turbiedad, los cinco sitios de muestreo cumplieron con lo que establece la norma anteriormente mencionada, la cual señala que el agua para uso y consumo humano no debe rebasar las 5 UTN.

Con base en los resultados obtenidos del análisis físico y organoléptico, el agua corriente recolectada en los puntos de muestreo 2, 3, 4, 5 y 6 en el mes de noviembre se encuentra dentro de las especificaciones señaladas por dicha norma (Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización). Haciendo énfasis que en el sitio 6 resultó con nulo crecimiento de organismos mesófilos aerobios, organismos coliformes totales y fecales.

Tabla 31 Contenido de microorganismos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de noviembre 2019 (agua corriente)

Punto de muestreo	Organismos Mesófilos Aerobios (UFC/ml)	Organismos Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Organismos Coliformes Fecales (UFC/100 ml)
1	-	-	-
2	3300	100	0
3	1200	1200	0
4	16000	2000	0
5	130	0	0
6	0	0	0
7	-	-	-
8	-	-	-
9	-	-	-
Límite permisible*	NR**	No detectables	No detectables

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 32 Características físicas y organolépticas del agua distribuida en el mes de noviembre 2019 en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca (agua corriente)

Punto de muestreo	Color (UPC)	Olor	Sabor	Turbiedad (UTN)
1	-	-	-	-
2	<5	Agradable	Agradable	1.29
3	<5	Agradable	Agradable	0.35
4	<5	Agradable	Agradable	2.5
5	<5	Agradable	Agradable	2.45
6	<5	Agradable	Agradable	3.82
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
Límite permisible*	20	Agradable	Agradable	5

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

Los resultados del análisis químico realizadas (Tabla 33) a las cinco muestras de agua corriente indican que los valores de pH determinados estuvieron dentro del rango que establece la Norma de 6.5 a 8.5 unidades de pH. De igual forma, la norma *Modificación a la Norma NOM-127-SSA1-1994*, señala que el agua para uso y consumo humano no debe rebasar el límite permisible de 500 mg/L de dureza, por lo que en los sitios donde se recolectaron las muestras cumplen con dicha norma. Por otro lado, solamente en los puntos de muestreo 5 y 6 están dentro del intervalo de concentración de cloro libre de 0.2-1.5 mg/, ya que en los otros puntos de muestreo no se detectaron cloro libre en las muestras. Los valores de sulfatos y cloruros en las cinco muestras de agua corriente están por debajo del límite permisible de 400 y 250 mg/L respectivamente. Asimismo, la norma establece que la concentración de sólidos disueltos debe ser como límite 1000 mg/L, por lo que, observando la Tabla 33, en los sitios de muestreo están por debajo de este valor.

Tabla 33 Constituyentes químicos en el agua distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca en el mes de noviembre 2019 (agua corriente)

Punto de muestreo	pH (unidades de pH)	Cloro libre (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	7.55	0	257	108	69	488	260	228
3	7.25	0	359	78	89	762	454	308
4	7.14	0	103	22	41	172	110	62
5	7.28	0.6	308	106	109	654	489	165
6	7.34	1	325	98	99	578	445	133
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-
Límite permisible*	6.5-8.5	0.2-1.5	500	400	250	NR**	1000	NR**

*Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización (D.O.F, 22 de noviembre de 2000).

