



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**

**FACULTAD DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

*“Análisis del impacto del uso de agroquímicos
convencionales en la calidad del agua de los mantos
acuíferos en el Municipio de Tingambato, Michoacán”*

Tesis

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presenta el

BIÓLOGO: ANTONIO SAAVEDRA AGUILERA

DIRECTOR DE TESIS: DR. OTONIEL BUENROSTRO DELGADO

CODIRECTOR: DR. ROBERTO GARCÍA ACEVEDO

Morelia, Michoacán

FEBRERO 2021



DEDICATORIA



Dedico esta investigación a mis padres (Francisco Saavedra Rueda y Herlinda Aguilera Altamirano), quienes siempre han sido el motor que me impulsa a luchar por mis metas.



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

- Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su financiamiento económico durante mi estancia en la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental (MCIAM-UMSNH) con el número de becario CVU: 923478.
- A todos los docentes de la Maestría en ciencias en Ingeniería Ambiental (MCIAM-UMSNH), en primer estancia por inculcarme los valores del conocimiento y aprendizaje durante estos 2 años de estudio en mi formación.
- A mis padres Herlinda Aguilera Altamirano y Francisco Saavedra Rueda por ser mi principal apoyo retroalimentador en este caminar del estudio. Gracias le doy a Dios darme a estos padres ya que siempre son mi motivación para alcanzar mis metas.
- A mi asesor de tesis al Dr. Otoniel Buenrostro Delgado, por ser mi principal guía para que las cosas salieran con éxito, gracias por sus enseñanzas, por su tiempo, pues fue un pilar importante para que esta investigación se llevara a cabo.
- A la mesa revisora, Dr. Roberto García Acevedo, Dr. Roberto Guerra M.C Ricardo Ruiz Chávez y M.C Claudia Alejandra Reyes Toscano, quienes cumplieron con la labor de revisar esta tesis, gracias por su contribución, sus aportaciones y comentarios para el manuscrito final.

- En especial a los encargados del laboratorio de Ingeniería y Saneamiento Ambiental por facilitarme las determinaciones físico-químicas y microbiológicas realizadas en esta investigación así, como a la Dr. Ruth Alfaro Cuevas y a la M.C Claudia Alejandra Reyes Toscano, de igual manera por facilitarme el espacio y equipo para realizar las determinaciones de elementos traza, así como el multímetro utilizado en las determinaciones “in situ”.
- A mi compañero el M.C David Guzmán Hernández, por apoyarme con su vehículo para llevar acabo los muestreos en los dos temporales, sus pláticas, planes a futuro y ayuda retroalimentaban nuestros conocimientos y hacían más amenos los muestreos.
- Al profesor: Cristian Solorio Aguilar, por ser parte fundamental en este caminar, gracias por tus consejos, tus regaños tu apoyo incondicional, siempre lo valoraré y lo tendré grabado en mí por siempre.

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. HIPÓTESIS	5
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	6
4.1 Objetivo General	6
4.2 Objetivos Particulares	6
5. MARCO TEÓRICO	7
5.1 Generalidades	7
5.1.1 Agua	7
5.1.2 Manto acuífero	7
5.1.3 Calidad del agua	7
5.1.4 Clasificación de los tipos de agua	8
5.1.5 Contaminación del agua	8
5.1.6 Contaminación del agua subterránea	9
5.1.7 Parámetros fisicoquímicos	9
5.1.8 Parámetros microbiológicos	13
5.1.9 Determinaciones de Metales Pesados o Elementos traza	13
5.1.10 Iones Mayoritarios	16
6. Problemas ambientales en los sistemas suelo, agua y aire	18
6.1 Efectos en la salud pública	20
6.2 Índices de calidad del agua (ICA)	21
7. Tipos de captadores y/o receptores de agua	22
7.1 Olla	22
7.2 Depósito	23
7.3 Noria	23
7.4 Pozo profundo	23

8. Cultivo del aguacate	24
8.1 Principales agroquímicos aplicados en el cultivo de aguacate en el Municipio de Tingambato, Michoacán.....	25
9. ANTECEDENTES	26
10. DESCRIPCIÓN DEL ZONA DE ESTUDIO.....	32
10.1 Ubicación.....	32
10.2 Extensión.....	33
10.3 Orografía.....	33
10.4 Hidrografía.....	33
10.5 Clima.....	33
10.6 Principales Ecosistemas.....	33
10.7 Características y uso de suelo.....	34
11. METODOLOGÍA.....	35
11.1 Selección de los sitios de estudio.....	36
11.2 Colecta de muestras.....	37
11.3 Análisis de parámetros físico-químicos.....	41
11.4 Índice de calidad del agua (ICA).....	45
11.6 Análisis estadísticos.....	50
12. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
12.1 Análisis de los parámetros.....	51
12.2 Parámetros fisicoquímicos IN SITU en tiempo de estiaje y lluvias	51
12.2.1 Oxígeno disuelto	51
12.2.2 Conductividad eléctrica	52
12.2.3 Temperatura.....	53
12.2.4 pH.....	54
12.3 Parámetros físico-químicos en laboratorio.....	55
12.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	55
12.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO)	56
12.3.3 Dureza Total.....	57
12.3.4 Acidez Total	58
12.3.5 Alcalinidad Total	59
12.3.6 Cloruros Cl ⁻	60
12.3.7 Nitratos (NO ₃ ⁻).....	61

12.3.8 Sulfatos (SO_4^{2-})	62
12.3.9 CIANUROS (CN^-)	63
12.3.10 Fósforo total (P_T)	64
12.3.11 Bromo (Br).....	65
12.3.12 Sólidos Disueltos Totales (SDT).....	66
12.3.13 Sólidos Suspendedos Totales (SST).....	67
12.4 Parámetros Microbiológicos.....	68
12.5 Metales pesados o Elementos Traza.....	69
12.5.1 Hierro (Fe).....	70
12.5.2 Zinc (Zn).....	71
12.5.3 Cobre (Cu)	72
12.5.4 Níquel (Ni).....	73
12.6 Iones mayoritarios.....	74
12.6.1 Calcio (Ca^{2+}).....	74
12.6.2 Magnesio (Mg^{2+}).....	75
12.6.3 Sodio (Na^+).....	76
12.6.4 Potasio (K^+)	77
12.6.5 Bicarbonatos (HCO_3^-).....	78
12.7 Evaluación del índice de calidad del agua (ICA).....	79
12.8 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)	83
13. CONCLUSIONES.....	88
14. RECOMENDACIONES	90
15. BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	1

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Ubicación del área de estudio: Elaborado a partir de (Arc GIS 10.3). .	32
FIGURA 2. Diagrama de flujo de la metodología de trabajo.	35
FIGURA 3. Ubicación geográfica de los sitios de estudio fuente: Elaborado en (Arc GIS 10.3).	37
FIGURA 4. Fuente de agua (Noria).	37
FIGURA 5. Fuente de agua (Olla).	38
FIGURA 6. Fuente de agua (Manantial).	38
FIGURA 7. Fuente de agua (pozo profundo).	38
FIGURA 8. Toma de muestra de agua en manantial.	39
FIGURA 9. Determinación de.....	39
FIGURA 10. Conservación y traslado de las muestras de agua en una hielera a temperatura menor a 4 ⁰ c.	39
FIGURA 11. Determinación de parámetros con técnicas de potenciometría.	41
FIGURA 12. Determinación de parámetros físico-químicos con técnica de titulación.	42
FIGURA 13. Determinación de parámetros con técnica de volumetría.	43
FIGURA 14. Determinación de coliformes fecales y totales, con la técnica de tubos múltiples.	43
FIGURA 15. Valores resultantes de oxígeno disuelto (mg/L) en los sitios de estudio.	52
FIGURA 16. Valores de conductividad eléctrica (µS/cm) en los sitios de estudio.	53
FIGURA 17. Valores de Temperatura (°C) de los sitios de estudio.	54
FIGURA 18. Valores de pH en los sitios de estudio.	55
FIGURA 19. Valores de DBO ₅ (mg O ₂ /L) en los sitios de estudio.	56
FIGURA 20. Valores de Demanda Química de oxígeno (mg O ₂ /l) en los sitios de estudio.	57
FIGURA 21. Valores de la dureza Total (mg/l Ca ⁺² y Mg ⁺²) en los sitios de estudio.	58
FIGURA 22. Valores de Acidez Total de los sitios de estudio.	59
FIGURA 23. Valores de Alcalinidad Total (como CaCO ₃ en mg/l) de los sitios de estudio.	60
FIGURA 24. Valores de Cl ⁻ (mg/L) en los sitios de estudio.	61
FIGURA 25. Valores de NO ₃ ⁻ (mg/L) en los sitios de estudio.	62
FIGURA 26. Valores de SO ₄ ²⁻ (mg/L) en los sitios de estudio.	63
FIGURA 27. Valores de CN ⁻ (mg/L) en los sitios de estudio.	64
FIGURA 28. Valores de P _T (mg/L) en los sitios de estudio.	65
FIGURA 29. Valores de Br (mg/L) en los sitios de estudio.	66
FIGURA 30. Valores de SDT (mg/L) en los sitios de estudio.	67
FIGURA 31. Valores de SST (mg/L) en los sitios de estudio.	68
FIGURA 32. Valores de coliformes fecales NMP/100 ml, en los sitios de estudio.	69
FIGURA 33. Valores de coliformes totales NMP/100 ml, en los sitios de estudio.	69
FIGURA 34. Valores de Fe (mg/L) en los sitios de estudio.	71

