



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Instituto de ciencias

Posgrado en ciencias ambientales

*“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”*



CALIDAD DEL AGUA COMO DETERMINANTE AMBIENTAL DE SALUD EN  
TETELA DEL VOLCÁN MORELOS

Tesis

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**Tania Verónica Galindo Mendoza**

Directora de tesis

**Dra. Edith Chávez Bravo**

Noviembre 2024





BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Instituto de ciencias

Posgrado en ciencias ambientales

*“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”*



CALIDAD DEL AGUA COMO DETERMINANTE AMBIENTAL DE SALUD EN  
TETELA DEL VOLCÁN MORELOS

Tesis

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

Tania Verónica Galindo Mendoza

Comité tutorial:

Director	Dra. Edith Chávez Bravo
Tutor	Dra. Fabiola Avelino Flores
Integrante comité tutorial	Dra. Claudia Rivera Hernández
Integrante comité tutorial	Dra. Laura Morales Lara
Integrante comité tutorial	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega

Noviembre 2024

## Agradecimientos

Agradezco a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Eje IV modelo de investigación abierta y compartida. Objetivo 13. Formar recursos humanos que impactan positivamente el contexto social y científico como consecuencia de su accionar en el plan de desarrollo institucional 2021-2025.

Agradezco al CONAHCYT por la beca otorgada para llevar a cabo los estudios de maestría y la investigación realizada en esta tesis, A la BUAP por el espacio, el apoyo y el recibimiento para lograr alcanzar este grado de estudios y seguir superándome académicamente. Al ICUAP por los espacios en los laboratorios por los apoyos económicos y los grandes conocimientos compartidos por medio de sus académicos. Al posgrado en ciencias ambientales por recibirme, por darme la oportunidad de aprender siempre cosas nuevas y por todo el apoyo recibido.

A la Dra. Edith por ser mas que mi directora de tesis, siempre una amiga, una consejera, un ejemplo a seguir. Por su paciencia y dedicación hacia conmigo por todo su trabajo y horas de esfuerzo y por permanecer en mi vida, muchas gracias. A mi familia mi mamá por siempre impulsarme y apoyarme a seguir adelante y darme por vencida, por todo, gracias. Mis hermanos, papá y sobrina por siempre estar para mí y apoyarme. Mi casi esposo Carlos por siempre respetar mis decisiones y apoyarme en todo lo que puede, que siga siendo así, gracias. A ti mi bebé por soportar el estrés y crecer sano y fuerte.

Mis compañeros de laboratorio por sus conocimientos compartidos y los recuerdos contruidos.

A todos mis amigos por apoyarme por darme siempre ánimos.

¡A Dios y todos muchas gracias!

## Contenido

Índice figuras .....	7
Índice tablas.....	8
Índice graficas .....	9
I. INTRODUCCIÓN .....	10
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
III. JUSTIFICACIÓN.....	11
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	12
V. OBJETIVOS .....	12
VI. HIPÓTESIS .....	13
VII. MARCO TEÓRICO .....	13
1. DETERMINANTES SOCIALES DE LA SALUD.....	13
1.1 Determinantes ambientales .....	14
2. CALIDAD DEL AGUA .....	15
2.1 Mortalidad y morbilidad causada por enfermedades de origen hídrico .....	17
2.2 Enfermedades bacterianas transmitidas por el agua .....	17
2.3 Indicadores microbiológicos de la calidad del agua .....	18
3. PATÓGENOS CAUSANTES DE ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO .....	18
3.1 <i>Enterobacter spp.</i> .....	19
3.2 <i>Escherichia coli</i> .....	20
3.3 <i>Salmonella sp.</i> .....	20
3.4 <i>Shigella sp.</i> .....	21
4. METALES PESADOS EN EL AGUA.....	22
4.1 Plomo.....	22
4.2 Cadmio.....	23

4.3 Arsénico .....	24
5. NORMAS OFICIALES MEXICANAS QUE DETERMINAN LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA .....	24
6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE TETELA DEL VOLCÁN .....	24
6.1 Características generales de la población .....	25
6.2 Características generales de la localidad .....	26
VIII. DIAGRAMA DE TRABAJO .....	28
IX. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	29
9.1 Reconocimiento e identificación del uso y reúso de las diferentes fuentes de agua en la comunidad de Tetela del Volcán.....	29
9.2 Identificación de los registros de la frecuencia de enfermedades debidas a la contaminación del agua, en la población de Tetela del volcán.....	30
9.3 Normativas para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que determinan la calidad de los diferentes cuerpos hídricos para uso y reúso de la población. ....	30
9.3.1 Determinación de la calidad fisicoquímica de las muestras de agua .....	31
9.3.2 Determinación de la calidad microbiológica en las muestras de agua .....	31
9.4 Identificación de la aplicación de normas y políticas públicas que mantienen la sanidad del agua en la población de estudio. ....	32
X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
10.1 Características hidrológicas de Tetela del Volcán: .....	33
10.1.1 Selección y georreferenciación de los sitios de muestreo electos.....	34
10.2 Descripción áreas seleccionadas para la toma de muestras de agua .....	35
10.3 Enfermedades debidas a la contaminación del agua en la población .....	41
10.4 Determinación de la calidad microbiológica de las muestras de agua .....	47

10.4.1 Determinación de los parámetros para la calidad microbiológica en las muestras de Agua potable .....	48
10.4.2 Determinación de los parámetros para la calidad microbiológica en las muestras de Agua residual .....	50
10.4.3 Aislamiento e Identificación de bacterias de interés clínico en las muestras de agua .....	51
10.5 Determinación de la calidad fisicoquímica de los cuerpos hídricos.....	52
10.5.1 Determinación de los Parámetros para la calidad fisicoquímica en las muestras de Agua potable .....	52
10.5.2 Determinación de los Parámetros para la calidad fisicoquímica en las muestras de Agua Residual .....	54
10.6 Determinación de especificaciones sanitarias de metales y metaloides .....	55
10.6.1 Determinación de los Parámetros para la determinación de metales pesados en las muestras de Agua potabl .....	55
Los resultados de la determinación de metales pesados (Cu, Zn, Ni, cd, Pb, Co, Fe, Cr, As y Hg) en dos puntos de muestro del agua potable, dichos valores se compararon con la norma 127. Tras el análisis de los valores obtenidos, se observa que en la muestra del P6 el Ni sobrepasa el LMP de 0.07, al igual que el Cd con 0.009 con LMP de 0.005, el Pb con 0.08 y LMP de 0.01. En el P7 también se sobrepasa el LMP del Ni de 0.07 con 0.19 y el Pb con 0.1 siendo el LMP 0.01 el establecido en norma (Tabla 7).....	55
10.6.2 Determinación de los Parámetros para la determinación de metales pesados en las muestras de Agua Residual .....	56
10.7 Conocer la aplicación de normas y de políticas públicas, que mantienen la sanidad del agua en la población de estudio.....	57
10.7.1 Red agua potable.....	58
XI. CONCLUSIONES.....	66

XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
Anexo 1 .....	73
5.1 Especificas para agua potable .....	73
5.2 Especificas para aguas residuales y procedimentales .....	73

## Índice figuras

Figura 1 Determinantes sociales de la salud. ....	14
Figura 2 Objetivos agenda 2030 relacionados con la salud y el agua (OPS, Determinantes ambientales de salud, datos clave, 2018). ....	15
Figura 3 Tasa de morbilidad atribuible a enfermedades de origen hídrico. (Conapo, 2018)....	17
Figura 4 Mapa de situación geográfica de Tetela del volcán en el estado de Morelos. (Hacienda., 2010) .....	25
Figura 5 Escudo del municipio de Tetela del Volcán.....	25
Figura 6 Ubicación geográfica Tetela del volcán. Obtenido de: secretaria de Hacienda, INEGI.....	27
Figura 7 Mapa hidrológico de Tetela del Volcán, con los depósitos de y con la división de subsistemas. ....	30
Figura 8 Único mapa de cuencas correspondientes al municipio, encontradas en el ayuntamiento de la localidad .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 9 Mapa de localización de tanques y división de subsistemas de manantiales.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 10 Zona de distribución de agua potable en la localidad..	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 11 Fotografías recorrido en zona de muestreo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 12 Fotografías, zonas de muestreo Fuente: Propia. ....	40
Figura 13 Mapa de Zona de estudio con puntos de muestreo. Fuente: INEGI 2019. Elaboración propia Tania V. Galindo M. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 14 Pruebas presuntivas con inculo de muestra después de 24hrs, sin crecimiento en medio por lo que muestra resultados negativos para CT y E. coli.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Figura 15 identificación de Salmonella gallinarum en medio XLD a la izquierda y Aislamiento de Salmonella gallinarum en medio selectivo S-S a la derecha. ....	51
Figura 16 Pruebas bioquímicas para identificación de bacterias y aislamiento en medio selectivo.....	52
Figura 17 Sistema de operación interna del agua potable en Tetela del volcán.¡Error! Marcador no definido.	
Figura 18 Regulación interna del sistema de la PTAR.....	64

### Índice tablas

Tabla 1 Normas Oficiales Mexicanas que se consideraron para la determinación de los parámetros fitoquímicos y microbiológicos dependiendo el tipo de agua.....	31
Tabla 2 Georreferenciación de los puntos de muestreo en la zona de Tetela del Volcán. ....	41
Tabla 3 Medición de especificaciones sanitarias microbiológicas, en ocho puntos de muestreo de agua potable en la zona de Tetela del Volcán.....	48
Tabla 4 Medición de especificaciones sanitarias microbiológicas, en dos puntos de muestreo de agua residual en la zona de Tetela del Volcán. ....	50
Tabla 5 Registro de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los puntos de muestreo de agua potable de la zona de Tetela del Volcán. ....	53
Tabla 6 Registro de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en dos puntos de muestreo de agua residual en la planta de tratamiento de aguas residuales en la zona de Tetela del Volcán. ....	54
Tabla 7 Medición de especificaciones sanitarias de metales y metaloides, en tres puntos de muestreo de agua potable en la zona de Tetela del Volcán.....	55
Tabla 8 Registro de las especificaciones sanitarias de metales y metaloides, en dos puntos de muestreo de agua potable en la zona de Tetela del Volcán.....	57

## Índice graficas

Gráfica 1 Graficas respuestas datos generales de la población encuestada. ....	44
Gráfica 2 Servicios básicos con los que cuenta la población encuestada. ....	45
Gráfica 3 Percepción organoléptica del agua por los entrevistados .....	45
Gráfica 4 Graficas consumo y uso del agua por la población .....	46
Gráfica 5 Conocimiento de la población sobre EDA .....	47
Gráfica 6 Temas relacionados con el agua potable .....	47
Gráfica 7 Enfermedades comunes en la población de Tetela del Volcán. ....	61
Gráfica 8 Principales causas percibidas por el personal médico para la transmisión de EDA. .....	62
Gráfica 9 Estación del año con mayor incidencia de EDA.....	62

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para el uso y consumo humano, su disponibilidad y buena calidad es primordial, ya que se utiliza en todas las actividades agrícolas, domésticas e industriales. Sin embargo, el aumento de la urbanización, la industrialización y desecho de productos, han incorporado diversas sustancias que han dañado la calidad del recurso hídrico. Ciertas sustancias por su existencia y permanencia en el agua se han denominado contaminantes, ya que estos, por su acumulación van deteriorando la calidad del agua, el ecosistema y por consiguiente va causando complicaciones en la salud de los seres humanos. A nivel mundial, hay al menos 2000 millones de personas que utilizan una fuente de agua contaminada para consumo humano. Sin embargo, para garantizar la salud pública es necesario contar con agua salubre y de fácil acceso, ya que para su consumo, uso doméstico y producción de alimentos debe ir libre de contaminantes físicos, químicos o biológicos, como es el caso de microorganismos patógenos. Cuando el agua tiene un saneamiento deficiente se convierte en fuente de adquisición de infecciones o enfermedades. Se calcula, que a nivel mundial 829 000 personas mueren cada año, de ellos 297 000 son menores de cinco años que fallecen por consecuencia de la insalubridad del agua, insuficiente saneamiento o una mala higiene de manos.

En México, las enfermedades más comunes transmitidas por agua son: diarreas, amebiasis, cólera, hepatitis, salmonelosis, shigelosis y gastroenteritis viral. De ellas, las enfermedades diarreicas ocupan el quinto lugar como causa de mortalidad infantil en menores de 5 años. Conforme al informe de la dirección general de epidemiología, hasta el 2022 se registraron 192,780 casos de diarrea, lo que representa un incremento del 4.7% en el reporte de casos de enfermedades diarreicas agudas (EDA).

Las estadísticas de servicios de salud reportan que Tetela del Volcán, Morelos tiene como segunda causa de morbilidad las enfermedades gastrointestinales con 949 casos diferentes, por lo que, este estudio evaluará la calidad fisicoquímica y microbiológica de diferentes fuentes de agua que utiliza y consume la población, de manera que se pueda aportar información para el cuidado y la atención del saneamiento del recurso hídrico, garantizando la salud de la población.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad del agua es necesaria para el consumo, uso y reúso del ser humano, la presencia de contaminantes químicos, físicos y biológicos permitirá su utilidad, sin embargo, los contaminantes biológicos están implicados en alterar la salud en un tiempo inmediato. De acuerdo con la OMS, millones de personas utilizan una fuente de agua contaminada con heces para su consumo, lo que supone el mayor riesgo en cuanto a salubridad y transmisión de enfermedades. En países en vías de desarrollo como el nuestro, se ha reportado que en centros de salud solo el 50% de la población cuenta con servicios básicos de agua potable, el 37% con servicios de saneamiento y el 30% con servicios de gestión de residuos.

El agua contaminada por patógenos puede transmitir diversas enfermedades como: diarrea, cólera, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. La diarrea es causante de 485 000 muertes por año (OMS, 2022) y los principales agentes causales son virus y bacterias que entran al organismo a través de la ingesta de agua o alimentos contaminados. En el caso de enfermedades bacterianas causan discapacidad persistente a millones de personas cada año, entre los patógenos más comunes que provocan consecuencias graves o mortales son: *Salmonella* y *Escherichia coli* diarrogénica.

Actualmente en el municipio de Tetela del Volcán del estado de Morelos, se tiene como segunda causa de morbilidad las infecciones intestinales (D. R. Servicios de Salud de Morelos., 2018), por lo que, es imprescindible estudiar la calidad de diferentes fuentes de agua (potable y residual), así como identificar las políticas internas y el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas para el uso y reúso del agua en la población de Tetela del Volcán.

## III. JUSTIFICACIÓN

Dependiendo del uso o consumo del agua, su calidad está definida por sus características físicas, químicas y biológicas. La alteración de su calidad está determinada por diversos factores tanto naturales como antrópicos, poniendo en riesgo los servicios ecosistémicos (abastecimiento del agua potable, riego, consumo animal, recreación y purificación) y la salud ambiental y de la población humana.

La comunidad internacional estableció una meta específica relacionada con el agua; en el objetivo 6 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, donde se menciona *“Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” poner fin a las epidemias [...] las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles*” (ONU, 2015). Por lo que, la OMS fomenta la reducción de las enfermedades transmitidas por el agua por medio de su potabilización a nivel de viviendas, mediante publicaciones de la Red Internacional para la promoción del tratamiento y el almacenamiento seguro del agua doméstica (OMS, 2007).

Dentro del municipio de Tetela del Volcán, Morelos se encuentran tres manantiales que abastecen la red de agua potable para la población del municipio, también cuenta con una planta de tratamiento de agua residual doméstica, que proporciona el agua tratada a cultivos de la región. Sabiendo esto, y aunado a las estadísticas de infecciones intestinales de la población, se hace necesario evaluar la calidad hidrológica de diferentes fuentes que suministran a la población, dar a conocer los principales contaminantes físicos, químicos y biológicos que puedan afectar a la población, así mismo incursionar con el manejo adecuado de normas y políticas internas en la gestión del agua potable y residual. Por otro lado, este estudio generará información valiosa para el desarrollo de planes de mejora para la calidad de agua a corto o largo plazo.

#### IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué calidad tiene el agua de los diferentes orígenes que utiliza y consume la población de Tetela del Volcán?

¿Qué afectaciones o beneficios existirán en la salud de la población, debido al uso y consumo del recurso hídrico?

#### V. OBJETIVOS

##### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua como determinante ambiental de salud en la población de Tetela del Volcán, Morelos.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Registrar las características geográficas y físicas de las diferentes fuentes de agua de la localidad de Tetela del Volcán.
2. Determinar la frecuencia de enfermedades debidas a la contaminación del agua, en la población de Tetela del volcán
3. Determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica de los diferentes cuerpos naturales de agua y con saneamiento utilizados por la población.
4. Identificar la organización de políticas públicas y la aplicación de normas que mantienen la sanidad del agua en la población de estudio.

## VI. HIPÓTESIS

La buena calidad microbiológica y fisicoquímica de los cuerpos hídricos en el municipio de Tetela del Volcán garantizan la gestión sostenible, el saneamiento y la disponibilidad del recurso, por lo que, benefician la salud de la población.

## VII. MARCO TEÓRICO

### 1. DETERMINANTES SOCIALES DE LA SALUD

La salud humana no es solo un asunto de genética y estilo de vida de un individuo, existen diversas circunstancias adicionales que influyen en la salud y que están fuera de un control individual, este conjunto de circunstancias conforma los determinantes sociales de la salud (DSS) que influyen en nuestro bienestar, desde donde nacemos, como crecemos, vivimos y trabajamos, que sistemas salud y políticas públicas existen en lugar de origen hasta un nivel internacional (Fig. 1). Los factores sociales que inciden en la salud de las personas y de las poblaciones son responsables, de desigualdades, la forma en que se organiza la asistencia y los cuidados médicos son también en última instancia dependientes de factores sociales de tipo institucional, organizativo, financiero o tecnológico (Lerma Añón Carlos, 2021).

