



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN
CULTIVOS DEL VALLE DEL ESTADO DE MÉXICO
CON MAYOR IMPACTO EN EL ÁMBITO AGRÍCOLA**

TESIS:

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA PETROQUÍMICA

PRESENTA:

PATRICIA VERA ARRIAGA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EN C. JULIÁN CRUZ OLIVARES

ASESOR ADJUNTO:

M.C.Q. LETICIA ALMAZÁN SÁNCHEZ



TOLUCA, MÉXICO

Resumen

En esta tesis se evalúa la calidad del agua utilizada para el riego en cinco municipios agrícolas del Valle del Estado de México: Amanalco, Metepec, Villa Guerrero, Donato Guerra y Jiquipilco. La investigación surge ante la crisis de abastecimiento del sistema Cutzamala, que ha obligado a los agricultores a recurrir a fuentes alternativas como pozos y aguas superficiales, cuya aptitud para el cultivo y el consumo humano era incierta.

Lo más destacado del trabajo es que, en general, el recurso hídrico analizado tiene una pureza mineral elevada; sin embargo, para su potabilización plantea retos físicos concretos. Uno de los resultados positivos es que todas las muestras se clasificaron como "agua suave", ya que la dureza total fue menor a 75 mg/L de CaCO_3 . Esta propiedad es óptima para la agricultura porque impide que las sales se acumulen en el terreno y que los sistemas de distribución del agua se obstruyan o corran el riesgo de corrosión. Además, el pH se mantuvo en un nivel neutral (entre 6.9 y 7.5), lo que es ideal para el crecimiento de las cosechas y para la ingestión humana, de acuerdo con las normas mexicanas NOM-127 y NOM-201.

Un hallazgo fundamental del estudio es el incumplimiento generalizado del parámetro de turbiedad. Todas las muestras superaron el límite establecido de 5 NTU, siendo el caso de Jiquipilco el más preocupante, con un valor de 212 NTU. La turbiedad excesiva, originada por materia orgánica y sedimentos, constituye un indicador crítico, ya que puede interferir en el proceso de absorción de nutrientes en las plantas y comprometer la desinfección del agua destinada al consumo. En relación con este parámetro, el agua potable también excedió los límites permitidos en Villa Guerrero, Donato Guerra y Jiquipilco, como resultado de la existencia de materia orgánica natural y escurrimientos agrícolas.

Por otro lado, los análisis químicos revelaron resultados positivos en relación con los criterios de toxicidad. Los niveles de nitratos, nitritos, sulfatos, cloruros y fluoruros se mantuvieron significativamente por debajo de los límites máximos permitidos, lo cual indica que la contaminación por residuos industriales o exceso de fertilizantes en los puntos de muestreo es baja.

Para finalizar, a pesar de que el agua es químicamente adecuada para el riego, su alta turbiedad y coloración en ciertas zonas exigen tratamientos de filtración y sedimentación previos para asegurar la productividad de la agricultura y, especialmente, para asegurar la seguridad sanitaria si se pretende para uso doméstico.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	2
Símbolos y Términos abreviados	8
Capítulo I Antecedentes	10
1.1 INTRODUCCIÓN	11
1.2 HIPÓTESIS	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4 PLAN DE INVESTIGACIÓN	13
1.5 MARCO TEÓRICO	16
1.5.1 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO	17
1.5.2 TIPOS DE CUERPO DE AGUA	17
1.5.2.1 Lótico	17
1.5.2.2 Léntico	17
1.5.2.3 Costero	17
1.5.2.4 Subterráneo	18
1.5.3 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	18
1.5.4 RELEVANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO Y PARA EL CONSUMO HUMANO	18
1.5.5 ENFERMEDADES POR UNA MALA CALIDAD DEL AGUA	19
1.5.6 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA	19
1.5.7 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL	21
1.5.8 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	22
1.5.9 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	23
Turbiedad	23
Medición de conductividad	23
Sólidos disueltos totales	24
Color aparente	24
Cloro residual libre	25
Fluoruros	25

Cloruros	26
pH	26
.....	27
Temperatura.....	27
Dureza Total.....	28
Sulfatos (SO ₄).....	29
Nitratos	30
Nitritos.....	30
1.6 TRABAJO DE CAMPO	32
Ubicación geográfica	32
1.6.1 ÁREAS DE ESTUDIO	33
Amanalco de Becerra	33
Donato Guerra	34
Villa Guerrero.....	35
Jiquipilco	36
Metepec	37
Capítulo II Materiales y Métodos	39
2.1 Muestreo	40
2.2 MÉTODOS, FÓRMULAS UTILIZADAS Y RESULTADOS.....	45
Dureza Total.....	45
Turbiedad.....	46
Determinación de color, escala Pt-Co.....	47
Conductividad Eléctrica	49
Apariencia.....	50
pH	50
Sólidos Disueltos Totales	50
Cloruros	51
Sulfatos.....	53
Cloro residual libre.....	54
Temperatura.....	55
Fluoruros.....	55

Nitratos	56
Nitritos.....	58
Capítulo III Resultados y Discusión	60
3.1 Resultados y discusión	61
3.1.1 pH del agua	61
3.1.2 Dureza Total.....	61
3.1.3 Turbiedad	62
3.1.4 Sólidos Disueltos Totales	63
3.1.5 Cloruros	64
3.1.6 Cloro residual libre	64
3.1.7 Sulfatos	65
3.1.8 Temperatura.....	65
3.2 Fluoruros.....	67
3.2.1 Nitritos.....	67
3.2.1 Nitratos	68
3.2.2 Color Potable	68
Tablas de resultado por municipio	70
Capítulo IV Conclusiones	75
Bibliografía.....	77
GLOSARIO	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS A.....	¡Error! Marcador no definido.
.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS B	¡Error! Marcador no definido.
Curvas de calibración	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Tabla Parámetros para estudiar.....	15
TABLA 2. Parámetros y pesos relativos	20
TABLA 3. Determinar la ubicación de los puntos de muestreo	40
TABLA 4. Parámetro y preservación de muestra.....	41
TABLA 5. Muestreo imágenes	43
TABLA 6. Resultados del parámetro Dureza Total.....	46
TABLA 7. Resultados de Turbiedad.....	47
TABLA 8. Registro Color aparente, color real.....	48
TABLA 9. Resultados del análisis de Conductividad eléctrica	49
TABLA 10. Tabla de resultados Apariencia	50
TABLA 11. Tabla de resultados escala de pH.....	50
TABLA 12. Resultados del parámetro Solidos Disueltos Totales.....	51
TABLA 13. Resultados Obtenidos del parámetro Cloruros.....	53
TABLA 14. Resultados del parámetro Sulfatos (SO ₄ -2).....	54
TABLA 15. Resultado del parámetro Cloro libre residual	55
TABLA 16. Resultados de parámetro Temperatura °C	55
TABLA 17. Resultados del parámetro Fluoruros	56
TABLA 18. Resultados de lecturas a 220 nm y 275 nm	57
TABLA 19. Tabla de resultados una vez aplicada la corrección	58
TABLA 20. Iones de interferencia (Nitritos).....	59
TABLA 21. Resultados del parámetro Nitritos	59
TABLA 20. Tabla de parámetros municipio Amanalco	70
TABLA 21. Tabla de parámetros municipio Metepec	71
TABLA 22. Tabla de parámetros municipio Villa Guerrero	72
TABLA 23. Tabla de parámetros municipio de Donato Guerra	73
TABLA 24. Tabla de parámetros municipio de Jiquipilco	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Suelo afectado por excesivas sales en agua.	19
Figura 2. Escala de pH.....	27
Figura 3. Potenciómetro	28
Figura 4. Toma de muestra para parámetro Nitritos	31
Figura 5. Mapa del Estado de México	31
Figura 6. Mapa del Estado de México	32
Figura 7 Mapa del municipio de Amanalco de Becerra	34
Figura 8 Mapa del municipio de Donato Guerra.....	34
Figura 9 Mapa del municipio de Villa Guerrero	36
Figura 10 Mapa del municipio de Jiquipilco.....	37
Figura 11 Mapa del municipio de Metepec	38
Figura 12 Muestra Jiquipilco, con una turbiedad de 212 NTU se requirió hacer filtración para los análisis	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13 Turbidímetro Portátil 2100Q	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14 Medición de la conductividad eléctrica mediante potenciómetro....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15 TEST KIT, CO-1 COLOR 0-500.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16. Muestras preparadas para análisis de fluoruros	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17. Analizador Cloro Libre y pH Lamotte.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18. Muestra de agua del municipio de Amanalco de Becerra	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19. Muestra sembradío Amanalco Estado de México ...	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20. Muestra agua del Villa Guerrero.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 21. Análisis Dureza Total	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22 Sembradíos de haba en el municipio de Donato Guerra.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 23 Análisis Solidos Disueltos Total	¡Error! Marcador no definido.
Figura 24 Filtrado de muestra Mpio. Jiquipilco	¡Error! Marcador no definido.
Figura 25 Filtrado de la muestra del municipio de Amanalco de Becerra.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 26 Cultivo: avena forrajera Mpio. Jiquipilco ...	¡Error! Marcador no definido.
Figura 27 Cultivo: frijol Mpio. Donato Guerra	¡Error! Marcador no definido.

Símbolos y Términos abreviados

<i>Abreviación</i>	<i>Definición</i>
<i>ATP</i>	Indicador de la presencia y actividad de microorganismos vivos
<i>CaCO₃</i>	Carbonato de Calcio
<i>Cl₂/N</i>	Interacción entre el cloro y el nitrógeno
<i>CONAGUA</i>	Comisión Nacional del Agua
<i>DQO</i>	Demanda Química de Oxígeno
<i>EDTA</i>	Ácido etilendiaminotetraacético
<i>FT*</i>	Fosforo Total
<i>ICA</i>	Índice de Calidad del Agua
<i>INEGI</i>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<i>LMP</i>	Límite Máximo Permisible
<i>mS/cm</i>	Unidad de medida para la conductividad eléctrica
<i>NaCl</i>	Cloruro de sodio
<i>nm</i>	Nanómetros
<i>NO₂</i>	Nitritos
<i>NO₃</i>	Nitratos
<i>NOM</i>	Normas Oficiales Mexicanas
<i>NTK</i>	Nitrógeno Total Kjeldahl
<i>NTU</i>	Unidad de Turbidez Nefelométrica
<i>OD</i>	Oxígeno disuelto
<i>OMS</i>	Organización Mundial de la Salud
<i>Pt-Co</i>	Escala de color platino-cobalto

<i>RENAMECA</i>	Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua
<i>SEMARNAT</i>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<i>SPADNS</i>	ácido 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazol-1-sulfónico
SO_4^{2-}	Sulfatos
$BaCl_2$	Cloruro de Bario
$BaSO_4$	Sulfato de Bario
<i>DPD</i>	N, N Dietil parafenilendiamina
ZrF_6^{2-}	Hexafluorocirconato (IV)
<i>N-(1-Naftil)</i>	N-(1-naftil) etilendiamina
<i>HCN</i>	Cianuro de Hidrógeno
<i>ClCN</i>	Cloruro de cianógeno
NH_4^+	Catión poliatómico con carga positiva
HCO_3	Ion bicarbonato
SiO_2	Dióxido de silicio (Sílice)

Capítulo I

Antecedentes

1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el Estado de México se encuentra con un alto nivel en desabasto de agua debido a que en los últimos años el sistema Cutzamala ha estado en su capacidad más baja. El sistema Cutzamala es una de las fuentes de abastecimiento de agua más grande del país, este aprovecha aguas de las diferentes cuencas, entre las que destacan, las presas de Tuxpan y el Bosque, provenientes del estado de Michoacán y Colorines, así también como Ixtapan del Oro, Villa Victoria y Valle de Bravo, si bien este desabastecimiento se ha dado por la sobreexplotación de estas presas de los Valles de México, por este motivo los agricultores del Valle de Toluca han optado por hacer uso de aguas de pozos y aguas de descarga proveniente de uso doméstico e industrial, lo que genera una enorme controversia entre si el agua está en las condiciones adecuadas para el uso en los cultivos y evidentemente para el consumo humano.

El agua es un recurso natural escaso, cuya calidad debe ser protegida, defendida, gestionada y tratada como tal. La calidad influye mucho en los usos del agua de lagos, mares, ríos y otras fuentes de agua superficiales o subterráneas, pero específicamente el agua potable requiere de una calidad específicamente alta, la gestión de la calidad controla la contaminación de origen humano de forma que se asegura que un agua es adecuada para el consumo humano. (Cuenca, 2017)

Se hizo la investigación y se encontró que existen instrumentos jurídicos que regulan la calidad del agua y los límites permisibles, los instrumentos jurídicos principales utilizados para esta investigación fue la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-2021** “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.” Y la **NOM-201-SSA1-2015** **NORMA Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015**, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel.

En este proyecto se presentan valores de análisis fisicoquímicos realizados a diferentes tipos de agua en el Valle del Estado de México, divididos por parámetros específicos esto con el fin de tener conocimiento de si el agua que se está utilizando para riego de cultivos y consumo humano está cumpliendo con los valores críticos acordados por la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-2021**, y **NORMA Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015**.

1.2 HIPÓTESIS

Por las circunstancias actuales en los abastecimientos de agua para el Valle del Estado de México los agricultores han optado por la utilización de agua de los niveles someros y profundo del acuífero para riego y evidentemente algunos para consumo humano, pero ¿Será la calidad adecuada y estará en los límites permisibles marcados por la norma?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar aguas de riego y de consumo humano que son empleadas para el cultivo en el Valle del Estado de México con el fin de evaluar su calidad y verificar si están dentro de los límites permisibles.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar aguas de riego y consumo humano de diferentes puntos del Valle del Estado de México mediante la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-2021 y la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-201-SSA1-2015.
- Verificar que las aguas utilizadas para riego estén cumpliendo con los valores críticos marcados por las NORMAS OFICIALES MEXICANAS NOM-127-SSA1-2021 y NOM-201-SSA1-2015.

1.4 PLAN DE INVESTIGACIÓN

Una vez establecidos los objetivos específicos se incluye esto:

Determinación de la conductividad eléctrica en aguas tratadas, residuales y naturales

Determinar la capacidad de una disolución acuosa para conducir una corriente eléctrica de las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-01 con el objetivo de comprender el comportamiento de cada una de ellas en el sector agrícola.

Medición del pH

Someter las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-01 con el fin de evaluar las propiedades y para un buen funcionamiento de los métodos de purificación y regulación de agua (floculación y desinfección con cloro), el monitoreo de la disolución de metales en canales y tuberías, así como el tratamiento biológico del agua residual y las descargas de dicha agua.

Determinación de dureza total en aguas potables y purificadas envasadas

Establecer el total de concentración de iones de calcio y magnesio expresados como su equivalente de $CaCO_3$ de las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-01 mediante método titulométrico de EDTA.

Determinación de sulfatos en aguas para consumo y uso humano

Determinar la presencia del ion sulfato en las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-01 en medio ácido con ayuda de $BaCl_2$ (cloruro de bario), bajo el método turbidimétrico.

Cálculo de la cantidad total de sólidos disueltos en aguas para consumo y uso humano

Determinar la cantidad de solidos totales disueltos en las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-011.

Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y tratadas.

Determinar la temperatura en las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-011.

Medición de color aparente y verdadero mediante las unidades Pt-Co.

Determinar el color verdadero de las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-011 mediante las unidades Pt-Co medida visual comparativa entre muestras y soluciones de cobalto y patino de concentraciones ya determinadas.

Determinación de cloruros totales en aguas naturales

Mediante titulación determinar cantidad de cloruros totales presentes en las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-011

Determinación de cloro total

A un pH menos a 4.0 determinar mediante método de titulación la cantidad de cloro total para las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-011

Determinación de nitrógeno de nitritos

Con ayuda del método espectrofotométrico determinar la cantidad de nitrógeno de nitritos para las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-011 bajo la noma NOM-201-SSA1-2015.