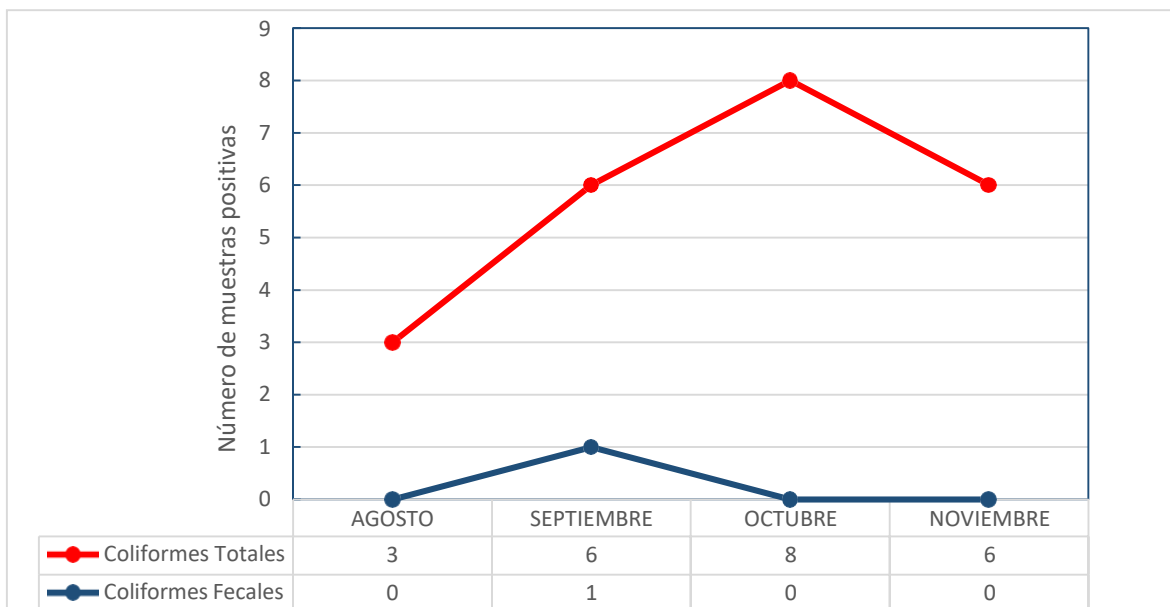
**No Requerido por la norma Modificación a la NOM-127-SSA1994

Para representar la magnitud de la problemática respecto a la calidad sanitaria del agua potable distribuida en la red municipal de Oaxaca de Juárez, Oaxaca se observan en las gráficas 1 y 2 el número de muestras que resultaron positivas de organismos coliformes totales y fecales en las muestras de agua almacenada y agua corriente, respectivamente, dentro del tiempo que comprendió el estudio.

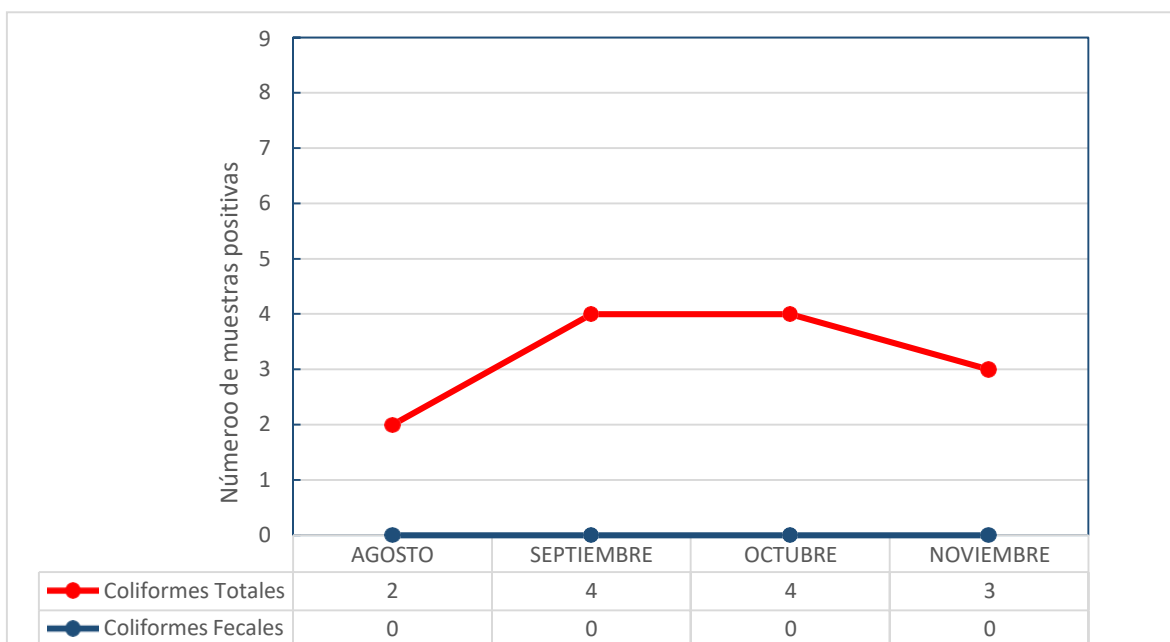
La MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 señala que el agua potable abastecida por el sistema de distribución no debe contener organismos coliformes totales ni organismos coliformes fecales. Los resultados del estudio realizado a las muestras de agua almacenada (gráfica 1) demuestra que hubo una alta prevalencia de coliformes totales en estas muestras, siendo en el mes de octubre donde 8 de los 9 sitios estudiados resultaron positivos. En tanto que, solamente en una ocasión se detectó presencia de organismos coliformes fecales en el mes de septiembre.