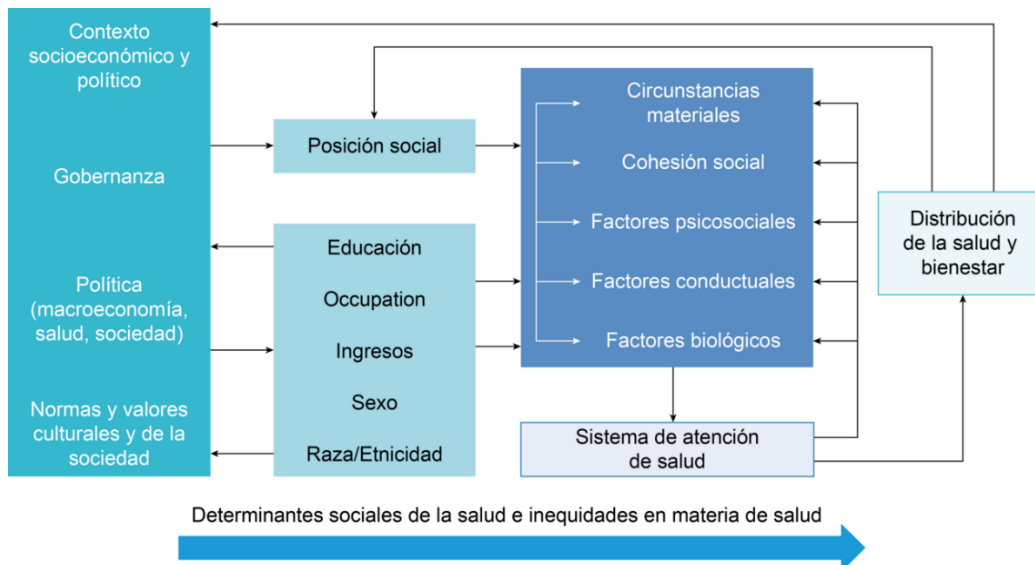


Figura 1 Determinantes sociales de la salud. Fuente: OPS, *Determinantes sociales de la salud*, 2009.

Los determinantes sociales de la salud se relacionan con aquellos factores concernientes con la responsabilidad multisectorial del estado: económicos, sociales y políticos, además con factores ambientales, estilos de vida y los relacionados con aspectos genéticos y biológicos de la población y por último, con los servicios de salud que se brinda a las poblaciones. (Villar Aguirre Manuel, 2011).

### 1.1 Factores ambientales que determinan la salud

En el medio ambiente se identifican los factores que afectan al entorno del hombre y que influyen decisivamente en su salud, por lo que, las condiciones ambientales saludables garantizan una vida sana y promueven el bienestar. Los determinantes ambientales de salud son factores relacionados con los factores físicos, químicos y biológicos de la naturaleza como: la disponibilidad y calidad del agua, suelo y aire, el saneamiento, la gestión de residuos sólidos, la higiene, exposición a químicos, planificación urbana, entre otros. Estos determinantes ambientales pueden llegar a afectar la salud de un individuo o toda una población, de forma directa causando enfermedades (gastrointestinales, respiratorias, cardiovasculares, etc.) o de forma indirecta como: la disponibilidad de alimentos y agua. Los determinantes ambientales van provocando cambios a diferentes niveles, hasta llegar a provocar un cambio climático (Acebedo, 2013). Por lo que, es importante resaltar que estos determinantes no actúan de

forma aislada, estos, están interrelacionados con otros factores como el estilo de vida, las condiciones socioeconómicas y el acceso a servicios de salud, esta complejidad de los determinantes ambientales requieren un enfoque multidisciplinario para abordar los problemas de salud pública que están relacionados con el ambiente.

La OPS y la OMS han reportado que el 13 % de las muertes en las Américas es atribuible a los determinantes ambientales, la atención a esta problemática se sustenta en los objetivos 3, 6 y 13 del Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, donde abordan los determinantes ambientales y contribuyen directa e indirectamente en la “salud”. Dichos objetivos abordan los temas de agua, saneamiento e higiene, calidad del aire, seguridad química, y acción por el clima. (Fig. 2) (Organización Panamericana de la salud, 2010).



Figura 2 Objetivos agenda 2030 relacionados con la salud y el agua. Fuente: OPS, Determinantes ambientales de salud, datos clave, 2018.

## 2. CALIDAD DEL AGUA

El agua es primordial para la vida y las poblaciones humanas deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, seguro y accesible). La calidad del agua, de acuerdo a la OMS es aquella que tiene las condiciones y características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser ocupada por los procesos humanos. Dicha calidad se determina cuando se comparan sus características con las directrices internacionales y/o estándares normatizados de cada región o país y dependiendo de ello se asociará su uso o consumo humano (ONU- agua 2021).

Cada vez existe mayor preocupación por el deterioro de la calidad de agua, debido a la expansión demográfica, las actividades industriales y agrícolas, a tal grado de alterar el ciclo

hidrológico, por lo que, la OMS ha implementado iniciativas, estrategias y directrices para destacar la importancia y el cuidado de la calidad del recurso hídrico, desde su fuente hasta su distribución y reutilización (Corrales-Ramírez Lucia, 2021)

Para determinar si el agua está contaminada o si es apta para consumo humano y/o utilizarla en la preparación de alimentos, es necesario comprender la dinámica social debido a la importancia que tiene el agua en la calidad de vida de las personas, desde una perspectiva de la salud pública. Es imprescindible valorar su existencia, contribuir en mantenerlo en óptima condición a través del monitoreo efectivo de la calidad de agua, siendo elemental para tal fin, con la medición de valores físico-biológico-químicos, se podrá demostrar la presencia de contaminantes, coliformes y sedimentos. En caso del agua de ríos y manantiales se establece un suministro importante para el consumo humano y el riego de cultivo, por lo que es de suma importancia la educación ambiental sostenible de una población, debido a que pueden realizar acciones favorables en la preservación del recurso (Herrera-Morales Greys, 2022).

El agua potable contaminada conlleva a la aparición de enfermedades infecciosas, por la ingesta de microorganismos patógenos, la contaminación de esta se puede darse de diferentes formas: por el consumo directo, por alimentos, por contaminación química o contacto con fómites o excretas de humanos y animales, en cualquier caso, generan consecuencias para la salud en el humano. Las aguas destinadas al consumo humano deben cumplir con ciertos parámetros regulados en cuanto a su composición química, sus propiedades físicas y bacteriológicas. La aplicación de los índices de calidad del agua (ICA) facilita evaluar de manera sencilla la potabilidad del agua. El ICA aclara en un valor numérico, el cumulo de información disponible sobre la calidad del agua (Crespo, 2022).

La OMS ha promulgado guías para la calidad del agua de consumo humano por lo que son una herramienta adecuada para considerar si el agua es adecuada para consumo humano y/o para uso doméstico habitual. También, es indispensable que el agua que se consume en las viviendas cuente con las características apropiadas definidas en el decreto 2115 del 2007. La mayoría de las enfermedades transmitidas por agua que prevalecen en los países en desarrollo, donde el abastecimiento de agua y el saneamiento son ineficaces, son acusas por bacterias, virus, helmintos y amebas. (Corrales-Ramírez Lucia, 2021).

## 2.1 Mortalidad y morbilidad causada por enfermedades de origen hídrico

Las enfermedades debidas al agua insalubre y bajo saneamiento son causa importante de morbilidad y mortalidad infantil, principalmente en países en vías de desarrollo. Algunas de las enfermedades que sobresalen son: colera, diarrea, disentería, fiebre tifoidea, hepatitis A e intoxicación. Las enfermedades diarreicas representan el 3.6% de la morbilidad mundial y son causa de 1.5 millones de defunciones cada año y se estima que el 58% de estas muertes es atribuible al agua contaminada, saneamiento inadecuado y malos hábitos higiénicos. En México la tasa de morbilidad está representada en miles de casos por 100 000 habitantes, siendo las principales enfermedades: la amebiasis intestinal, ascariasis, cólera, fiebre, desnutrición, fiebre tifoidea, hepatitis vírica A entre otras (fig. 3) (SEMARNAT, 2016).

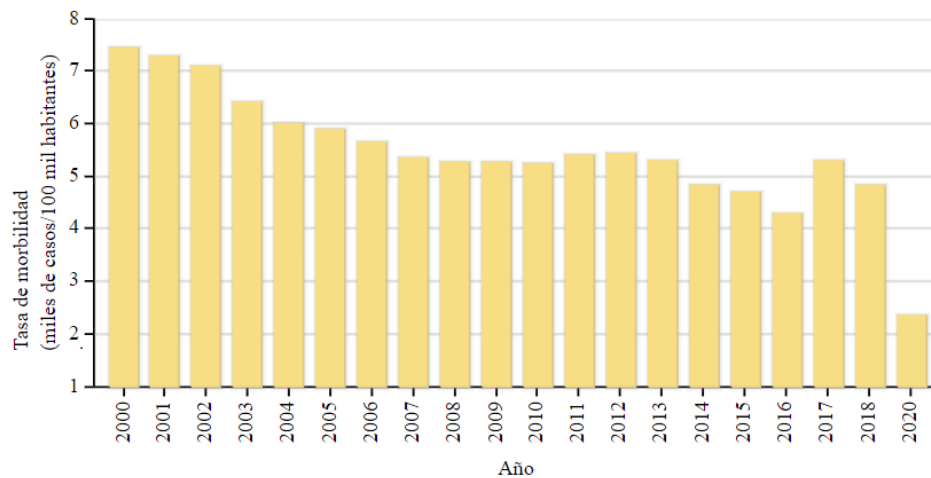


Figura 3 Tasa de morbilidad debido a enfermedades de origen hídrico. Fuente: (Conapo, 2018).

## 2.2 Enfermedades bacterianas transmitidas por el agua

Existen diversos reportes a nivel mundial de enfermedades relacionadas con la calidad del agua, principalmente por deficiencias en el tratamiento o por la pérdida de la integridad de la red de distribución del agua. La mayoría de estos estudios están enfocados en el hallazgo de patógenos, sin darle mayor importancia al entorno que los rodea, incluyendo variables fisicoquímicas, meteorológicas, socioeconómicas, entre otras, que podrían favorecer su prevalencia. Los indicadores bacterianos simbolizan una herramienta fiable en la evaluación

de la calidad del agua, cada indicador biológico puede determinar si la contaminación es reciente o antigua. (Corrales-Ramírez Lucia, 2021, (Sanguino-Jorquera, 2024). Las principales bacterias que se transmiten a través del agua son: *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni* (Marlen, 2014). La infección que provoca cada patógeno es variado, en ocasiones puede ser asintomático, causar trastornos leves o manifestarse con cuadros más severos acompañadas de deshidratación y muerte. (Córdoba, Del Coco, & Basualdo, 2010). En países en desarrollo, las enfermedades causadas por estos patógenos son motivo de muerte prematura, ya que la población no tiene fácil acceso a atención médica y consumen agua insalubre. Normalmente estos patógenos llegan al agua por heces fecales y otros restos orgánicos, a ello se suma la presencia de minerales y desechos tóxicos provenientes de abonos y fertilizantes que inducen sintomatologías graves como daños al hígado, sistema nervioso y úlceras gástricas. (Ramos-Manchero, 2024).

### 2.3 Indicadores microbiológicos de la calidad del agua

Los indicadores microbiológicos determinan la presencia de cambios físicos o químicos (pH, temperatura, entre otros) que pueden alterar un ecosistema y revelan la existencia de patógenos. Estos bioindicadores deben cumplir requerimientos: estar ausentes en agua no contaminada y mantener una correlación con patógenos, en mayor proporción, de ser de fácil y rápido aislamiento, cuantificable y tener criterios microbiológicos comunes a nivel internacional, debe hallarse de forma constante en heces y estar asociados a aguas residuales. Los indicadores microbiológicos de contaminación del agua ordinariamente han sido bacterias del microbioma intestinal, como *Bacteroides fragilis*, bacterias mesófilas, coliformes totales, y fecales [termo tolerantes], *Escherichia coli* y *streptococos* fecales. (Ríos-Tobón & Ruth M. Agudelo-Cadavid, 2017).

## 3. PATÓGENOS CAUSANTES DE ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO

La contaminación del agua potable es un problema que, cada vez se incrementa en regiones con mayor densidad poblacional o en zonas sin disponibilidad de recurso. Las excretas son el

principal contaminante del recurso hídrico, debido a que, dicha contaminación conlleva la presencia de patógenos causantes de enfermedades entéricas, estos se originan en el tracto intestinal y se eliminan por excretas; es por esta razón que la infección resulta del contacto directo entre material fecal mano-boca de una persona (C. Apella María, 2005). Otra forma de contaminación del agua puede ser en su distribución o en los depósitos de almacenamiento, ya que se ha comprobado que la contaminación en los tanques destinados para la distribución del agua potable a la comunidad, es un factor importante en la transmisión de enfermedades diarreicas; aunado si están mal cubiertos, mal lavados o si los utensilios o manos del operador están contaminados y entran en contacto con el agua. Los microorganismos indicadores de la calidad del agua son: coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos, entre otros (Silva, 2004).

Dentro del grupo de microorganismos patógenos se destacan algunos debido a la facilidad de encontrarlos en los alimentos o el medio ambiente, así como los efectos que causan dentro del cuerpo humano los cuales pueden ser desde una diarrea común hasta la muerte, entre ellos se encuentran las *enterobacterias*, *Salmonella*, *Shigella* y *E. coli*.

### 3.1 *Enterobacter spp.*

*Enterobacter spp.* son bacilos gram (-) pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, son anaerobios facultativos, miden de 0.6-1  $\mu\text{m}$  de diámetro y 1.2-3  $\mu\text{m}$  de longitud, tienen flagelos y fimbrias de clase 1. Dicho patógeno, causa numerosas infecciones como: abscesos cerebrales, septicemia neumonía, meningitis, infecciones del tracto urinario e infecciones intestinales/de la cavidad abdominal. En los últimos años, se ha catalogado como una de las principales etiologías de bacteriemia intrahospitalaria y es causante de infecciones en unidades de cuidados intensivos, además ha desarrollado resistencia a los antibióticos como las carbapenemasas, en ciertos casos, ceftazidima/avibactam, meropenem/ vaborbactam, imipenem/relebactam, tigeciclina y eravaciclina, lo que reduce las opciones de tratamiento, posiblemente colistina puede ser una opción de tratamiento disponible. (Guevara-Díaz José Alberto, 2021).

*Enterobacter spp.* están asociados con varios reservorios ambientales como el agua, el suelo, las plantas (donde actúan como endófitos y en ocasiones se consideran fitopatógenos para

varias especies de plantas) y se consideran comensales naturales del tracto gastrointestinal humano y animal. Si bien se han detectado varias cepas de ESKAPE en aguas ambientales, la contaminación de alimentos por patógenos entéricos como *Enterobacter* spp. también puede ocurrir si se utilizan aguas residuales o agua contaminada para fertilizar los suelos agrícolas, o si los cultivos se riegan con fuentes de agua sin tratar (Denissen Julia, 2022).

### 3.2 *Escherichia coli*

*Escherichia coli* o *E. coli* es un bacilo Gram negativo de la familia *Enterobacteriaceae* y del clan *Escherichia*, es un anaerobio facultativo del microbiota intestinal del ser humano, coloniza el tracto intestinal de los recién nacidos dentro de sus primeras horas y permanece ahí durante toda la vida en simbiosis con su huésped, en donde participa en el control fisiológico. (Vidal Graniel, 2006).

Existen bacterias patógenas de *E. coli* que pueden encontrarse en las superficies de las mucosas o logran diseminarse por todo el cuerpo. Las cepas de *E. coli* diarreogénicas, incluyen varios patógenos emergentes de importancia para la salud pública mundial, en la última década se ha avanzado el estudio de algunas cepas de *E. coli* las cuales afectan a los seres humanos e incluyen, *E. coli* entero patógena (EPEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC) y *E. coli* entero agregativa (EAEC)). Tras la infección de estas cepas patógenas se derivan tres síndromes clínicos: (i) infección del tracto urinario, (ii) sepsis/meningitis y (iii) enfermedad entérica/diarreica (Nataro J.P. & Kaper, 1998).

### 3.3 *Salmonella* sp.

La especie *Salmonella* entérica es extremadamente diversa, con seis subespecies y más de 2500 serovares diferentes, pero aproximadamente 100 serovares representan la mayoría de las infecciones humanas. En la naturaleza, las subespecies y los serovares de *Salmonella* son expertos en alternar entre entornos de hospedante y no hospedador y sobrevivir en ambientes de agua dulce. Puede sobrevivir en las heces, y las cepas pueden sobrevivir períodos prolongados de estrés y agotamiento de nutrientes. En aguas superficiales, *Salmonella* puede sobrevivir como parte de biopelículas en el sedimento o en partículas y asociada con protozoos de vida libre. (Denissen Julia, 2022).

Algún ejemplo de enfermedad transmitida por este microorganismo es la fiebre entérica (tifoidea) que es una infección sistémica grave y una causa habitual de enfermedad febril adquirida en la comunidad en muchos países de bajos ingresos de Asia y África. La infección se desencadena por la ingestión de las bacterias *Salmonella Typhi* (*S. Typhi*) y *Salmonella Paratyphi A* (*S. Paratyphi A*). Tanto *S. Typhi* como *S. Paratyphi A* que son patógenos humanos restringidos (no tienen un reservorio animal conocido) y se reconoce que se transmiten a través de alimentos y agua contaminados o por contacto con materia fecal de individuos infectados de forma aguda o crónica. Otros estudios, forjados a través de la investigación de la dinámica espaciotemporal de la fiebre tifoidea en Katmandú, predijeron que tanto *S. Typhi* como *S. Paratyphi A* tienen más probabilidades de transmitirse a través del agua contaminada que a través de la transmisión de persona a persona en este entorno. (Karkey A, 2016).

### 3.4 *Shigella* sp.

Fue reconocida como el agente causal de la disentería bacilar en 1897 por Kiyoshi Shiga. Determinó que era un bacilo Gram negativo, capaz de fermentar dextrosa, pero era negativo en la reacción de indol e incapaz de producir ácido a partir del manitol, *Shigella* es un anaerobio facultativo no esporulante, también es un patógeno restringido a primates, lo que lo diferencia de los otros miembros de la familia *Enterobacteriaceae* en los que se clasifica. El género *Shigella* se divide en cuatro especies: *Shigella dysenteriae* (serogrupo A, 15 serotipos), *Shigella flexneri* (serogrupo B, 19 serotipos), *Shigella boydii* (serogrupo C, 20 serotipos) y *Shigella sonnei* (serogrupo D, 1 serotipo). Estos se dividen en múltiples serotipos que dependen del antígeno O y de las diferencias bioquímicas, dichas especies están vinculadas a enfermedades en diferentes lugares geográficos. *S. dysenteriae* causa epidémica grave en países menos desarrollados, *S. flexneri* causa enfermedad en países en desarrollo, *S. boydii* se limita al subcontinente indio y *S. sonnei* ocurre tanto en países en transición como desarrollados. (Mattock E, 2017).