FIGURA 35. Valores de Zn (mg/L) en los sitios de estudio.....	72
FIGURA 36. Valores de Cu (mg/L) en los sitios de estudio.	73
FIGURA 37. Valores de Ni (mg/L) en los sitios de estudio.....	73
FIGURA 38. Valores de (Ca ²⁺) (mg/L) en los sitios de estudio.	75
FIGURA 39. Valores de Mg ²⁺ (mg/L) en los sitios de estudio.....	76
FIGURA 40. Valores de Na ⁺ (mg/L) en los sitios de estudio.....	77
FIGURA 41. Valores de k ⁺ (mg/L) en los sitios de estudio.....	78
FIGURA 42. Valores de HCO ₃ ⁻ (mg/L) en los sitios de estudio.	79
FIGURA 43. Análisis de componentes principales parámetros fisicoquímicos de los sitios de estudio.	84
FIGURA 44. Análisis de componentes principales, agrupando las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y los sitios de estudio.....	85

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Límites máximos permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 (coliformes)	13
Cuadro 2. Límites máximos permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 (metales pesados).....	16
Cuadro 3. Límites máximos permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 (iones mayoritarios).....	17
Cuadro 4. Principales agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) utilizados en el cultivo del aguacate.....	25
Cuadro 5. Localización de los sitios de estudio.....	36
Cuadro 6. Equipo utilizado para las determinaciones de campo y laboratorio.....	44
Cuadro 7. Ponderación de los parámetros para determinar el ICA para uso potable.....	45
Cuadro 8. Ponderación de los parámetros para determinar el ICA para uso de riego.....	46
Cuadro 9. Límites máximos permitidos por normas nacionales e internacionales para uso potable.....	47
Cuadro 10. Límites máximos permitido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso de riego.....	48
Cuadro 11. Clasificación del valor del índice de calidad del agua para uso potable.....	49
Cuadro 12. Clasificación del valor del índice de calidad del agua para uso de riego.....	50
Cuadro 13. Valor del índice de calidad del agua (ICA) de los sitios de estudio con uso potable.....	81
Cuadro 14. Valor del índice de calidad del agua (ICA) de los sitios de estudio con uso de riego.....	82
Cuadro 15. Resultados de parámetros in situ de los sitios de estudio.....	1
Cuadro 16. Resultados de parámetros físico-químicos y microbiológicos en los sitios de estudio.....	2
Cuadro 17. Continuación de cuadro 15.....	3
Cuadro 18. Resultados de metales pesados o elementos traza en los sitios de estudio.....	4
Cuadro 19. Resultados de lones mayoritarios en los sitios de estudio.....	5

RESUMEN

El cultivo del aguacate ha generado impactos ambientales como la pérdida de la biodiversidad por el cambio de uso del suelo, disminución de la infiltración del agua de lluvia, erosión hídrica y eólica, abatimiento y contaminación del agua subterránea, contaminación del suelo por la alteración de los ciclos de nutrientes en el suelo. El objetivo de esta investigación fue determinar el índice de calidad de las distintas fuentes de agua en el Municipio de Tingambato, Michoacán, mediante estudios físico-químicos, microbiológicos y de metales pesados. Las muestras de agua se tomaron de dos manantiales, tres norias, tres ollas y un pozo profundo en dos periodos de muestreo; estiaje, en el mes de mayo y lluvia en el mes de septiembre de 2019. Los parámetros físicoquímicos fueron (pH, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad, SDT, NO₃-), iones mayoritarios (cationes: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, aniones: HCO₃⁻, CO₃²⁻) y elementos traza (Pb, Fe, Cr, Zn, Cu, Ni y Cd) y microbiológicos (coliformes). Los resultados se compararon con los límites permisibles (LMP), de acuerdo a la normativa nacional e internacional, además se evaluó el índice de calidad del agua para uso potable y de riego. Entre los resultados principales se encontró que los nitratos (NO₃⁻) sobrepasan los (LMP) en ambos temporales, respecto al (ICA) todos los sitios se encuentran dentro del rango para uso de riego clasificándose como buena y excelente calidad. De lo anterior, resulta importante ampliar estos estudios a todos los municipios con vocación agrícola para fomentar el uso racional de los acuíferos y tener información de la contaminación por el uso de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) y así establecer medidas para disminuir los impactos a la salud y al ambiente.

Palabras clave: Índice, Calidad, Tingambato, Acuífero, Agroquímicos.

ABSTRACT

The cultivation of avocado has generated environmental impacts such as the loss of biodiversity due to the change in land use, decreased infiltration of rainwater, water and wind erosion, abatement and contamination of groundwater, soil contamination due to the alteration of nutrient cycles in the soil. The objective of this research was to determine the quality index of the different water sources in the Municipality of Tingambato, Michoacán, through physicochemical, microbiological and heavy metal studies. The water samples were taken from two springs, three norias, three pots and a deep well in two sampling periods; low water, in the month of May and rain in the month of September 2019. The physicochemical parameters were (pH, temperature, electrical conductivity, hardness, alkalinity, SDT, NO_3^-), Major ions (cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , anions: HCO_3^- , CO_3^{2-}) and trace elements (Pb, Fe, Cr, Zn, Cu, Ni and Cd) and microbiological (coliforms). The results were compared with the permissible limits (LMP), according to national and international regulations, in addition the water quality index for drinking and irrigation use was evaluated. Among the main results, it was found that nitrates (NO_3^-) exceed (LMP) in both seasons, with respect to (ICA) all sites are within the range for irrigation use, classifying as good and excellent quality. From the above, it is important to extend these studies to all municipalities with an agricultural vocation to promote the rational use of aquifers and have information on contamination from the use of agrochemicals (fertilizers and pesticides) and thus establish measures to reduce the impacts on health and ambient.

Keywords: Index, Quality, Tingambato, Aquifer, Agrochemicals.

1. INTRODUCCIÓN

México es el primer productor de aguacate en el mundo, el cultivo representa el 30% de la cosecha a nivel mundial, con un crecimiento de la producción del 4% semestral. La mayor parte del consumo es en fruto fresco, aunque tiene una variedad muy amplia de usos industriales, como la extracción de aceite para consumo y elaboración de cosméticos. El cultivo del aguacate ha generado impactos ambientales como la pérdida de la biodiversidad por el cambio de uso del suelo, disminución de la infiltración del agua de lluvia, erosión hídrica y eólica, abatimiento y contaminación de los mantos freáticos, contaminación del suelo por la alteración de los ciclos de nutrimentos en el suelo (Tosí *et al.*, 2009).

Dentro de México, el Estado de Michoacán es el mayor productor de aguacate con una producción de 1. 57 millones de toneladas equivalente al 77.15% de la producción nacional (SIAP, 2018). Sólo en Michoacán hay más de 153,000 ha en producción de esta fruta y el área productiva se ha incrementado considerable y continuamente, muchas veces a expensas del bosque nativo, duplicándose en los últimos 6 años (Morales *et al.*, 2012).

México es un país mega diverso y uno de los principales exportadores del mundo en cuanto a productos agropecuarios (SIAP, 2018; Barra Nacional de Comercio Exterior, 2014). Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2013, sólo la cerveza de malta, las moras (frambuesa, fresa, zarzamora), el jitomate y el aguacate, aportaron uno de cada cuatro dólares generados por las exportaciones agropecuarias y agroindustriales en el mundo anualmente (SIAP, 2013). En relación con el aguacate, México es el mayor productor y exportador de dicho frutal en el mundo. Tan sólo en la temporada de 2016-2017, México produjo la cantidad total de 2 millones 29 mil toneladas (SIAP, 2018) lo cual equivale al 45.95% del valor de las exportaciones mundiales (SAGARPA, 2017). Los países que importan mayormente aguacate son los Estados Unidos (EU), Japón y Canadá. En el año 2013, EU importó 900,000 toneladas de la mencionada fruta, (Barra Nacional de Comercio Exterior, 2014).

La utilización de agroquímicos convencionales ha favorecido a la acumulación de estos productos en los diferentes sistemas ambientales (suelo, agua y aire), la exposición potencial diferenciada de grupos poblacionales vulnerables, las implicaciones en términos de salud pública, etc. Uno de los agroquímicos de mayor uso en el cultivo del aguacate son los agroquímicos convencionales y plaguicidas que se aplican en grandes cantidades para el crecimiento nutricional y control de plagas (Tosí *et al.*, 2009); estos dependiendo de la movilidad y de la dosis, contaminan el aire, el suelo y el agua.

Actualmente se usan los agroquímicos y plaguicidas convencionales para la nutrición, crecimiento y control de plagas en el cultivo de aguacate. Son pocos los estudios en México que consideren la evaluación de los impactos asociados a la producción de aguacate, que hablen de forma sistémica de los efectos ambientales, sociales y a la salud que genera este cultivo agrícola.