Determinación de nitrógeno de nitratos

Mediante espectrofotometría y bajo la norma NOM-201-SSA1-2015 calcular la cantidad de nitrógeno de nitratos presentes en las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-011.

Determinación de fluoruros

Con ayuda del método espectrofotométrico determinar la concentración de fluoruros presentes en las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-011 bajo la norma NMX-AA-077-SCFI-2001.

Determinación de turbiedad

Bajo la norma NMX-AA-038-SCFI-2001 y con ayuda del método turbidímetro medir la turbiedad de las muestras A-01, M-01, VG-01, DG-01 y J-01.

TABLA 1. Tabla Parámetros para estudiar

Descripción conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Parámetros	Unidad de medición
Calidad de agua de riego en el Valle del Estado de México.	Concentraciones fisicoquímicas del agua en el Valle del Estado de México que las hacen aptas para agricultura y consumo humano.	Se analiza la calidad del agua con ayuda de estudios fisicoquímicos del agua de riego y consumo humano en el Valle del Estado de México.	Análisis Fisicoquímicos	• pH (Potencia de Hidrógeno) • Temperatura (°C) • Conductividad eléctrica • Dureza Total • Nitrógeno Amoniacal (ml) • Sulfatos SO_4 (nm) • Turbiedad • Solidos disueltos totales • Nitritos • Nitratos • Cloro residual libre • Cloruros • Fluoruros • Color potable
				• - • °C • mS/cm • mg $CaCO_3$/L • mg/L • mg/L • ntu • Mg solidos totales /l • mg/L • mg/L • mg/L • mg/L • mg/L

1.5 MARCO TEÓRICO

Para los seres vivos de nuestro planeta, el agua es un recurso esencial siempre presente en todos los tipos de vida y en muchas actividades que el ser humano desarrolla para sobrevivir, como la agricultura, la ganadería y los procedimientos de adquisición de energía.

Las fuentes hídricas para consumo humano son variadas y diversas se hallan en los lagos, ríos, la humedad del suelo y los acuíferos subterráneos de acceso sencillo fuentes que no se encuentran distribuidas de manera homogénea razón para que cierto número de pobladores en el país tengan que hacer uso de fuentes convencionales como lo son aguas residuales recicladas, agua de lluvia, pozos y manantiales poco productivos, desagües en las ciudades, etcétera; por su parte las aguas subterráneas son abundantes en muchos lugares del mundo. El 50% de la población global tiene acceso al agua potable a través de las aguas subterráneas, que además constituyen el 43% del total de agua empleada para el riego; por lo tanto, son el recurso acuático exclusivo para cubrir las necesidades elementales diarias, sin embargo, es complicado saber si la calidad de estas fuentes está dentro de los márgenes tolerados por la legislación mexicana. (Pérez, 2019)

Un agua de riego contaminada contribuye a la aparición de enfermedades como la fiebre tifoidea, la poliomielitis, la hepatitis, el cólera, otras afecciones diarreicas y la disentería. La población se enfrenta a riesgos para la salud que en realidad podrían ser evitados si existieran los servicios de agua y saneamiento en las condiciones óptimas.

A causa de la mala administración de las aguas residuales, agrícolas e industriales, cientos de millones de individuos consumen agua que tiene contaminación química o biológica. Asimismo, el agua que se utiliza para el consumo humano, en particular si proviene del subsuelo, tiene la posibilidad de contener cantidad alta de productos químicos, como flúor y arsénico, y debido a la lixiviación de tuberías, otros productos químicos igual pueden presentarse como el plomo. (OMS, 2023)

La esquistosomiasis es una enfermedad crónica y grave causada por helmintos y que se produce al estar expuestos a agua contaminada. En el año 2021, más de 251 millones de individuos necesitaron atención preventiva para esta afección. (OMS, 2023)

1.5.1 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Nos referimos a la calidad del agua para riego cuando hacemos alusión a aquellas características del agua que pueden tener un impacto, a largo plazo, sobre los recursos de las tierras y de los cultivos. La calidad del agua para el riego es crucial por motivos de seguridad, debido a su posible impacto en la salud de las personas y los ecosistemas en general. La mala calidad del agua utilizada para el riego es uno de los principales factores que explican la presencia de hongos y bacterias en las plantas. La Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA), junto con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se encarga de supervisar continuamente la calidad del agua en los cuerpos más importantes del país. Este monitoreo incluye el análisis de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, definidos según el tipo específico de cuerpo acuático a caracterizar.

1.5.2 TIPOS DE CUERPO DE AGUA

En México la forma de referirse a los distintos tipos de aguas que existen se categoriza de la siguiente manera:

1.5.2.1 Lótico

Nos referimos a las aguas de tipo Lótico a aquellas aguas que se encuentran en movimiento a la misma dirección, como el de los ríos, riachuelos y arroyos.

1.5.2.2 Léntico

Las aguas de tipo Léntico son aguas que se encuentran estancadas, sin movimiento, entre las que podemos mencionar están las de los lagos, las presas y los embalses.

1.5.2.3 Costero

Respecto a las aguas de tipo costero se encuentran las de las playas, bahías, marismas y estuarios.

1.5.2.4 Subterráneo

Por su parte el agua de tipo subterráneo son las que se encuentran en el subsuelo entre las que podemos mencionar están las de los cenotes, galerías y manantiales.

Para este proyecto es importante que identifiquemos con qué tipo de agua se está tratando ya que con ayuda de ellos sabremos qué proceso fisicoquímico aplicar.

1.5.3 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La calidad de las aguas subterráneas depende de diversos comportamientos químicos y de su concentración que se derivan principalmente de los datos geológicos de la región en cuestión. Los desechos industriales y los desechos sólidos municipales han surgido como una de las principales causas de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. En muchas partes del país, el agua disponible se vuelve no potable debido a la presencia excesiva de metales pesados. La situación empeora durante la temporada de verano debido a la escasez de agua y la descarga de agua de lluvia (Patil. PN, 2012)

1.5.4 RELEVANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO Y PARA EL CONSUMO HUMANO

El principal propósito del análisis químico del agua es para determinar la calidad para el riego y consumo humano, así como la tolerancia para con el suelo y los cultivos. Es de suma importancia conocer que concentraciones de sustancias que contienen las aguas de riego y de consumo humano para conocer los aportes nutrimentales de los mismos o en su defecto los efectos adversos con sustancias o elementos presentes en ellas no deseables.

La mayor parte del agua utilizada para regar tiene bicarbonatos disueltos y bases intercambiables que tienen el potencial de aumentar la alcalinidad del suelo, lo cual puede reducir la producción de ciertas plantas y árboles frutales debido al aumento desmedido del pH.

Por ende, el agua de riego tiene la capacidad de modificar o generar suelos alcalinos o salinos. El impacto de las aguas de riego varía según el nivel de

bicarbonatos, la cantidad de agua utilizada, la capacidad amortiguadora del suelo y la tolerancia del cultivo. (R.S. Ayers D. W., 1994)



Figura 1 Suelo afectado por excesivas sales en agua. (UNAM Global, 2024)

1.5.5 ENFERMEDADES POR UNA MALA CALIDAD DEL AGUA

El agua es un líquido vital para todo ser humano y ser vivo, sin embargo, el uso de un agua contaminada puede causar enfermedades que representan un problema de salud muy grave; a través de ella, se transmiten agentes biológicos como bacterias, virus, parásitos, entre las enfermedades más comunes que se desencadenan al consumir alimentos crecidos con agua contaminada o en su caso el consumo directo se encuentran Salmonelosis, cólera, hepatitis, shigelosis, amebiasis y gastroenteritis viral son algunos ejemplos. La mayor parte de estas afecciones producen síntomas tales como vómito, fiebre, cansancio, diarrea, calambres o malestar abdominales y, por supuesto, disminución de peso.

En casos extremos cuando alguno de los compuestos presentes en agua está presentes de manera excesiva el consumo de estas aguas puede producir enfermedades como la metahemoglobinemia o generar afectaciones directamente al sistema nervioso central o producir alteraciones cardiovasculares. (OMS, 2023)

1.5.6 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA

Con el propósito de hallar un método constante y uniforme para informar a la gente sobre la calidad del agua de una manera accesible, se ideó en los años 60 un sistema estimativo de calidad del agua. Esto implicó medir físicamente los

parámetros de contaminación acuífera y emplear una escala estándar para expresar la relación entre la presencia de diversos contaminantes en el agua y su nivel de impacto en los distintos usos que se le da, según la (SEMARNAT, 2020), el sistema se llama Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual se define como el nivel de contaminación que hay en el agua al momento de realizar un muestreo, representado por un porcentaje de agua pura. Este índice permite comparar la cantidad de contaminantes en distintos sectores. El ICA será muy bajo o igual a 0% si el agua está altamente contaminada, y alcanzará hasta un 100% si está dentro de los parámetros normales, es decir, si se encuentra en excelentes condiciones.

Para su cálculo, el ICA tuvo en cuenta 18 parámetros con diferentes pesos relativos (w_i), de acuerdo con la relevancia que se le daba a cada uno en la evaluación general:

TABLA 2. Parámetros y pesos relativos

<i>Parámetro</i>	<i>Peso (w_i)</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Peso (w_i)</i>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5.0	Nitrógeno en nitratos	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	3.0	Potencial de Hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales	2.0	Cloruros	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal	2.0	Turbiedad	0.5

1.5.7 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

La Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (REMECA) considera para establecer la calidad del agua superficial los siguientes ocho indicadores: demanda bioquímica de oxígeno a cinco días DBO_5 , demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes fecales (CF), *Escherichia coli* (*E. coli*), enterococos fecales (ENTEROC_FEC), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD%) y toxicidad aguda (TOX).

(CONAGUA, 2024)

Ocho parámetros componen los indicadores superficiales: la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5), el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto OD (%), los sólidos suspendidos totales (SST), los coliformes fecales (CF), *las escherichia coli* (*E_COLI*), la toxicidad aguda (TOX) y los enterococos fecales (ENTEROC_FEC).

1.5.8 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La red de agua subterránea en 2022 se conformó por 775 lugares, para estos lugares, el análisis de la calidad del agua tiene en cuenta 14 parámetros indicadores, tanto fisicoquímicos como microbiológicos: Fluoruros (Fluo), coliformes fecales (CF), nitrógeno de nitratos ($N - NO_3$), arsénico total (As_Tot), cadmio total (Cd_Tot), cromo total (Cr_Tot), mercurio total (Hg_Tot), plomo total (Pb_Tot), alcalinidad (Alc_Tot), conductividad eléctrica (Cond_elec), dureza total (Dur_Tot) y sólidos disueltos totales, así como hierro y manganeso en su totalidad. El cumplimiento o incumplimiento de la calidad del agua que se utiliza para beber, consumir o regar la agricultura se evalúa con base en estos parámetros. (CONAGUA, 2024)

Cuando se consideraron los 14 parámetros anteriores como indicadores fisicoquímicos y microbiológicos se instituyó un semáforo de calidad del agua subterránea, en el caso de que el semáforo señala color verde significa que hay cumplimiento de los 14 parámetros anteriores, amarillo cuando alguno de los siguientes parámetros no se está cumpliendo: conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza total, sólidos disueltos totales, manganeso total, hierro total y el color rojo en caso de que uno o más de los siguientes parámetros no se cumplan: Cadmio total, plomo total, arsénico total, mercurio total, cromo total, nitrógeno de nitratos, coliformes fecales y fluoruro.

1.5.9 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Turbiedad

El parámetro de turbidez es esencial en los análisis físicos del agua, ya que la transparencia del agua es relevante para la fabricación de productos destinados al consumo humano y a muchas aplicaciones industriales. La coagulación, la clasificación y el filtrado son métodos que los productores de bebidas, los procesadores de alimentos y las plantas de extracción sobre agua superficial suelen utilizar para asegurar productos que sean aceptables.

La turbidez del agua es provocada por partículas suspendidas y coloidales como el plancton, la arcilla, los sedimentos, la materia orgánica e inorgánica finamente fragmentada y otros seres microscópicos. La turbidez es una manifestación de la propiedad óptica que provoca la absorción y dispersión de la luz, en vez de que esta se transmita sin alteración del rumbo o nivel del flujo a través de la muestra. Establecer una correlación entre la turbidez y el peso o concentración de partículas de materia suspendida es complicado debido a que las propiedades de dispersión luminosa de la suspensión se ven afectadas por el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas. (Chaquea, 2017).

Es importante mencionar que las partículas hechas de materiales que absorben luz, como el carbón activado, ocasionan una interferencia negativa cuando hay concentraciones importantes. Estas partículas, en concentraciones bajas, tienen un impacto positivo porque contribuyen a la turbiedad. Sin embargo, si hay sustancias disueltas que absorben la luz y provocan coloración, pueden generar una interferencia negativa. (Chaquea, 2017).

Medición de conductividad

La capacidad que tiene una solución para conducir una corriente eléctrica se expresa numéricamente como conductividad. Esta aptitud está sujeta a la presencia de iones y a su concentración total, movilidad, valencia y concentraciones relativas, además de estar afectada por la temperatura en que se realiza la medición.

(Chaquea, 2017)

Se puede emplear la conductividad eléctrica para controlar la calidad de las aguas naturales, las de procesos en plantas de tratamiento y las residuales.

Después de medir la conductividad eléctrica, se puede determinar el nivel de mineralización del agua, ya sea que se trate de agua natural, residual, previamente tratada o incluso para propósitos clínicos o de laboratorio.

La conductividad es un parámetro de calidad del agua que se regula con límites máximo-permisibles en el desagüe de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, así como para actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano. Según la norma **NMX-AA-093-SCFI-2018** la conductividad es expresada en $\mu\text{S/cm}$, la equivalencia de las unidades es la siguiente: 1,0 mS/m (mili siemens/metro) es equivalente a 10,0 umhos / cm (micromhos/centímetro).

Sólidos disueltos totales

Hablamos de sólidos disueltos a la materia que se encuentra suspendida disuelta en aguas ya sean potables o residuales, esta materia orgánica e inorgánica permanece como residuo posterior a someterse a un procedimiento de evaporación y secado de la muestra que ha sido filtrada con anterioridad a través de un filtro de fibra de vidrio con poros de 1.5 μm a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, estos sólidos puede ser un foco rojo para la calidad del agua potable ya que las aguas con abundantes sólidos disueltos no son favorables e incluso son capaces de provocar una reacción fisiológica para el ser humano, es por ello que para aguas potables de consumo humano según la (Secretaría de Salud , 2022) los sólidos disueltos se considera aceptable un límite de **500mg/L**, incluso para uso industrial una agua altamente mineralizada es inadecuada.

Color aparente

La materia orgánica, especialmente la materia húmica acuática, es la principal causante del color de las aguas superficiales y subterráneas. Como su nombre lo sugiere, la materia húmica es una mezcla de ácidos fúlvico y húmicos que generan un color marrón amarillento. Las partículas suspendidas, en particular las que tienen un tamaño coloidal (por ejemplo, arcillas, algas, hierro y óxido de manganeso), confieren color al agua.

El color en las unidades platino- cobalto (Pt- Co) es una medida visual comparativa entre la muestra y disoluciones coloridas de platino-cobalto (Pt- Co) de concentraciones conocidas, existen discos patrón que proporcionan esta intensidad de color, la unidad de color en ambos casos corresponde a 1.0 mg/L de platino en forma de ion cloroplatinato. (Secretaría de Economía, 2001)

Cloro residual libre

El principal objetivo del cloro en las aguas es para desactivar microorganismos o destruirlos, estos microorganismos son causantes de enfermedades diarreicas y gastrointestinales.