La transmisión es por vía fecal-oral. Hay muchos ejemplos de transmisión por vía fecal, alimentos y agua contaminados, pero las moscas, los dedos y los fómites también son medios conocidos de transmisión. Una característica que hace de *Shigella* un patógeno humano tan potente y exitoso es la dosis infecciosa baja necesaria para causar la enfermedad. Se ha

calculado que esta dosis es como tan solo 10 a 100 organismos. Si bien existen modelos animales para muchos patógenos bacterianos que infectan a los humanos, los estudios sobre *Shigella* se limitan a no humanos primates, que son los únicos animales que reproducen fielmente la disentería cuando son desafiados por *Shigella*. Por lo tanto, aunque está estrechamente relacionada y ha evolucionado a partir de *E. coli*, *Shigella* es un patógeno altamente adaptado al huésped sin reservorio animal o ambiental conocido. (KEITH A. LAMPEL, 2018).

#### 4. METALES PESADOS EN EL AGUA

Son elementos químicos con alta densidad y peso atómico elevado, se pueden encontrar como vapores, sales en rocas y arena o disueltos en agua, son capaces de adherirse a partículas del aire. Habitualmente se encuentran naturalmente presentes en el ambiente en concentraciones que no perjudican la vida de los organismos, debido a que se requieren en pequeñas cantidades para diferentes procesos fisiológicos. Las actividades humanas han provocado que las concentraciones de dichos metales se vuelven excesivas y cambien los procesos bioquímicos y fisiológicos de la biota. Al paso de metales pesados de un nivel trófico a otro y tenga interacción con los organismos, se le conoce como bio-magnificación y cuando su aumento es gradual tiende a bioacumularse en tejidos, debido de agua o alimentos contaminados y partículas suspendidas de sedimento. La presencia de metales pesados en el ambiente, alimentos y en los organismos, trastornan procesos bioquímicos y fisiológicos lo que origina diversas patologías, intoxicaciones y daños irreparables en la salud, tales como efectos mutagénicos (daños al material genético), teratogénicos (alteraciones durante el desarrollo embrionario), carcinogénicos (tumores) e incluso la muerte. (Octavio Aguilra P, 2022). Algunos de los metales pesados con mayor relevancia para la salud humana debido a sus efectos dañinos son el mercurio, arsénico, plomo y cadmio por lo que se mencionan parte de sus efectos en la salud del ser humano.

##### 4.1 Plomo

Se encuentra disperso en el medio ambiente en rocas, suelos, normalmente en 200 a 2 ppm, su principal vía de exposición es la dieta. Se calcula que diariamente ingerimos de 0.3 a 0.5 mg de plomo sin estar directamente expuestos. El agua no contaminada contiene bajas

concentraciones de Plomo (disuelto, particulado y coloidal) entre 50 µg/l y 10 mg/l. El hallazgo de una concentración mayor en el ambiente indica una contaminación antropogénica, aunque, otra fuente de contaminación es el agua de lluvia que afecta su composición por los gases de efecto invernadero (Choque Taco, 2022).

Los efectos en el organismo son tóxicos, afectan al sistema nervioso central, la síntesis del grupo HEMO en sangre y pueden provocar plumbosis o plumbemia. Este metal puede ser inhalado, ingerido o absorbido a través del sistema respiratorio y digestivo, afecta principalmente tejidos, órganos y sistemas como: a) el sistema urinario, principalmente riñones, b) el sistema cardiovascular, c) el sistema sanguíneo y d) el aparato gastrointestinal. (Salas-Marcial, 2019).

#### 4.2 Cadmio

Está presente en niveles bajos en el ambiente, aunque puede recorrer a través del aire grandes distancias desde el punto de emisión tiene contacto con especies. Se bioacumula en organismos acuáticos como moluscos y crustáceos, y en alimentos ricos en almidón. La inhalación del metal es la segunda forma de adquisición del metal, a través del tabaquismo, dicha actividad genera 400 sustancias distintas, entre ellos cromo, cadmio y mercurio y la tercera forma de bioacumulación es por ingestión de agua y alimentos contaminados. Las exposiciones también pueden ocurrir a través de cañerías cuyas soldadoras contienen cadmio, consumo de agua contaminada por fábricas y otras actividades antropogénicas como la metalúrgica y minería, elaboración de fertilizantes fosfatados, incineración de plásticos, carbón o residuos de madera, la combustión de aceite y gasolina, el vertedero de desechos en cuerpos de agua dulce por arrastre o lixiviación. Dicha exposición y bioacumulación puede causar con el tiempo efectos tóxicos en hueso, riñones y pulmones, hasta llegar a provocar procesos cancerígenos. Cuando existe ingesta de cadmio a concentraciones de 15 ppm en agua contaminada, los síntomas pueden ser inmediatos causando vómito, náuseas e infección intestinal (cuadro diarreico), y/o a largo plazo, donde van dañando al riñón y al hígado. Cuando la exposición es por vías respiratorias las enfermedades son crónicas obstructivas de del sistema respiratorio. (Octavio Aguilra P, 2022).

### 4.3 Arsénico

El arsénico es un metal distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera se puede encontrar en la corteza terrestre a concentraciones de  $5 \times 10^{-4} \%$ . La mayor cantidad del As en el ambiente proviene de la meteorización, actividad biológica y emisiones volcánicas. Su presencia en el agua de consumo, se debe a la diseminación de la arsenicosis, conocida como hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) en América Latina (AL), enfermedad crónica que se manifiesta principalmente por alteraciones dermatológicas y algunos tipos de cáncer. (Litter, 2018).

## 5. NORMAS OFICIALES MEXICANAS QUE DETERMINAN LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA

Las normas oficiales mexicanas, son regulaciones técnicas de observancia obligatoria que establecen especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado. Las normas que se siguieron se dividen de acuerdo con los parámetros a determinar; físicos, químicos y microbiológicos y para el tipo de agua son: NOM-127-SSA1-2021, NOM-230-SSA1-2002, NMX-AA-028-SCFI-2001, NMX-AA-042-SCFI-2015, NMX-AA-051-SCFI-2016, NOM-001, 002 y 003 -SEMARNAT, NMX-AA-028-SCFI-2001, NMX-AA-042-SCFI-2015 y NMX-051-SCF2016.

## 6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE TETELA DEL VOLCÁN

Tetela del volcán se encuentra en la región alta de Morelos, colinda con los estados de México y Puebla, es parte de la cordillera que forma el volcán Popocatepetl cuya cima es de 5,452 metros sobre el nivel del mar y del cual se forman numerosas barrancas que provocan corrientes de agua y deshielos. (Duarte & Velázquez, 2015).

La extensión territorial del municipio es de 98.5 km<sup>2</sup> lo que representa 1.99% de la extensión territorial del estado de Morelos, geográficamente se localiza al norte con una latitud de 19°00'55" al sur de 18°49'14", al este a 98°37'58" y al oeste 98°46'31". Dicho municipio colinda con los municipios de Atlautla y Ecatzingo y al oeste con Ocuituco. (Fig.4) (Hacienda Morelos, 2017).



Figura 4 Mapa de situación geográfica de Tetela del volcán en el estado de Morelos. Fuente: Hacienda 2010.

El nombre de Tetela del Volcán tiene su origen, la palabra Tetela proviene de la raíz náhuatl: Tetella o Tetetla que significa te-tl: "piedra", tla-n: "lugar" que indica abundancia, significando "Lugar donde hay muchas piedras o pedregal. Dicho municipio es representado por un escudo, donde se encuentra un diente significando abundancia y en la parte inferior se aprecia la imagen de un pedregal (Fig. 5).

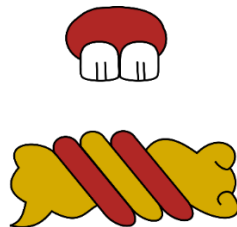


Figura 5 Escudo del municipio de Tetela del Volcán Fuente: Hacienda, diagnostico municipal, 2017.

### 6.1 Características generales de la población

El municipio tiene una población aproximada de 19,138 habitantes, 9,931 son mujeres (52%) y 9,207 son hombres (48%), la mayor concentración de la población tiene una edad entre los

5 y 19 años lo que representa el 61% del total. De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda, existen 4,415 hogares en el municipio de Tetela del Volcán, de los cuales el 24% tienen jefatura femenina y el 76% masculina. El 81% de la población tienen educación básica, el 7% educación media y solo el 3% tienen una educación superior. En cuanto a los servicios de salud un 86.7% está afiliada a servicios de salud, de estos, un 93.9% está afiliado al seguro Popular, un 2.6% al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), un 2.7% al Instituto del Seguro Social al Servicio de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) y 13.8 % no está afiliado. Para el caso de servicios básicos en la vivienda, el 97.6% tienen energía eléctrica, el 93.4% cuenta con agua potable, el 93.7% disponen de excusado y un 59.5% con drenaje. En sus viviendas, sólo el 20.64% cuenta con piso de tierra, el 79.36% tiene piso firme con algún material específico (Hacienda, 2017). El nivel socio-económico de la población, un 42.7% tiene un ingreso mínimo a la línea de bienestar. Tetela del Volcán tiene un índice de marginación media de -0.41373 lo que indica una marginación media, debido a ello se coloca en el 8to lugar a nivel estatal y en el 1 551 a nivel nacional. De acuerdo con el último censo nacional de población y vivienda reportado del 2010, existían 4,415 hogares, de los cuales, el 24% tienen como jefe de familia a una mujer y un 76% tienen a un hombre, la edad de los jefes de familia oscila entre 30 y 54 años, el 8% de ellos no tienen escolaridad, el 81% tienen educación básica, el 7% educación media superior y solo el 3% educación superior. (Hacienda, 2017). Según el consejo nacional de evaluación de la política de desarrollo social (CONEVAL) el 19.1% de la población es vulnerable a las carencias sociales, es decir, que tienen algún tipo de carencia en rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacio de la vivienda, acceso a los servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación de calidad.

## 6.2 Características generales de la localidad

Tetela del Volcán se encuentra ubicado en el Eje Neovolcánico, específicamente en la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac, además, dicho municipio se establece en la cordillera del volcán Popocatepetl, cuya altura más predominante se localiza en el cerro Zempoaltépetl con 5,250 m, seguido por el cerro del Gallo con 2,750 m. El 60% de la superficie del municipio corresponden a zonas montañosas ubicadas en la parte sur y sureste, oeste y

noroeste del municipio. Las zonas planas se localizan en la parte suroeste, oeste y noroeste del municipio. (Fig.6)

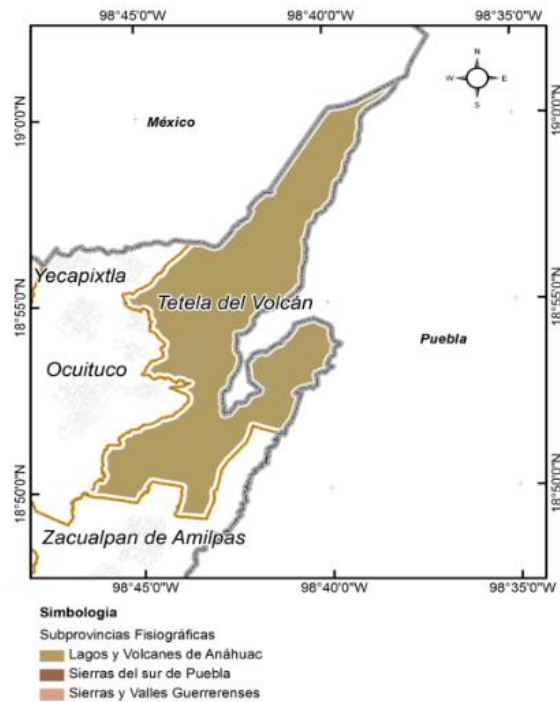
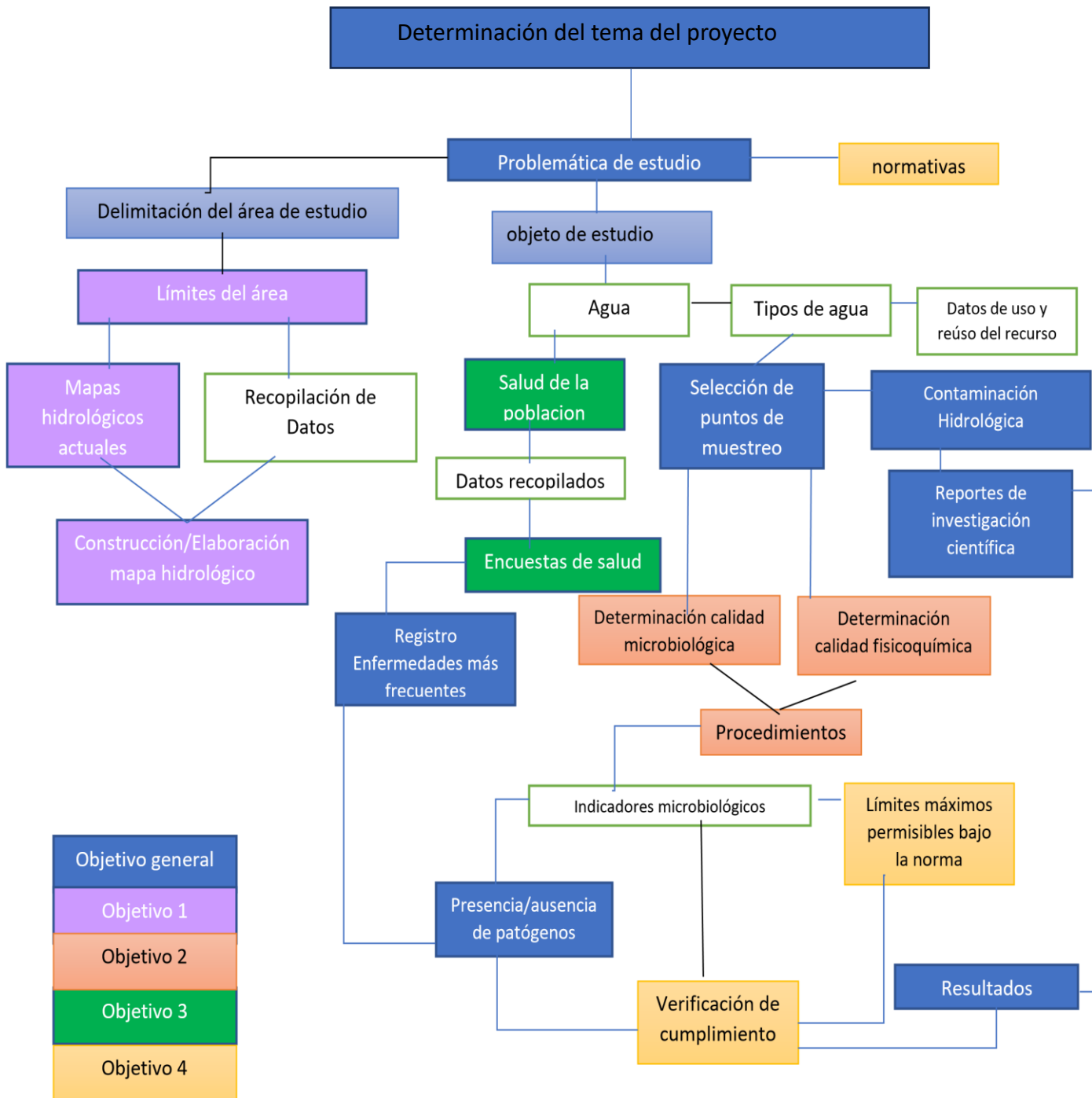


Figura 6 Ubicación geográfica Tetela del volcán. Fuente: secretaria de Hacienda, INEGI

En el municipio predominan 2 tipos de climas: el templado subhúmedo (74%) y el clima semifrío subhúmedo (20%), donde existen frecuentes precipitaciones nubosas y de carácter tempestuoso. Su precipitación pluvial es de 2,341.63 mm/año y el período de precipitaciones pluviales son entre junio a octubre. Su flora está representada por bosque de pino-encino y bosque pino. En la fauna se puede hallar: mapache, venado cola blanca, ardillas, zorrillos, ratón de los volcanes, codorniz Moctezuma, paloma bellotera, gallinita del monte, urraca azul, jilguero, mulato floricano, primavera roja, víbora de cascabel o víbora ratonera, ranas y lagartijas. A medida que ha crecido la población, la superficie de 98.61 km<sup>2</sup> de Tetela del Volcán se ha registrado 3,574 hectáreas con propiedad ejidal, 3,275 h como propiedad comunal y 3,727 h propiedad privada. Sin embargo, se ha destinado 3,035 h para uso agrícola y 6,602 h para uso forestal. Sus principales cultivos son maíz, frijol y jitomate, existen huertos temporales donde se cosecha, higo, ciruelo rojo, zarzamora, durazno, pera manzana y aguacate. Una de las fuentes importantes del ingreso de la población es la ganadería que se compone principalmente de cría de bovino, caprino, porcino, ovino y avicultura recientemente introduciendo la apicultura. (H. Ayuntamiento de Tetela del Volcán., 2016).

## VIII. DIAGRAMA DE TRABAJO



- Objetivo general
- Objetivo 1
- Objetivo 2
- Objetivo 3
- Objetivo 4

## IX. DESARROLLO METODOLÓGICO

Esta investigación es de carácter cuantitativo, transversal y descriptivo, se divide en las siguientes fases: gabinete (búsqueda de información y aplicaciones de softwares y análisis de resultados), de campo (reconocimiento de las zonas de muestreo, georreferenciación *in situ*, toma de muestras de agua y aplicación de encuestas) y de laboratorio (determinación de la calidad fisicoquímica y microbiológica de muestras de agua).

### 9.1 Reconocimiento e identificación del uso y reúso de las diferentes fuentes de agua en la comunidad de Tetela del Volcán

El municipio de Tetela del Volcán cuenta con diferentes fuentes de agua, entre ellos se encuentran manantiales que abastecen agua potable de la población, cuenta con una planta de tratamiento que proporciona el agua para el riego de los cultivos. Para la identificación del uso y reúso del agua en la comunidad, se realizó la localización de las principales fuentes hidrológicas. Debido a que el municipio de Tetela del Volcán no cuenta con mapas hidrológicos actualizados, se realizó un recorrido del área geográfica de la comunidad para localizar *in situ* las principales fuentes de agua, comparando con la carta hidrográfica de INEGI y utilizando el sistema libre de información geográfica QGIS. Tras la georreferenciación de los principales cuerpos de agua de uso y reúso por la población se actualizó la localización de los manantiales usados actualmente en el mapa hidrológico del municipio (Fig. 7) Posteriormente, se eligieron zonas y puntos de muestreo a conveniencia de donde se tomaron muestras de agua y se trasladaron al laboratorio para determinar algunos de los parámetros establecidos en la normas correspondientes y que determinan la calidad fisicoquímica y microbiológica, así como la determinación de metales pesados por su importancia en la salud.