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales. En las últimas décadas, con la finalidad de producir más alimentos y energía, así como de dotar del servicio de agua potable a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente. Otro problema importante relacionado con la posibilidad de utilizar el agua es su grado de contaminación, ya que si no tiene la calidad adecuada puede agravar el problema de la escasez, el agua de los cuerpos superficiales y subterráneos se contaminan por las descargas sin tratamiento previo, de aguas municipales e industriales, así como por los arrastres que provienen de las zonas que practican actividades agrícolas y pecuarias.

En México, las aguas subterráneas son una importante fuente de suministro; éstas son utilizadas principalmente para riego, población e instalaciones industriales. Las fuentes de agua subterránea son el medio más importante para cumplir las necesidades de agua del país, además de ser una fuente de agua para el 70% de los millones de habitantes (CONAGUA, 2016).

2. HIPÓTESIS.

El uso intensivo de productos químicos en el cultivo de aguacate ha afectado la calidad del agua en el área de estudio, debido a que la composición de estos productos tiene características de peligrosidad.

3. JUSTIFICACIÓN.

Actualmente se usan los agroquímicos convencionales para nutrir y controlar las plagas en el cultivo de aguacate. (Álvarez y Gayou, 2003) y (García *et al.*, 2005) documentan que los efectos de la exposición crónica a estos productos químicos en el mundo y específicamente en México son poco controlados. No obstante que Michoacán es el primer productor de aguacate no hay estudios fehacientes que documenten el efecto en el ambiente y a la población por el uso de productos químicos, además de que en el Municipio de Tingambato, Michoacán no existe un estudio que demuestre la calidad del agua de las principales fuentes que suministran a los usuarios. Para ello, es importante que se esté monitoreando la calidad del agua que llega a los habitantes, ya que hoy en día existen muchas personas que beben y usan directamente el agua que llega a sus casas, de aquí que resulta importante realizar este estudio que se plantea evaluar la calidad del agua en las principales fuentes de agua en la zona de estudio, y esto podrá permitir a las autoridades correspondientes tomar decisiones correctas y tener una mejor administración de sus recursos hídricos.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Determinar la calidad de las distintas fuentes de agua en el Municipio de Tingambato, Michoacán, mediante estudios físico-químicos, microbiológicos y de metales pesados.

4.2 Objetivos Particulares

1. Identificar las fuentes de agua en Tingambato, mediante el análisis de variables biofísicas.
2. Realizar análisis fisicoquímicos, Microbiológicos y Metales Pesados, en muestras de agua representativas de la zona.
3. Comprobar si las concentraciones de los diversos parámetros analizados exceden los límites máximos permisibles, de acuerdo con la normativa mexicana e internacional.
4. Determinación del cálculo del índice de calidad del agua, para conocer su viabilidad de uso: potable, doméstico y de riego.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Generalidades

5.1.1 Agua

El 97.5% del agua en la tierra se encuentra en los océanos y mares de agua salada, únicamente el restante 2.5% es agua dulce. Del total de agua dulce en el mundo, 69% se encuentra en los polos y en las cumbres de las montañas más altas y se encuentra en un estado sólido. El 30% del agua dulce del mundo, se encuentra en la humedad del suelo y en los acuíferos profundos.

Solo el 1% del agua dulce en el mundo, escurre por las cuencas hidrográficas en forma de arroyos y ríos y se depositan en lagos, lagunas y en otros cuerpos superficiales de agua y en acuíferos. Esta es agua que se repone regularmente a través del ciclo hidrológico (CONAGUA, 2010; Agudelo, 2005).

En México los estudios realizados por la CONAGUA, el INEGI y el INE han identificado 1,471 cuencas hidrográficas, las cuales se han subdivido en cuencas hidrológicas. Las cuales se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas. Respecto a las aguas subterráneas, México se divide en 653 acuíferos (SEMARNAT, 2011).

5.1.2 Manto acuífero

Estrato o formación geológica permeable, compuesta de grava, arena o piedra porosa, que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. Los acuíferos contienen las aguas que provienen de la infiltración en el terreno de las aguas, lluvias o de lagos y ríos, que después de pasar la franja capilar del suelo, circulan y se almacenan en formaciones geológicas porosas o fracturadas (SEMARNAT, 2011).

5.1.3 Calidad del agua

La calidad del agua potable a lo largo de la historia ha sido un factor determinante del bienestar humano. Las enfermedades propagadas por agua “potable” contaminada con materia fecal diezmaron a la población de ciudades enteras. Actualmente, el agua contaminada por fuentes naturales o humanas sigue

causando grandes problemas a las personas que la usan de manera obligada, tanto para beber como para la irrigación de hortalizas y otras plantas comestibles crudas (Manahan, 2007).

La calidad del agua subterránea evoluciona rápidamente a medida que pasa a través del subsuelo, dentro del suelo y la zona no saturada y de allí a la zona saturada del acuífero (Edmunds *et al.*, 2003).

5.1.4 Clasificación de los tipos de agua

De acuerdo con su origen, los suministros de agua se clasifican en tres categorías (Ramalho 1996; Restrepo 2007):

1.- *Aguas superficiales*. Comprenden los cauces (ríos), océanos, lagos y aguas embalsadas. Son aquellas aguas que se encuentran transitoriamente discurriendo, o en reposo, sobre un suelo, otros cuerpos de agua u otro material.

2.- *Aguas subterráneas*. Es el agua existente bajo la superficie terrestre en una zona de saturación llenando los espacios vacíos del suelo y del subsuelo, procedente de la infiltración por precipitaciones y escorrentías. El agua infiltrada circula por el subsuelo hasta llegar a una zona de acumulación limitada por capas impermeables, formando un manto, denominado acuífero que abastece pozos y manantiales.

3.- *Aguas meteorológicas*. El agua que precipita en forma de lluvia, nieve y granizo, originada por la condensación del vapor acuoso de la atmósfera.

5.1.5 Contaminación del agua

La contaminación del agua es su daño o alteración por efecto de productos extraños. El agua de lluvia, el agua de los mares, ríos, lagos y acuíferos, etc; es contaminada por los gases residuales, desechos de lugares habitados, fábricas y ciudades (Prieto, 2004).

En general, se considera un “contaminante” al exceso de materia o energía (calor) que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua. Entonces, no existe una división precisa entre las aguas contaminadas y las no contaminadas; este calificativo se atribuye en función del uso, las exigencias higiénicas y del grado de avance de la ciencia y tecnología para determinar los efectos y medir los contaminantes (Jiménez, 2001).

En la actualidad la mayor preocupación sobre la seguridad del agua es la presencia potencial de contaminantes químicos. Éstos pueden incluir productos químicos orgánicos e inorgánicos y metales pesados, procedentes de efluentes industriales, agrícolas y de la escorrentía urbana. Como los contaminantes pueden provenir de una variedad de fuentes, es importante se cuente con marcadores de contaminación del agua que sean indicativos de las fuentes. Algunos herbicidas pueden servir como marcadores de la escorrentía agrícola, y las bacterias Coliformes se utilizan como marcadores de contaminación fecal proveniente de fuentes domésticas (Manahan, 2007).

5.1.6 Contaminación del agua subterránea

La escasez del agua ha propiciado el desarrollo de grandes obras subterráneas para la explotación de los mantos acuíferos (Chacón, 2011). Uno de los principales problemas que presenta en la actualidad el agua subterránea y que repercuten en la salud humana es la contaminación por sustancias químicas como los metales pesados, metaloides como el Arsénico y Boro, algunos no metales como el Flúor.

Las actividades humanas han introducido ciertos contaminantes a la hidrósfera en aspectos, tales como la quema de combustibles fósiles, la fundición de minerales, las aguas residuales municipales, industriales, mediante efluentes de minería, vertederos, evacuación subterránea de desechos tóxicos, etc., estos contaminantes independientemente de su fuente, se dispersan fácilmente en los sistemas acuáticos y tienden a acumularse en los organismos vivos, provocando diversos trastornos en los ecosistemas (Jang-Soon *et al.*, 2009).

5.1.7 Parámetros fisicoquímicos

Para evaluar los cambios que el agua subterránea pudiera tener respecto a su calidad, se emplea una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos, también conocidos como indicadores de calidad del agua (Nissen *et al.*, 2000). Los parámetros fisicoquímicos dan información extensa de la naturaleza de las especies químicas presentes en el agua, así como sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta

información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que se recomienda la utilización de ambos (Samboni 2007).

Los principales parámetros para evaluar la calidad del agua subterránea son los siguientes:

Color: El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color se debe considerar que define el concepto de “color verdadero”, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad (APHA-AWWA-WEF, (2005).

Olor: Existen cuatro verdaderas sensaciones de sabor o gusto: agrio, dulce, salado y amargo. Todas las demás sensaciones que, por lo general, se atribuyen al sentido del gusto, son realmente olores, aunque la sensación no se perciba hasta que el material se lleve a la boca. El agua pura es inodora, los olores ocurren en las aguas debido a la presencia de diferentes sustancias, generalmente orgánicas, aunque también producen olores algunos inorgánicas, como el sulfuro de hidrógeno (APHA-AWWA-WEF, (2005).

pH; es un parámetro de suma importancia ya que controla las reacciones químicas y biológicas en el agua (INEGI, 2000). La NOM-127-SSA1-1994 establece un valor de 6.5 a 8.5. En aguas subterráneas se encuentra entre 6 y 8.5, en manantiales puede ser menor (Armienta **et al.**, 1994).