El tratamiento de las aguas potables mejora la calidad del agua mediante la reacción entre el cloro y el amoníaco, el manganeso, el hierro, los sulfuros y ciertas sustancias orgánicas. No obstante, también puede generar efectos negativos. El cloro que se aplica al agua pasa por varias reacciones para generar cloro libre, que está compuesto por ion hipoclorito, ácido hipocloroso y cloro molecular acuoso. El cloro libre, por otra parte, es capaz de reaccionar con el amoníaco y algunos compuestos nitrogenados para crear cloro combinado. Esto genera tricloruro de nitrógeno, monocloraminas y dicloroaminas (sustancias que pueden ser cancerígenas). La cantidad y la concentración de las especies de cloro libre y combinado están determinadas por la proporción Cl_2/N , el tiempo de reacción, el pH y la temperatura. Con ayuda de la norma la norma NOM-201-SSA1-2015 se logra determinar que el agua puede contener cloro libre y combinado al mismo tiempo. (Secretaria de Salud , 2016).

Fluoruros

El fluoruro está presente de forma natural en el agua o se puede incorporar en ciertas cantidades controladas; una concentración de fluoruro en el agua de aproximadamente 1mg/L potable contribuye a disminuir la caries dental con éxito sin mostrar efectos perjudiciales para la salud. La fluorosis puede ocurrir cuando los niveles se sobrepasan los niveles recomendados de fluoruros, suele ser poco probable que en aguas naturales nos encontremos altas concentraciones de fluoruros mayores a 10mg/L, pero cuando las aguas son contaminadas por

desechos industriales o aguas negras estas aguas de se deben someter a un proceso de desfluoración. (Secretaría de Economía , 2001)

Para le análisis de fluoruros en las muestras estudiadas se utilizó el método espectrofotométrico.

Cloruros

El cloro es un elemento crucial para el crecimiento vegetal, siempre que se aplique en pequeñas cantidades. Esto se debe a que la toxicidad más frecuente en el agua de riego proviene del exceso de cloruros presentes en ella. El cloruro no se mantiene ni se absorbe en la tierra, por lo que se traslada con el agua del suelo, es asimilado por las plantas y se acumula en las hojas. Si la concentración de cloruro en estas supera la tolerancia de la planta, aparecen síntomas de daño como sequedad del tejido foliar o quemaduras en las hojas. Por lo general, al aumentar la gravedad, el deterioro de la planta empieza en las puntas de las hojas y se extiende hacia los bordes. (R.S. Ayers D. W., 1994) como se sabe existen cultivos unos más sensibles que otros, esto por la calidad del suelo de igual manera, para cultivos sensibles cuando hay presencia de cloruros de entre 0.3 a 1.0% las plantas tienden a desarrollar lo que se conoce como necrosis, significa que hay tejido muerto de manera excesiva y por ende las hojas comienzan a caerse antes de que la planta llegue a una etapa madura. Los cultivos que suelen ser más tolerantes a la presencia de cloro son la cebada, entre los medianamente tolerantes la papa y el trigo, y los que son sumamente sensibles a la presencia de cloruros en exceso son la haba, leguminosas y fresa. La medición de dichos cloruros en el agua de riego debe realizarse conforme al método de prueba establecido en la norma NMX-AA-073-SCFI-2001."

pH

La concentración de iones de hidrógeno en el agua es la que se mide como pH, es un parámetro que se encarga de la determinación de la muestra, ya sea acida, básica o neutra. El pH tiene un rango de medición que va desde 1 hasta 14, cuando el pH es inferior a 7 significa que es agua acida, un pH de 7 indica que el agua es neutra y un pH mayor de 7 se denomina que el agua es de naturaleza básica.

Para que el agua sea considerada apta para consumo humano en México, la NOM-127-SSA1-2021 establece un rango permisible de pH entre 6.5 y 8.5, buscando un equilibrio que garantice la seguridad del agua y controle su corrosividad. (CONAGUA, 2024) Respecto a las plantas el pH no afecta directamente en el crecimiento, pero si en la etapa inicial, es decir en la coagulación y en la fluctuación de esta.

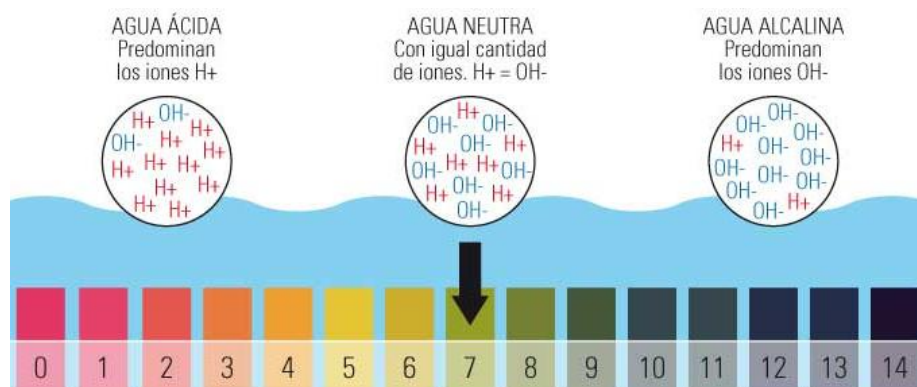


Figura 2. Escala de pH

Temperatura

La temperatura del agua de riego es un factor importante para los cultivos, si la temperatura es demasiado alta o en su defecto demasiado baja, le puede afectar en floración, producción de semillas y polinización de las flores, o planta según lo que se tenga cultivando.

Si la temperatura del agua es demasiado fría, las semillas no podrán llevar a cabo el proceso de germinación, no hay un crecimiento de raíces y lo cultivado no podrá llegar a la etapa madura y pasará lo mismo si la temperatura del agua con la que está siendo regado es demasiado alta, cabe mencionar que algunas plantas pueden morir por falta de oxígeno o incluso algunos seres patógenos que se desarrollen en ambientes de temperaturas altas o bajas podrán instalarse en las planta cultivada y que esta no prospere como se tenía previsto. La temperatura ideal depende de la planta que se tenga cultivada, aunque es de mencionarse que la mayoría de las plantas prefieren una temperatura en la zona de las raíces de 18 a 22°C. Para garantizar la precisión en el control ambiental, la temperatura del agua debe ser tomada con algún termómetro o potenciómetro calibrado, siguiendo los

procedimientos establecidos en la norma **NMX-AA-007-SCFI-2013** para la medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, la temperatura del agua puede ser tomada con algún termómetro o en su defecto con potenciómetro.

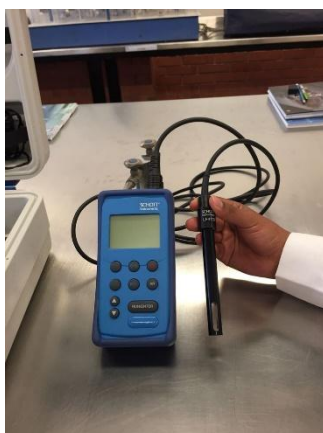


Figura 3. Potenciómetro

Dureza Total

La concentración de iones de magnesio y calcio se conoce como dureza total expresados como su equivalente $CaCO_3$. Las aguas según la cantidad total de iones que contienen se clasifican de la siguiente forma:

- Suave 0-75mg/L como $CaCO_3$
- Poco dura 75-150mg/L $CaCO_3$
- Dura 150-300mg/L como $CaCO_3$
- Muy dura más de 300 mg/L como $CaCO_3$

Los efectos más significativos de la dureza en las aguas que tenemos en casa son que cuando el agua se encuentra clasificada como una agua dura o muy dura esta no permite que el jabón que se utiliza para la limpieza y quehaceres domésticos genere espuma ya que al tener una cantidad de iones de calcio excesiva, estos reaccionan con las moléculas del jabón ocasionando que este tenga pérdida de eficacia, así también como que al utilizarla para cocinar al evaporarse deja sales sobre las paredes de los recipientes, por otro lado cuando el volumen de iones de calcio y magnesio es muy alta afecta principalmente y de manera directa a las tuberías y o depósitos en donde esta es almacenada.

La dureza del agua cambia de un sitio a otro porque representa la calidad de las formaciones geológicas que ha atravesado; por este motivo, el agua superficial es menos dura que la subterránea. Los cationes causantes de la dureza son: Ca^{++} , Mg^{++} , Sr^{++} , Fe^{++} , Mn^{++} , y los aniones que causan la dureza en primer lugar son: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , SiO_2 (Secretaría de Salud, 2022)

En concentraciones elevadas de iones de magnesio y calcio, las plantas o lo cultivado puede llegar a ser ofensivo para la producción, por ende, para las plantas se debe tener presente que el agua debe ser agua de poca dureza, es decir, que los valores deben rondar entre los 75 y los 150mg asimilando los parámetros de calidad del agua de la **NOM-127-SSA1-2021**, la cual busca asegurar límites permisibles para evitar condiciones objetables en el agua de uso constante).

Sulfatos (SO_4)

El sulfato es un ion que contribuye a la salinidad del agua, y su origen principal es la disolución de yesos o la oxidación de sulfuros(piritas), encontrándose en forma de sal cálcica o magnésica. A pesar de que la cantidad de sulfatos en las aguas naturales fluctúa mucho, en terrenos que no contienen una proporción de sulfatos importante, el valor de esta puede ser de 30 a 50 mg/L sin embargo en las zonas yesíferas esta concentración puede llegar a 300 mg/L. en las aguas subterráneas es donde se suelen hallar las concentraciones más elevadas y tienen origen natural.

La presencia de sulfatos en el agua potable puede causar un deterioro del sabor, el cual varía según el catión asociado, para cualquier sulfato se ha establecido que concentraciones superiores a los 250mg/L pueden originar un sabor apreciable, así como contribuir a la corrosión de sistemas de distribución y a niveles muy altos ocasionar efectos laxantes en las personas (1000mg/L y 1200 mg/L). (Pérez, 2019).

Para la determinación del ion sulfato se utilizó el Método Turbidimétrico el cual precipita en un medio ácido con cloruro de bario ($BaCl_2$) lo que genera cristales de sulfato de bario con un tamaño constante y una turbidez que puede ser medida y es proporcional a la concentración del sulfato. El espectrofotómetro registra la absorbancia generada por la suspensión de sulfato de bario a 420 nm, para este parámetro es importante mencionar que la precisión y exactitud es clave puesto que

deberá ser como mínimo de 10% del valor paramétrico. (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2012)

Nitratos

El nitrógeno es uno de los nutrientes más relevantes para la agricultura, ya que es un nutriente fundamental para las verduras y hortalizas por ser una fuente de nitrógeno. Además, este elemento es uno de los más comunes en el planeta. Los nitratos no son tóxicos por sí solos.

El nitrógeno inorgánico puede estar presente en forma libre como gas (N_2) o como nitrato (NO_3^-), muchas sustancias que tienen nitrógeno y funcionan como nutrientes para las plantas contienen este elemento. Las reacciones de los nitratos (NO_3^-), en el agua dulce pueden provocar que el oxígeno se agote. Si esto sucede, los organismos acuáticos que dependen del suministro de oxígeno pueden enfrentar graves dificultades debido a las altas concentraciones de nitratos.

Las principales vías de entrada del nitrógeno a los cuerpos de agua son las aguas residuales que provienen de la industria y los municipios, los tanques sépticos y las descargas provenientes de corrales para el engorde del ganado. La aparición de bacterias en el agua transforma los nitritos en nitratos. De acuerdo con la norma **NOM-201-SSA1-2015**, el límite máximo tolerado de nitrato en el agua potable es de 10 mg/L. Si este límite se supera, podría haber efectos perjudiciales para la salud humana. Uno de esos efectos es la metahemoglobinemia, también conocida como la enfermedad de los bebés azules. Esta condición ocurre cuando hay una conversión excesiva de hemoglobina a metahemoglobina, lo que impide que esta última pueda unirse con el oxígeno y trasladarlo. (Óscar Sánchez, 2007)

Nitritos

Los nitritos son sustancias químicas que se pueden encontrar en el agua potable, agua residual, y agua de descarga, estos compuestos se producen al descomponerse la materia orgánica o bien como resultado de la oxidación del nitrato. Según (Secretaria de Salud , 2016) los nitritos son una etapa intermedia del ciclo del nitrógeno. En aguas naturales los nitritos nos pueden indicar que tan

buena o mala es el agua. Si bien estos suelen aparecer en aguas de plantas de tratamiento en concentraciones menores a 1mg/L y en aguas subterráneas por lo regular es de 0.1 mg/L, la norma NOM-201-SSA1-2015 establece límites más estrictos para agua potable envasada (habitualmente de 0.05 a 0.5 mg/L dependiendo del tipo de agua) debido a su toxicidad. Las plantas de tratamiento y los sistemas de distribución de agua también pueden generar nitrito debido a la acción bacteriana sobre el nitrógeno amoniacal.

Los nitritos pueden entrar a los cuerpos de agua por diferentes fuentes como lo son:

- Descomposición de materia orgánica
- Fertilizantes agrícolas
- Excremento de animales y humanos
- Filtración de fosas sépticas hacia aguas subterráneas
- Descargas industriales



Figura 4. Toma de muestra para parámetro Nitritos. (Aréchiga, 2024)

1.6 TRABAJO DE CAMPO

Para llevar a cabo este proyecto, en primera instancia se identificaron las zonas del Valle del Estado de México que tienen mayor impacto en el ámbito agrícola, para ello se tomaron las muestras de los siguientes municipios: Amanalco, Metepec, Villa Guerrero, Donato Guerra y Jiquipilco. La recolección de las muestras se llevó acabo de diciembre 2023 a febrero 2024, posterior de tomar las muestras bajo las normas vigentes se llevaron a cabo los análisis fisicoquímicos pertinentes para comprobar la calidad del agua de manera que si alguna de las aguas analizadas esté fuera de los límites permisibles se tomen medidas al respecto para que los usuarios que dependen de este elemento vital estén enterados de la calidad de agua que están consumiendo.

Ubicación geográfica

El Estado de México tiene una población de 16,992,418 personas y 125 municipios que ocupan un área de 21,355 km². Las coordenadas son: longitud entre 100°36'46.8"W y 98°35'48.84"W; latitud entre 18°22'0.84"N y 20°17'9.24"N. Limita al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo; al sur con Guerrero y Morelos; al este con Tlaxcala y Puebla; al oeste con Tlaxcala y Puebla; al oeste con Michoacán y Guerrero, además del Distrito Federal, que lo rodea por el norte, este y oeste. (INEGI, INEGI, 2020)

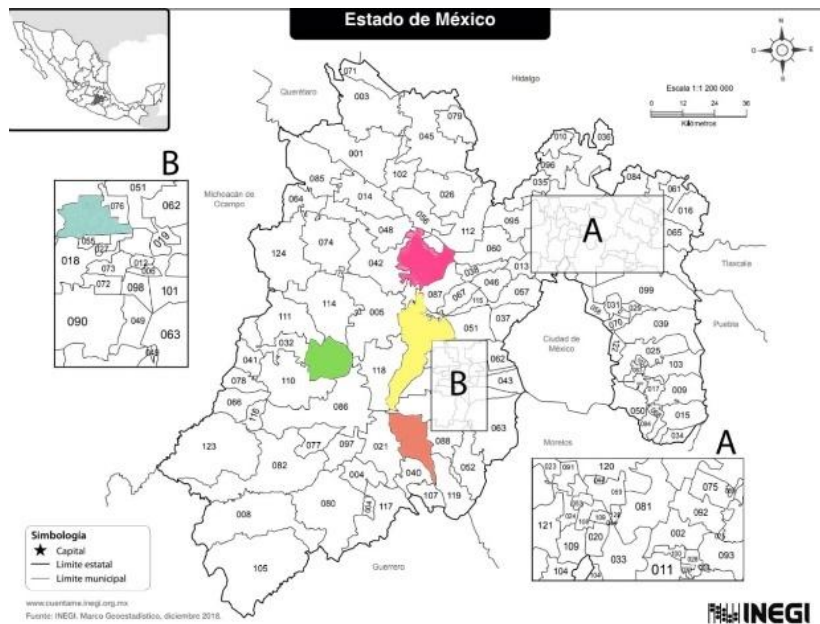


Figura 6. Mapa del Estado de México

1.6.1 ÁREAS DE ESTUDIO

Para la investigación realizada se tomaron en cuenta los municipios que mayor impacto tienen en la agricultura en el Valle del Estado de México como Amanalco de Becerra, Metepec, Donato Guerra, Villa Guerrero y Jiquipilco.