*Figura 7 Mapa hidrológico de Tetela del Volcán, con los depósitos de y con la división de subsistemas.  
Fuente: Oficina de agua potable del H. Ayuntamiento de Tetela del Volcán.*

## 9.2 Registros de enfermedades frecuentes debidas a la contaminación del agua en la población de Tetela del Volcán

Se realizó una búsqueda de información sobre las posibles causas de la contaminación del agua en el municipio por medio de los reportes digitales de INEGI con respecto a la salud o las enfermedades hídricas más frecuentes del municipio durante los últimos 10 años, se solicitó información de las enfermedades más recurrentes en el centro de salud municipal y los servicios de salud del estado de Morelos. Por otro lado, se aplicaron encuestas de salud a representantes voluntarios de familia y a actores clave que permitan recabar información de las enfermedades gastrointestinales más frecuentes y asociadas al uso y reúso del agua, para ello se tomó como referencia encuestas de salud establecidas por la OMS y por INEGI, modificando y aplicando las preguntas al mayor número posible de familias.

## 9.3 Medición de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los diferentes cuerpos hídricos para uso y reúso de la población de estudio.

La recolección de muestras de agua potable se realizó con atención a la NOM 230 -SSA01-2002 agua para uso y consumo humano, que determina los requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de mayor importancia en las muestras de

agua, se efectuaron en atención a las NOM vigentes, referentemente al tipo de agua muestreada (Tabla 1).

Tabla 1 Normas Oficiales Mexicanas que se consideraron para la determinación de los parámetros fitoquímicos y microbiológicos dependiendo el tipo de agua.

Tipo de agua	Parámetro físico	Método de prueba	Parámetro químico	Método de prueba	Parámetro microbiológico	Método de prueba	Norma de comparación
Potable	T°C	NMX-AA-007-SCFI-2013			<i>E. coli</i>	NMX-AA-042-SCFI-2015	NOM-127-SSA1-2021
	pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	C. E	NMX-AA-093-SCFI-2018	<i>Salmonella</i>		NOM-230-SSA1-2002
			DBO	NMX-AA-028-SCFI-2001	<i>CT y CF</i>		
			DQO				
			Metales pesados	NMX-AA-051-SCFI-2016			
Residual Influyente	T°C	NMX-AA-007-SCFI-2013			<i>E. coli</i>	NMX-AA-042-SCFI-2015	NOM-001-SEMARNAT-2021
Residual Efluente	T°C	NMX-AA-007-SCFI-2013	C.E	NMX-AA-093-SCFI-2018	<i>Salmonella</i>		NOM-003-SEMARNAT-1997
	pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	DBO5	NMX-AA-028-SCFI-2001	<i>CT y CF</i>		
			DQO				
			Metales pesados	NMX-AA-051-SCFI-2016			

### 9.3.1 Determinación de la calidad fisicoquímica de las muestras de agua

Los parámetros fisicoquímicos que se midieron en las muestras de agua fueron los siguientes: Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), T °C, pH, conductividad, Dureza, Nitratos y Fosforo. Posteriormente se compararon los resultados con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-SSA1-127-2021 para agua potable y en la NOM-003-SEMARNAT-1997 para las muestras de agua residual.

### 9.3.2 Determinación de la calidad microbiológica de las muestras de agua

En las muestras de agua residual, se aplicó la metodología establecida en la NOM-003-SEMARNAT-1997, donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes para agua residual tratada y se reúse para al servicio público. Para ello, se determinó la presencia de coliformes fecales y la presencia o ausencia de *Escherichia coli*. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas en aguas municipales, es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales /100 ml para el promedio

mensual y diario con atención a la NMX-AA-042-SCFI-2015. Para determinar la calidad microbiológica del agua potable de los diferentes puntos de muestreo de la zona de estudio se compararon con los límites máximos permisibles indicados en la NOM-127-SSA1-2021 que establece los parámetros del agua necesarios para su uso y consumo humano.

### 9.3.3. Aislamiento e identificación de bacterias *Salmonella* y *E. coli* del agua residual.

Cada una de las muestras de agua potable y de agua tratada fueron filtradas con membranas de nitrocelulosa de 0.22µm, posteriormente los filtros fueron incubados en agua peptonada a 37°C durante 24h, al término del tiempo se realizaron diluciones seriadas y se sembraron 100 mL del cultivo por extensión en superficie sobre agar nutritivo y medios selectivos.

inocularon tubos con caldo tetrionato con yodo yoduro y verde brillante, después se hicieron siembras en placas con agares específicos para su identificación (SS, VB y XLD) para terminar con pruebas bioquímicas y una lectura de los resultados en las tablas de identificación establecidas en la bibliografía.

Independientemente una vez obtenidos los tubos de medio EC positivos, se sembraron en estría cruzada en placas con agar MacConkey dejándolas incubar por 24 h a 35 °C. Posteriormente se aislaron colonias con características morfológicas similares a las de *E. coli*. y se sembraron en un kit de tubos de pruebas bioquímicas dándole confirmación a las bacterias *E. coli*, *Salmonella* o *Shigella*. Por último, se resguardaron las bacterias utilizando 1ml caldo Lb en crioviales específicos donde se refrigeraron a -20 °C para un estudio a futuro de las bacterias resguardadas.

## 9.4 Identificación de la aplicación de normas y políticas públicas que mantienen la sanidad del agua en la población de estudio.

Debido a la importancia a de la autonomía de la población del municipio respecto a las autoridades gubernamentales en relación al manejo y distribución del agua; se aplicaron entrevistas personales a los diferentes actores clave relacionados con el agua de la comunidad, cada una personalizada sobre el cumplimiento de las normativas mexicanas que determinan la calidad del agua, así mismo se registrarán y conocerán las políticas públicas de

la comunidad de Tetela del Volcán que mantienen la calidad del agua para su uso y reúso en la población.



Figura 8 Aplicación de entrevistas, actores clave (médico y director agua potable) Fuente: Elaboración propia, 2024.

## X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 10.1 Características hidrológicas de Tetela del Volcán:

El estado de Morelos se ubica en la región hidrológica Balsas No. 18, dicha región se subdivide en alto, medio y bajo Balsas. Morelos se sitúa en la subregión alto Balsas y la mayor parte de su territorio pertenece a la cuenca del río Amacuzac y el resto pertenece a la cuenca del río Nexapa, dichas superficies tienen una dimensión de 4,000,121 km<sup>2</sup> y 880 km<sup>2</sup>, respectivamente. Los principales ríos de la región son: Yautepec, Amacuzac, Cuautla, Tembembe, Apatlaco, Salado, Tepalcingo, Chalma, Sabino-Colotepec, Tejaltepec y Agua Dulce. Las lagunas más representativas del lugar son el Lago de Tequesquitengo, el complejo de Lagunas de Zempoala, Laguna de Coatetelco y Laguna el Rodeo. Una de las barrancas primordiales para el municipio es La barranca Amatzinac, debido a que nace en las faldas del Volcán Popocatepetl forma una corriente hidrológica que abastece de forma permanente a todo el municipio y durante todo el año (Comisión estatal del agua., 2014).



fueron electos el tanque de Guiloapan, Virginia, Progreso, Las cruces y La soledad, para el caso de las muestras de agua residual existe una planta de tratamiento de agua residual del municipio donde se tomaran muestras de agua al inicio y al final del proceso, posteriormente se añadieron puntos internos donde la población ya tiene contacto directo con el recurso, además pertenece a otra red de distribución pero del mismo municipio y estos son: un manantial, un tanque y un grifo doméstico. Todas las muestras de agua de los diez puntos se realizarán en la misma época del año (primavera y otoño), se trasladarán en frío al laboratorio para su análisis. En reconocimiento en sitio y georreferenciación de la zona y puntos de muestreo en los manantiales que abastecen agua (Fig. 11).



10.2 *Figura 11 Fotografías recorrido en zona de muestreo. Fuente: Elaboración propia, 2023.*

### Descripción áreas seleccionadas para la toma de muestras de agua

La selección final de los sitios de muestreo se consideró su importancia en la red de agua potable, así como su accesibilidad en algunos de los sitios de muestreo, después de esta selección se llevó a cabo la recolección de muestras en el municipio de Tetela del volcán. La descripción correspondiente a los sitios seleccionados se presenta a continuación:

#### **Sitios de muestreo agua potable**

##### **1. Sitio 1: Manantial La escalera**

Nombre: P1 Manantial La escalera, Coordenadas: 18°56'58"N, 98°40'30"W, Localidad: Tetela del Volcán

Este manantial se encuentra en la parte más alta del cerro, es la zona más alta de la cuenca del río Amatzinat y en general el paisaje está dominado por vegetación herbácea y arbustiva con una gran parte de vegetación boscosa.

En la actualidad el área con topografía inclinada es de difícil acceso, pues solo se puede acceder caminando. El hábitat en que se realizó el muestreo se identifica como bosque y el manantial se encuentra de manera subterránea en el lugar se encuentra un tanque de donde comienza la red de agua potable del municipio.

#### 2. Sitio 2: Manantial Xantamalco

Nombre: P2 Manantial Xantamalco, Coordenadas: 18°55'0"N, 98°41'10"W , Localidad: Tetela del Volcán.

El sitio de muestreo se encuentra en una zona boscosa, con fácil acceso vehicular y junto al río Amatzinat. El manantial se encuentra resguardado por una cerca y una construcción donde se almacena el agua para su posterior distribución.

#### 3. Sitio 3: Manantial Guiloapan

Nombre: P3 Manantial Guiloapan, Coordenadas: 18°55'12"N, 98°42'52"W, Localidad: Tetela del Volcán

Este manantial se encuentra en la parte más baja del denominado monte de Tetela perteneciente al paraje guiloapan y en general el paisaje está dominado por vegetación herbácea y arbustiva con una gran parte de vegetación boscosa.

En la actualidad el área con topografía descendiente es de difícil acceso, pues solo se puede acceder caminando. El hábitat en que se realizó el muestreo se identifica como barranca y el manantial se encuentra de manera subterránea, en el lugar se encuentra una cueva en donde se resguarda el nacimiento del agua y un tanque de donde sale una tubería que se conecta con la red de agua potable del municipio.

#### 4. Sitio 4: Tanque San Jerónimo

Nombre: P4 Tanque San Jerónimo, Coordenadas: 18°53'23"N, 98°43'25"W, Localidad: Tetela del Volcán,

La red de agua potable cuenta con distintos tanques de almacenamiento del agua proveniente de los manantiales. Este tanque se encuentra en el barrio de san Jerónimo, a una corta distancia del centro del municipio, es de fácil acceso pues se encuentra en una zona alta del barrio hasta donde se puede llegar después de subir escalones, el tanque está rodeado de una cerca para impedir el acceso a la población en general, así como a animales que pudieran contaminar el agua. Su acceso es restringido solo a los responsables de su mantenimiento. Se encuentra rodeado de casas habitación y de una pequeña parte de vegetación boscosa.

#### 5...Sitio 5: Tanque San Miguel

Nombre: P5 Tanque San Miguel, Coordenadas: 18°54'39"N, 98°43'10"W, Localidad: Tetela del volcán Este se localiza en el barrio de San Miguel del municipio de Tetela del Volcán, aproximadamente a treinta minutos del centro del mismo municipio, está rodeado de una cerca cerrada que evita el acceso a personas y animales. A su alrededor se observan casas habitadas y campos de agricultura.

#### 6...Sitio 6: Manantial Pachoca

Nombre: P6 manantial Pachoca, Coordenadas: 18°54'19"N, 98°43'8"W, Localidad: Tetela del Volcán El manantial se localiza en el barrio de San miguel, en un predio denominado Pachoca. A este se tiene que descender caminando puesto que se encuentra en una barranca donde predomina la vegetación herbácea y boscosa. Este está rodeado de campos de cultivo principalmente de aguacate y durazno.

#### 7...Sitio 7: Tanque el túnel

Nombre: P7 Tanque de almacenamiento el túnel, Coordenadas: 18°54'7"N, 98°43'9"W Localidad: Tetela del Volcán

Localizado en el barrio de San Miguel, se encuentra en una zona alta y está rodeado de casas habitación, se puede acceder fácilmente caminando ya que no tiene ninguna protección que

evite el acceso al agua y al mismo tiempo de cualquier tipo de contaminación. En este se almacena el agua proveniente del manantial subterráneo de Pachoca y distribuye el agua a una parte de la población del mismo barrio donde se encuentra.

**8...Sitio 8: Grifo agua potable casa**

Nombre: P8 Llave casa, Coordenadas: 18°53'55"N, 98°43'23"W, Localidad: Tetela del volcán

Para poder cubrir todos los accesos de la red alterna de agua potable, se tomó una muestra de un grifo de una casa ubicada en el barrio de San Miguel. Este no cuenta con ningún tipo de desinfección previa es decir que el acceso al recurso es directo del tanque de almacenamiento.

**Sitios con muestras de agua residual**

**9...Sitio 9: PTAR**

Nombre: P9 Influyente y P10 efluente, Coordenadas: 18°53'1"N, 98°44'01"W, Localidad: Tetela del volcán

Considerando toda la red de agua potable del municipio, se decidió incluir la planta tratadora de aguas residuales la cual se ubica en la localidad de Xochicalco que pertenece al municipio de Tetela del volcán, es de fácil acceso puesto que se puede ingresar con vehículo y caminando. En sus alrededores de encuentra vegetación boscosa, plantaciones de aguacate y casas habitación. En este sitio se tomaron dos puntos de muestreo de agua residual punto 9 y 10 correspondientes a Influyente y efluente del agua residual cruda y residual tratada.

P1)



P2)



P3)



P4)



P5)



P6)





Figura 12 Fotografías, zonas de muestreo Fuente: Propia,2024..

En la figura 12 se observan fotografías de las zonas de muestreo y sus alrededores, comenzando con P1 perteneciente a la zona una manantial subterráneo del agua potable “la escalera”, seguido de P2 de los alrededores del manantial de la red de agua potable “Guiloapan”, P3 al manantial de la misma red “Xantamalco”, todos los manantiales se encuentran lejos de la zona poblada y son de difícil acceso. Los tanques se presentan en el P4 “tanque San Jerónimo” y P5 “Tanque San miguel” estos están cerca de la población, pero su acceso es limitado, para facilitar la distribución del agua potable están en zonas altas del municipio. La red alterna de agua potable se observa en el punto P6 “Manantial Pachoca”, P7 acceso al tanque “El túnel” terminando con P8 para la llave una casa donde se recolecta directamente el agua en un tanque de almacenamiento abierto. En los puntos P9 Y P10 se observan los puntos de influente y efluente de la PTAR del mismo municipio.

Después del reconocimiento y georreferenciación de la zona de muestreo se realizó un mapa de la ubicación de los diez puntos de recolección de muestras de agua incluyendo potable y residual, por medio del programa de información geográfica Quantum GIS o QGIS y las cartas

Figura 13 Mapa de Zona de estudio con puntos de muestreo. Fuente: INEGI 2019. Elaboración propia Tania V. Galindo M.

geográficas de INEGI. El mapa de localización de los puntos comenzando con los manantiales de la red potable (P1-P3), los tanques de almacenamiento (P4 y P5), la red alterna de agua potable (P6-P8) terminando con los puntos de planta de tratamiento de aguas residuales (P9 y P10).(Fig. 13).

La localización geográfica de cada punto de muestreo seleccionado, así como el nombre designado para este trabajo y se aclara a que tipo de cuerpo de agua se refiere, como manantial o tanque de almacenamiento (Tabla 2).

*Tabla 2 Georreferenciación de los puntos de muestreo en la zona de Tetela del Volcán.*

	<b>Nombre</b>	<b>Tipo de agua</b>	<b>Localización</b>
P1	Manantial La escalera	Potable	18°56'58"N, 98°40'30"W
P2	Manantial Xantamalco	Potable	18°55'0"N, 98°41'10"W
P3	Manantial Guiloapan	Potable	18°55'12"N, 98°42'52"W
P4	Tanque San Jerónimo	Potable	18°53'23"N, 98°43'25"W
P5	Tanque San Miguel	Potable	18°54'39"N,98°43'10"W
P6	Manantial Pachoca	Potable	18°54'19"N, 98°43'8"W
P7	Tanque El túnel	Potable	18°54'7"N, 98°43'9"W
P8	Llave Casa	Potable	18°53'55"N, 98°43'23"W
P9	PTAR Influyente	Residual	18°53'1"N,98°44'01W
P10	PTAR Efluente	Residual	18°53'0"N,98°44'0"W

### 10.3 Enfermedades en la población debidas a la contaminación del agua potable

Para conocer las enfermedades más frecuentes en la población debido al consumo o uso del agua potable, se realizó un instrumento con 31 preguntas claras y precisas para entrevistar a familias de la comunidad. El instrumento fue acompañado de un texto introductorio donde se explica el objetivo de la entrevista y el proyecto a realizar, con el fin de dar a conocer el propósito del estudio. Las preguntas del instrumento fueron específicas con relación a la base de los datos reportados del informe de la jurisdicción Sanitaria III de Servicios de Salud de Morelos, dichas preguntas fueron divididas por secciones: datos generales de la población, conocimientos de las enfermedades gastrointestinales, bacterias patógenas, metales pesados y su relación con el agua, hábitos de salud y enfermedades frecuentes en las familias en la población de Tetela del volcán. El instrumento se aplicó de manera digital utilizando un formulario de Google forms a representantes de familia que hayan aceptado contestar libremente, primeramente, se realizó una prueba piloto para validar el instrumento y posteriormente se realizó la encuesta con los ajustes necesarios del instrumento.

- Prueba piloto

La encuesta piloto se realizó a 11 participantes y tras el análisis de aplicación, se reorganizaron y eliminaron preguntas confusas y poco entendibles por los entrevistados, después de estos ajustes se tuvo el constructo a aplicar, con este ajuste se determinó un alfa de Cronbach de  $\alpha=0.85$ , lo cual nos habla de la consistencia y estabilidad del instrumento para el tipo de escala.