En los resultados de las muestras de agua corriente (gráfica 2) se observa que, como en el caso anterior, hubo presencia de organismos coliformes totales en los cuatro meses que se hizo el estudio, con máximos en los meses septiembre y octubre, cuando 4 de los 9 sitios presentaron resultados positivos. Por otra parte, todos los sitios de muestreo dieron resultados negativos a organismos coliformes fecales en los cuatro meses del estudio.

En resumen, los resultados mostrados en las gráficas 1 y 2 manifiestan claramente el riesgo sanitario que existe si la población del municipio de Oaxaca de Juárez consume el agua potable distribuida por la red municipal directamente. La recomendación que se puede dar ante esta situación es que se le dé tratamiento de ebullición antes de su ingesta.



Gráfica 1. Presencia de organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales en muestras de agua almacenada a lo largo el estudio.



Gráfica 2 Presencia de organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales en muestras de agua corriente a lo largo del estudio.

CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis microbiológicos que se realizaron al agua distribuida en el municipio de Oaxaca de Juárez en un periodo de cuatro meses en los nueve sitios de muestreo, permitieron revelar que hay una alta predominación de organismos coliformes totales, ya que en la mayoría de las muestras se detectaron presencia de estos microorganismos, aunque durante este periodo no se detectaron coliformes fecales, a excepción de una muestra en el mes de septiembre.

Existiendo también, una elevada prevalencia de organismos mesófilos aerobios, que, aunque para la norma en la que se basó para este proyecto no es un parámetro a considerar, fue un aspecto importante para el trabajo, debido a que fue un indicador de qué tan bueno es el tratamiento que le dan al agua, lo que quiere decir, que no hay un tratamiento adecuado de desinfección para reducir la carga microbiana.

En la determinación de pH, dureza total, sulfatos, cloruros, sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos se obtuvieron resultados aceptables y que cumplieron con los límites que la norma señala, lo que significa que el agua, refiriéndose al aspecto químico, sí recibe tratamientos apropiados, así como lo indica la norma, como intercambio iónico, osmosis inversa, coagulación y filtración. A excepción de que el agua correspondiente al sitio 9 siempre presentó concentraciones altas de cloruros, rebasando el límite establecido por la norma.

Haciendo énfasis, que lo único que no estuvo dentro del límite en el análisis químico fue la concentración de cloro libre. Solamente 10 muestras de las 57 con las que se trabajaron presentaron una concentración que está dentro del rango que la norma indica.

En las características físicas y organolépticas, todas las muestras siempre presentaron un olor y sabor agradable para los consumidores, un color aceptable, manteniéndose dentro de los límites permisibles. En cuanto a turbiedad, solamente 5 muestras de las 57 determinaciones realizadas presentaron una turbidez que excede el límite que establece la norma.

Resumiendo, todos los resultados de los análisis microbiológicos, físico, organolépticos y químicos realizados a las muestras recolectadas en los diferentes sitios de muestreo en el municipio de Oaxaca de Juárez, el agua distribuida en este municipio no cuenta con la calidad necesaria para ser de uso y consumo humano, debido a que no cumple con el

criterio de que no debe haber presencia de organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales, la norma que establece los parámetros de la calidad del agua es *Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someter el agua para su potabilización*. La presencia de estos organismos en el agua puede atribuir a la generación de enfermedades gastrointestinales en la población consumidora.

Y en general, en las características físicas, organolépticas y químicas el agua sí se considera apta para el uso y consumo humano guiándose de la *Modificación a la NOM-127-SSA1-1994*.