Amanalco de Becerra

A través de la Subsecretaría de Turismo, la Secretaría de Cultura y Turismo del Estado de México ha declarado que el municipio de Amanalco, ubicado en este mismo estado, es un pueblo con encanto. El municipio de Amanalco tiene una superficie de 219.49km², una población total de 24,669 personas y una densidad demográfica de 111 habitantes por hectárea, respecto al clima del municipio de Amanalco de Becerra es subhúmedo todo el año, es decir es bastante templado, durante el transcurso del año la temperatura generalmente varía de 1°C a 23°C y rara vez baja a menos de -2°C o sube a más de 26 °C, en el municipio de Amanalco se tienen localizados 1770 cuerpos de agua de los cuales 539 son manantiales y principalmente el uso que se le da a esta agua es para uso público, urbano, domestico, pecuario, **agrícola**, acuacultura y recreativo.

La Cuenca de Amanalco y Valle de Bravo

Según (Martinez, 2019) la cuenta Amanalco-Valle de Bravo suministra el 40% del agua del sistema Cutzamala, que a su vez proporciona más de una quinta parte del agua utilizada en la Ciudad de México, con un total de 1,770 cuerpos de agua superficial.

El manantial de nombre El Chorrillo, se encuentra en el Ejido El Potrero, es el manantial más importante de esta comunidad ya que según (INEGI, Censo de población y vivienda , 2020) suministra a la comunidad, que tiene de 1,000 a 2,499 habitantes.

El municipio de Amanalco de Becerra destaca por sus sembradíos de papa, haba, chícharo, maíz y tomate.



Figura 7 Mapa del municipio de Amanalco de Becerra. (Secretaría de Cultura y Turismo., s.f)

Donato Guerra

El municipio de Donato Guerra está situado a 142 kilómetros de distancia de la Ciudad de México, es considerado como pueblo como encanto, rodeado de montañas lo habitan 37, 436 habitantes entre pueblos mazahuas y algunos otomíes, posee una superficie de 192.03 km², representando un 0.88% del territorio estatal (INEGI, INEGI, 2020).

El clima que prevalece en el municipio de Donato Guerra es un clima subhúmedo templado con precipitaciones en verano de elevada humedad (92.66%), clima subhúmedo semifrío con lluvias veraniegas de alta humedad (6.5%) y clima semicálido subhúmedo, también con lluvias en verano, pero con una humedad media (0.84%).

Donato Guerra es muy rico en elementos naturales, su río más relevante es el de la Asunción, afluente del Tilostóc. Surge en el municipio de Villa Victoria y su denominación se va modificando mientras atraviesa los municipios de San José Villa de Allende y Santo Tomás de los Plátanos.

Los manantiales en el municipio de Donato Guerra son muy relevantes, ya que todos los pueblos cuentan con al menos 3 y se utilizan para la agricultura, la

ganadería y el consumo humano, entre los principales productos sembrados en este municipio se encuentran el higo, las canoas y el aguacate.

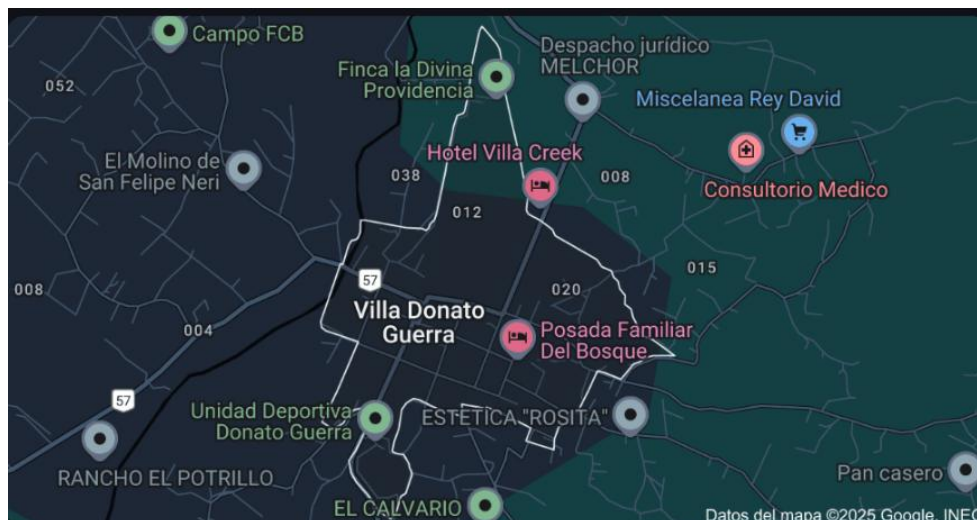


Figura 8. Mapa del municipio de Donato Guerra. (Secretaría de Cultura y Turismo., S,F)

Villa Guerrero

El municipio de Villa Guerrero es una comunidad mayoritariamente rural y uno de los 125 municipios que existen en el Estado de México. Tiene un área total de 210,535 km² con una población total de 69,086 habitantes, (INEGI, Censo de población y vivienda , 2020). El clima que prevalece en el municipio de Villa Guerrero es el templado, subhúmedo, con precipitaciones en invierno y verano benignos; en la estación estival, su régimen pluvial es al menos diez veces más alto durante el mes más húmedo de la mitad cálida del año que en su mes más seco. La temperatura más alta es de 39 °C y la más baja es de 2 °C.

El municipio de Villa Guerrero tiene 75 manantiales de los cuales solo 1 es monitoreado, el agua de estos manantiales es de uso doméstico, pecuario y sobre todo agrícola. En el municipio se encuentra el mercado de flores más grande de la entidad, que ocupa una extensión de 22 hectáreas casi por completo destinadas a la venta de flores y productos relacionados; además, se cultivan también aguacates, duraznos y fresas. (Guerrero, 2023)

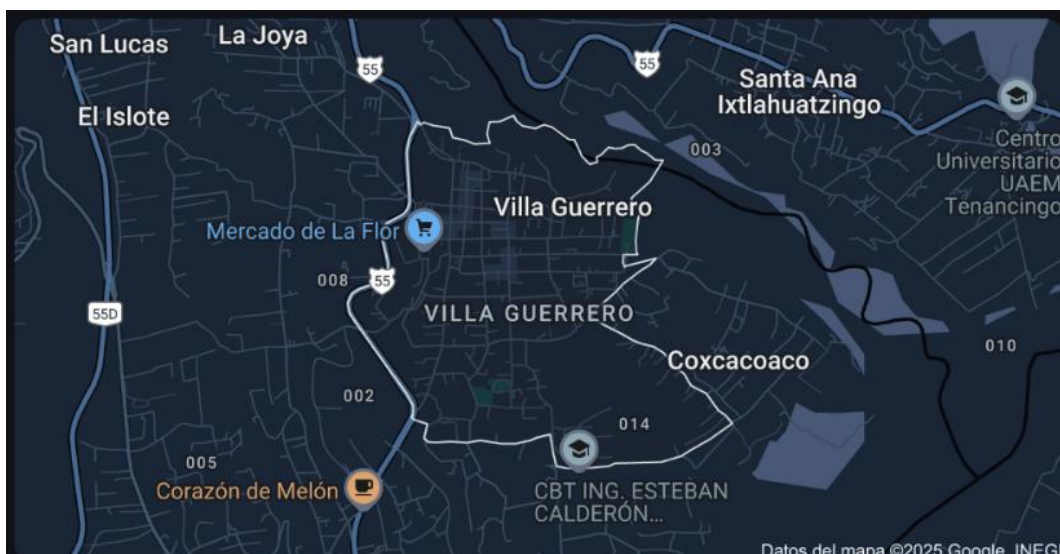


Figura 9 Mapa del municipio de Villa Guerrero. (Secretaría de Cultura y Turismo., s.f)

Jiquipilco

El municipio de Jiquipilco está ubicado en el Estado de México. La Secretaría de Cultura y Turismo del Estado de México lo califica como un pueblo pintoresco, mediante la Subsecretaría de Turismo. Con 76,826 residentes y una superficie territorial que abarca 276,5 km², Jiquipilco es un municipio que merece ser conocido. (INEGI, Censo de población y vivienda , 2020). El clima en el municipio de Jiquipilco es semifrío subhúmedo con lluvias en verano y mayor humedad (16.75%) y también es templado subhúmedo con lluvias durante la época estival, pero con más humedad (83.25%).

Jiquipilco es un municipio del estado que tiene una doble etnia (Mazahua-Otomí) y es el principal productor de aguamiel, bebida pulquera, a nivel estatal. En este lugar se consume pulque desde hace más de 150 años; en el siglo XIX era parte de la alimentación de la población. Su nombre proviene del otomí y significa "lugar de costales o alforjas". Es un municipio con doscientos años de historia, donde, por orden del Papa Clemente VIII, los frailes franciscanos construyeron la parroquia de San Juan Jiquipilco en el siglo XVI. (México G. d., 2024)

Respecto a la actividad agrícola destaca por la producción de avena forrajera, maíz en grano y gladiolas.

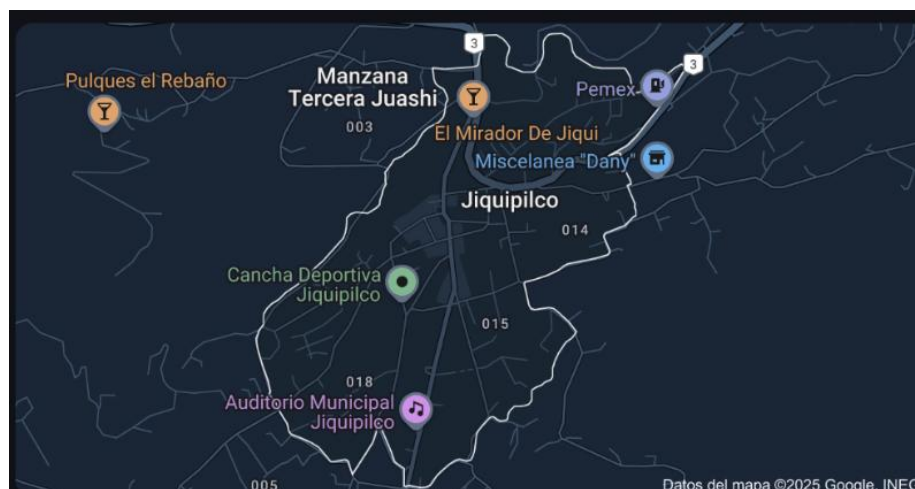


Figura 10 Mapa del municipio de Jiquipilco (Secretaría de Cultura y Turismo., s.f)

Metepec

Metepec, que está ubicado en el Estado de México, es reconocido como pueblo mágico por la Secretaría de Cultura y Turismo del Estado de México, por medio de la Subsecretaría de Turismo. Su población total asciende a 242,307 personas y su superficie territorial abarca 146.35 km². (INEGI, Censo de población y vivienda , 2020)

El municipio de Metepec, famoso por sus catrinas delgadas y sus árboles de la vida que se pueden observar al pasear por los corredores del mercado de artesanías.

El Cerro de los Magueyes se encuentra a unas cuantas calles, al igual que la Iglesia del Calvario, que ofrece desde su cima una vista impresionante del Valle de Toluca. La Iglesia y el Ex Convento de San Juan Bautista, que se remontan al siglo XVI, están situados al cruzar la calle de abajo. La fachada de este lugar es una auténtica filigrana con motivos florales.

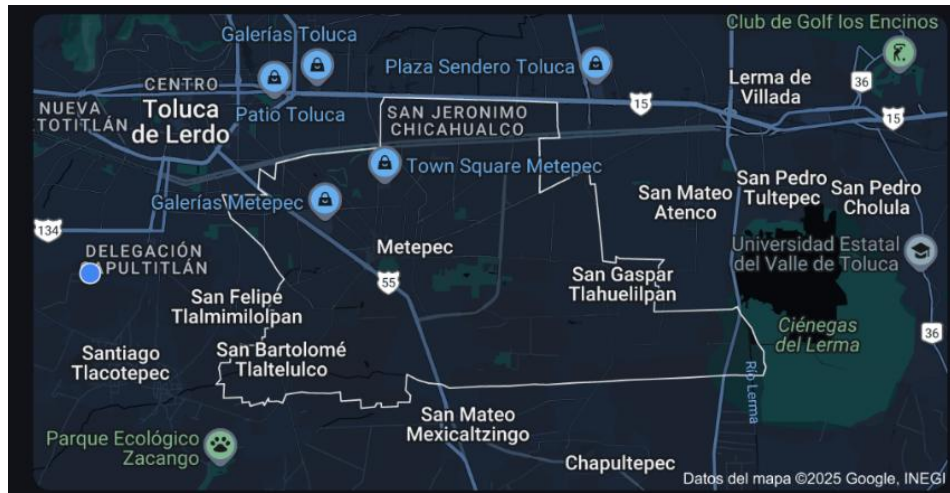


Figura 11 Mapa del municipio de Metepec (Secretaría de Cultura y Turismo., s.f)

Capítulo II

Materiales y

Métodos

2.1 Muestreo

Para poderse llevar a cabo este proyecto se seleccionaron 5 muestreos de diferentes lugares del Estado de México y se les determinaron los siguientes parámetros: pH, Temperatura (C°), Nitritos, Conductividad eléctrica, Nitratos, Dureza Total, Cloro residual libre, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos SO_4 (nm), Color potable, Sólidos disueltos totales y Turbiedad, cada uno de estos parámetros llevados a cabo en laboratorio de fisicoquímica.

TABLA 3. Determinar la ubicación de los puntos de muestreo

No.	Identificador	Nombre	Norte	Oeste	Coordenadas
1	A-01	Amanalco	19°15'07"	100°01'11"	O100°1'0.01" N19°19'0.01"
2	M-01	Metepec	19°15'33.62"	99°36'6.3"	O99°36'6.3" N19°15'33.62"
3	VG-01	Villa Guerrero	21°59'0.28"	103°35'42.22"	O103°35'42.22" N21°59'0.28"
4	DG-01	Donato Guerra	19° 11' 33"	100° 7' 52"	O100° 7' 52" N19° 11' 33"
5	J-01	Jiquipilco	19° 33' 26"	99° 36' 27"	O99° 36' 27" N19° 33' 26"

Todas las muestras fueron recolectadas de los diferentes municipios, algunas de ríos, cuerpos lagunares y otros más de pozos, evidentemente en ellos no hay presencia de descargas de aguas industriales, es por ello por lo que todas las muestras son consideradas aguas naturales y los análisis son especialmente para aguas naturales, el procedimiento de muestreo fue con ayuda de la Norma Mexicana NMX-AA-014-1980 “*Cuerpos receptores, muestreo*”.

Se emplearon varios tipos de recipientes para recolectar cada una de las muestras de agua superficial, recipientes de vidrio con tapa de polipropileno previamente bien lavados con agua destilada, así como recipientes de polipropileno de igual manera previamente bien lavados con agua destilada, no sin antes mencionar que dependiendo del tipo de muestra se le hace adición de diferentes soluciones de preservación tal y como el método lo indica, se explica con más detalle en la tabla siguiente.