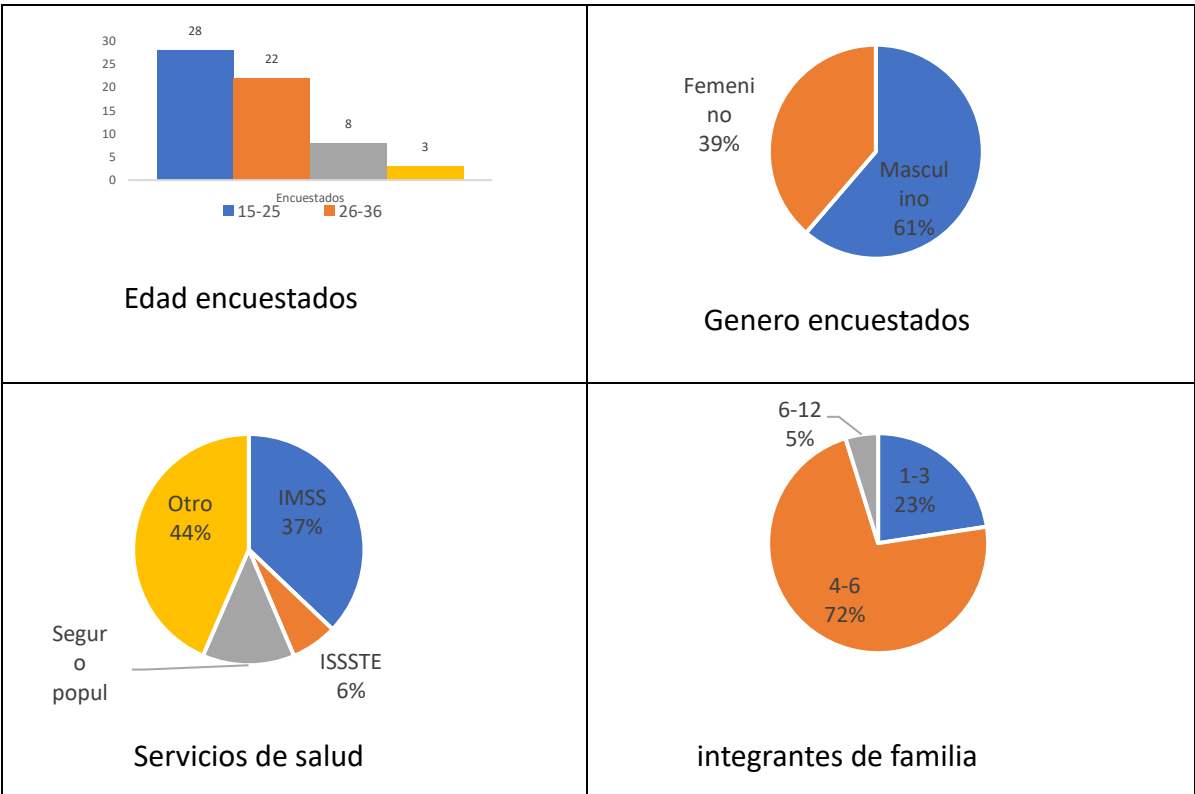
- Encuesta

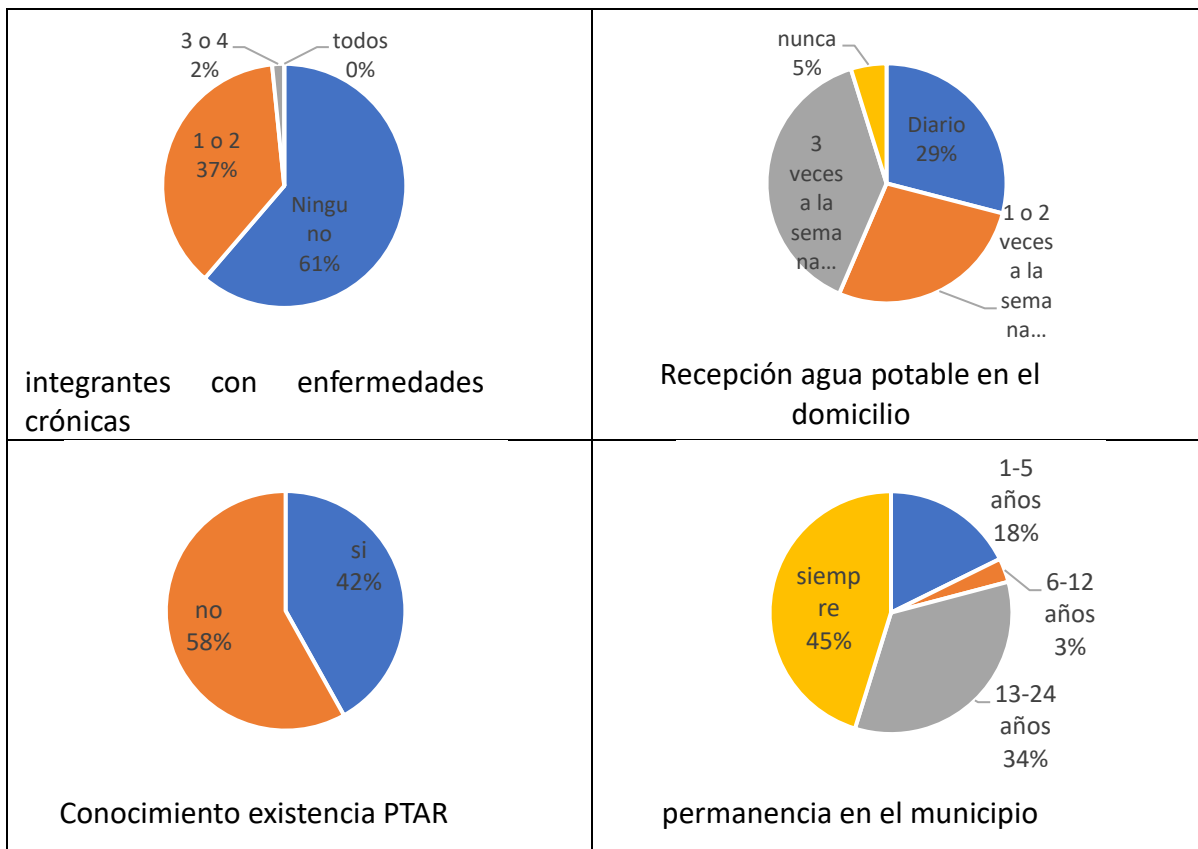
Tras realizar la validación del instrumento, se hicieron modificaciones y se dividieron las preguntas formando tres apartados: A) sobre el uso del agua potable, B) la salud de los miembros de familia y c) sobre el conocimiento que tienen sobre los riesgos de ingerir agua contaminada. La encuesta con 31 ítem en total se aplicó a 61 representantes de familia, el análisis de las encuestas se detalla a continuación.

### Análisis de la encuesta aplicada

En el grafica 1 se observan los resultados de datos generales obtenidos de los 61 encuestados, el rango de edad fue de 15-74 años de edad (1), en donde el 60.7% del total fueron hombres

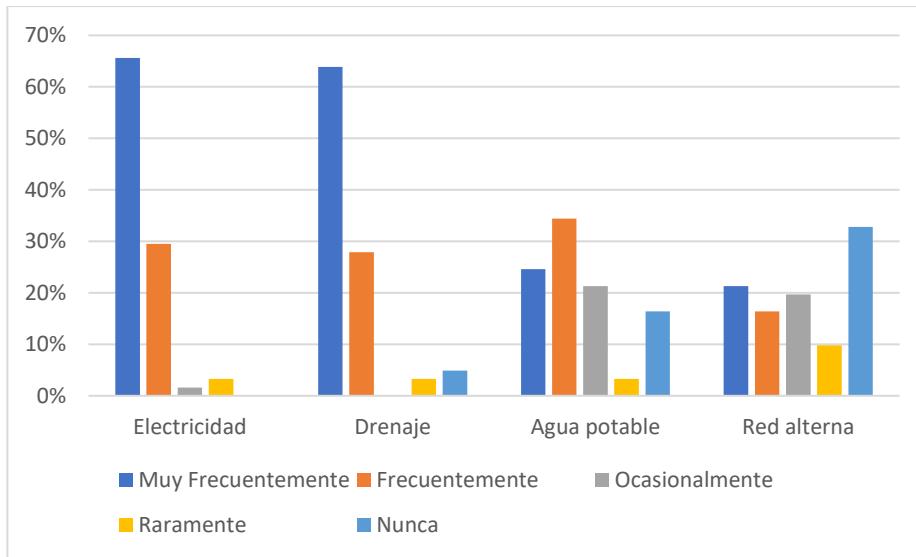
y el 39.3% mujeres (2), los servicios de salud que recibe la población es a través del IMSS con un 33% pero el 42.6% utiliza otro servicio alterno (3), el 73.8% de las familias encuestadas tiene de 4 a 6 integrantes de familia (4) y de estos integrantes el 62.3% de los encuestados no tiene ningún familiar con alguna enfermedad crónico degenerativa (5), el 39.3% de los familias reportan que en su domicilio se abastece agua potable 3 veces a la semana (6), de forma preocupante se obtuvo que el 57.4% de la población encuestada desconoce de la existencia de la planta tratadora de agua residual en el municipio (7) y debido al gran rango de edad en los encuestados el 45.9% a vivido en Tetela del volcán más de 25 años (8).





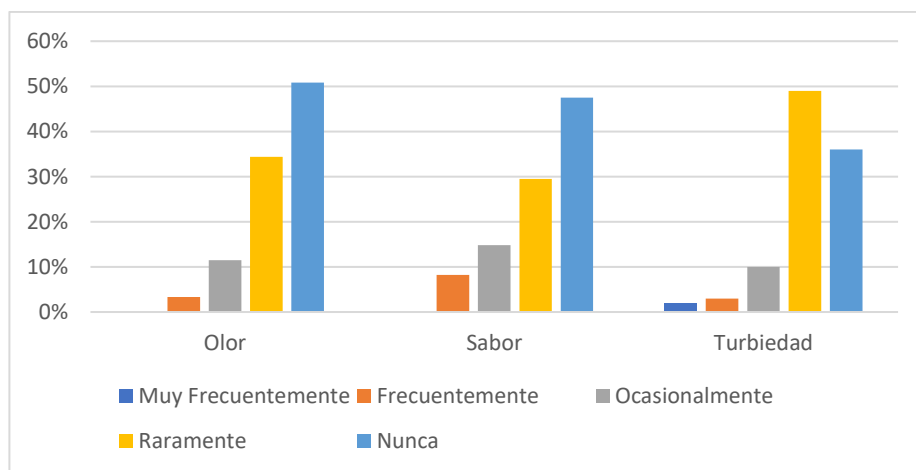
Gráfica 1 Graficas respuestas datos generales de la población encuestada.

Se realizaron cuatro preguntas referentes a los servicios básicos de vivienda: el 65.5% de las familias tiene electricidad muy frecuentemente y el 29% frecuentemente, el 63.9% tiene drenaje en sus hogares y menos del 4% raramente no tiene el servicio, en cuanto al servicio de agua potable el 24.6% de las familias frecuentemente se abastecen el recurso, pero el 21% carece de ello, en cuanto al uso de la red alterna el 32% de las familias no tiene el servicio del suministro alterno del agua potable y solo el 21.3% se abastece de alguna red alterna de agua potable (Grafica 2).



Gráfica 2 Servicios básicos con los que cuenta la población encuestada.

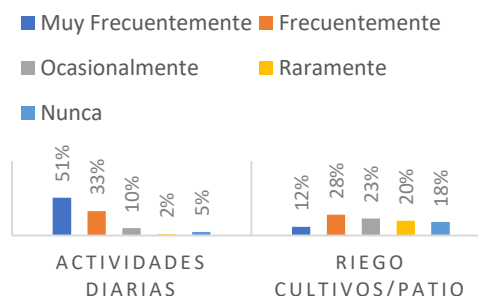
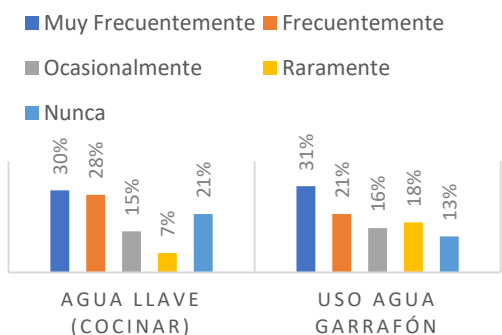
También se realizaron preguntas de percepción organoléptica para identificar las características del agua potable que llega a las viviendas de la población encuestada, por lo que el 50.8% de las familias no ha percibido algún olor extraño en el agua, pero el 11% ocasionalmente lo ha percibido, en cuanto al sabor el 47.5% nunca ha detectado un mal sabor del recurso, pero ocasionalmente el 15% si lo ha percibido, en cuanto a las características de turbiedad y color en el agua, el 49.2% raramente ha observado cambios y el 10% ocasionalmente ha identificado esos cambios en el agua (Gráfica 3).



Gráfica 3 Percepción organoléptica del agua potable de Tetela del Volcán

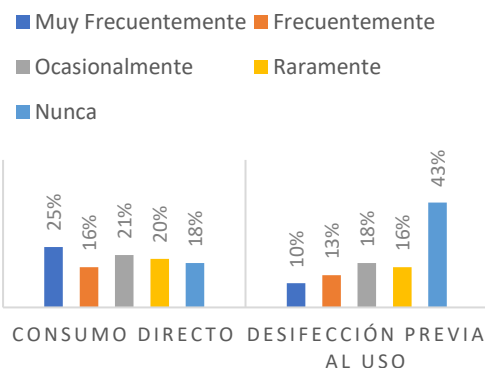
En cuanto al uso y consumo del recurso hídrico, se preguntó si la población utiliza el agua que llega directamente de la llave para cocinar y el 29.5% la usa directamente y el 21% no la utiliza, el 31.1% de la población encuestada prefiere utilizar agua de garrafón para su consumo y

actividades y el 13% no compra garrafón (1). En las actividades de casa, el 51% utiliza el agua potable muy frecuentemente y el 33% frecuentemente para todas sus actividades, es decir: lavar trastes, ropa, bañarse etc. El 27.9% utiliza el agua potable frecuentemente para riego de patios y cultivos en traspatios (2), el 24.6% de los encuestados consume el agua directamente y solo el 9.8% realiza algún tipo de desinfección antes de su consumo directo (3)(Grafica 4).



### 1) Consumo agua

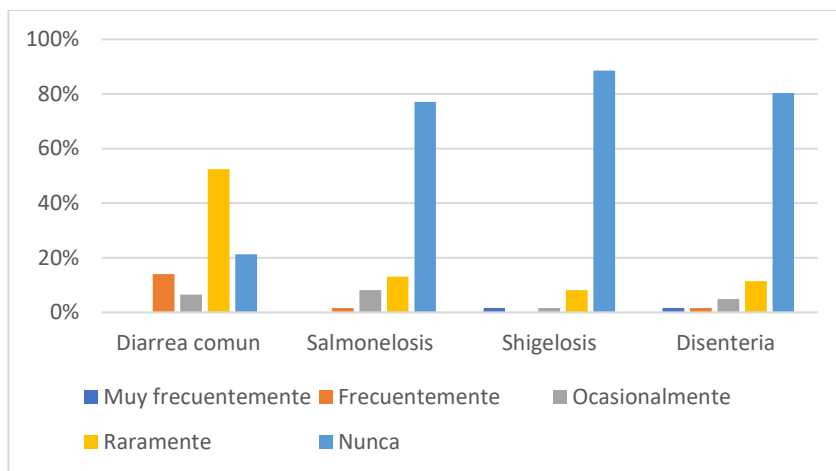
### 2) Uso del agua



### 3) Ingesta agua

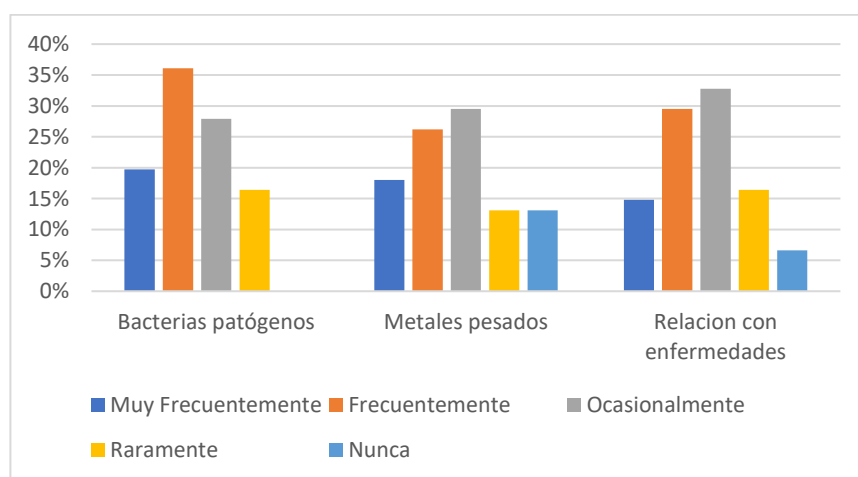
Gráfica 4 Graficas consumo y uso del agua por la población

El apartado sobre el conocimiento de las enfermedades debido al consumo y uso del agua potable contaminada, fueron las siguientes, comenzando de menor a mayor gravedad: el 4.9% sabe que lo más frecuente son las enfermedades diarreicas comunes y raramente de salmonelosis, shigelosis y disentería. Sin embargo, el 88.5% nunca ha tenido una shigelosis, el 77% nunca se ha enfermado de salmonelosis, y el 80.3% no ha presentado disentería. El 13.1% de la población estudiada acude al médico cuando presenta síntomas de alguna enfermedad diarreica aguda (Grafica 5).



Gráfica 5 Conocimiento de la población sobre EDA

El conocimiento de los encuestados sobre los riesgos al consumir agua contaminada se midió por varias preguntas, sobre la existencia de bacterias patógenas en el agua el 19.7% sabe que existen bacterias patógenas en el agua, el 14.8% sabe que estas están relacionadas con las enfermedades gastrointestinales y el 18% tiene conocimiento de que existen metales pesados en el agua.



Gráfica 6 Temas relacionados con el agua potable

#### 10.4 Determinación de la calidad microbiológica de las muestras de agua.

Se realizó un recorrido en la zona de estudio para toma de muestras de agua, en cada uno de los puntos de muestreo descritos anteriormente, realizados en el 2023 e inicios del 2024, se siguieron los lineamientos para la toma de muestras conforme la NOM-230-SSA01-2022 para muestras de agua potable, posteriormente se determinaron parámetros del agua para medir su calidad microbiológica en el laboratorio (Fig. 14).

#### 10.4.1 Determinación de los parámetros para la calidad microbiológica en las muestras de agua potable.

Después de realizar la determinación de la calidad microbiológica y comparar los resultados con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127 se encontró que los ocho puntos de agua potable incluyendo manantiales y tanques de almacenamiento se encuentran por debajo de estos límites por lo que se cumple la norma pues la presencia de CT y Cf es menor a <1.1, En la tabla 3 se observan los resultados obtenidos comparados con los límites de la norma antes mencionada, además se reporta la presencia de dos indicadores microbiológicos: *E. coli* en solo un sitio de muestreo y del género *Salmonella* en más del 50% de los puntos de muestreo representando un foco de infección para adquirir enfermedades.