Temperatura; Las temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física en el agua (DOF 2000). Con el incremento de la temperatura se presenta una mayor solubilidad de los minerales presentes (Metcalf y Eddy 1994). De manera general las variaciones de temperatura afectan la solubilidad de sales y gases en el agua (Galvín, 2003).

Alcalinidad; se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, reaccionando con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH^-) (Armienta **et al.**, 1994).

Acidez; es la capacidad del agua de neutralizar iones OH^- , se presenta cuando el agua contiene ácidos débiles como el CO_2 y H_2PO_4^- . El agua ácida es indicador de contaminación (Manahan, 2007).

Dureza total; se define como la suma de cationes polivalentes (principalmente calcio y magnesio), se expresa en (mg/L).

Conductividad eléctrica; mide la capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura (DOF, 2000).

Demanda química de oxígeno (DQO): determina la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida, se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (APHA-AWWA-WEF, (2005).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅); Determina la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos oxiden la materia orgánica (biodegradable). El incremento de la DBO₅ incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con una afectación a los sistemas acuáticos (SEMARNAT, 2011).

Nitrato (NO_3^-); el nitrato se encuentra naturalmente en el medio ambiente y es un importante nutriente para las plantas, se encuentra presente en todas las plantas y es una parte importante del ciclo del nitrógeno. Puede llegar a las aguas subterráneas como consecuencia de la agricultura (aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados inorgánicos y abonos), procedentes de la eliminación de aguas residuales y de la oxidación de los productos de desecho nitrogenados en la excreta humana y animal, incluidos los tanques sépticos. Las concentraciones de nitratos en agua subterránea presentan cambios relativamente lentos. En general, la fuente más importante de exposición humana a los nitratos es a través de verduras y carne en la dieta, sin embargo, el agua de consumo puede hacer una contribución significativa de nitratos (WHO, 2011).

Sólidos sedimentables totales: es la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un periodo de tiempo. Pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/L)

Sólidos suspendidos totales: engloba al residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual, industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103°-105°, hasta peso constante.

Sólidos totales: son la suma de los minerales, sales, metales, cationes, o aniones disueltos en el agua. Esto incluye cualquier elemento presente en el agua que no sea (H₂O) molécula de agua pura y sólidos en suspensión.

Fosforo total; se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en orto-fosfatos, fosfatos, condensados y fosfatos orgánicos.

Boro: el agua contiene muy bajas concentraciones de boro que se consideran inocuas para el ser humano, sin embargo, en altas concentraciones en el sistema nervioso produce una enfermedad denominada: borismo, el boro se encuentra en forma natural en el agua, pero se puede encontrar en concentraciones mayores debido a desechos de productos de limpieza, industriales, agroquímicos etc (DOF, 1994).

5.1.8 Parámetros microbiológicos.

La NOM-127-SSA1-1994, establece dentro de este parámetro la determinación de características microbiológicas debidas a microorganismos nocivos para la salud; y menciona la determinación de organismos coliformes totales y fecales, principalmente *Escherichia coli*. Se definen como coliformes; aquellos bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, que a 35°C fermentan la lactosa con la producción de gas bajo ciertas condiciones (**cuadro 1**) (DOF, 1994).

Cuadro 1. Límites máximos permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 (coliformes)

PARÁMETRO	LÍMITE PERMISIBLE (NMP/100mL)
Organismos coliformes totales.	Ausencia o no detectables.
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u Organismos termo tolerantes.	Ausencia o no detectables.

Fuente: Diario oficial de la federación (DOF, 1994).

5.1.9 Determinación de Metales Pesados o Elementos traza.

Prácticamente suelen definirse como: “grupo de metales o metaloides asociados con contaminación y toxicidad potencial” (Davor, 2003)

La presencia de algunos metales y/o metaloides en el agua puede ocurrir de forma natural por dilución de minerales y erosión. Además, se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos, que pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas pasar a la atmósfera por volatilización y movilizarse hacia el agua superficial o subterránea. No son degradados fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos. En las prácticas agrícolas, el uso de químicos para combatir plagas y fertilizar el suelo aportan grandes cantidades de metales pesados como son cobre, cadmio, mercurio, cromo, arsénico, entre otros (Mancilla-Villa *et al.*, 2011).

Como contaminantes importantes en las aguas subterráneas se presentan los elementos traza. Son elementos o compuestos químicos que existen a niveles muy bajos del orden de partes por millón (ppm) en un sistema dado incluyéndose elementos como el As, B, Cd, Cu, Cr, F, Fe, Mn, Pb y Zn (Manahan, 2007).

Cobre (Cu): Es un elemento que naturalmente se encuentra en las rocas y el suelo, las aguas superficiales y subterráneas contienen este mineral, las aguas potables tienen un contenido de cobre bastante bajo (habitualmente menor de 0.1 mg/L); sin embargo, algunas aguas no tratadas, especialmente las de pozo, pueden tener condiciones que promuevan una liberación excesiva de cobre desde el suelo y especialmente por corrosión de las cañerías de cobre (Manahan, 2007).

Cromo (Cr): Es un elemento natural que se encuentra en rocas, plantas, suelos, animales y en los humos y gases volcánicos, normalmente las concentraciones de cromo total en el agua potable son inferiores a 2 µg/L. Sin embargo, el agua de pozos puede tener concentraciones mayores si está contaminada con cromo (VI) de fuentes industriales o si la zona tiene depósitos importantes de minerales de cromo (Manahan, 2007).

Hierro (Fe): El hierro es un elemento esencial que produce problemas de aceptación (color y sabor) a concentraciones muy inferiores a las tóxicas.

Las concentraciones significativas de hierro y manganeso se producen a nivel mundial, aunque estos metales no son sospechosos de causar efectos directos sobre la salud a través de su presencia en el agua potable, pueden causar decoloración severa de agua (WHO, 2004).

Las aguas de pozos contienen mayores concentraciones de Fe que las aguas superficiales, debido al bajo pH, a la alta concentración de CO₂ y al escaso contenido de oxígeno disuelto.

Níquel (Ni): Se encuentra en la naturaleza, en minerales que contienen también hierro y magnesio, y en estado libre en algunos meteoritos, la sobreexposición a corto plazo de níquel no se sabe qué problemas de salud puede causar, pero la

exposición a largo plazo causa daño al corazón y al hígado. La agencia de protección ambiental (EPA) por sus siglas en inglés no regula actualmente las concentraciones del níquel en agua potable (Manahan, 2007).

Cadmio (Cd): El cadmio forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos y provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25,000 toneladas. Una fuente importante emisión de Cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del Cadmio termina en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del Cadmio termina en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos por las compañías productoras.

Plomo (Pb): El plomo se encuentra de manera natural en la corteza terrestre de manera relativamente abundante, en promedio de 16 mg/kg. El plomo es una sustancia tóxica que se acumula en los huesos, es tóxico para el sistema nervioso central como para el periférico, e induce efectos neurológicos y conductuales. La EPA menciona que altas concentraciones de plomo en el organismo pueden causar graves daños al cerebro, riñón, sistema nervioso y glóbulos rojos. En México el límite máximo permisible es de 0.01 mg/L.

Zinc (Zn): Este metal se encuentra en el agua en el estado de oxidación 2+, es un contaminante común del agua y sedimentos de los puertos cercanos a instalaciones industriales. El zinc abunda en la corteza terrestre en el orden de 0.02% en peso, es un oligoelemento indispensable que se encuentra en todos los alimentos y en el agua de bebida en forma de sales o complejos orgánicos (CNA, 2007).

Cuadro 2. Límites máximos permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 (metales pesados).

Elemento	Límite de detección (mg/L)
Fe	0.30
Zn	5.00
Cd	0.005
Cr	0.05
Cu	2.00
Pb	0.025

Fuente: Diario oficial de la federación (DOF, 1994).

5.1.10 Iones Mayoritarios.

En el agua subterránea las especies disueltas predominantes son los iones; Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- y Cl^- en cantidades entre 1 y 1000 mg/L, estos son conocidos como constituyentes o iones mayoritarios (Páez, 2008).

Sodio (Na^+); es el catión principal de la biosfera y constituye el 2.83% de la corteza terrestre. Se encuentra en sales extremadamente solubles por lo que está en altas concentraciones en toda el agua (CNA, 2007).

Calcio (Ca^{2+}); es un catión encontrado a grandes concentraciones en la mayoría de los sistemas de agua dulce. Es importante en muchos procesos geoquímicos y los minerales constituyen la fuente principal del ion calcio en el agua, este ion junto con el magnesio y a veces el ion Fe^{3+} determinan la dureza del agua (Manahan, 2007). Las concentraciones de Ca en aguas varían mucho, estando asociadas al nivel de mineralización; por esto mismo, las aguas subterráneas presentan comúnmente más altos contenidos que las superficiales. La presencia de Ca en agua potable la dota de "sabor" que dependerá del anión mayoritario presente (Cañada, 2010)

Sulfatos (SO_4^{2-}); están presentes en forma natural en diversos minerales. La concentración en aguas naturales varía, contribuyen a la dureza no carbonatada (CNA, 2007).