TABLA 4. Parámetro y preservación de muestra

Parámetro	Norma	Cantidad y Material	Preservación
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	1 litro en recipiente de polipropileno	Las muestras deberán mantenerse a $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y medirse en un tiempo no mayor a 6 horas después de tomar la muestra.
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013	1 litro en recipiente de polipropileno	Para esta medición no es necesario conservarla ni prepararla; se debe medir la temperatura de inmediato.
Conductividad Eléctrica	NMX-AA-093-SCFI-2018	1 litro en recipiente de polipropileno	Para esta medición no se requiere preparación ni conservación, medir de inmediato la conductividad.
Dureza Total	APHA-AWWA-WPCF. 22 Ed. 2012. 2340 C.	1 litro en recipiente de polipropileno	Temperatura de 4°C con adición de 2 ml de HNO_3 pH <2
Sulfatos	NMX-AA-074-SCFI-2014	1 litro en recipiente de polipropileno	Las muestras tienen que refrigerarse hasta el momento de su análisis a

			una temperatura de 4 °C ± 2 °C.
Turbiedad	NOM-201-SSA1-2015.	1 litro en recipiente de polipropileno	La muestra no debe ser preservada.
Solidos Disueltos Totales	Standard methods for the examination of water and wastewater. 23 Ed 2017.	1 litro en recipiente de polipropileno	Almacenarlas a una temperatura de 4 °C ± 2 °C.
Nitritos	NOM-201-SSA1-2015.	1 litro en recipiente de polipropileno	Mantener en refrigeración a 4°C hasta su análisis.
Nitratos	NOM-201-SSA1-2015	1 litro en recipiente de polipropileno	Mantener en refrigeración a 4°C hasta su análisis.
Cloro Libre Residual	NOM-201-SSA1-2015	1 litro en recipiente de polipropileno	Determinar cloro libre, no mayor a 24 hrs del muestreo.
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001.	1 litro en recipiente de polipropileno	La muestra debe conservarse a 4°C hasta que se analice.
Fluoruros	NOM-201-SSA1-2015.	1 litro en recipiente de polipropileno	Mantener refrigerado a 4 °C.
Color Potable	NOM-201-SSA1-2015.”	1 litro en recipiente de polipropileno	Se deben conservar en condiciones de obscuridad y a 4 °C ± 2 °C.

Nota importante: todas las muestras fueron tratadas y conservadas con los medios ya antes mencionados para evitar generar interferencias en los análisis empleados.

TABLA 5. Muestreo imágenes

**El Chorrillo Amanalco
Estado de México
(Patricia)**



Ilustración Muestreo cuerpo de agua
Amanalco

**Río Tilostoc Donato
Guerra
(Vera)**

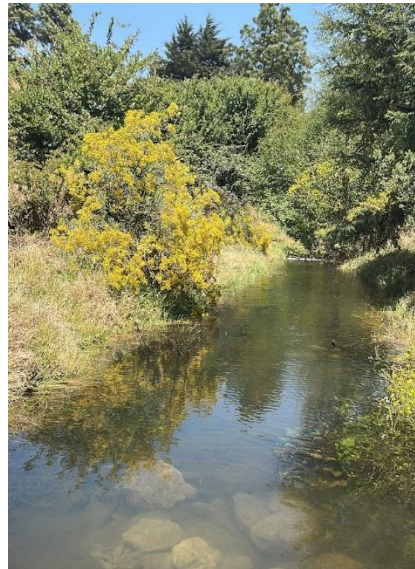


Ilustraciones Muestreo cuerpo de agua
Donato Guerra

**Presa Verde
Jiquipilco
(Vera)**



**Rio San Gaspar Villa
Guerrero Estado de
México
(Vera)**



**Metepec ICAMEX
(Instituto de
Investigación y
Capacitación
Agropecuaria,
Acuícola y Forestal. ,
s.f)**



IMAGEN REPRESENTATIVA (NO SE PERMITIÓ LA TOMA DE FOTOGRAFIAS)

2.2 MÉTODOS, FÓRMULAS UTILIZADAS Y RESULTADOS

Dureza Total

La titulación fue el método utilizado para determinar la dureza total, en el que se incorporó a una disolución de iones de magnesio y calcio el indicador negro de eriocromo T, que reaccionó y generó complejos de color vino. Una vez alcanzado este último color, se agregó la disolución de EDTA, que eliminó los iones de magnesio y calcio de los complejos coloridos, haciendo compuestos solubles. La muestra se tornará de color azul cuando se ha añadido suficiente disolución de EDTA y todos los iones de calcio y magnesio han sido liberados.

Para el cálculo de los iones de calcio y magnesio mejor conocida como **Dureza Total** se requieren de los mL de EDTA gastados en la muestra y en el blanco, así como de los mg de $CaCO_3$ equivalente a 1 ml de EDTA.

Fórmula utilizada para el cálculo de Dureza Total:

$$CaCO_3 \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B)(C)(1000)}{D}$$

A= mL de EDTA gastados en la titulación en la muestra

B=mL de EDTA gastados en la titulación en el blanco

C= mg de $CaCO_3$ equivalentes a 1 mL de EDTA

D= mL de muestra

Interferencias

En el parámetro de dureza Total existen algunos iones metálicos que pueden llegar a interferir al analizar la muestra y que causan que el vire de la titulación sea difícil de percibir.

TABLA 6. Resultados del parámetro Dureza Total

Lugar	Análisis por triplicado	Factor de conversión	EDTA Gastado ml			Promedio		Resultado	Límite permisible
			1	2	3				
Blanco									
Amanalco	SI	1.01323	3.05	3.08	3.01	3.046666667	61.73948133	61.7394 mg/L CaCO ₃	• Poco dura 75-150mg/L CaCO ₃
Metepec	SI	1.01323	3.08	3.23	3.25	3.186666667	64.57652533	64.7074 mg/L CaCO ₃	• Poco dura 75-150mg/L CaCO ₃
Villa guerrero	SI	1.01323	3.06	3.05	3.06	3.056666667	61.94212733	61.9421mg/L CaCO ₃	• Poco dura 75-150mg/L CaCO ₃
Donato guerra	SI	1.01323	2.4	2.6	2.4	2.466666667	49.98601333	63.090mg/L CaCO ₃	• Poco dura 75-150mg/L CaCO ₃
Jiquipilco	SI	1.01323	3.14	3.15	3.15	3.146666667	63.76594133	63.7659mg/L CaCO ₃	• Poco dura 75-150mg/L CaCO ₃

Elaboración propia.

Turbiedad

El método utilizado para calcular la turbidez se llevó a cabo mediante la medición de manera directa en el turbidímetro **2100Q** HACH por triplicado y se obtuvo un promedio.

Interferencias:

Para el parámetro de turbiedad la presencia de residuos flotantes y material fino que se sedimente de manera veloz pueden afectar la lectura dando valores bajos, por otro lado, puede que la muestra al ser leída contenga burbujas o la celda en la que se está leyendo la muestra contenga suciedad o empañamiento en las paredes y puede ocasionar de cierta manera valores erróneos. Recordemos que la medición de la turbiedad es de gran importancia si es de uso humano ya que es un factor importante para saber que tratamiento se le debe de dar al agua en caso de que esta exceda los límites que son permitidos por las normas mexicanas, o incluso para determinar la potabilidad del agua.

“La turbiedad se determinó directamente con el Turbidímetro **2100Q** HACH”

TABLA 7. Resultados de Turbiedad.

La turbiedad se determinó directamente con el Turbidímetro HACH

LUGAR	Análisis por triplicado			Resultado NTU	Límite permisible	
	1	2	3			
Amanalco	20.7	20.74	20.56	20.66666667	5 NTU	Mayor a 10
Metepec	22.4	22.5	22.7	22.53333333	5 NTU	Mayor a 10
Villa guerrero	23.6	23.5	23.3	23.46666667	5 NTU	Mayor a 10
Donato guerra	20.6	20.4	22.4	21.13333333	5 NTU	Mayor a 10
Jiquipilco	212	212	212	212	5 NTU	Mayor a 10

Para parámetros próximos donde la turbiedad es interferencia se realizó filtrado

Determinación de color, escala Pt-Co

Para medir el color verdadero y/o aparente de nuestras muestras, utilizamos un proceso de comparación visual con una escala estandarizada de platino-cobalto. Es importante señalar que la técnica utilizada para el análisis está sujeta a la apreciación visual del color de la muestra.

El procedimiento se basa en realizar dos lecturas, una de color verdadero y otra de color aparente:

Para el color aparente, se debe medir el pH previamente en el potenciómetro, posteriormente la muestra se coloca en el tubo Nessler hasta el nivel de 50 mL, y se hace la comparación visual con la de referencia (agua destilada), si el valor obtenido es mayor a 70 unidades la muestra debe ser diluida siempre que el color esté entre 20 y 70 Pt-Co, importante mencionar que se deben reportar pH inicial y temperatura °C inicial de la muestra.

Para el color verdadero se debe de remover la turbiedad con ayuda de papel fieltro hasta que la muestra este completamente clara, posterior del filtrado se llena nuevamente el tubo Nessler y se hace la comparación visual con la referencia como en el color aparente, en este punto de igual manera se hace registro de temperatura y pH final.

Interferencias

La toma de los 2 colores, el aparente y el verdadero son dependientes del pH por lo que como se menciona en el método empleado se deben de registrar todos los valores obtenidos de pH y de temperatura.

La única interferencia que se tiene para este parámetro es la turbiedad, por lo que, si las muestras están con niveles altos respecto a turbiedad, se les debe de hacer el procedimiento adecuado ya sea filtración p centrifugación

TABLA 8. Registro Color aparente, color real

					Después de filtrarse		Color leído con HACH
LUGAR	pH inicial	T°C Inicial			pH final	T°C Final	
	Amanalco						
1	7	16.3			7.1	16.4	
2	7.1	16.3			7.1	16.39	
3	6.99	16.3			7	16.4	
Color aparente	15		Color real		10		Color leído con HACH
	Metepec						
1	7.21	17.2			7.34	17.2	
2	7.21	17.19			7.32	17.1	
3	7.21	17.2			7.33	17.2	
Color aparente	5		Color real		5		Color leído con HACH
	Villa guerrero						
1	6.99	17.2			7	17.22	
2	7	17.22			7	17.2	
3	6.98	17.25			6.98	17.25	
Color aparente	45		Color real		35		Color leído con HACH
	Donato guerra						
1		5.81		16.7		5.81	18.7
2		5.81		16.7		5.81	18.69
3		5.83		16.69		5.82	18.7
Color aparente			65		Color real	50	
	Jiquipilco						
1		6.99		16.7		6.99	16.69
2		7.1		16.69		7	16.69
3		6.99		16.7		6.99	16.7
Color aparente			70>		Color real	70>	
	Jiquipilco se aplicó dilución						
1		7		16.7		7.09	16.69
2		7.1		16.69		7.1	16.69
3		7		16.7		6.99	16.7
Color aparente			65		Color real	60	

La fórmula utilizada para el cálculo del color se muestra a continuación:

$$\text{Color (Unidades Pt - Co)} = I \times F$$

Donde:

$$\text{Color (Unidades Pt - Co)} = I \times F$$

I= Lectura del comparador de color

F= factor de Dilución (Aforo/Alícuota)

Conductividad Eléctrica

El método para el cálculo del valor de la conductividad eléctrica se basa en la medición directa utilizando el potenciómetro en este caso se hizo uso del potenciómetro Oakton PC 700.

La conductividad eléctrica es una evaluación de la corriente que los iones en el agua conducen, fenómeno también conocido como el de los conductores de segundo tipo. Esta depende de:

- Concentración de iones
- Características de los iones
- Temperatura de la disolución

TABLA 9. Resultados del análisis de Conductividad eléctrica

LUGAR	Análisis por triplicado			Resultado (mS/cm)
	1	2	3	
Amanalco	4.8	4.82	4.79	4.803333333
Metepec	4.46	4.45	4.49	4.466666667
Villa guerrero	4.97	4.95	4.99	4.97
Donato guerra	4.76	4.78	4.78	4.773333333
Jiquipilco	4.43	4.45	4.43	4.436666667

La conductividad eléctrica se determinó directamente con el Potenciómetro OAKTon PC 700

Interferencias:

La presencia de una cantidad excesiva de **materia en suspensión** puede influir en los valores de la conductividad eléctrica por ello es necesario dejar reposar la muestra hasta que esta materia sedimente para poder realizar la lectura de igual manera si la conductividad eléctrica no puede ser leída directamente del cuerpo de

agua es recomendable que se mantenga en refrigeración y la temperatura no rebase los 35°C debido a que temperaturas altas son un punto clave para que afecte de manera considerable los valores de la conductividad.

Apariencia

La apariencia de las muestras se determinó de manera visual, y se agrega de manera extra.

TABLA 10. Tabla de resultados Apariencia

EL VALOR DE LA APARIENCIA SE REALIZÓ DE MANERA VISUAL

LUGAR	Apariencia
Amanalco	Ligeramente café cristalino
Metepec	Ligeramente amarilla
Villa guerrero	Ligeramente café turbio
Donato guerra	Ligeramente amarilla cristalina
Jiquipilco	Amarilla Turbia

pH

El método consiste en determinar la actividad de los iones de hidrógeno (H⁺) mediante un potenciómetro, utilizando un electrodo combinado o uno de referencia y otro de vidrio.

Resultados obtenidos después de medición de las muestras con el potenciómetro Oakton PC 700

TABLA 11. Tabla de resultados escala de pH

LUGAR	pH			Promedio
	1	2	3	
Amanalco	7	7.01	6.99	7
Metepec	7.21	7.21	7.22	7.213333333
Villa guerrero	6.97	6.99	6.96	6.973333333
Donato guerra	7.6	7.58	7.61	7.596666667
Jiquipilco	6.83	6.85	7.81	7.163333333

Sólidos Disueltos Totales

En los sólidos disueltos totales, se realiza un filtrado con fibra de vidrio estándar. Después de este proceso, el material se coloca en una cápsula de vidrio y se seca a 180°C hasta obtener un peso constante. El aumento del peso en la cápsula equivale al total de sólidos disueltos (SDT).

La cantidad de sólidos disueltos que no tienen efectos perjudiciales en ningún cultivo es 500 mg/l; para los cultivos sensibles, es de 500 a 1000 mg/l; para muchas cosechas que necesitan un manejo especial, es de 1000 a 2000 mg/l; y para las cosechas de plantas tolerantes en suelos permeables, es de 2000 a 5000 mg/l. (Secretaria de Salud , 2022)

Se empleó la fórmula siguiente para determinar los sólidos disueltos totales:

$$ST \text{ mg/L} = \frac{(P1-P2)}{V} 1\,000\,000$$

Donde:

ST: Sólidos totales, expresados en mg/L

P2: Peso de la capsula tras de la evaporación

P1: Peso de la capsula en condiciones de peso invariable (g)

V1: En mililitros, volumen de la muestra para el análisis

10⁶: Factor de conversión (g*1000mg*1000ml) (1g *1L)

TABLA 12. Resultados del parámetro Solidos Disueltos Totales

Muestra	Cápsula	Alícuota mL	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Residuo Seco (g)	mg/L	Límite permisible
Amanalco	16M	50	81.3135	81.3204	0.0069	138.000	500 mg/L a 1000 mg/L
Meteppec	P11	50	105.5507	105.5577	0.007	140.000	500 mg/L a 1000 mg/L
Villa guerrero	16J	50	81.5119	81.5233	0.0114	228.00	500 mg/L a 1000 mg/L
Donato guerra	16N	50	84.0922	84.1035	0.0113	226.00	500 mg/L a 1000 mg/L
Jiquipilco	13J	50	86.4567	86.4679	0.0112	224	500 mg/L a 1000 mg/L

Cloruros

El método para determinar cloruros consiste en una valoración con nitrato de plata, empleando el cromato de potasio como indicador. El cloruro de plata, un precipitado blanco, se forma cuando la plata reacciona con los iones de cloruro. Cuando el ion cloruro se consume, se produce el cromato. El cromato de plata puede reconocerse por la alteración del color de la disolución a un tono anaranjado-rojizo y por el cambio en la forma del precipitado, lo que indica el término de la valoración.

Interferencias

Respecto a los cloruros, algunas de las sustancias que están en aguas potables en cantidades no sobrepasadas no causan interferencia significativa. Sin embargo, los ortofosfatos sí la provocan cuando su concentración es superior a 25 mg/l, ya que precipitan como fosfato de plata. El hierro interfiere también cuando está por encima de 10 mg/L, porque oculta el punto final del análisis y evita determinar con certeza el volumen de solución de nitrato de plata consumido.