Tabla 3 Medición de especificaciones sanitarias microbiológicas del agua potable, en ocho puntos de muestreo de la zona de Tetela del Volcán.

Parámetro	Resultado NMP/100ml					Ausencia o Presencia /100ml			NOM-Especificación NOM-127-SSA1-2021
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
<b>CT</b>	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	5	< 1.1	
<b>CF</b>	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2	< 1.1	
<b><i>E. coli</i></b>	A	A	A	A	A	A	P	A	
<b><i>Salmonella</i></b>	A	A	A	P	P	P	P	P	
<b><i>Shigella</i></b>	A	A	A	A	A	A	A	A	

\*A: Ausencia  
\*P: Presencia

Los resultados indican que las muestras de agua potable de cada uno de los tres manantiales cumplen con la NOM-127-SSA1-2021 debido a que se encuentran dentro de los parámetros establecidos de CT y la ausencia de *E. coli*, cumpliendo con la calidad microbiológica para uso y consumo humano.

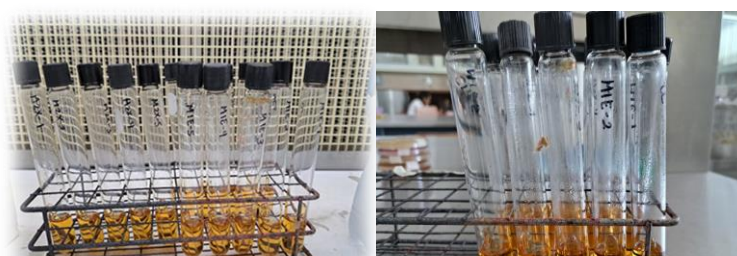


Figura 14 Pruebas presuntivas con inóculo de muestra después de 24h, sin crecimiento en bacteriano para CT y *E. coli*.

Para las especificaciones sanitarias microbiológicas, todas las muestras analizadas cumplen con los límites establecidos, debido a que no mostraron presencia de CF y *E. coli* ya que la norma establece que deben mostrar ausencia de estas para estar dentro del LMP.

Sin embargo, en las muestras de agua pertenecientes a los puntos de muestreo 6,7 y 8 se detectó la presencia de patógenos relacionados con la calidad microbiológica y que pudieran estar relacionados con los parámetros fisicoquímicos que afectan en la salud de la población. Estos resultados coinciden con lo reportado por otros autores (Contreras et al. 2023) quien demostró utilizando la prueba de confirmación de coliformes totales por medio de fermentación de lactosa con medio de caldo lauril sulfato de sodio y campanas de fermentación para muestras de agua en manantiales en la parcialidad de Jiscullaya, el Collao, Puno, Perú un resultado de numero de coliformes por encima de los límites máximos aceptables según las normas sanitarias del ministerio de salud de Perú, vinculando la presencia de estos coliformes con las enfermedades diarreicas e infecciosas así como la falta de higiene y la falta de educación sanitaria en la población de esa localidad. Toscano et. al. (2022) en un estudio de evaluación de la calidad de agua en los manantiales en Michoacán, Méx., observaron contaminación fecal lo que limito el uso del recurso como agua potable, sin embargo, sus análisis fisicoquímicos no pudieron restringir el agua proveniente de los manantiales para consumo humano y uso agrícola. Por otra parte, Salazar (2023) demuestra por medio de un estudio realizado en el manantial la Manzanilla en Michiquillay - Cajamarca Perú que encontraron valores de coliformes totales y fecales que sobrepasa los límites máximo-permisibles establecidos en la ECA nacional y que estos varían de acuerdo con la época del año es decir época de lluvia y seca. Por lo que los autores proponen ampliar el monitoreo de la calidad del agua, así como gestionar su operación y mantenimiento en los manantiales correspondientes en cada estudio.

#### 10.4.2 Identificación de los parámetros de la calidad microbiológica de las muestras del agua residual

En los puntos de muestreo de la planta tratadora de aguas residuales se hizo comparación con los límites máximos permisibles que establece la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, la cual indica parámetros del agua residual para su reutilización, ya sea para riego de áreas verdes con un promedio no mayor a 600 NMP/100ml de CF y la ausencia de *Escherichia coli*, tras realizar los estudios correspondientes, se encontró que en las muestras de agua residual contienen cantidades por debajo de los límites establecidos y que el agua es apta para riego (Tabla 4).

Tabla 4 Medición de especificaciones sanitarias microbiológicas, en dos puntos de muestreo de agua residual en la zona de Tetela del Volcán.

Parámetro	Resultado NMP/100ml	Ausencia o Presencia /100ml	Método de prueba	NOM-Especificación
	P9	P10		
<b>CT</b>	>16	>16	NMX-AA-042-SCFI-2015	NOM-001-SEMARNAT-2021
<b>CF</b>	2	5		
<b><i>E. coli</i></b>	P	P		
<b><i>Salmonella</i></b>	P	P		
<b><i>Shigella</i></b>	P	A		

\*A: Ausencia

\*P: Presencia

Los resultados del estudio indican que el tratamiento realizado por la PTAR de Tetela del Volcán mantiene óptima el agua para su reutilización, a comparación de otros estudios como el realizado en Sinaloa, México por Ramírez et al. (2023), donde el agua tratada para riego de cultivos agrícolas obtuvo concentraciones altas de coliformes fecales y *E. coli*, en todas las muestras estudiadas superaron  $1 \times 10^3$  CFU/100 mL, que es el LMP para el agua utilizada en la agricultura. También, se demostró la presencia de serotipos de *Salmonella* en varios puntos de muestreo, con referente a ello se indica riesgos potenciales para la salud de consumidores de hortalizas frescas y que han sido regadas con agua contaminada. A pesar de que las regulaciones nacionales no enumeran límites mínimos para *Salmonella*, la mayoría de las leyes internacionales no solicitan el hallazgo de *Salmonella*, ya que no sería detectable en el

agua de riego, sin embargo, los autores demostraron que el agua estudiada no es apta para el riego agrícola.

#### 10.4.3 Aislamiento e Identificación de bacterias de interés clínico en las muestras de agua

Se realizaron concentrados de cada una de las muestras hídricas, mediante el uso de filtros de nitrocelulosa a 45µm, donde estos fueron suspendidos por 24h en medios de pre-enriquecimiento y/o enriquecimiento para favorecer bacterias de interés médico, posteriormente se realizaron inoculaciones en medios solidos selectivos para favorecer el crecimiento de *Salmonella*, *Shigella* y *E. coli* dejándolos incubar a 37°C/24h (Fig. 15), después se seleccionaron las colonias sospechosas para hacer su identificación mediante tinción de Gram, pruebas bioquímicas y diferenciales (Fig. 16).

Después de la metodología aplicada se identificaron las colonias sospechosas del género *Salmonella*, donde se halló la presencia de *Salmonella grupo II*, *Salmonella paratyphi*, *Salmonella choleraesuis*, *Salmonella gallinarum*, *Salmonella typhi*, *Salmonella Pollorum* y *E. coli inactiva*. Por otra parte, se identificó en las muestras de agua residual la presencia de *Salmonella grupo II*, *Salmonella gallinarum* y *Salmonella typhi*.



Figura 15 identificación de *Salmonella gallinarum* en medio XLD a la izquierda y Aislamiento de *Salmonella gallinarum* en medio selectivo S-S a la derecha.

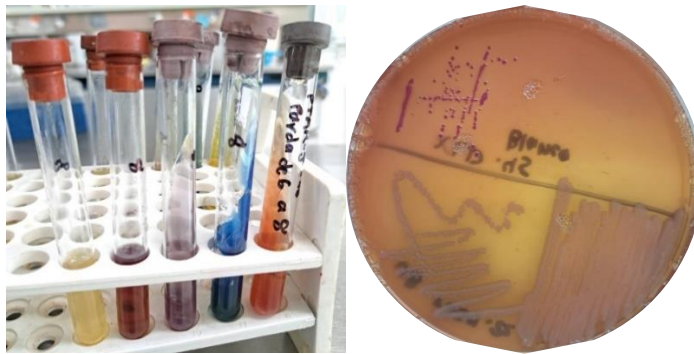


Figura 16 Pruebas bioquímicas para identificación de bacterias y aislamiento en medio selectivo.

## 10.5 Determinación de la calidad fisicoquímica de los cuerpos hídricos

### 10.5.1 Determinación de los Parámetros para la calidad fisicoquímica en las muestras de Agua potable

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos en ocho puntos de muestreo de agua potable fueron: pH, conductividad, temperatura, DBO, DQO, cloro libre y olor aparente. La mayoría de las muestras de agua mantienen características fisicoquímicas similares, como en el caso del pH las muestras oscilan en un rango de neutralidad entre 7.1 a 7.7, conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, se encuentra dentro de norma ya que el agua para uso y consumo humano establece que el límite máximo permisible de pH debe estar en un rango de 6.5 a 8.5. Para el parámetro registrado de temperatura en el agua procedente de manantiales fue muy similar entre 14 -16°C, a diferencia del agua resguardada en los tanques donde incrementa de 18 a 20°C y en el tanque de Pachoca su registro fue de 7.3°C. Los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO del agua procedente de manantiales fue similar 2.28 y 8.64 respectivamente, a diferencia de las muestras de agua procedentes de los tanques (Tabla 5).

Tabla 5 Registro de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los puntos de muestreo de agua potable de la zona de Tetela del Volcán.

Parámetro analizado	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	NOM-127
	Manantial La escalera	Manantial Xantamalco	Manantial Guiloapan	Tanque San Miguel	Tanque San Jerónimo	Pachoca	Tanque El túnel	casa	
pH	7.64	7.48	7.75	7.17	6.48	7.34	7.18	6.66	6.5-8.5
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	145	147	153	136	129	186	836	174	
T ( $^{\circ}\text{C}$ )	14.3	14.6	16.4	15.2	18.8	17.34	20.3	16	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2.58	2.28	2.28	<2.00	8.64	1.7027	1.1	1.2	
DQO (mg/L)	8.64	8.64	8.64	12.48	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	
Dureza (mg/L)	60	48	45	60	45	75	75	90	500 mg/L
Nitratos (mg/L)	0.0	0.0	3	0.0	3	24.9	0.0	0.0	11 mg/L
Fosforo mg/L	0.82	0.82	0.50	0.37	0.26	0.04	0.05	0.12	

Un estudio realizado por Robles (et al. (2013) en un acuífero de Tepalcingo Axochiapan, Morelos, México, se determinó que la calidad físico-química de todas las vertientes del acuífero incluyendo manantial y pozos que suministran el agua potable de la población, reportaron que solo el manantial no cumple con tres parámetros que determinan la NOM 127-SSA1-1994 (SSA, 2000), dicho manantial contiene sólidos disueltos a una concentración de 1198 mg/L, sulfatos a 740 mg/L y una dureza total de 736 mg/L. Los autores observaron un incremento de la concentración de los sólidos disueltos con referente a la altitud (de menor a mayor) posiblemente por la disolución de los minerales de las rocas del suelo durante el flujo hídrico de las partes más altas hacia las partes bajas, concluyeron que tres de los seis pozos estudiados no cumplen con la calidad del agua para consumo humano, sin un previo tratamiento de cloración. Un reporte similar, fue realizado por Borbolla et al. (2003) quienes determinaron la calidad del agua en el estado de Tabasco, para ello estudiaron 268 muestras aleatorias de diferentes municipios de Tabasco e identificaron los parámetros fisicoquímicos de cada muestra de agua potable y reportaron que la turbidez fue el único parámetro no dentro de los

límites permisible, por lo que, el estudio recomienda realizar monitoreos consecutivos y vigilar constantemente dicho parámetro del agua potable.

### 10.5.2 Determinación de los Parámetros para la calidad fisicoquímica de las muestras de Agua Residual

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos de las muestras del agua residual se compararon con los valores máximos permisibles establecidos por la NOM 001, donde se indica un pH de 6 a 9, una temperatura de 35°C y un DQO de 210mg/L. Los registros de los parámetros se encuentran en la tabla 5, donde se observa que el agua de la planta de tratamiento, se encuentra dentro los límites máximos permisibles de la norma obteniendo un pH de 7 a 8 y una temperatura de 19 a 20°C. El valor de la DQO en la muestra de agua residual antes de entrar a la planta de tratamiento es muy alto a lo establecido (395 en comparación a los 210mg/L) (Tabla 6), sin embargo, después de su tratamiento se registró un valor nulo, lo que demuestra un buen manejo de los procesos dentro de la planta de tratamiento, asegurando el uso y reúso del agua residual hacia la población.

*Tabla 6 Registro de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en dos puntos de muestreo de agua residual en la planta de tratamiento de aguas residuales en la zona de Tetela del Volcán.*

Parámetro analizado	P9 PTAR entrada	P10 PTAR Salida	NOM 001 (mg/L)
pH	8.07	7.18	6-9
Conductividad	920	839	
T°C	19	20.3	35°
DBO <sub>5</sub>	333.44	379.88	
DQO	395	0	210
Cloro libre	0.00	0.09	
Color aparente	362	194	
Grasas y aceites	1.2	0.5344	21
Solidos Suspendedos Totales mg/L	1170	28.75	140
Solidos Disueltos Totales	277	493.75	

<b>Sólidos Totales Fijos</b>	460	381.25	
<b>Sólidos Totales</b>	893	522.5	
<b>Sólidos Totales volátiles</b>	427	141.25	

## 10.6 Determinación de especificaciones sanitarias de metales y metaloides

### 10.6.1 Determinación de los Parámetros para la determinación de metales pesados en las muestras de Agua potable

Los resultados de la determinación de metales pesados (Cu, Zn, Ni, Cd, Pb, Co, Fe, Cr, As y Hg) en dos puntos de muestro del agua potable, dichos valores se compararon con la norma 127. Tras el análisis de los valores obtenidos, se observa que en la muestra del P6 el Ni sobrepasa el LMP de 0.07, al igual que el Cd con 0.009 con LMP de 0.005, el Pb con 0.08 y LMP de 0.01. En el P7 también se sobrepasa el LMP del Ni de 0.07 con 0.19 y el Pb con 0.1 siendo el LMP 0.01 el establecido en norma (Tabla 7).

Tabla 7 Medición de especificaciones sanitarias de metales y metaloides, en puntos de muestreo de agua potable en la zona de Tetela del Volcán.

Parámetro analizado	Manantial la escalera P1 (mg/L)	Manantial Xantamalco P2 (mg/L)	Manantial Guiloapan P3 (mg/L)	Tanque San Miguel P4 (mg/L)	Tanque san Jerónimo P5 (mg/L)	Manantial Pachoca P6 (mg/L)	Tanque El túnel P7 (mg/L)	Llave casa P8 (mg/L)	NOM 127 (mg/L)
<b>Cu</b>	0.01067	0.01292	0.01952	0.02005	0.01450	0.012	0.026	0.01308	2
<b>Zn</b>						0.075	0.063		
<b>Ni</b>						0.247	0.19		0.07
<b>Cd</b>						0.009	0.01		0.005
<b>Pb</b>	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.08	0.1	<0.005	0.01
<b>Co</b>						N.D.	N.D.		
<b>Fe</b>						0.081	0.159		0.3
<b>Cr</b>						N.D.	0.011		
<b>As</b>	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.006	0.007	<0.005	0.025
<b>Hg</b>	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.005	<0.005	<0.0005	0.006
<b>Pb</b>						<0.005	<0.005		0.01

La presencia de metales pesados en el agua puede ser usual, su presencia, a veces está determinado por un enriquecimiento natural al pasar por acuíferos en los que hay rocas. Pero su incremento se debe a la actividad industrial o la combustión de gasolina que genera residuos como el plomo, mercurio, arsénico y plomo (Alabduláaly y Khan 2009). Aunque pocos metales pesados son esenciales para la salud humana, una cantidad excesiva puede tener efectos negativos, ya que pueden bioacumularse (en los lípidos y sistema gastrointestinal) y pueden inducir cáncer y otros riesgos. Los resultados de este estudio evidenciaron la presencia de metales pesados (Cd, Ni y Pb) fuera de los límites máximos permitidos por la NOM-127 en la red alterna del agua potable. Aunque existen diversos estudios donde se informa de los tipos, las cantidades y los problemas de salud debido a la ingesta de agua potable con metales pesados, como es el caso del río Jimzu que estaba contaminada con cadmio, lo que provocó problemas renales entre la población (Jaishankar et al. 2014), aún se necesita investigación sobre una tecnología integral para garantizar agua potable segura. Cusiche Pérez et al. (2021) realizó la determinación de metales pesados en agua potable o en la ciudad de Junín, Perú y como resultado obtuvo la presencia de plomo, cadmio y arsénico en diferentes concentraciones sin exceder los límites establecidos en el país para aguas de consumo humano, sin embargo, dice que es de suma importancia mantener un control, puesto que estos metales se depositan al consumirlos por largos periodos en el riñón y el hígado. Asume que la exposición a estos metales es debido a la erosión de los suelos de donde proviene el agua y de los materiales que están en contacto al transportar el agua hasta los domicilios.

#### 10.6.2 Determinación de metales pesados en las muestras de agua residual

La determinación de metales pesados en las muestras de agua residual se comparó con los límites máximos permisibles de la NOM-001, por lo que el registro de las cantidades de Cu, Zn, Ni, Cd, Pb, Co, Fe, Cr, As y Hg en las muestras de agua residual antes y después de la PTAR se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la norma (tabla 8).

Tabla 8 Registro de las especificaciones sanitarias de metales y metaloides, en agua potable de la zona de Tetela del Volcán

Parámetro analizado mg/L	P9 PTAR entrada	P10 PTAR Salida	NOM 001
Cu	N.D.	N.D	
Zn	0.275	0.090	20
Ni	0.209	0.245	3
Cd	0.009	0.008	0.2
Pb	0.110	0.210	0.4
Co	N.D.	N.D.	6
Fe	0.349	1.563	
Cr	0.027	0.121	1
As	0.0056	0.0062	0.2
Hg	0.00148	<0.0005	0.01
Pb	<0.005	<0.005	

Concordando con lo encontrado por Pérez et al. (2016) quien realizo una investigación en muestra de agua en el efluente de la planta de agua residual en Coahuila obteniendo que de las muestras estudiadas no se rebasa ninguna concentración de metales pesados establecidos en la NOM-001 concluye que el uso de esta agua para riego agrícola pudiera acumular metales pesados en el suelo a largo plazo, también pudiera ocasionar salinización del suelo y los cultivos.