REFERENCIAS

- Agbar agua. (2003). *Agbar agua*. Obtenido de Sitio web de Agbar agua:
<http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>
- Agustín, A. M. (2018). *Calidad Sanitaria del agua potable de la red municipal de Salina Cruz, Oaxaca*. Oaxaca de Juárez: Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Alfaro, J. D., Cordero Castro, G., & Segura Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en marcha Vol. 30-4*, 15-27.
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos, Cuarta edición*. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Banús, M. d., & Bertrán, C. (Abril de 2010). *Elementalwatson "la" revista*. Obtenido de H2O Elixir de vida.
- Carbajal, Á., & González Fernández, M. (24 de 07 de 2013). *Capítulo 3: Propiedades y funciones biológicas del agua*. Obtenido de Sitio web de Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>
- Carvajal, A. L., Giraldo Gómez, G. I., & Gutiérrez Gallego, Á. A. (2010). *Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua*. Manizales, Colombia: Blanecolor Ltda.
- CEA. (15 de mayo de 2020). *CEA*. Obtenido de Sitio web de la Comisión Estatal del Agua: Comos un Organismo Público Descentralizado de la Administración Pública Paraestatal, encargada de planear, coordinar y ejecutar la construcción, ampliación, equipamiento, rehabilitación, mantenimiento, administración y operación de la infraestructura hidrá
- CEMDA. (2006). *Centro Virtual de Información del Agua*. Obtenido de Sitio web de Centro Virtual de Información del Agua: https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico_001.pdf
- Clara, M. R. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca el limón, San Jerónimo, Honduras*. Turrialba, Costa Rica.

- CONAGUA. (2011). *Usos del agua*. Obtenido de Usos del agua :
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_3.pdf
- CONAGUA. (2015). *Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua. Obtenido de
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera_agua_2015.pdf
- CONAGUA. (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada*. México: CONAGUA.
- CONAGUA. (04 de Abril de 2017). *Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de Sitio web de Comisión Nacional del Agua:
<https://www.gob.mx/conagua/es/articulos/que-es-una-planta-potabilizadora?idiom=es>
- CONAGUA. (2018). *CONAGUA*. Obtenido de Sitio web de la CONAGUA:
http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- Delgado, C. D. (2003). Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. En C. D. Delgado, *Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas* (págs. 155 - 167). México: RIPDA-CYTED.
- Díaz, J. P. (2013). *Importancia del agua*. Obtenido de
<https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>
- DIGEPO. (2017). *Radiografía demográfica del estado de Oaxaca*. Recuperado el 8 de mayo de 2020, de Sitio web de la Dirección General de Población del Estado de Oaxaca.:
http://www.digepo.oaxaca.gob.mx/recursos/publicaciones/radiografia_oaxaca_digepo_2017
- emagister. (S.f.). *emagister*. Obtenido de Sitio web de emagister:
https://www.emagister.com.mx/instituto_tecnologico_oaxaca-centrodetalles-52335.htm
- Facsa. (23 de Enero de 2017). *Facsa. Ciclo integral del agua*. Obtenido de Sitio web de Facsa. Ciclo integral del agua: <https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/>

- FEA. (2017). *AGUA EN EL PLANETA*. Obtenido de ¿Cuanta hay en el planeta?: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/#algunas-cifras-relevantes>
- FEA. (2019). *Día mundial del agua 2019*. Obtenido de Sitio web de Fondo para la comunicación y la educación ambiental.: <https://agua.org.mx/editoriales/dia-mundial-del-agua-2019/>
- FEA. (S.f.). *Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C.* Obtenido de Sitio web de Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C.: <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua/>
- Fraume, N. J. (2006). *Manual abecedario ecológico la mas completa guía de términos ambientales*. Bogotá, Colombia: Fundación hogares Juveniles campesinos.
- Galdos-Balzategui, A., Carmona de la Torre, J., Sánchez-Pérez, H. J., Morales-López, J. J., Torres-Dosal, A., & Gómez-Urbina, S. (2017). Evaluación cuantitativa del riesgo microbiológico por consumo de agua en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VIII(1), 133-153. Recuperado el 29 de Mayo de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353549831010>
- Galvín, R. M. (2003). *FISICOQUIMICA Y MICROBIOLOGÍA DE LOS MEDIOS ACUÁTICOS, Tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid, España: Diaz de Santos S.A.
- García, M., Sánchez, F. D., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., . . . Cortés, G. (S.f). *El agua*. Obtenido de El agua: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>
- Gleick, P. (2011). *Water resources*. In *Encyclopedia of Climate and Weather*. New York: S. H. Schneider, Oxford University Press.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. (2014). *Programa de Modernización del Sector Agua y Saneamiento del Estado de Oaxaca*. Oaxaca de Juárez: Gobierno del Estado de Oaxaca.
- Gómez, I. C. (2000). *Saneamiento ambiental*. Costa Rica : EUNED.
- Gutiérrez, M. A. (2006). *DUREZA EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO INDUSTRIAL, IMÁCTOS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN. ESTUDIO DE CASO: CHILE*. Santiago de Chile: Tesis de licenciatura. Universidad de Chile .