Se usó la fórmula siguiente para calcular los cloruros en las muestras después de haber conseguido el volumen de solución de Nitrato de Plata que se gastó en la titulación:

$$Cl- \text{ mg/L} = \left[\frac{(A-B)(N)(35450)}{\text{mL de muestra}} \right]$$

Donde:

A: ml de solución de nitrato de plata consumida en la valoración de la muestra.

B: mililitros de la solución de nitrato de plata consumidos en la valoración del blanco.

N: Normalidad del nitrato de plata

TABLA 13. Resultados Obtenidos del parámetro Cloruros

	Alicuota mL	mL de AgNO ₃ blanco			Promedio	mL de AgNO ₃ muestra			Promedio	Promedio mL de AgNO ₃ muestra	Normalidad AgNO ₃	Resultados	Límite permisible
		1	2	3	Blanco	1	2	3					
Bco.	50	0.82	0.88	0.8	0.83333333	Muestras							
Amanalco	50	0.82	0.88	0.8	0.83333333	1.54	1.48	1.5	1.506667	1.506666667	0.0135	6.44481	250mg/L
Metepec	50	0.82	0.88	0.8	0.83333333	1.91	1.92	1.9	1.91	1.91	0.0135	10.305315	250mg/L
Villa guerrero	50	0.8	0.83	0.82	0.81666667	0.96	0.95	0.95	0.953333	0.951111111	0.0135	1.308105	250mg/L
Donato guerra	50	0.82	0.88	0.8	0.83333333	1.54	1.48	1.5	1.506667	1.495555556	0.0135	6.44481	250mg/L
Jiquipilco	50	0.82	0.88	0.8	0.83333333	1.34	1.3	1.32	1.32	1.313333333	0.0135	4.65813	250mg/L

Sulfatos

El método usado para en el cálculo de los sulfatos fue espectrofotometría. En este procedimiento, se precipita la muestra en un medio ácido que contiene cloruro de bario (BaCl₂) con el fin de generar sulfato de bario (BaSO₄), Luego, se mide la absorbancia de la suspensión en el espectrofotómetro y se compara con una curva de calibración para establecer la concentración del ion sulfato (SO₄²⁻).

Interferencias

En el análisis de nuestras muestras para determinar los sulfatos, a menudo hay múltiples factores que pueden provocar errores e interferencias. Estos factores varían desde la materia suspendida hasta el color de la muestra. Si la muestra presenta un exceso de materia suspendida o si no está en condiciones en cuanto al color, es necesario realizar filtración. Algo más que representa problema es tener un exceso de sílice en la muestra, concentraciones superiores a los 500 ml/L.

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{Valor de la absorbancia} - \text{Valor absorbancia (Bco)})}{M} = B$$

Donde:

B: Ordenada al origen de la curva

M: Pendiente de la curva

Los valores de la curva de calibración que se utilizaron para este análisis fueron los siguientes:

Valor de m	0.009453
Valor de B	-0.0100646

TABLA 14. Resultados del parámetro Sulfatos SO_4^{2-}

Lugar	Análisis por triplicado	1	2	3	Promedio	Resultado	Límite permisible
Bco.	SI	0.001	0.001	0.001	0.001		
Amanalco	SI	0.0031	0.0033	0.0033	0.003233333	1.300955605	400 mg/L
Metepec	SI	0.0056	0.0058	0.0056	0.005666667	1.558369477	400 mg/L
Villa guerrero	SI	0.0048	0.0049	0.005	0.0049	1.477266476	400 mg/L
Donato guerra	SI	0.0032	0.0033	0.0033	0.003266667	1.304481822	400 mg/L
Jiquipilco	SI	0.0031	0.0033	0.0033	0.003233333	1.300955605	400 mg/L

Cloro residual libre

Para establecer el cloro residual libre no se utilizó algún método en específico, se usó un Kit analizador. El kit para la determinación del cloro libre residual se compone de 1 comparador colorimétrico con 2 celdas unidas con escala de medición. Para la medición del cloro residual libre, cuenta con una escala colorimétrica que va de una tonalidad rosa tenue a intenso, con parameros entre los 0.0 a 3.0 ppm y con los valores intermedios de 0.2 a 1.5 ppm (Miligramo por litro), para el pH, las tonalidades son de amarillo a rojo con parámetros entre 6.8 a 8.2 También compone del reactivo DPD, en tabletas, conteniendo en cantidad exacta para ser utilizado en el equipo y apropiado para la medición de cloro residual libre.

Interferencias

Los residuos flotantes, la materia final que puede sedimentarse rápidamente y las burbujas en las paredes de las celdas al momento de realizar la lectura son algunos ejemplos de interferencias que obstaculizan el análisis del cloro libre residual. Otros factores que interfieren son el empañamiento y la suciedad del vidrio de la celda.

A continuación, se presentan los valores del cloro residual libre, que se han obtenido utilizando el Kit analizador de cloro libre y pH Lamotte.

TABLA 15. Resultado del parámetro Cloro libre residual

	Análisis por triplicado			Resultado
	1	2	3	
Amanalco	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Metepec	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Villa guerrero	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Donato guerra	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Jiquipilco	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2

Temperatura

El potenciómetro Oakton PC 700 fue el instrumento para determinar el parámetro de temperatura; no se empleó un método específico.

Se calculo el promedio de las tres lecturas tomadas y se hizo el registro, la temperatura se reporta invariablemente en °C.

TABLA 16. Resultados de parámetro Temperatura °C

LUGAR	Análisis por triplicado			Promedio de temperaturas °C
	1	2	3	
Amanalco	16.3	16.3	16.3	16.3
Metepec	16.4	16.4	16.4	16.4
Villa guerrero	17.2	17.22	17.25	17.22333333
Donato guerra	15.8	15.8	15.79	15.79666667
Jiquipilco	16.7	16.69	16.7	16.69666667

La temperatura se midió directamente con el potenciómetro

Fluoruros

La técnica espectrofotométrica fue utilizada para determinar los fluoruros. De acuerdo con el estándar mexicano **NMX-AA-077-SCFI-2001**, el fundamento del método se basa en la interacción entre iones de fluoruro y el complejo colorido Zirconilo-SPANDS. El rango de este procedimiento es de 0 mgF-/L a 1.4 mgF-/L. El fluoruro interactúa con el zirconio del complejo Zr-SPANDS, dando lugar a otro compuesto incoloro el ion hexafluorozirconato $[ZrF_6]^{2-}$.

Cuando se lleva a cabo el análisis de determinación de fluoruros y se le adiciona el SPANDS hay un cambio de color a rojizo, si el color es menos intenso que nuestra muestra de referencia significa que el valor de fluoruros en nuestra muestra analizada es alto y si el color es más fuerte significa que la muestra tiene muy baja concentración de fluoruros, de importancia mencionar que toda la reacción se lleva a cabo en un medio ácido.

Interferencias

Las principales interferencias en la determinación de fluoruros son las siguientes:

- pH elevados genera interferencias en el análisis, la muestra debe tener un pH de entre 5 y 8.
- Para prevenir que el análisis se vea afectado, es necesario eliminar el cloro residual; si el arsenito de sólido es igual o superior a 1,3 mg/L, esto produce un error que varía entre 0,1 mg/L de F- y 1,0 mg/L de F-.

Resultados obtenidos del análisis.

TABLA 17. Resultados del parámetro Fluoruros

Cálculos

Donde	M	Pendiente de la curva
	B	Ordenada al origen curva
Valor de m	0.153	
Valor de B	-0.4315	

$$\text{mg/L de F-} = (y - b) / m$$

Uso de curva de calibración

Lugar	Lectura a 570 nm			Promedio de lecturas	Resultado	Límite
BCO	0.944	0.948	0.947			
Amanalco	0.96	0.933	0.932	0.941666667	3.334422658	1.50 mg/L
Metepec	0.904	0.902	0.903	0.903000000	3.081699346	1.50 mg/L
Villa guerrero	0.933	0.934	0.936	0.934333333	3.286492375	1.50 mg/L
Donato guerra	0.907	0.905	0.904	0.905333333	3.096949891	1.50 mg/L
Jiquipilco	0.916	0.913	0.913	0.914	3.153594771	1.50 mg/L

Nitratos

El parámetro de nitratos se realizó por medio del método espectral, para lo cual se llevaron a cabo dos mediciones de la absorbancia de luz ultravioleta en longitudes de onda de 220 y 275 nm. La materia orgánica y los nitratos tienen una absorbancia máxima a 220 nm, mientras que a 275 nm solo la materia orgánica absorbe. Luego

de tomar las dos lecturas, el resultado será la diferencia de absorbancia: la absorbancia a 220 nm menos el doble de la absorbancia a 275 nm.

Los resultados de las dos absorbancias leídas antes de la corrección se presentan a continuación:

TABLA 18. Resultados de lecturas a 220 nm y 275 nm

	220 nm			220 nm	275 nm			275 nm
Lugar	1	2	3		1	2	3	
Bco.	0.02	0.017	0.014	0.017				
Amanalco	0.168	0.166	0.166	0.166666667	0.006	0.007	0.008	0.007
Metepec	0.174	0.176	0.173	0.174333333	0.007	0.008	0.009	0.008
Villa guerrero	0.336	0.337	0.335	0.336	0.083	0.086	0.084	0.084333333
Donato guerra	0.234	0.236	0.236	0.235333333	0.042	0.041	0.044	0.042333333
Jiquipilco	0.639	0.636	0.632	0.635666667	0.006	0.008	0.009	0.007666667

Para el cálculo de la absorbancia corregida se hace uso de la siguiente fórmula

$$A_{corr} = A_{220} - (2 * A_{275})$$

- Donde A_{220} refiere a la absorbancia leída a 220nm
- Donde A_{275} refiere a la absorbancia a 275 nm

Para el cálculo del valor real de la concentración de nitratos presentes en las muestras se hace uso de la curva obtenida de la lectura de 220 nm y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_{NO3-} = (AbsC + b)/m$$

Donde:

AbsC=absorbancia corregida

b= ordenada al origen

m= pendiente de la curva

TABLA 19. Tabla de resultados una vez aplicada la corrección

	220 nm	275 nm	Absorbancia corregida	mg/L NO_3^-
Amanalco	0.166666667	0.007	0.152666667	0.626910127
Metepec	0.174333333	0.008	0.158333333	0.648925149
Villa guerrero	0.336	0.084333333	0.167333333	0.683890184
Donato guerra	0.235333333	0.042333333	0.150666667	0.619140119
Jiquipilco	0.635666667	0.007666667	0.620333333	2.443796944

Interferencias

Para el parámetro de nitratos los sólidos suspendidos pueden llegar a ser una interferencia clave para ello se debe someter la muestra a tratamiento de filtración. La existencia de hidróxidos o carbonatos de igual manera representa cierto grado de interferencia es importante añadir ácido clorhídrico para eliminarlos.

Nitritos

El método para la determinación de los nitritos consiste en añadir ácido con un pH entre 0 a 2.5 por diazotación con sulfanilamida para generar una sal de diazonio, esta se combina con el dihidrocloruro de N-(1-naftil) etilendiamina, produciendo un colorante azoico purpúreo rojizo que se mide en el espectrofotómetro a 543 nm.

Interferencias

Los principales iones que pueden generar interferencia en la determinación de los nitritos son los siguientes.

TABLA 20. Iones de interferencia (Nitritos)

Iones	
Férrico	(Fe ⁺³)
Mercuroso	(Hg ⁺)
Plata	(Ag ⁺)
Bismuto	(Bi ⁺)
Antimonioso	(Sb ⁺³)
Plomo	(Pb ⁺²)
Áurico	(Au ⁺³)
Hexacloroplatinato	(PtCl ₆ ⁻²)
Metavanadato	(VO ²⁺)
<i>Sustancias que interfieren</i>	
Cloraminas	
Tiosulfatos	
Polifosfatos de sodio.	

La curva de calibración que se encuentra en los anexos se utiliza para calcular la concentración de nitritos; a continuación, se presenta la tabla con los resultados.

TABLA 21. Resultados del parámetro Nitritos

Lugar	543 nm			Promedio de absorbancias	Resultado	Límite permisible
	1	2	3			
Bco.	0.001	0.001	0.001	0.001	0.010653	0.90 mg/L
Amanalco	0.098	0.099	0.101	0.099333333	0.350198	0.90 mg/L
Metepec	0.085	0.086	0.085	0.085333333	0.301856	0.90 mg/L
Villa guerrero	0.046	0.047	0.048	0.047	0.169491	0.90 mg/L
Donato guerra	0.074	0.076	0.073	0.074333333	0.263873	0.90 mg/L
Jiquipilco	0.101	0.103	0.101	0.101666667	0.358255	0.90 mg/L

Capítulo III

Resultados y

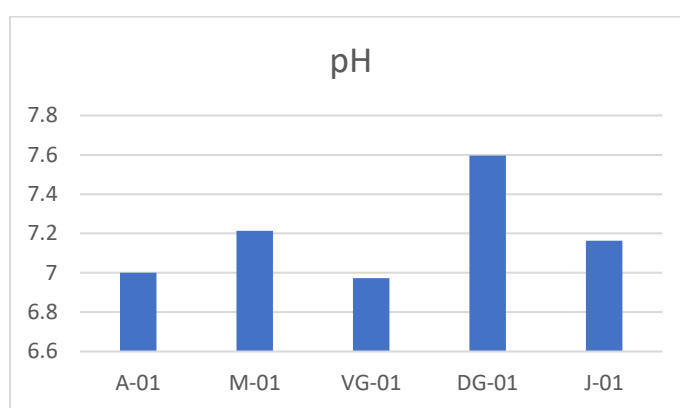
Discusión

3.1 Resultados y discusión

3.1.1 pH del agua

Los valores de pH que son aceptables para el consumo humano se encuentran entre 6.5 y 8.5, mientras que para el uso agrícola va desde los 6.0 hasta los 9.0, los resultados que surgieron de las 5 muestras analizadas van desde los 6.9 hasta los 7.5, la mayoría están dentro de los LMP para uso y consumo humano, es importante mencionar que el parámetro del pH es considerado uno de los más significativos para determinar la calidad del agua.

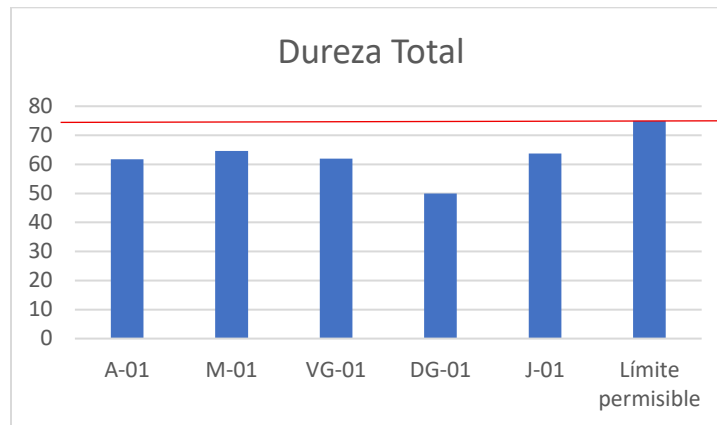
Gráfico 1 Nivel de pH del agua de los distintos municipios



3.1.2 Dureza Total

En relación con la concentración total de iones de calcio y magnesio, también llamada dureza total, los resultados de los 5 cuerpos de agua receptores están dentro de los LMP para uso y consumo humano, todas están por debajo de los 75mg/L lo que las clasifica como **aguas suaves** es de vital importancia mencionar que un agua suave tiene una alta capacidad de amortiguamiento lo que significa que las tuberías por las que circula no tendrían ningún problema de corrosión y contaminación del agua a lo largo del tiempo así mismo recordemos que un agua de suave a poco dura es ideal para el cultivo de plantas.