### 10.7 Aplicación de normas y de políticas públicas, que resguardan la sanidad del agua de la población de estudio

Una parte importante del proyecto fue conocer la aplicación de las políticas públicas internas en el municipio de Tetela del Volcán que garantizan la gestión eficiente y mantenimiento de la buena calidad del agua potable que se distribuye a la población en el municipio, por lo que se realizaron entrevistas estructuradas a personas clave relacionadas con la distribución, mantenimiento, cumplimiento, consumo y relación del agua potable con la salud de la población.

Entre los actores clave se incluyeron: funcionario ayuntamiento municipal, profesionales de salud en el centro de salud local, ciudadanos beneficiarios del agua residual tratada

y operadores de la planta tratadora de aguas residuales. Los cuales en su mayoría son originarios del mismo municipio y cuentan con varios años de experiencia en sus cargos o como consumidores.

Comenzando con el encargado de hacer cumplir las normas y políticas internas en el municipio relacionadas con el agua potable y su buena calidad, se entrevistó al director de agua potable el cual también se encarga de la red del agua potable.

### 10.7.1 Red agua potable

La historia de la red comienza hace 35 años, cuando algunos de los habitantes del barrio del San Miguel y Santiago comienzan a exportar agua hacia sus domicilios del manantial denominado Guiloapan, debido a esto el presidente municipal que se encontraba en el poder en ese momento (1997-2000) propone crear un tanque de almacenamiento. Posteriormente el siguiente presidente municipal (2003-2006) decide iniciar el proyecto de manera formal para crear una red con tuberías de acero y tanques de almacenamiento para el agua de otro manantial denominado Xantamalco, la cual se distribuiría en la zona baja del municipio (Xochicalco). Sin embargo, no se construyó de manera adecuada lo que provocó problemas de distribución posteriores. La red tiene una capacidad de distribución promedio de 15.6 L/s dependiendo la cantidad de agua almacenada, a la red se da un mantenimiento completo cada 6 meses. El mantenimiento de la red y la calidad del agua está dado por la NOM 127 y supervisado directamente por Cofepris seguido de Ceagua.

En la actualidad en el municipio se le da prioridad a tener agua de buena calidad para el consumo de la población, manteniendo en buenas condiciones la red de agua potable y dando una cloración al agua bajo la norma 127 para que el consumo no afecta la salud de la población. Al mismo tiempo se incita con pláticas en zona estratégicas dentro de la comunidad sobre la importancia del lavado de los alimentos y aplicación de una buena higiene de manos para la salud (Fig. 17). Sin embargo, aún no se tiene un control de todas las redes alternas puesto que estas se instalan de manera ilegal y muy posiblemente no se les da mantenimiento adecuado lo cual pudiera estar afectando la salud de los consumidores.

En este se observa de manera clara el papel del ayuntamiento para mantener agua de buena calidad disponible para la población en general de municipio, lo que se realiza para mantener esta calidad y bajo quien esta supervisado este proceso a nivel estado (Morelos).

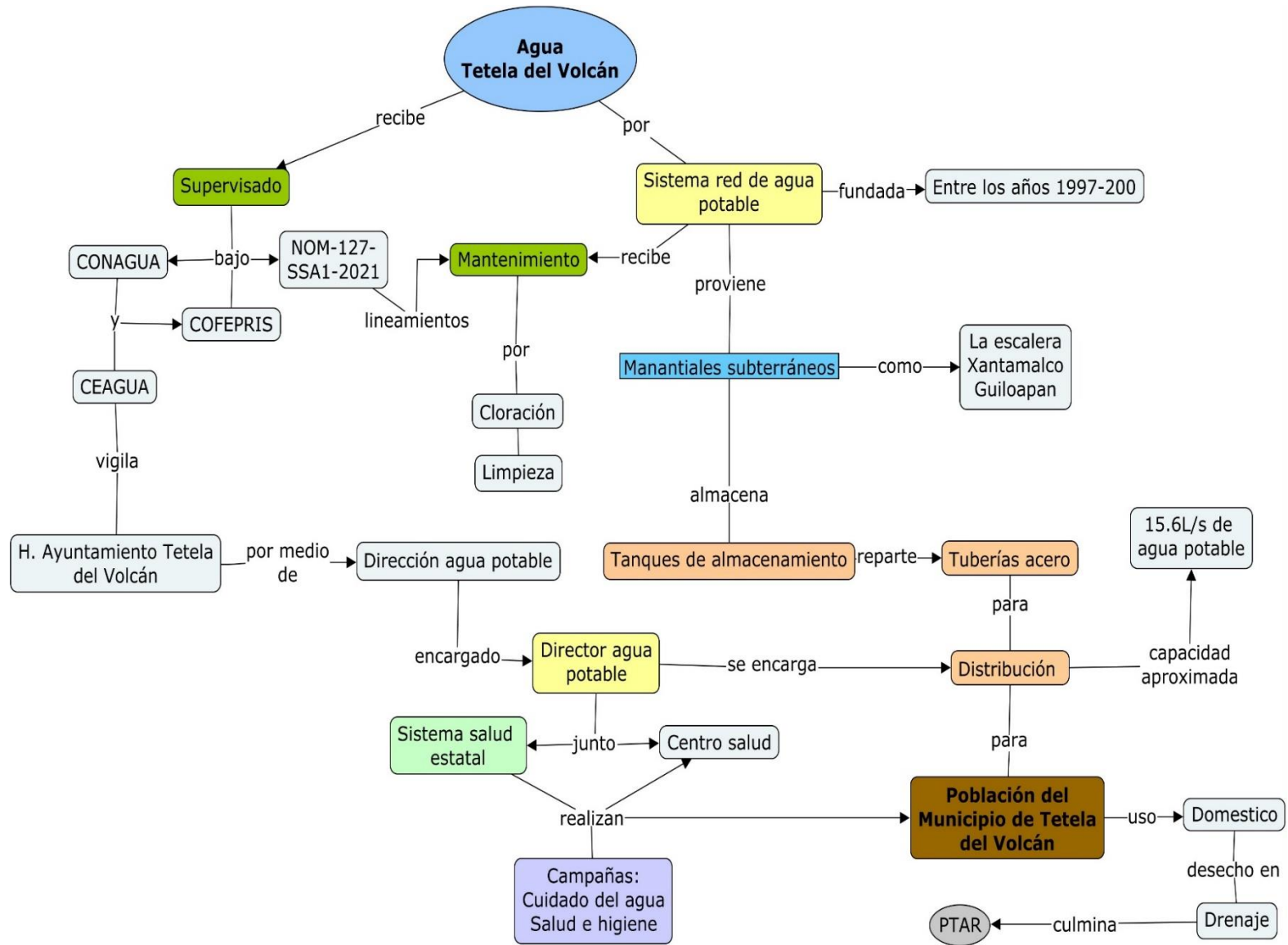
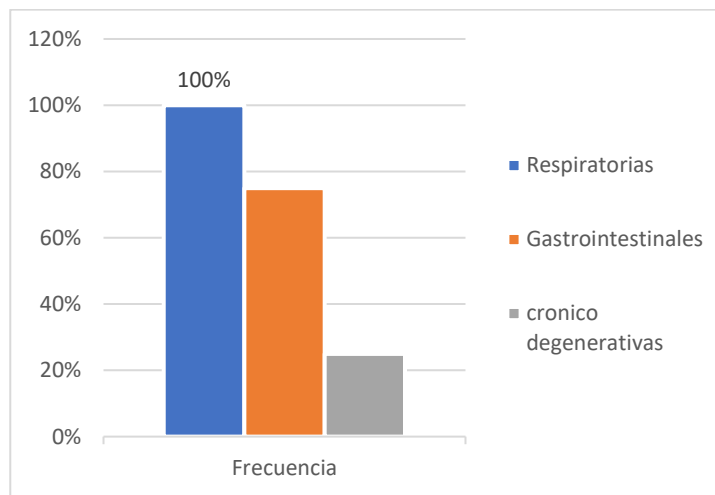


Figura 17 Sistema de operación interna del agua potable en Tetela del volcán.

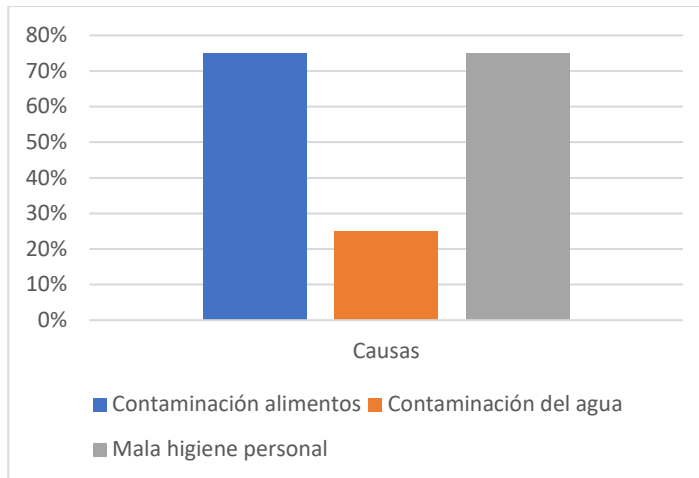
## Relación agua potable con la salud de la población

Después de saber la historia de red de agua potable del municipio, se hizo necesario conocer la relación del agua respecto a la salud de la población, puesto que el sistema de salud estatal reporta como segunda causa de morbilidad las enfermedades diarreico-agudas. Para lo cual se entrevistaron a profesionales de la salud pública, Médicos. Se les entrevisto de manera individual para conocer su perspectiva y experiencia con relación a las EDA en la población de la comunidad de Tetela del volcán y si estas están relacionadas con la calidad del agua que se consume en el municipio.

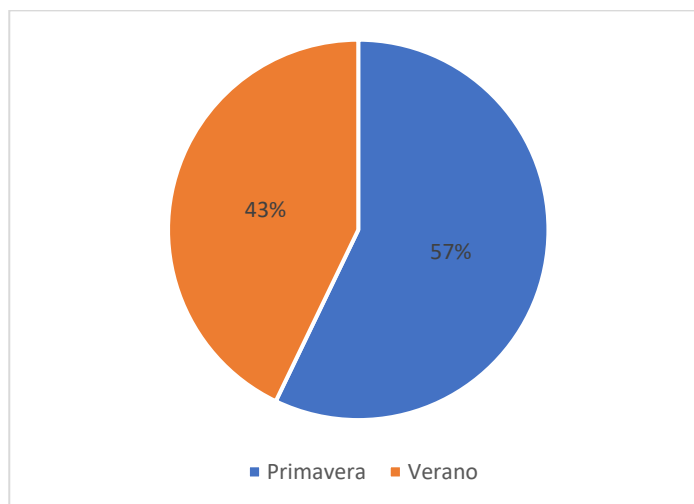


*Gráfica 7 Enfermedades comunes en la población de Tetela del Volcán.*

Como resultado y coincidiendo con lo reportado por el sistema de salud pública se concluyó que la principal enfermedad por la que la población asiste a consulta médica son las enfermedades respiratorias las cuales se atribuyen al clima del municipio, seguido de enfermedades diarreicas mas no se les relaciona con el consumo de agua potable si no principalmente por malos hábitos higiénicos o por consumir alimentos en mal estado, las EDA se presentan principalmente en niños menores de 5 años y adultos mayores, en época de primavera y verano.



Gráfica 8 Principales causas percibidas por el personal médico para la transmisión de EDA.



Gráfica 9 Estación del año con mayor incidencia de EDA

Para evitar estas enfermedades el personal de salud en conjunto con el ayuntamiento municipal incita a la población por medio de platicas y campañas de salud a llevar una mejor higiene personal y de los alimentos para evitar estas enfermedades.

#### Planta tratadora de aguas residuales

Una parte importante de la red de agua potable es la planta tratadora de aguas residuales puesto que las aguas grises (provenientes del uso doméstico del agua potable) terminan ahí, la PTAR surge a partir de que un grupo de agricultores comienzan a utilizar las aguas grises directamente para regar sus huertas por falta de agua potable para esto, posteriormente se inicia el proyecto de instalar una PTAR con

ayuda del gobierno de estado y del Ayuntamiento municipal en el año 2012 siguiendo un pretratamiento que consta de rejillas de desbaste grueso, mediano y dos desarenadores de dos cincuenta de largo por ochenta centímetros de profundidad y un cárcamo de bombeo con cuatro bombas sumergibles de 3.5 caballos de fuerza, tenemos un tratamiento secundario de reactores de lodos activados de 9 m de largo por 4.20 de profundo de ahí pasa un sedimentador secundario con profundidad son 5 m ya posteriormente pasa por sistema de canal Parshall donde se clora y de ahí se almacena en una sistema de almacenaje 6 m por 3 de ancho y de profundidad tiene 2.80 m posteriormente a la salida, la PTAR tiene una capacidad de 15l/s y sigue lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-2021. Esta supervisada por 3 operadores que trabajan las 24 horas del día los 365 días del año los cuales son supervisados por CEAGUA manteniendo control del tratamiento y a su vez esta supervisada por CONAGUA y la oficina de agua potable del ayuntamiento municipal de Tetela del volcán. Al salir el agua de la planta se distribuye en los campos de la localidad de Xochicalco perteneciente al mismo municipio, a grupos de agricultores que se benefician al recibir el agua tratada para riego de árboles frutales principalmente aguacate y durazno. Los agricultores son conscientes del riesgo en la salud de utilizar aguas tratadas para riego por lo que en su mayoría utilizan equipo de protección personal al regar sus cultivos y cuando presentan alguna enfermedad diarreica aguada consultan con un médico.

Contar con una PTAR en el municipio evita multas que se le pudieran poner al ayuntamiento y evita contaminación en barrancas por aguas negras y beneficia a una parte de la población agricultora (Fig.18).

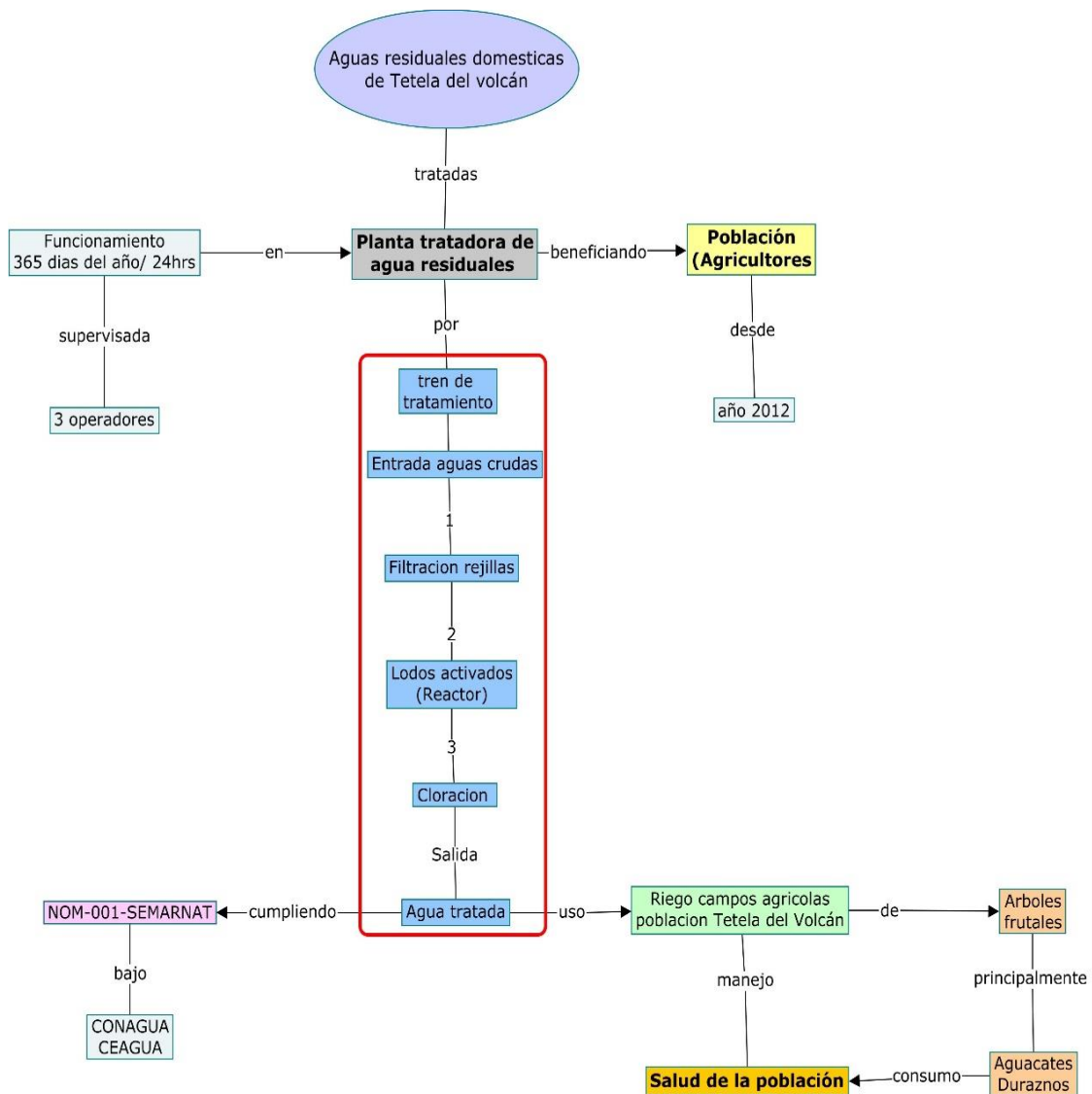


Figura 18 Regulación interna del sistema de la PTAR

Duarte y Velázquez (2015) realizaron un estudio sobre los sistemas normativos y la gestión comunitaria del agua potable en Tetela del Volcán, estos sistemas permiten acercarse a las relaciones intracomunitarias que se mantienen con grupos sociales, de acuerdo con ellos en el país los lineamientos normativos para los trabajadores del campo incluyen derechos y obligaciones relacionadas con el agua. La capacidad de equipos sociales para disponer del recurso hídrico y otros bienes naturales se rigen con referente a sus criterios y decisiones del territorio, ya que es fundamental para

su identidad. Dentro de la comunidad el manejo del agua es predominantemente comunitario y de uso común. En Tetela del volcán se aprovechan las aguas superficiales para riego agrícola y se observan dos formas comunitarias de uso y gestión del agua al margen de la administración gubernamental: las cajas de agua, para uso doméstico, y el sistema de mangueras para uso agrícola. Desde que se utiliza el agua del río Amatzinac hace décadas atrás, se encuentra disputada, por lo que recibieron un gobierno que dio la opción de utilización de mangueras que ahora surcan grandes trayectos, de hasta de 22 km y forman parte del paisaje local. Con el tiempo se dio la expansión del recurso para el riego local. Para los agricultores de la población, siempre han tenido el sentido de pertenencia y derecho, ya que, el agua que pasa por sus casas o suelos debe pertenecerles y tienen derecho a tomarla. Partiendo de esta idea, las reglas comunitarias cambiaron para el control y manejo del agua, y esto originó las históricas tensiones entre los pobladores que habitan alrededor de la cuenca alta del río Amatzinac y de las personas localizadas en la cuenca baja, y después con los de la parte media. De esta manera nunca hubo una concesión de Conagua que avalara las extracciones. Después de realizar diversas reuniones llegaron al acuerdo de expansión de los sistemas de riego y agua potable para toda la población de Tetela del Volcán, para ello se gestionarán límites de forma comunitaria; sin embargo, hasta ahora la organización local de Tetela del Volcán no ha renovado sus normas y no las ha ajustado al nuevo contexto de expansión de la agricultura, ni a resuelto viejos conflictos o al menos lidiar con factores centrales de economía, sociales y políticos por el uso de mangueras. El agua es considerada para unos pobladores una mercancía de agricultores, para otros es un bien público que debe ser administrado por el gobierno o el estado, al menos aceptar la intervención del gobierno para el financiamiento de nuevas tecnologías de riego y de agricultura y permitan continuar con la producción y venta. Para otras personas tiene un pensamiento de preservar el recurso ya que es para el servicio comunitario de futuras generaciones.