Cloruros (Cl^-); Son compuestos de cloro con otro elemento o radical, presentes en casi todas las aguas naturales y en un amplio intervalo de concentraciones, de los más abundantes y estables son el cloruro de sodio, y en menor grado el de calcio y magnesio. Proviene de la disolución de rocas basálticas y sedimentarias, así como de efluentes industriales. La concentración promedio de cloruro en el agua subterránea es de 6 mg/L (CNA, 2007).

Carbonatos y bicarbonatos (CO_3^{2-} , HCO_3^-); el carbono inorgánico disuelto en un agua natural procede de la respiración de los organismos vivos presentes, pero principalmente de la disolución de CO_2 atmosférico, de los procesos de carbonatación calcárea y de la degradación de la materia orgánica (Doménech, 2006). La formación de CO_3^{2-} y HCO_3^- incrementa la solubilidad del CO_2 , concentraciones elevadas de CO_2 pueden afectar de manera adversa la respiración y el intercambio de gases de los animales acuáticos (Manahan, 2007) en el cuadro 3, se presentan los (LPM) de los iones mayoritarios.

Cuadro 3. Límites máximos permitidos por la NOM-127-SSA1-1994 (iones mayoritarios).

COMPONENTES	LÍMITE PERMISIBLE
MAYORES	(mg/L)
Cloruros (Cl^-)	250
Sodio (Na^+)	200
Sulfatos (SO_4^{2-})	400

Fuente: Diario oficial de la federación (DOF, 1994).

6. Problemas ambientales en los sistemas suelo, agua y aire.

La producción de aguacate ha ocasionado un acelerado cambio de uso del suelo forestal a huertas de aguacate, lo que ha provocado un grave proceso de deforestación de 690 ha anuales y gran contaminación por agroquímicos. Esto trae grandes implicaciones en el balance hídrico de las cuencas, servicios ambientales a la sociedad como el agua y la conservación del suelo.

Esto hace que premie la ordenación territorial de este cultivo y el uso sustentable de los recursos forestales, la biodiversidad es la riqueza de la vida misma,

el cultivo excesivo de aguacate trae destrucción del hábitat, introducción de especies exóticas, contaminación por fertilizantes y agroquímicos sintéticos, incendios forestales, concentración de capitales, desaparición del cultivo de maíz y su cultura, etc. Cuatro especies de pinos clave en Michoacán se encuentran “en riesgo inminente de desaparecer” *Pinus oocarpa*, *P. douglasiana*, *P. pseudostrobus* y *P. montezumae* (Gómez-Tagle, 2018).

El cambio de uso de suelo, la erosión provocada por la tala inmoderada y la construcción de 50 mil ollas de acopio de agua, impiden la captación, filtración y almacenaje de líquido, son los principales problemas ambientales ya que de manera directa se interrumpe el ciclo hidrológico (Gómez-Tagle, 2018).

El impacto negativo de este monocultivo en la disponibilidad de agua es realmente grave, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera ha revelado que en Michoacán existen por lo menos 158 mil hectáreas de aguacate que han invadido y desplazado una importante superficie boscosa natural de pino, aunado a ello lo más grave es que una hectárea de aguacate con 156 árboles consume 1.6 veces más agua que la de bosque con 677 arbustos por hectárea. En Michoacán, existen diferentes tipos de productores con huertas de unos pocos árboles en 5 mil metros cuadrados hasta unidades de producción con más de 150 o 200 hectáreas (Gómez-Tagle. 2018).

El cambio de uso del suelo a huertas de aguacate modifica en forma importante el ciclo hidrológico, e incrementa la necesidad de agua del fruto, Apuntó que, aunado a este problema, hay que agregar la construcción de ollas de infraestructura para almacenaje de agua, de igual manera se estima que hay cerca de 50 mil en el Estado y cada uno ocupa un espacio de entre un cuarto y tres hectáreas. En ellas se almacena líquido para que los productores dispongan siempre de riego y así producir más y mejor (Gómez-Tagle. 2018).

Para sembrar aguacate hay que derribar árboles de pino. Las aguacateras no sólo demandan un gran volumen de agua, sino que la estructura de sus ramas y raíces impide la infiltración preferencial del agua al subsuelo, México produce un tercio del aguacate disponible en el mundo y de esta producción 80 por ciento proviene de Michoacán, con más de millón y medio de toneladas.

La producción del fruto se ha visto favorecida aquí por las condiciones climatológicas y las características del suelo en la entidad, que representan el éxito que tiene en el mercado mundial, si se considera que los árboles de aguacate permiten poca infiltración preferencial del agua al subsuelo por la estructura de sus ramas y raíces, y se suma que en las huertas de aguacate se retienen grandes cantidades de agua en las ollas, se puede dimensionar el problema que representa la producción masiva de este fruto y el cambio de uso de suelo para lograrla (Gómez-Tagle. 2018).

Uno de los mayores problemas mundiales en la actualidad es la falta de acceso de agua dulce y potable por saneamiento. Si, además, le sumamos el problema de la contaminación del agua, se empeora el panorama. La contaminación se produce por los residuos vertidos, los fertilizantes, plaguicidas o químicos que desembocan en las aguas dulces y que acaban por contaminar también el agua salada.

El agua es necesaria para cultivar y procesar alimentos, también brinda energía a la industria con el objeto de satisfacer a una población en constante crecimiento.

La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas, conlleva a que el agua que beben cientos de millones de personas se vea contaminada. La contaminación del agua también provoca que parte de los ecosistemas acuáticos terminen desapareciendo por la rápida proliferación de algas invasoras que se nutren de todos los nutrientes que les proporcionan los residuos. La agricultura, en cuanto mayor usuario del agua dulce a escala mundial y principal factor de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química, justifica la preocupación existente por sus repercusiones mundiales en la calidad del agua a escala mundial. Otra actividad afín, el sector de la elaboración agroalimentaria, es también una fuente significativa de contaminación orgánica en la mayor parte de los países. En la actualidad, la acuicultura es también un importante problema en los medios de agua dulce, estuarios y costas, lo que ha dado lugar a eutrofización y daños en los ecosistemas

6.1 Efectos en la salud pública

Los servicios de agua y saneamiento insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud: enfermedades como la propagación que nos estuvo aconteciendo en el año 2020 a la actualidad CORONAVIRUS (**COVID-19**), así como el cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, esto es especialmente cierto en el caso de los centros hospitalarios en los que tanto los pacientes como los profesionales quedan expuestos a mayores riesgos de infección y enfermedad cuando no existen servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene.

En los lugares donde el agua no es fácilmente accesible, las personas pueden considerar que lavarse las manos no es una prioridad, lo que aumenta la probabilidad de propagación de la diarrea y otras enfermedades. La diarrea es la enfermedad más conocida que guarda relación con el consumo de alimentos o de la contaminación del agua. Sin embargo, hay también otros peligros: casi 240

millones de personas se ven afectadas por esquistosomiasis, una enfermedad grave y crónica provocada por lombrices parasitarias contraídas por exposición a agua contaminada (Cañada, 2010).

Además, en muchas partes del mundo, los insectos (*Aedes Aegypti*) que viven o se crían en el agua son portadores y transmisores de enfermedades como el dengue. Algunos de estos insectos, denominados vectores, crecen en el agua limpia, y los contenedores domésticos de agua para bebida pueden servir como lugares de cría. Tan solo con cubrir estos contenedores es posible reducir la cría de vectores y reducir también la contaminación fecal del agua en el ámbito doméstico (Cañada, 2010).

6.2 Índices de calidad del agua (ICA)

A principios de los años setenta, ante la necesidad de encontrar un método uniforme y consistente para dar a conocer la calidad del agua de manera accesible a la población, se desarrolló un sistema estimativo de calidad del agua que requirió la medición física de los parámetros de contaminación del agua y el uso de una escala estandarizada de medición para expresar la relación entre la existencia de varios contaminantes en el agua y el grado de impacto en los diferentes usos de la misma.

Este sistema se denominó Índice de Calidad del Agua (ICA) y permitía hacer comparaciones de niveles de contaminación en diferentes áreas. El ICA se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones.

Éste índice consideró 18 parámetros para su cálculo con distintos pesos relativos (W_i), según la importancia que se le concedía a cada uno de ellos en la evaluación total:

A lo largo de estas décadas, el crecimiento poblacional y principalmente el crecimiento industrial ha impactado los cuerpos de agua con sus descargas, las

cuales vierten una serie de contaminantes tóxicos, tales como los metales pesados y los compuestos orgánicos, que no estaban considerados en el ICA, por lo que la evaluación que se hace actualmente con dicho índice es parcial y no necesariamente corresponde a la realidad.

Por lo anterior, en sustitución del ICA, se ha decidido utilizar algunos parámetros como indicadores para evaluar la calidad del agua, que muestren la influencia humana desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciable.