- Ignacio, L. (19 de septiembre de 2018). Fracaasa en Oaxaca programa para distribuir agua. *Periódico Noticias*.
- IMTA, I. M. (13 de Mayo de 2008). *Propiedades físicas del agua*. Obtenido de Atl, El portal del agua desde México:
http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=293:fisica&catid=72:ciencias-naturales&Itemid=480
- Mellado, J. M., & Marín Galvín, R. (1999). *Fisicoquímica de aguas*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2000). *Libro blanco del agua en España*. España: Centro de Publicaciones.
- Municipios de México. (1 de Enero de 2018). *Municipios de México*. Obtenido de Sitio web de Municipios de México: <https://www.los-municipios.mx/municipio-oaxaca-de-juarez.html>
- National Geographic. (06 de 07 de 2011). *MEDIO AMBIENTE. Agua dulce*. Obtenido de Sitio web de National Geographic:
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/agua-dulce>
- OMS. (1998). *Guías para la calidad del agua potable. Volumen 3 Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad*. Ginebra: OMS.
- OMS. (2014). *Agua, saneamiento y salud (ASS)*. Obtenido de Sitio web de Organización Mundial de la Salud:
https://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/
- OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda, 4a ed + 1a adenda*. Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2019). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Sitio web de Organización Mundial de la Salud:
https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/es/
- ONUAA. (1996). *ECOLOGÍA Y ENSEÑANZA RURAL, Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Roma, Italia: FAO.
- Orellana, J. A. (2005). *Ingeniería Sanitaria*. Santiago: Universitaria S.A. Obtenido de

- https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf
- OSSE. (2017). *Obras Sanitarias Sociedad del Estado San Juan, Argentina*.
Obtenido de Sitio web del Gobierno de San Juan:
<http://ossesanjuan.com.ar/v2/institucional/proceso-de-potabilizacion/>
- Piña, D. I. (2016). *Universidad Autónoma del Estado de México*. . Obtenido de Sitio web de la Universidad Autónoma del Estado de México.:
<http://www.scielo.org.mx/pdf/esprial/v24n68/1665-0565-esprial-24-68-00079.pdf>
- Press, O. U. (2000). *Diccionario de ciencias* . Madrid, España: COMPLUTENSE.
- Ramalho, R. S. (2003). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Quebec, Canada: Reverté, S.A.
- Ramírez Amaya, J. D. (2011). *Estudio microbiológico del agua para uso y consumo humano en el municipio de Oaxaca de Juárez*. Oaxaca de Juárez: Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Santafé, M. F. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos*.
- SAPAO. (2017). *SAPAO*. Recuperado el 14 de mayo de 2020, de Sitio web de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Oaxaca.:
<https://www.oaxaca.gob.mx/sapao>
- SCFI. (01 de Enero de 2001). Análisis de agua - Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-036-1980). *Diario Oficial de la Federación*.
- SCFI. (13 de Agosto de 2001). Análisis de agua - Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela la NMX-AA-073-1981). *Diario Oficial de la Federación*.
- SEMARNAT. (2012). *Agua*. Obtenido de Agua:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap6_agua.pdf
- SEMARNAT. (2012). *INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO*. Obtenido de DISPONIBILIDAD DEL AGUA:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_2.html

- SEMARNAT. (S.f). *Agua*. Obtenido de Agua:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6_Agua.pdf
- SENA. (1999). *Calidad del agua*. Bogotá.
- Sierra, C. A., Castillo Bertel, M. E., & Acevedo Barrios, R. L. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Cartagena de Indias, Colombia: Publicaciones eumed.net.
- SSA. (16 de Diciembre de 1999). Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*.
- SSA. (22 de noviembre de 2000). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". *Diario Oficial de la Federación*, págs. 73-79.
- Toledo, A. (2006). *Agua, hombre y paisaje*. México.
- Tovar, O. G. (2015). *Índices de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico: caso valle de San Luis Potosí*. San Luis Potosí: Instituto Potosino de investigación científica y tecnológica, A.C.
- UNESCO . (2019). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. París, Francia: UNESCO.
- Valenzuela, L. C. (S.f). *La química del agua*. Obtenido de La química del agua:
http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/File/la_quimica_del_agua.pdf
- Vega Franco, L., & Iñarritu Pérez, M. (2010). *Fundamentos de nutrición y dietética*. Ciudad de México: Pearson Educación de México.
- WHO. (14 de junio de 2019). *Drinking Wter*. Obtenido de Sitio web de WHO:
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>