Gráfico 2 Dureza del agua en los diferentes municipios

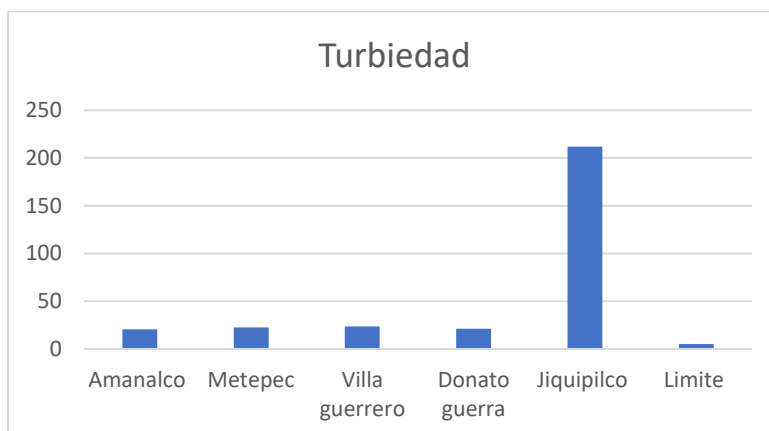


3.1.3 Turbiedad

Entre los criterios que se consideran relevantes para la determinación de la calidad del agua de riego y de consumo humano la turbiedad juega un papel importante, ya que dependiendo de este parámetro se determinará que procedimiento se le tiene que realizar para que esta no sea una interferencia en los demás análisis, y también definirá su potabilidad, en caso de que la muestra este muy turbia rebasando los 5 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) permitidos por la norma se les debe realizar filtrado o centrifugado.

De las 5 muestras que se analizaron para este trabajo todas las muestras están por encima de los 5 NTU marcado por la norma, lo cual resulta complicado ya que a simple vista es notorio que la cantidad de partículas en suspensión es mayor y por esta razón no sería recomendable que el agua se use para consumo humano sin algún procedimiento previo al consumo, y respecto al riego igual es un foco rojo ya que la turbidez excesiva puede limitar a ciertos cultivos a la absorción de los nutrientes, impidiendo así que el cultivo se desarrolle en un 100%.

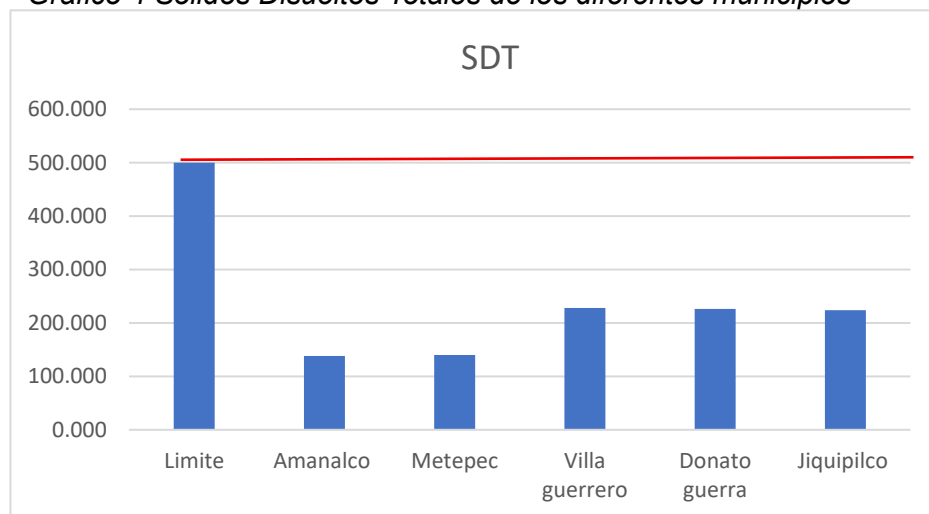
Gráfico 3 Turbiedad del agua de los diferentes municipios



3.1.4 Sólidos Disueltos Totales

De acuerdo con la norma mexicana NOM-127-SSA1-2021, para los sólidos que están disueltos en el agua potable el límite permisible es de los 1000mg/L pero es recomendable que este de entre los 500 mg/L a los 1000 mg/L, de las muestras analizadas para este trabajo, todas están por debajo del límite dicho por la norma, lo cual resulta bueno ya que estas aguas con previo tratamiento de filtrado y demás procedimientos si puedes utilizase para consumo humano y por ende también para cultivo, en este parámetro nos podemos preguntar si la turbidez es alta por qué los sólidos disueltos no lo son, recordemos que los sólidos son compuestos que se han disueltos por completo en el agua y no generan turbidez porque se encuentran como moléculas o iones, no como partículas.

Gráfico 4 Sólidos Disueltos Totales de los diferentes municipios



3.1.5 Cloruros

El parámetro de cloruros se debe de determinar lo más pronto posible e incluso antes que cualquier otro ya que los cloruros pueden llegar a tener un impacto negativo en otros análisis, generando interferencia y modificando los resultados finales.

De las 5 muestras analizadas para este trabajo escrito ninguna sobrepasa el límite de 250 mg/L impuesto por la norma NOM-127-SSA1-2021, por lo que podemos determinar que el agua es apta para consumo humano y evidentemente para riego, siendo el resultado más alto el del pozo La Charca ubicado en el municipio de Metepec con 10.3053 mg/l y el mínimo el del municipio de Villa Guerrero con 1.30815mg/L.

Gráfico 5 Cantidad de Cloruros de los diferentes municipios



3.1.6 Cloro residual libre

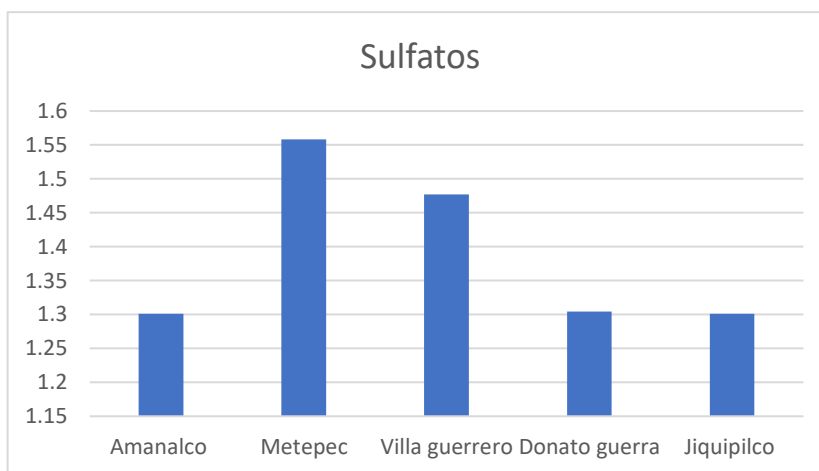
Este parámetro se tomó de manera directa una vez teniendo las muestras en el laboratorio, se utilizó el Kit Analizador de Cloro Libre y pH Lamotthe, el kit nos permitió analizar el pH y Cloro libre, se agregó la muestra en una celda y se le agregó la pastilla reactiva que incluye el kit, cuando hay presencia de cloro libre la muestra se torna en color rosa y de ahí dependiendo de la cantidad de cloro libre la intensidad del mismo, las 5 muestras analizadas están por debajo del límite, el resultado para las 5 fue <0.2 , ninguna muestra se tornó en color rosa.

3.1.7 Sulfatos

Para el parámetro de sulfatos el límite permitido según la NOM-127-SSA1-2021 es de 400mg/L, las 5 muestras analizadas están por debajo del límite establecido por la norma lo cual resulta excelente, la muestra que contiene más porcentaje es la del pozo de Metepec con 1.5583 mg/L y el más bajo fue el de 2 de los lugares, el manantial del municipio de Amanalco y la presa de Jiquipilco.

A continuación, se muestra gráfico con los resultados obtenidos:

Gráfico 6 Cantidad de Sulfatos de los diferentes municipios



3.1.8 Temperatura

Las temperaturas de las 5 muestras analizadas están en un límite adecuado, no es ni muy fría ni por el límite de muy caliente lo que permite que haya un crecimiento y desarrollo de organismos acuáticos, o en su defecto que pueda ser utilizada sin ningún problema para el riego permitiendo que las raíces de las plantas no sufran de ningún tipo de choque térmico y su metabolismo no se vea afectado por el mismo, permitiendo que haya una mejor retención de oxígeno y ayude al crecimiento de las plantas.

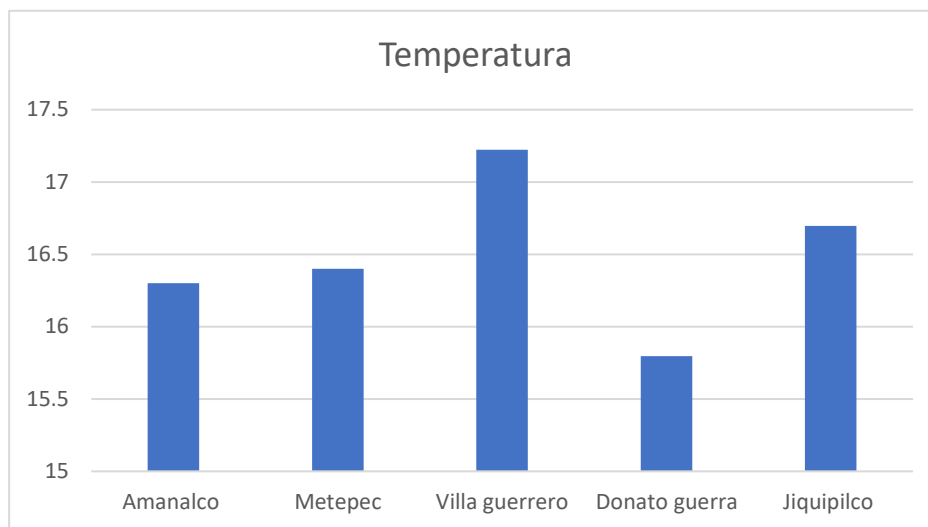


Gráfico 7 Temperatura de las muestras

3.1.9 Conductividad electiva

Todas las muestras analizadas presentan una conductividad eléctrica que oscila entre los 4.436 $\mu\text{S/cm}$ y 4.97 $\mu\text{S/cm}$; la muestra con nivel más alto fue la del rio del municipio de Villa Guerrero, con un valor de 4.97 $\mu\text{S/cm}$ y la más baja fue la presa Verde del municipio de Jiquipilco, con un valor de 4.436 $\mu\text{S/cm}$, según nuestra norma mexicana, las aguas que se analizaron tienen un grado enorme respecto a pureza, teniendo un nivel muy bajo de sales disueltas y minerales.

El grafico número 8 representa las conductividades de cada muestra respectivamente

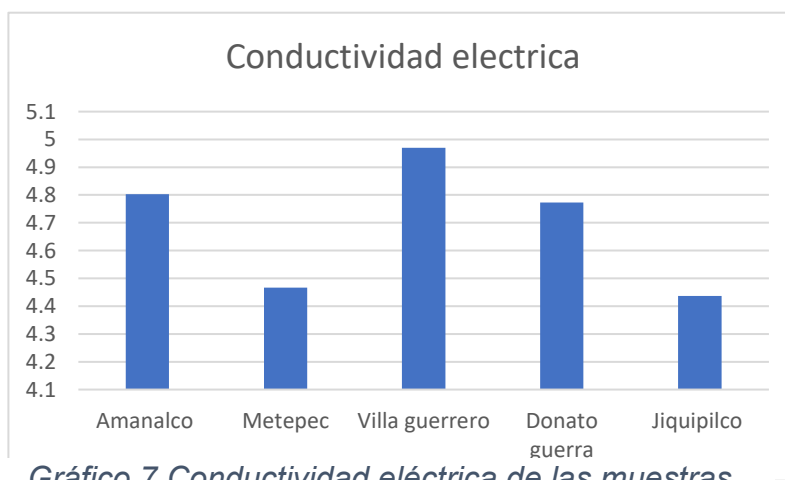


Gráfico 7 Conductividad eléctrica de las muestras

3.2 Fluoruros

Los resultados del parámetro de fluoruros se muestran en el siguiente gráfico, todas las muestras analizadas están por debajo del límite marcado por la norma mexicana, los resultados obtenidos en el análisis solo nos indican que el agua está en condiciones para que pueda utilizarse de manera segura.

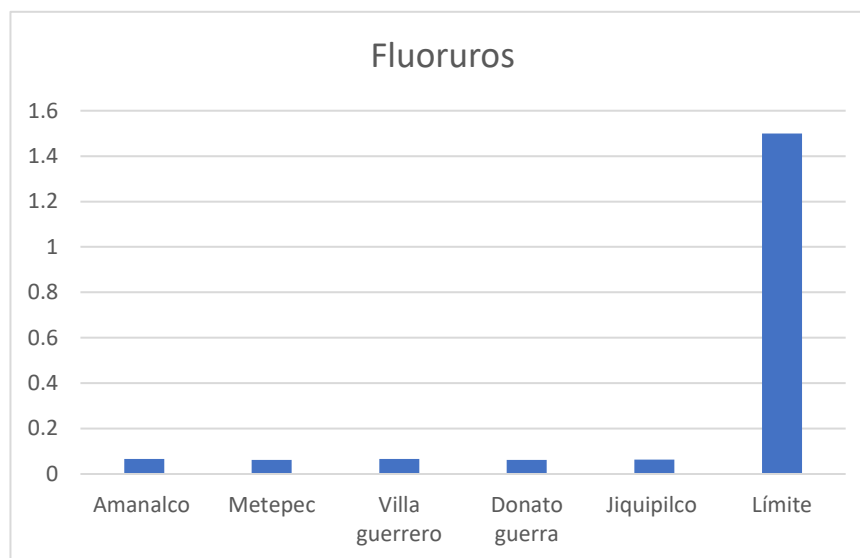


Gráfico 8 Resultado de análisis de fluoruros

3.2.1 Nitritos

La presencia de nitritos en grandes concentraciones puede indicar contaminación por materia orgánica, por descargas industriales y por fertilizantes, por ello es importante realizar un estudio de las aguas cada cierto tiempo, para saber si el agua que se está consumiendo sigue estando dentro de los niveles permitidos por las normas. En la investigación las concentraciones de nitritos obtenidos de las 5 muestras fueron de 0.350198 mg/L, 0.301856 mg/L, 0.169491 mg/L, 0.263873 mg/L y 0.358255 mg/L. Estos valores se compararon con el límite permisible establecido por la norma Oficial Mexicana, el cual establece una concentración máxima de 0.90 mg/L para nitritos en aguas de consumo humano y en uso agrícola.

Al realizar la comparativa de los resultados obtenidos se identifica que las 5 muestras analizadas presentan concentraciones de nitritos inferiores al límite permisible, y esto nos indica que las aguas cumplen con la normatividad vigente, representando un riesgo sanitario muy bajo.

3.2.1 Nitratos

Los resultados de nitratos obtenidos de los análisis de las 5 muestras son concentraciones relativamente bajas, nada alarmante, los valores obtenidos fueron de 0.63 mg/L para Amanalco de Becerra, 0.65 mg/L para el municipio Metepec, 0.68 mg/L para Villa Guerrero, 0.62 mg/L para Donato Guerra y 2.45 mg/L para el municipio de Jiquipilco, aunque este último es un valor más alto en contraste con los 4 restantes aun así sigue estando dentro de los límites que marca la normatividad vigente, nuevamente al comparar los resultados obtenidos con la norma NOM-201-SSA1-2015, la cual establece que el límite es de 50mg/L de NO_3^- para aguas de consumo humano y para aguas de uso agrícola, se pueden atribuir las concentraciones bajas que se obtienen del análisis a la ausencia de vertidos de aguas residuales cerca de los cuerpos receptores y al escaso uso de fertilizantes en el terreno.

Con los resultados obtenidos se deduce que la calidad del agua de los 5 cuerpos analizados es adecuada y cumple con la normatividad mexicana vigente, y de igual manera es importante que los análisis hasta ahora realizados se sigan llevando a cabo cada cierto tiempo, para cerciorarnos que el agua sigue teniendo la calidad adecuada.