Entre esos parámetros están la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO_5 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua proveniente principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal. Por otro lado, el aumento de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales (SEMARNAT, 2008).

7. Tipos de captadores y/o receptores de agua

7.1 Olla

Las ollas de agua también conocidas como Jaugüeyes, cajas de agua, aljibes o bordos de agua, son estructuras hechas para aprovechar el agua de lluvia por temporal para ser utilizadas posteriormente para riego de campos agrícolas, agua para el ganado o cualquier uso que al usuario final se le pueda ocurrir. Se construyen a partir de la realización de la excavación por medios manuales o mecánicos con ayuda de maquinaria se diseñan con base en los litros de agua que el cliente requiera almacenar y su forma es regularmente rectangular o de forma de cenicero, llamadas así porque los taludes son siempre lo más cercano posible a los 45° dependiendo del tipo de suelo en el que se realice la excavación pero puede adoptar también formas circulares, elípticas o caprichosas ya que la flexibilidad de

la geomembrana de polietileno de alta densidad (GMB HDPE), con la que están cubiertos permite cubrir prácticamente cualquier superficie (SAGARPA, 2017).

7.2 Depósito

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes. Esta se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la tierra, para posteriormente ser almacenada en contenedores de concreto para el abastecimiento y distribución del agua potable. Una red de distribución de agua potable es una parte de lo que constituye un abastecimiento de agua y su función es transportar los volúmenes de agua necesarios para satisfacer las demandas necesarias de la población. La función de un depósito es almacenar agua, para compensar las diferencias entre la cantidad de agua suministrada al depósito desde la captación y las fluctuaciones del consumo durante el día (SAGARPA, 2017).

7.3 Noria

Es una obra de captación de aguas subterráneas que no se encuentran contenidas en un acuífero, que provienen de las filtraciones de cauces naturales o artificiales o de napas subsuperficiales de drenaje natural del suelo en las posiciones más altas. Las norias son generalmente de sección circular y tienen un diámetro de entre uno a tres metros aproximadamente, mientras que su profundidad está entre los cinco y los 15 metros, profundidad que depende en gran medida de la estabilidad de las paredes y de la cantidad de agua que aflora (SAGARPA, 2017).

7.4 Pozo profundo

Es una perforación en el subsuelo, la cual va revestida de una tubería con el fin de impedir el derrumbe, esta tubería es ranurada en su parte inferior para que el acuífero aporte con agua y pueda ser extraída mediante bombas de distintos accionamientos, los pozos profundos pueden servir como un suministro de agua a bajo costo para hogares, pequeñas comunidades rurales y para áreas urbanas. El principio de funcionamiento es bastante simple: se perfora un agujero en una masa de agua subterránea y luego se extrae el agua infiltrada con la ayuda de una bomba accionada por fuerza humana o mecanizada. La construcción es rápida y varias

técnicas simples de perforación están disponibles para la mayoría de las condiciones geológicas. (SAGARPA, 2017).

8. Cultivo del aguacate

Dentro de México, el Estado de Michoacán es el mayor productor de aguacate con una producción de 1. 57 millones de toneladas equivalente al 77.15% de la producción nacional (SIAP, 2018). Sólo en Michoacán hay más de 153,000 ha en producción de esta fruta y el área productiva se ha incrementado considerable y continuamente, muchas veces a expensas del bosque nativo, duplicándose en los últimos 6 años (Morales *et al.*, 2012).

México es un país mega diverso y uno de los principales exportadores del mundo en cuanto a productos agropecuarios (SIAP, 2018; Barra Nacional de Comercio Exterior, 2014). Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2013, sólo la cerveza de malta, las moras (frambuesa, fresa, zarzamora), el jitomate y el aguacate, aportaron uno de cada cuatro dólares generados por las exportaciones agropecuarias y agroindustriales en el mundo anualmente (SIAP, 2013). En relación con el aguacate, México es el mayor productor y exportador de dicho frutal en el mundo y no por nada se le ha dado el nombramiento de capital mundial del aguacate. Tan sólo en la temporada de 2016-2017, México produjo la cantidad total de 2 millones 29 mil toneladas (SIAP, 2018) lo cual equivale al 45.95% del valor de las exportaciones mundiales (SAGARPA, 2017). Los países que importan mayormente aguacate son los Estados Unidos (EU), Japón y Canadá. En el año 2013, EU importó 900,000 toneladas de la mencionada fruta, (Barra Nacional de Comercio Exterior, 2014).

8.1 Principales agroquímicos aplicados en el cultivo de aguacate en el Municipio de Tingambato, Michoacán.

APEAM, A.C. Es la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México. Fue fundada en el año 1997. Actualmente es el representante más grande de México para la exportación del aguacate al extranjero.

A partir de la información encontrada y organizada en bases de datos, tomando en cuenta, tanto la clasificación del organismo regulador directo, es decir la COFEPRIS, así como el listado de la FAO y el conocimiento rudimentario de los productores, se generó un sistema de clasificación de agroquímicos convencionales según sus fórmulas químicas en donde éstos se agruparon en las siguientes categorías como se pueden ver en el **cuadro 4** (Mireles, 2018).

Cuadro 4. Principales agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) utilizados en el cultivo del aguacate.

FERTILIZANTE	SÍMBOLO	PLAGUICIDAS		
		FUNGICIDAS	INSECTICIDAS	FUNGICIDAS
NITRÓGENO	N			
FÓSFORO	P ₂ O ₅	OXICLORURO DE COBRE	ABAMECTINA	GLIFOSATO
POTASIO	K ₂ O	OXIDO CUPROSO	AZUFRE ELEMENTAL	DIQUAT
MAGNESIO	MgO	PIRACLOSTROBINA	CLORANTRANILIPROL	SIMAZINA
CALCIO	CaO	TIABENDAZOL	GAMMA CYHALOTRINA	
AZUFRE	S		IMIDACLOPRID	
FIERRO	Fe		LAMBDA CYHALOTRINA	
BORO	B		MALATIÓN	
ZINC	Zn		PARATIÓN	
COBRE	Cu			
MANGANESO	Mn			

Fuente: La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA, 2015).

9. ANTECEDENTES

Reyes. (2020), evaluó la calidad del agua subterránea de 10 pozos que abastecen a la zona urbana de Zamora, Michoacán en dos periodos de muestreo (mayo y noviembre-2018), en los cuales se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad, SDT, NO_3^- , NH_3), iones mayoritarios (cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , aniones: HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-) la presencia de elementos traza (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn) comparándolos con los estándares mexicanos e internacionales. Además, se analizaron los cambios hidrogeoquímicos del agua subterránea con el fin de conocer el comportamiento de los iones provenientes de las rocas al estar en contacto con el agua proveniente del acuífero y se utilizaron Sistemas de Información Geográfica (SIG) para conocer la distribución espacial de estas especies a lo largo de toda la zona de estudio. Entre los principales resultados los 10 sitios de estudio presentaron únicamente un tipo de facie hidroquímica Ca^{2+} - Mg^{2+} - HCO_3^- , con lo que se concluye que toda esta agua proviene de un mismo acuífero y que, además, es de reciente infiltración, por lo que se establece una sobreexplotación en el acuífero. El diagrama de Giggenbach demostró que todas las aguas subterráneas son inmaduras, es decir, que no han llegado al equilibrio, por lo que se demuestra que no han permanecido mucho tiempo en el acuífero. Las relaciones hidrogeoquímicas revelaron que la interacción principal que se lleva a cabo entre el agua y el tipo de roca de esta zona es la disolución de minerales de silicato y las reacciones de intercambio iónico directo. De los parámetros evaluados, el único que excedió los límites máximos permisibles de acuerdo con la normatividad mexicana fue el N- NH_3 en 3 sitios de estudio en los dos periodos de muestreo.

Aguirre-Vanegas *et al.* (2018), El estudio evaluó el promedio de evaluaciones bimestrales de calidad del agua en época seca (diciembre, febrero y abril) y época

Lluviosa (junio, agosto y octubre), por año y por punto de muestreo. El ICA-NSF utiliza una suma lineal ponderada del efecto de las variables de respuesta y los resultados son expresados en forma numérica entera, en una escala de cero a 100, donde los valores entre cero y 25 representan una calidad muy pobre; 25 y 50 mala; 50 y 70 regular; 70 y 90 buena y entre 90 y 100 muy buena. Debido a que solo se evalúa cinco de los nueve indicadores del ICA-NSF, se determinó la calidad del agua del lago en función del potencial de hidrogeno (pH), la temperatura y el oxígeno disuelto (por sonda multiparamétrica marca Orión Star A329 portátil), los nitratos y el fósforo total (por espectrofotometría visible utilizando un espectrofotómetro Nova 60). El cálculo del ICA-NSF se realizó a través del sistema online “Calculadora” del Water Research Center, desarrollado por Oram (2015). Una vez determinado el valor numérico se asignó la categorización cualitativa y se procedió a sintetizar y discutir el estado de la calidad del agua del lago por punto de muestreo y año. La calidad del agua proveniente del afluente Río Oscuro, tanto en época seca como lluviosa se clasificó como regular; es necesario destacar que dicho río es uno de los drenes del área de conservación del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, con preponderancia vegetativa de (*Pachira aquatica*), (*Erythrina berteroana*) e (*Inga spuria*), con agua caracterizada por pH bajo, oxígeno disuelto bajo y alto contenido de nutrientes lo que coincide con lo expresado por Pérez (2013). Como se observa en términos generales la calidad de agua del Lago de Izabal, tanto en época seca como lluviosa, es categorizada como buena.