## XI. CONCLUSIONES

- Con la búsqueda de la carta geográfica y el sistema de distribución hidrológica de Tetela del Volcán se encontró una desactualización de los mapas hidrológicos de la localidad, por lo que, el estudio in situ junto con el programa de información geográfica Quantum GIS permitió la actualización del sistema hídrico, además, se anularon algunos puntos de abastecimiento de agua potable (tanques) debido a que se encuentran vacíos y/o secos.
- Las encuestas a la población evidenciaron el uso directo de agua potable para actividades cotidianas principalmente para su ingesta y elaboración de alimentos por lo que no se requiere desinfección o compra de agua embotellada. Su percepción a su consumo no lo relacionan con ninguna de las enfermedades, sin embargo, cerca del 50% de la población relaciona el consumo de agua contaminada con enfermedades infecciosas.
- La calidad microbiológica y fisicoquímica del agua procedente de los manantiales que abastecen la red hidrológica de Tetela del Volcán y de las muestras de agua potable de los tanques, se encuentran dentro de norma, por lo que, se considera óptima para consumo y uso humano. Así mismo, los parámetros registrados en las muestras de agua residual de la PTAR se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, por lo que, garantizan la salud de la población al reutilizar el recurso para el riego de cultivos
- El registro de los valores de los metales pesados (Cu, Zn, Ni, Cd, Pb, Co, Fe, Cr, As y Hg) hallados en las muestras de agua potable de manantiales y tanques no representan un riesgo a la salud de la población ya que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en las normas utilizadas.
- Se identificó la organización y normas que se siguen en la comunidad para mantener una buena calidad del agua, la capacidad que tienen los grupos para administrar el agua es fundamental para su identidad y hasta el momento es buena.
- Con resultados obtenidos, resalta el cuestionamiento de cómo están llegando los patógenos encontrados a las fuentes de agua ya que estos son capaces de causar un daño en la salud de la población por lo que es necesario continuar con el trabajo para incluir la

parte social y tal vez poder mejorar la conciencia individual y colectiva de la importancia del agua y de su saneamiento sostenible.

### XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acebedo, G. M.-D.-L. (2013). *Manual de Medicina preventiva y social*.

Apella María, Z. A. (2005). Microbiología de agua. Conceptos básicos. *Tecnologías Solares para la desinfección y descontaminación del agua*, 33-50.

Adimalla N., Manne R., Zhang Y., Xu P., Qian H. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking purposes in semi-arid region of Southern India: an application of GIS. *Geocarto International*. 2022;37(25):10843–10854. <http://doi.org/10.1080/10106049.2022.2040603>.

Alabdula'aly, A.I. and Khan, M.A. Heavy metals in cooler waters in Riyadh, Saudi Arabia. *Environ. Monit. Assess.* 2009; 157:23-28. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0511-3>.

Bekele M., Dananto M., Tadele D. International Institute for applied research article number: se-j. *Applied Research Journal of Environmental Engineering*. 2018;1(1):26–38. <http://doi.org/10.47721/arjee20180101038>.

Comisión estatal del agua. (2014). *Programa Estatal Hídrico 2014-2018*. Morelos. Obtenido:[http://www.transparenciamorelos.mx/sites/default/files/17\\_PROGRAMA%20ESTATAL%20H%C3%8DDRICO\\_1.pdf](http://www.transparenciamorelos.mx/sites/default/files/17_PROGRAMA%20ESTATAL%20H%C3%8DDRICO_1.pdf)

Córdoba, M. A., Del Coco, V. F., & Basualdo, J. A. (2010). Agua y salud humana. *Química Viva*, 9(3), 105-119.

Corrales-Ramírez Lucia, S.-M. Y.-P.-C. (2021). Evaluación de la calidad del agua de la vereda del Río Suárez de puente nacional, Santander. *NOVA: Publicación científica en ciencias biomédicas*, 19(37), 79-98.

Crespo, L. M. (2022). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el poblado de Yamanigüey según ICA de Montoya. *Minería y Geología*, 158-168.

Choque Taco, Y., & Estremadoyro Carpio, M. B. (2024). Contaminación ambiental por metales pesados en el río Piñog Condesuyos-Arequipa, 2022

Conapo. (2018). *TASA DE MORBILIDAD ATRIBUIBLE A ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO*. Sistema nacional de información ambiental y de recursos naturales.

Obtenido de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores\\_ilac18/indicadores/04\\_sociales/4.1.2.2.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_ilac18/indicadores/04_sociales/4.1.2.2.html)

Contreras Chura, H., Belizario Quispe, G., & Chui Betancur, H. N. (2023). Calidad del agua para consumo humano en los manantiales en la parcialidad de Jiscullaya, el Collao, Puno, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 40(2), 1-5.

Camara M., Jamil N. R., Abdullah A. F. B. Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review. *Ecological Processes* . 2019;8(1) <http://doi.org/10.1186/s13717-019-0164-x>.

Contreras Chura, H., Belizario Quispe, G., & Chui Betancur, H. N. (2023). Calidad del agua para consumo humano en los manantiales en la parcialidad de Jiscullaya, el Collao, Puno, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 40(2), 1-5. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.2.1>

D. R. Servicios de Salud de Morelos. (2018). *Diagnóstico de Salud Estatal*. México.

Denissen Julia, R. B.-R. (13 de July de 2022). Prevalence of ESKAPE pathogens in the environment:

Antibiotic resistance status, community-acquired infection and risk to human health. *International journal of Hygiene and Environmental Health*, 244(114006).

Duarte, A., & Velázquez, S. V. (2015). Entre la ley y la costumbre. Sistemas normativos y gestion comunitaria del agua en Tetela del Volcán, Morelos. *EntreDiversidades*, 45-73.

Daud, M. K., Nafees, M., Ali, S., Rizwan, M., Bajwa, R. A., Shakoore, M. B., Arshad, M. U., Chatha, S. A. S., Deeba, F., Murad, W., Malook, I., & Zhu, S. J. 2017. Drinking Water Quality Status and Contamination in Pakistan. *BioMed research international*, 2017, 7908183. <https://doi.org/10.1155/2017/7908183>.

Desta WM, Feyessa FF, Debela SK Modelado y optimización de la presión y la edad del agua para la evaluación del rendimiento de los sistemas de distribución de agua urbana. *Heliyon* . 2022; 8 (11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11257>. e11257.

DOF, 2021a, Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1- 2021. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, Secretaría de Salud, México, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0)

[consultado el 15 de noviembre de 2023].

DOF, 2021b, NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, Secretaría de Gobernación, México, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0) [consultado el 15 de septiembre de 2023]

DOF, 2015b, Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de Agua. Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli. Método del número más probable en tubos múltiples, Secretaría de Economía, México, <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf> [consultado el 08 de enero del 2023]

Gorski L, L. A. (2022). Salmonella enterica Serovar Diversity, distribution and prevalence in public-access waters from a central California coastal leafy green-growing region. *Appl Environ microbial*, 88.

Guevara-Díaz José Alberto, M. M.-P. (2021). Bacterial Resistance: organisms of the ESKAPE group. *Enfermedades infecciosas y Microbiología*, 41(3), 111-117.

H. Ayuntamiento de Tetela del Volcán. (2016). *Nuestro Municipio*. Obtenido de <https://municipio.teteladelvolcan.gob.mx/2016/08/30/minimal-leafs/>

González-Ramírez, A. M., Güiza, F., Reyes-Quintero, M. S., Méndez-López, M. E., & Torres-Lima, P. (2022). Vulnerabilidad Socioambiental desde los Feminismos Comunitarios: El Desastre por el Sismo del 19S en Tetela del Volcán, Morelos, México. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 6(1), 35-50.

González J. (2021). Evaluación de coliformes termo tolerantes y Enterococcus como indicadores de calidad de agua en la cuenca del arroyo Maldonado. Tesis de Licenciatura. Centro Universitario de la Región Este, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, 79 pp.

Hacienda Morelos. (2017). *Diagnóstico Municipal 2017*. Planeación estratégica, México. Obtenido de [https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu\\_planeacion/planea\\_estrategica/diagnosticos\\_municipales/2017-2/TETELA-DEL-VOLCAN2017.pdf](https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu_planeacion/planea_estrategica/diagnosticos_municipales/2017-2/TETELA-DEL-VOLCAN2017.pdf)

Hacienda., S. d. (2010). *Dirección General de Información Estratégica*. Obtenido de Marco Geoestadístico.

Hacienda Morelos (2017). Diagnóstico Municipal 2017. Planeación estratégica, México. Secretaria de coordinación de hacienda política de ingresos. Morelos, México 1-54.

Herrera-Morales Greys, C.-C. M. (2022). Medición de la calidad del agua en el río Chambo (Ecuador) en un programa educativo experimental. *Información tecnológica*, 33, 55-66.

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., Beeregowda, K.N., 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip. Toxicol.* 7 (2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>.

Jiménez-Moleón, M. C., and Gómez-Albores, M. A. Waterborne diseases in the state of Mexico, Mexico (2000-2005). *Journal of*

Karkey A, J. T. (2016). The Ecological Dynamics of Fecal Contamination and Salmonella Typhi and Salmonella Paratyphi A in Municipal Kathmandu Drinking Water. (J. A. Crump, Ed.) *PLOS Neglected Tropical Diseases*. doi:10.1371/journal.pntd.0004346

KEITH A. LAMPEL, S. B. (2018). A Brief History of Shigella. *EcoSal Plus*, 8(1). doi:10.1128/ecosalplus.ESP-0006-2017

Lerma Añón Carlos. (2021). *Los determinantes sociales de la salud: Más allá del derecho a la salud*. Madrid: DYKINSON.

Litter Marta. (2018) Arsénico en agua. En Agua + Humedales (210-224) Argentina: UNSAM Edita.

hoque Taco, Y. &. (2022). Contaminación ambiental por metales pesados en el río Piñog Condesuyos-Arequipa.

Levallois P., Barn P., Valcke M., Gauvin D., Kosatsky T. Public health consequences of lead in drinking water. *Current Environmental Health Reports* . 2018;5(2):255–262. doi: 10.1007/s40572-018-0193-0.

Mattock E, B. A. (2017). How do the virulence factors of Shigella work together to cause disease? *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 7(64). doi:10.3389/fcimb.2017.00064

Mengstie, Y. A., Desta, W. M., & Alemayehu, E. 2023. Assessment of Drinking Water Quality in Urban Water Supply Systems: The Case of Hawassa City, Ethiopia. *International journal of analytical chemistry*, 2023, 8880601. <https://doi.org/10.1155/2023/8880601>

Mancheno, A. D. D. J. R. (2024). Efectos del consumo de agua contaminada en la calidad de vida de las personas. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 9(1), 614-632.

Nataro J.P. & Kaper, J. B. (1998). Diarrheagenic Escherichia coli. *Clinical microbiology reviews*, 11(1), 141-201.

OMS. (2022). *Agua para consumo Humano*. Obtenido de Organización Mundial de la salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomieltis>.

OMS. (21 de Marzo de 2022). Agua para consumo Humano. Obtenido de Organización Mundial de la salud: <https://www.who.int/es/news->

room/factsheets/detail/drinkingwater#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomielitis.

Organización Panamericana de la salud. (2010). *Determinantes Ambientales de la salud*. Obtenido de OPS: <https://www.paho.org/es/temas/determinantes-ambientales-salud>

Octavio-Aguilar, P., & Olmos-Palma, D. A. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. *Herreriana*, 4(1), 43-47

OPS, O. (2009). Determinantes sociales de la salud. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/determinantes-sociales-salud>

OPS, O. (2018). Determinantes ambientales de salud, datos clave. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/determinantes-ambientales-salud>

OMS. (21 de marzo de 2022). Agua para consumo Humano. Organización Mundial de la salud: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/drinkingwater#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomielitis> 01/07/2024

OMS (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, 636 pp. ONU (2021). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: El valor del agua. Unesco, París, Francia, 225 pp.

Ríos-Tobón, S., & Ruth M. Agudelo-Cadavid, L. A.-B. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 35(2).

Robert Pulles.Marlen (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. CENIC, Ciencias Biológicas, Vol 45(1), 25-36. Centro Nacional de Investigaciones Científicas Ciudad de La Habana, Cuba, ISSN: 0253-5688.

Reyes Toscano Claudia Alejandra \*, Ruth Alfaro Cuevas Villanueva, Guadalupe Vázquez Mejía, Raúl Cortés Martínez, Dulce María Bocanegra Ramírez, 2022. Evaluación de la calidad del agua de manantiales ubicados en la comunidad El Platanal, Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita* no. 85, 53-72. <https://doi.org/10.35830/cn.vi85.65>.

SEMARNAT. (2016). *Tasa de morbilidad atribuible a enfermedades de origen hídrico*. Obtenido de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores\\_verdes16/indicadores/01\\_contexto/5.1.3.html#:~:text=Las%20enfermedades%20de%20origen%20h%C3%ADdrico,la%20tifoidea%20y%20la%20disenter%C3%ADa](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_verdes16/indicadores/01_contexto/5.1.3.html#:~:text=Las%20enfermedades%20de%20origen%20h%C3%ADdrico,la%20tifoidea%20y%20la%20disenter%C3%ADa).

Silva, J. R. (2004). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de la sociedad venezolana de microbiología*, 24(1-2), 46-49.

Salas-Marcial, C., Garduño-Ayala, M. A., Mendiola-Ortiz, P., Vences-García, J. H., Zetina-Román, V. C., Martínez-Ramírez, O. C., & Ramos-García, M. D. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1).

Salas-Marcial, C. G.-A.-O.-G.-R.-R.-G. (2019). Salas-Marcial, C., Garduño-Ayala, M. A., Mendiola-Ortiz, P., Vences-García, J. H., Zetina-Román, V. C., Martínez-Ramírez Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20.

Salazar, R. S., Correa, A. C., Bueno, J. L., & Cusquisibán, C. P. (2023). Determinación de la calidad físicoquímica y bacteriológica del Manantial La Manzanilla, Michiquillay-La Encañada, Cajamarca. *Revista Caxamarca*, 22(1-2), 106-117

Sanguino-Jorquera, D. G., Poma, H. R., Rajal, V. B., Juárez, M. M., & Irazusta, V. P. (2024). Parásitos humanos en aguas superficiales de uso recreativo en Salta, Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, 56(2), 115-124.

Vidal Graniel, J. (2006). Escherichia coli entero patógena (EPEC): una causa frecuente de diarrea infantil. *Salud en Tabasco*, 9(1), 188-193.

Villar Aguirre Manuel. (2011). Factores determinantes de la salud: Importancia de la prevención. *Acta Med Per*, 28(4), 2037.

Ugwu S. N., Umuokoro A. F., Echiegu E. A., Ugwuishiwu B. O., Enweremadu C. C. Comparative study of the use of natural and artificial coagulants for the treatment of sullage (domestic wastewater) *Cogent Engineering*. 2017;4(1):1365676–1365713. doi: 10.1080/23311916.2017.1365676.

Washington, W. y F. Frank. "Six things you can do with a bad simulation model," *Transactions of ESMA*, Vol. 15, No. 30, 2007.

Wiley J. y K. Miura Cabrera. "The use of the XZY method in the Atlanta Hospital System," *Interfaces*, Vol. 5, No. 3, 2003.

## Anexo 1

### 5.1 Especificas para agua potable

#### Normas de comparación

- ✓ NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.
- ✓ NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.

#### Normas de método de prueba

1. Físicos y químicos
  - ✓ NMX-AA-028-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-028-1981).
2. Microbiológicos
  - ✓ NMX-AA-042-SCFI-2015 ANÁLISIS DE AGUA - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termo tolerantes) y *Escherichia coli* – método del número más probable en tubos múltiples (cancela a la nmx-aa-42-1987).
3. Metales pesados
  - ✓ NMX-AA-051-SCFI-2016 Análisis de agua. - medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas MÉTODO DE PRUEBA
  - ✓ EPA 6010 C-2007 Análisis de agua – Determinación de metales por plasma inductivo Acoplado – Espectrometría de Cd, Cr, Pb, Fe, Mn, K, Al, Mg, Se, B, Na, Ca, Cu, Zn, Ni.

### 5.2 Especificas para aguas residuales y procedimentales

#### Normas de comparación

- ✓ NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación
- ✓ NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- ✓ NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

### **Normas de método de prueba**

#### 1. Físicos y químicos

- ✓ NMX-AA-028-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-028-1981).
- ✓ NMX-AA-007-SCFI-2013, Análisis de agua-Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-007-SCFI-2000).
- ✓ NMX-AA-008-SCFI-2016 Análisis de agua-Medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2011).

#### 2. Microbiológicos

- ✓ NMX-AA-042-SCFI-2015 ANÁLISIS DE AGUA - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termo tolerantes) y *Escherichia coli* – método del número más probable en tubos múltiples (cancela a la nmx-aa-42-1987).

#### 3. Metales pesados

- ✓ NMX-AA-051-SCFI-2016 Análisis de agua. - medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas MÉTODO DE PRUEBA

- ✓ EPA 6010 C-2007 Análisis de agua – Determinación de metales por plasma inductivo Acoplado – Espectrometría de Cd, Cr, Pb, Fe, Mn, K, Al, Mg, Se, B, Na, Ca, Cu, Zn, Ni.