3.2.2 Color Potable

En el parámetro de color potable en unidades de UC(Pt-Co) se tuvieron variaciones en los resultados obtenidos, el color de las aguas se relaciona especialmente por la presencia de materia orgánica natural y metales disueltos como hierro, en la presente investigación se tuvieron 2 muestras que están dentro del límite permisible que son, la muestra del municipio de Amanalco de Becerra con 10 UC y la del municipio de Metepec con 5 UC y según **NMX-AA-045-SCFI-2001** el límite permisible es de 20 UC, en contraste tenemos las 3 muestras restantes que son la del Villa Guerrero con 35 UC, la del municipio de Donato Guerra con una cantidad de 50 UC y la del municipio de Jiquipilco con una concentración >70 UC, estas tres muestras presentan valores que superan los límites establecidos por la normatividad mexicana, en el caso de la muestra del municipio de Jiquipilco el valor inicial fue >70 UC, y fue necesario someter la muestra a dilución, una vez terminado este procedimiento se midió nuevamente el color y fue de 60 UC lo que confirma una concentración elevada de compuestos responsables de color.

Los factores más comunes que están relacionados con los valores altos en color potable son por la presencia de materia orgánica proveniente de la descomposición de la vegetación y al tratarse de aguas recolectadas de zonas rurales y agrícolas también puede deberse al escurrimiento de los cultivos, o de suelos que son ricos en materia orgánica; aunque el color no representa un riesgo respecto a la calidad del agua, estos valores obtenidos pueden afectar solo en la calidad estética.

Los resultados que se obtuvieron indican que dos muestras de las 5 analizadas cumplen a la perfección lo establecido por la normatividad mientras que las tres restantes están por encima de los límites, lo que sugiere que antes de hacer uso de estas aguas ya sea para consumo humano o para uso agrícola se le dé un tratamiento previo, algún tipo de filtrado o remoción de la materia orgánica.

Tablas de resultado por municipio

Amanalco de Becerra, Estado de México

Manantial “El Chorrillo”

TABLA 20. Tabla de parámetros municipio Amanalco

<i>Parámetro</i>	<i>Nombre de cuerpo de agua</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Fecha de análisis</i>	<i>Resultado</i>
<i>pH</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	7
<i>Temperatura</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	13°C
<i>Conductividad Eléctrica</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	4.803333 µS/cm
<i>Dureza Total</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	61.7394 mg/L CaCO ₃
<i>Sulfatos</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	5/12/2023	1.300955605 mg/L
<i>Turbiedad</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	20 NTU
<i>Solidos Disueltos Totales</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	138.000 mg/L
<i>Nitritos</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	0.350198 mg/L
<i>Nitratos</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	0.626910 mg/L
<i>Cloro Libre Residual</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	< 0.2 mg/L
<i>Cloruros</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	5/12/2023	6.44481 mg/L
<i>Fluoruros</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	5/12/2023	0.066688453 mg/L
<i>Color Potable</i>	Manantial “El chorrillo”	ARVA	4/12/2023	10 UC

Metepec, Estado de México

Muestra de agua de ICAMEX

TABLA 21. Tabla de parámetros municipio Metepec

<i>Parámetro</i>	<i>Nombre de cuerpo de agua</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Fecha de análisis</i>	<i>Resultado</i>
<i>pH</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	7.213333333
<i>Temperatura</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	16.4°C
<i>Conductividad Eléctrica</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	4.466 µS/cm
<i>Dureza Total</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	64.7074 mg/L CaCO ₃
<i>Sulfatos</i>	ICAMEX	ARVA	5/12/2023	1.558 mg/L
<i>Turbiedad</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	22.53333333
<i>Solidos Disueltos Totales</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	140.00 mg/L
<i>Nitritos</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	0.3018 mg/L
<i>Nitratos</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	0.648925 mg/L
<i>Cloro Libre Residual</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	<2 mg/L
<i>Cloruros</i>	ICAMEX	ARVA	5/12/2023	10.305315 mg/L
<i>Fluoruros</i>	ICAMEX	ARVA	5/12/2023	0.0616 ug de F-
<i>Color Potable</i>	ICAMEX	ARVA	4/12/2023	5UC

Villa Guerrero, Estado de México

Muestra de agua del rio San Gaspar

TABLA 22. Tabla de parámetros municipio Villa Guerrero

<i>Parámetro</i>	<i>Nombre de cuerpo de agua</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Fecha de análisis</i>	<i>Resultado</i>
<i>pH</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	6.973
<i>Temperatura</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	17 °C
<i>Conductividad Eléctrica</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	4.97 μ S/cm
<i>Dureza Total</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	61.9421mg CaCO ₃ /L
<i>Sulfatos</i>	Rio San Gaspar	ARVA	5/12/2023	1.477266476 mg/L
<i>Turbiedad</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	
<i>Solidos Disueltos Totales</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	228.00 mg/L
<i>Nitritos</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	0.169491 mg/L
<i>Nitratos</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	0.683890 mg/L
<i>Cloro Libre Residual</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	<0.2
<i>Cloruros</i>	Rio San Gaspar	ARVA	5/12/2023	1.308105 mg/L
<i>Fluoruros</i>	Rio San Gaspar	ARVA	5/12/2023	0.065729847 mg/L
<i>Color Potable</i>	Rio San Gaspar	ARVA	4/12/2023	35UC

Donato Guerra, Estado de México

Muestra de agua del río Tilostoc

TABLA 23. Tabla de parámetros municipio de Donato Guerra

<i>Parámetro</i>	<i>Nombre de cuerpo de agua</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Fecha de análisis</i>	<i>Resultado</i>
<i>pH</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	7.596
<i>Temperatura</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	15.796
<i>Conductividad Eléctrica</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	4.773333333 μS/cm
<i>Dureza Total</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	63.090mg CaCO3/L
<i>Sulfatos</i>	Río Tilostoc	ARVA	5/12/2023	1.3044 mg/L
<i>Turbiedad</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	21 NTU
<i>Sólidos Disueltos Totales</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	226.00 mg/L
<i>Nitritos</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	0.263873 mg/L
<i>Nitratos</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	0.619140 mg/L
<i>Cloro Libre Residual</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	<0.2mg/L
<i>Fluoruros</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	0.0619mg/L
<i>Cloruros</i>	Río Tilostoc	ARVA	5/12/2023	6.44481 mg/L
<i>Color Potable</i>	Río Tilostoc	ARVA	4/12/2023	50 UC

Jiquipilco, Estado de México

Muestra de agua Presa Verde

TABLA 24. Tabla de parámetros municipio de Jiquipilco

<i>Parámetro</i>	<i>Nombre de cuerpo de agua</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Fecha de análisis</i>	<i>Resultado</i>
<i>pH</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	7.163
<i>Temperatura</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	17°C
<i>Conductividad Eléctrica</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	4.4366 µS/cm
<i>Dureza Total</i>	Presa Verde	ARVA	1/2/2024	63.7659mg CaCO3/L
<i>Sulfatos</i>	Presa Verde	ARVA	1/2/2024	1.3009 mg/L
<i>Turbiedad</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	212NTU
<i>Sólidos Disueltos Totales</i>	Presa Verde	ARVA	2/2/2024	224 mg/L
<i>Nitritos</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	0.3582 mg/L
<i>Nitratos</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	2.44379 mg/L
<i>Cloro Libre Residual</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	<0.2
<i>Fluoruros</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	0.0630718 mg/L
<i>Cloruros</i>	Presa Verde	ARVA	1/2/2024	4.658 mg/L
<i>Color Potable</i>	Presa Verde	ARVA	30/1/2024	60 UC

Capítulo IV

Conclusiones

4.1 Conclusiones

El análisis fisicoquímico realizado en los municipios de Amanalco, Metepec, Villa Guerrero, Donato Guerra y Jiquipilco permitió evaluar de manera integral la calidad del agua disponible en estas zonas del Valle del Estado de México. Los resultados mostraron que el recurso hídrico presenta condiciones mayormente favorables para su uso agrícola, aunque se identificaron limitaciones importantes para su consumo humano directo debido a incumplimientos en parámetros físicos esenciales, principalmente la turbidez y la coloración. Estos hallazgos permiten comprender con mayor claridad la pureza del agua en la zona y orientan la necesidad de aplicar tratamientos previos antes de destinarla a usos más sensibles.

Desde la perspectiva de la química, todas las muestras se clasificaron como agua suave, con durezas totales inferiores a 75 mg/L de CaCO_3 , lo cual evita problemas de salinización del suelo y reduce la acumulación de incrustaciones en sistemas de riego. El pH neutro, en un rango de 6.9 a 7.5, cumple con las especificaciones de las normas NOM-127-SSA1 y NOM-201-SSA1, tanto para el desarrollo óptimo de cultivos como para su eventual potabilización. Asimismo, las concentraciones de nitratos, nitritos, sulfatos, cloruros y fluoruros permanecieron muy por debajo de los límites máximos permitidos, lo que confirma una baja presencia de contaminantes tóxicos y un impacto reducido de actividades industriales o exceso de fertilizantes en las zonas de muestreo. Del mismo modo, las lecturas de conductividad eléctrica —entre 4.4 y 4.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ — evidencian una elevada pureza mineral, consistente con el bajo contenido de Sólidos Disueltos Totales (SDT).

En cambio, la turbidez fue el parámetro más crucial ya que todas las muestras excedieron el límite de 5 NTU establecido para agua potable. El caso más severo se observó en Jiquipilco, que registró 212 NTU, valor atribuible principalmente a materia orgánica, sedimentos y escurrimientos agrícolas. Estos componentes no solo alteran la apariencia del agua, sino que pueden interferir con la absorción de nutrientes en cultivos y reducir la eficiencia de los procesos de desinfección. Adicionalmente, la coloración elevada encontrada en Villa Guerrero, Donato Guerra y Jiquipilco refuerza la presencia de partículas suspendidas y materia orgánica. A ello se suma la ausencia de cloro residual libre en todas las muestras, lo cual confirma que el agua no ha sido sometida a procesos de desinfección previos.

Aunque el agua de los municipios evaluados presenta características químicas favorables, requiere tratamientos de filtración y sedimentación antes de destinarla al consumo humano o a actividades agrícolas de mayor exigencia. Se recomienda fortalecer los sistemas comunitarios de tratamiento, implementar prácticas preventivas contra escurrimientos y realizar estudios estacionales que permitan comprender la variabilidad de estos parámetros a lo largo del año.

Bibliografía

- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. (2012). *4500-SO42- E. Turbidimetric Method*. Washington, DC: APHA-AWWA-WEF.
- Aréchiga, A. (2024, Julio 29). *Coordinación General de Comunicación Social de la Universidad de Guadalajara*. Retrieved from <https://comsoc.udg.mx/noticia/padecen-habitantes-de-amacueca-enfermedades-gastrointestinales-por-contaminacion-del-agua>
- Ayuntamiento Constitucional de Amanalco. (2022). *Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024*. Retrieved from https://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes%20y%20programas/Mpales-2022-2024/Amanalco_PDM_2022_2024.pdf
- Chaquea, M. Y. (2017). *Análisis Físico y Químico de la calidad del agua*. Colombia: Ediciones USTA.
- Cisneros, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México: Limusa S.A . DE C.V. .
- COFEPRIS. (2023, 04 26). *Gobierno de México*. Retrieved from <http://transparencia.cofepris.gob.mx/index.php/es/marco-juridico/normas-oficiales-mexicanas/agua>
- CONAGUA. (2024, febrero 28). *Gobierno de México*. Retrieved from <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua#:~:text=Indicadores%20de%20calidad%20del%20agua%20superficial&text=Con%20base%20en%20estos%20indicadores,y%2043%25%20con%20OD%25>.
- Cuenca, E. N. (2017). *Calidad de Aguas: Usos y Aprovechamiento*. Málaga, España: Interconsulting Bureau S.L.
- Diario Oficial de la Federación* . (2001, agosto 1). Retrieved from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=761733&fecha=01/08/2001#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación*. (2015, 22 de diciembre , 12 22). *NOM-201-SSA1-2015*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420977&fecha=22/12/2015#gsc.tab=0
- Federación, D. O. (2001, agosto 1). Retrieved from NMX-AA-039-SCFI-2001: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=761733&fecha=01/08/2001#gsc.tab=0
- FEDERACIÓN, D. O. (2001, Agosto 1). *DIARIO OFICIAL*. Retrieved from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=761733&fecha=01/08/2001#gsc.tab=0
- Guerrero, A. d. (2023). *Gobierno del Estado de México*.
- INEGI. (2020, marzo 27). *Censo de población y vivienda* . Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos>
- INEGI. (2020, enero 15). *INEGI*. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/>

- Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal. . (s.f). *Gobierno del Estado de México*. Retrieved from https://icamex.edomex.gob.mx/agricultura_protegida#:~:text=La%20agricultura%20protegida%20nace%20como%20una%20necesidad,agro%20clim%C3%A1ticos%2C%20inicialmente%20en%20zonas%20con%20heladas
- Martí, M. A. (2007). *Principios de Ecotoxicología*. Madrid : Tébar Flores.
- Martinez, A. (2019, enero 1). *Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible* . Retrieved from Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible : <https://ccmss.org.mx/amanalco/>
- México, G. d. (2024, febrero 28). *Comisión Nacional del Agua* . Retrieved from <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua#:~:text=Indicadores%20de%20calidad%20del%20agua%20superficial&text=Con%20base%20en%20estos%20indicadores,y%2043%25%20con%20OD%25>.
- México, G. d. (2024). *Turismo* . Retrieved from Secretaria de Cultura y Turismo .
- OMS. (2023 , septiembre 13). *Organización Mundial de la Salud* . Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Óscar Sánchez, P. B. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Patil, PN, S. D. (2012). Physico-chemical parameters for testing of water – A review. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES*, 14.
- Patricia. (n.d.). *El Chorrillo Amanalco Estado de México*.
- Pérez, J. Á. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable* . Madrid : Digital.
- Pino, S. J. (2015). *Análisis de agua potable y residual* . España: Elearning S.L.
- R.S. Ayers, D. W. (1994). *Water quality for agriculture*. California : FAO.
- R.S. Ayers, D. W. (1994). *Water quality for agriculture*. California, USA: FAO.
- Secretaría de Cultura y Turismo. (S,F). *Gobierno del Estado de México*. Retrieved from <https://turismo.edomex.gob.mx/donatoguerra>
- Secretaría de Cultura y Turismo. (s.f). *Gobierno del Estado de México*. Retrieved from https://turismo.edomex.gob.mx/valle_bravo
- Secretaría de Cultura y Turismo. (s.f). *Gobierno del Estado de México*. Retrieved from <https://turismo.edomex.gob.mx/amanalco>
- Secretaría de Cultura y Turismo. (s.f). *Gobierno del Estado de México*. Retrieved from <https://turismo.edomex.gob.mx/jiquipilco>
- Secretaría de Cultura y Turismo. (s.f). *Gobierno del Estado de México*. Retrieved from <https://turismo.edomex.gob.mx/metepec>

Secretaría de Economía . (2001). *Análisis de agua - Determinación de cloruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba*. México: Dirección General de Normas.

Secretaría de Economía. (2001). *nálisis de agua, determinación de color Platino Cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba* . México: Dirección General de Normas .

Secretaría de Salud . (2016). *NOM-201-SSA1-2015.Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.* . México : Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Salud . (2022). *NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*. México: Diario Oficial de la Federación .

SEMARNAT. (2020, JUNIO 1). *Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Calidad del Agua, Junio, 2020*. Retrieved from Gobierno de México:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2020/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/approot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D3_AGUA/D3_AGUA04/D3_R_AGUA05_01.htm

UNAM Global. (2024, mayo 20). *Revista Global UNAM*. Retrieved from
https://unamglobal.unam.mx/global_revista/consecuencias-de-la-sequia-en-mexico/

Vera, P. (n.d.).

Vera, P. (n.d.).