Ileri Mireles. (2018), de acuerdo con su trabajo realizó un diagnóstico sobre el impacto percibido sobre la cantidad y efectos potenciales que tienen los pesticidas utilizados en huertas de producción tradicional y de exportación de este fruto en el municipio de Tingambato, Michoacán. Para lo cual se utilizó una metodología cualitativa, la cual consistió en dos etapas: la primera implicó una revisión bibliográfica sobre el estado del arte, análisis socio-espaciales además de ahondar en las características específicas de la zona de estudio, las dinámicas sociales y

económicas y la influencia sobre las mismas que tuvo la llegada del “Oro verde” y todos los cambios sociales y ambientales; la segunda etapa involucró el diseño y aplicación de dos instrumentos cualitativos (Álvarez y Gayou, 2003), con el fin de identificar los problemas ambientales y sociales que atañen a la población de Tingambato, a partir de su propia percepción, haciendo énfasis sobre las consecuencias positivas y negativas que trajo el incremento de la producción del aguacate y el uso de pesticidas. La tercera etapa constituyó la publicación de resultados, los cuales pusieron en evidencia las características principales que pueden estar afectando al medio ambiente y a la salud de la población de los pesticidas utilizados, permitidos y no permitidos, para el control de plagas y enfermedades en las huertas de aguacate además del desconocimiento a nivel de salud pública sobre la cantidad y el impacto en la salud de éstos, a partir de la percepción de la sociedad de Tingambato (Álvarez y Gayou, 2003).

Perez-Nardini *et al.* (2018), en su artículo compara diversos índices de calidad del agua (ICA) aplicados en 235,3 km del río Ranchería, La Guajira-Colombia. La comparación de los ICA se realizó directamente con los valores numéricos de los índices en cinco rangos iguales (índices brutos) y con sus calificaciones, es decir los juicios ambientales (también en cinco clases) asociados a esos valores. La coherencia entre parejas de índices se analizó en ambos casos con el coeficiente de correlación de Spearman y la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Se obtuvo mayor coincidencia, mejor correlación y menores desviaciones en el caso de los índices brutos. Este hecho evidencia la carencia de la relación entre los valores de los índices y su calificación. Se determina por tanto la necesidad de llevar a cabo un ejercicio de intercalibración para asegurar la coherencia entre los distintos índices.

Rojas-Fernández *et al.* (2018), en su trabajo se determinó la presencia de residuos y el riesgo de exposición en la microcuenca Los Zarzales, Municipio Rivas Dávila, Mérida, Venezuela. Se tomaron muestras de suelos en la etapa inicial, media

y final de cultivos de ciclo corto, se extrajeron los principios activos y se analizaron por cromatografía líquida de alta resolución. El riesgo de exposición se estimó calculando la dosis de plaguicidas a través de muestras de suelo expuesto a contaminación, según los criterios de la US-EPA. La mayor concentración y variedad de compuestos se registró durante la etapa media: 26 ± 7 mg/kg de residuos totales y 100 % de frecuencia de detección, destacando entre ellos paraquat (15 ± 7 mg/kg), carbendazim (8 ± 2 mg/kg), mancozeb (3.7 ± 0.7 mg/kg) y carbofurano (1.2 ± 0.5 mg/kg). Con base en estos valores, las dosis diarias calculadas fueron: 1.5, 0.8, 0.37 y 0.12 $\mu\text{g}/\text{día}$, respectivamente, todas las cuales resultaron estar por debajo de la ingesta diaria admisible establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud, que es utilizada como referencia. A pesar de ello, la dosis total alcanzó los 2.8 $\mu\text{g}/\text{día}$, lo cual se considera que puede constituir un riesgo de exposición.

Hernández *et al.* (2017), en su artículo se analizó la investigación que se ha llevado a cabo en México con relación al uso y efecto de los plaguicidas en el ambiente y salud humana. Donde se revisaron 394 artículos publicados en los últimos 20 años en revistas indizadas o arbitradas. Las publicaciones se agruparon en siete temas principales: 1) patrón de uso de plaguicidas, 2) efectos en el ambiente; 3) estudios ecotoxicológicos; 4) exposición en población humana; 5) residuos en alimentos; 6) toxicología de plaguicidas (estudios in vitro e in vivo); y 7) bioplaguicidas y biorremediación. El análisis de estas investigaciones indican que actualmente se utilizan Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAPs) en las zonas agrícolas del país, su uso histórico y actual se relaciona con efectos negativos en ecosistemas terrestres y costeros, se han reportado efectos en la salud de los trabajadores agrícolas y sus familias, tales como alteraciones hematológicas, hormonales, daños genéticos, alteraciones del comportamiento y daños celulares; los niños constituyen el grupo más vulnerable a la exposición, además se han

documentado daños genéticos, reproductivos y neuronales en modelos celulares y en organismos de laboratorio y se reportan residuos en alimentos como leche, hortalizas y granos.

Arreola **et al.** (2014), realizaron una investigación para evaluar la calidad del agua subterránea en Ciudad Hidalgo, Michoacán, en un periodo que cubrió un ciclo hidrológico dividido en cuatro campañas de muestreo, de marzo 2013 a febrero 2014. La zona no cuenta con estudios publicados sobre la calidad del agua que abastece a la población y el objetivo principal del trabajo fue evaluar la calidad en función de arsénico, flúor y boro. Se evaluó el agua de cinco pozos y cinco manantiales donde también se determinaron metales pesados, parámetros fisicoquímicos y biológicos. Algunos sitios excedieron los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1994).

. "salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Únicamente para coliformes fecales, pH y hierro. De manera general en cuanto a composición fisicoquímica el sitio P-fresno, presentó las concentraciones más altas de todos los parámetros. Se realizó la especiación química de arsénico y hierro, se encontró que el arsénico presenta estado de oxidación (V), siendo la especie química predominante H_2AsO_4^- para nueve sitios de estudio, para el sitio P-undepo la especie predominante es HAsO_4^{2-} . El hierro presenta estado de oxidación (III), la especie química de hierro que representa aproximadamente el 99% de la concentración obtenida es $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. De acuerdo con el diagrama de Piper el agua en la zona de estudio es tipo $\text{Ca}^{2+}\text{HCO}_3^-$, lo que sugiere es de reciente infiltración en el acuífero. El resultado del ICA exhibe para los diez sitios de estudio una excelente calidad del agua en la zona de acuerdo con las fórmulas matemáticas utilizadas.

Pardo-Calderón *et al.* (2000), en su trabajo generó un diagnóstico ambiental de la región a la parcela de los sistemas aguacateros en el clúster de Michoacán. Aunque la cada vez mayor producción destinada a la exportación se encuentra bajo estrictos regímenes de regulación para la inocuidad y sanidad de la fruta que sale del país, en la huerta como en el empaque dichos mecanismos de control no incluyen la regulación de tipo ambiental además de que muchos estudios apuntan a que existen buenas y malas prácticas de manejo para la producción de este frutal. El nivel de suelo de las parcelas de estacas registró intenso movimiento, este movimiento fue atribuido a incrementos y decrementos en el nivel del suelo por aplicación de abonos. De las 810 estacas distribuidas en 27 parcelas que se monitorearon, el 40% presentó algún tipo de alteración, de estas el 19% se registró como alteraciones asociadas al manejo, el 6% alteraciones asociadas a tusas y el 15% fueron rotas durante el periodo monitoreo (Agosto – Noviembre). La máxima erosión en el grupo de parcelas de estacas se registró durante el mes de agosto con 150.55 cm/80 m² y la mínima en octubre con 100.8 cm/80 m². La parcela que más erosión presentó (60 cm/80 m²) fue la de una huerta convencional de 20 años con aplicación de herbicidas como control de herbáceas y la que menos presentó (0.2 cm/80 m²) fue la de una huerta convencional de 37 años de edad con chaponeos cada 4 meses como control de herbáceas (fig. 1). Las huertas maduras presentaron la mayor erosión promedio (fig. 2), este tipo de huertas tienen la característica de mantener una cobertura de hojarasca en el suelo que, promovida por un follaje ancho y dosel cerrado, inhibe el crecimiento de las herbáceas, condición que mantiene el suelo seco y particulado. Este tipo de cobertura es eficaz para disminuir la fuerza de impacto de la lluvia, pero promueve un flujo laminar que arrastra el suelo de forma casi imperceptible. En la figura 2 también se muestra que las parcelas que mayor erosión presentaron fueron las ubicadas en huertas orgánicas, esta tendencia puede ser el resultado de una combinación de falta de herbáceas que retengan el suelo y la aplicación excesiva de abonos (estiércol, harina de roca, ceniza de caña etc.), los cuales podrían no ser asimilados lo suficientemente rápido como para no ser arrastrados por la escorrentía.

10. DESCRIPCIÓN DEL ZONA DE ESTUDIO.

10.1 Ubicación.

El Municipio de Tingambato Michoacán, se localiza al norte del Estado, en las coordenadas 19°30'21" de latitud norte y 101°51'02" de longitud oeste, a una altura de 1,980 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Nahuatzen, al este con Erongarícuaro y Pátzcuaro, al sur con Santa Clara y Ziracuaretiro y al oeste con Uruapan, su distancia a la capital del Estado es de 95 kms (**Fig.1**).



FIGURA 1. Ubicación del área de estudio: Elaborado a partir de (Arc GIS 10.3).

10.2 Extensión.

Su superficie es de 187.50 Km² y representa el 0.32 por ciento del total del Estado (INAFED *et al.*, 2018).

10.3 Orografía.

Su relieve está constituido por el sistema volcánico transversal, la sierra de Tingambato y los cerros Comburinda, Injucato, Agujerado, del Molcajete, de la Virgen y Characatán (INAFED *et al.*, 2018).

10.4 Hidrografía.

El Municipio de Tingambato, Michoacán, se caracteriza por ser uno de los principales productores de aguacate. Dentro de dicha producción han surgido una serie de problemas ambientales, sociales y culturales por la explotación de sus recursos hídricos y el cambio de uso de suelo, donde los daños ambientales, disminución de la infiltración del agua de lluvia, y efectos a la salud pública del Municipio, son los más relevantes.

La hidrografía del Municipio de Tingambato está constituida principalmente por los arroyos, conocidos como: Barranca del Molino, Barranca del Comay y Agua Escondida. Además, cuenta con numerosos manantiales de agua fría, quienes son los principales recursos de agua que abastecen al Municipio (INAFED *et al.*, 2018).

10.5 Clima.

Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1,100 milímetros y temperaturas que oscilan entre los 8 y los 37° centígrados (INAFED *et al.*, 2018).

10.6 Principales Ecosistemas.

En el municipio domina el bosque mixto con encino, pino, cedro y; y el bosque de coníferas con pino, oyamel y junípero. Su fauna la conforman principalmente el gato montés (*Felis silvestris*), zorrillo (*Conepatus leuconotus*), coyote (*Canis latrans*), ardilla (*Sciurus vulgaris*), paloma (*Columba livia*) y pato (*Anas platyrhynchos domesticus*) (INAFED *et al.*, 2018).

10.7 Características y uso de suelo.

Los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, terciario y mioceno corresponden principalmente a los del tipo pradera, de montaña y podzólico. Su uso está destinado primordialmente a la actividad forestal y en menor proporción a la agrícola y ganadera. El Suelo dominante es Andosol (96.15%) y Luvisol (0.01%) (INAFED *et al.*, 2018).

11. METODOLOGÍA.

Para el seguimiento del plan de trabajo durante la investigación se siguió cada paso de la siguiente metodología (**Figura 2**).

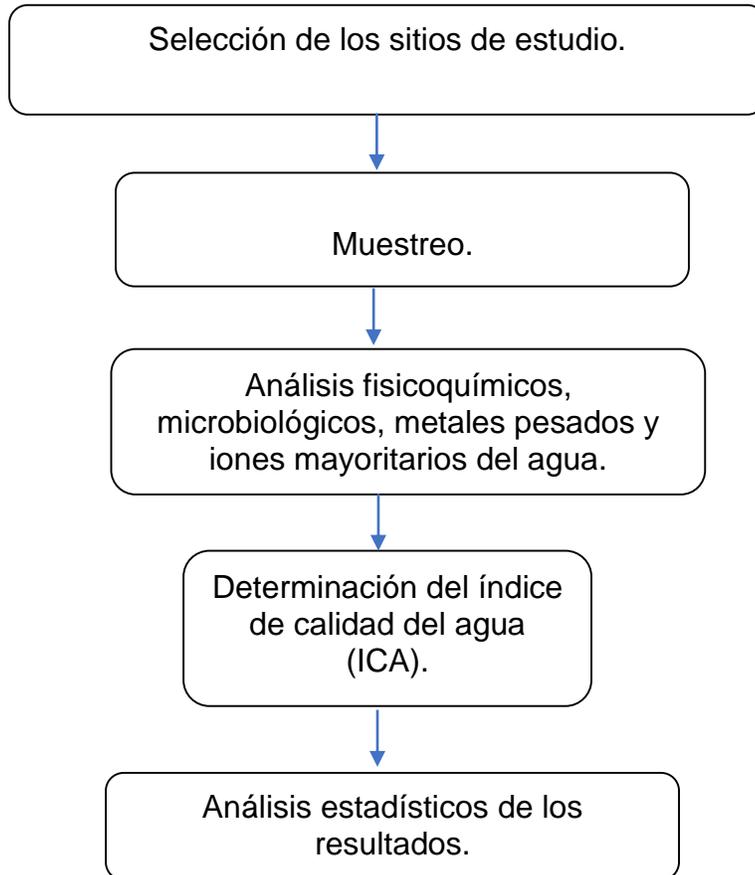


FIGURA 2. Diagrama de flujo de la metodología de trabajo.

11.1 Selección de los sitios de estudio.

Se realizó mediante un estudio de características biofísicas considerando variables como: ubicación, cubierta del cuerpo de agua, profundidad, capacidad de almacenamiento, cobertura vegetal, uso del agua, y condiciones de posibles focos de contaminación aledaños a los cuerpos de agua, donde finalmente se seleccionaron tres norias, tres ollas, dos manantiales y un pozo profundo. Estos dos últimos su selección fue directa ya que son únicos en la localidad (**Cuadro. 5 y Fig. 3**).

Cuadro 5. Localización de los sitios de estudio.

Coordenadas Geográficas		
	Latitud	Longitud
Noria 1	19.49818665	-101.849983
Noria 2	19.49820645	-101.852164
Noria 3	19.49511375	-101.849615
Olla 1	19.51395676	-101.849574
Olla 2	19.30222.09	-101.501335
Olla 3	19.51305199	-101.853384
Manantial 1	19.52217136	-101.847938
Manantial 1	19.49882692	-101.861467
Pozo profundo	19.29474888	-101.505160



FIGURA 3. Ubicación geográfica de los sitios de estudio fuente: Elaborado en (Arc GIS 10.3).

11.2 Colecta de muestras.

Para la realización y cumplimiento de los objetivos de la investigación se trabajó con las siguientes normas (NOM-230-SSA1-2002), para la toma de muestras de muestra de agua y análisis de acuerdo con lo establecido en la Normas Oficiales Mexicanas NOM-127-SSA1-1994 Y la NOM-001-SEMARNAT-1996, así como lo indicado en el manual APHA-AWWA-WPCF (1995), para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos indicados.



FIGURA 4. Fuente de agua (Noria).
Fuente de agua (Olla).



FIGURA 5.



FIGURA 6. Fuente de agua (Manantial).
(pozo profundo).



FIGURA 7. Fuente de agua

Se realizaron dos muestreos de agua, uno en tiempo de estiaje en el mes de mayo del año 2019 y el otro en tiempo de lluvias en el mes de septiembre del año 2019.

Muestreo para parámetros fisicoquímicos: el muestreo se realizó en garrafones de polietileno de alta densidad con capacidad de cinco L, mismos que se llenaron tratando de minimizar la presencia de aire con el objeto de evitar cambios químicos, se etiquetó cada garrafón con la fecha y el sitio de muestreo y se siguió con el

procedimiento indicado en la norma mexicana (NOM-230-SSA1-2002). En cada sitio se tomaron cinco L de muestra para los análisis correspondientes en el laboratorio y finalmente todas las muestras se colocaron en una hielera para mantener una temperatura de 4°C durante su traslado al Laboratorio de Ingeniería Ambiental y sanitaria de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



FIGURA 8. Toma de muestra de agua en manantial.
Determinación de



FIGURA 9.

Parámetros físico-químicos en campo.



FIGURA 10. Conservación y traslado de las muestras de agua en una hielera a temperatura menor a 4 ° c.

Determinaciones in situ: los principales parámetros in situ fueron: la temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, mismos que fueron determinados a través de un multímetro portátil de la marca (Thermo Scientific, Orion).

Muestreo para metales pesados o elementos traza y iones mayoritarios: Con días de anticipación a los muestreos se llenaron dos frascos por cada sitio, con capacidad de 125 ml, con agua des ionizada, una vez en el sitio, se vaciaron los dos contenedores, uno se llenaba nuevamente con agua des ionizada, y en el otro contenedor, se tomaron 125 ml de muestra de cada uno de los sitios de muestreo, para ello se utilizaron frascos de plástico de 125 ml, previamente se etiquetaron con la fecha y nombre del sitio, se colocaron de igual manera en la hielera a 4°C para su traslado al laboratorio de calidad del agua, para sus siguientes análisis de acuerdo a la normativa (APHA-AWWA-WPCF, 1995).

Muestreo para coliformes fecales: Se tomaron aproximadamente 100 ml de muestra de cada uno de los sitios de muestreo, colocada en bolsas microbiológicas estériles, en los sitios que contaban con bomba principalmente en las Norias y el Pozo profundo se dejó fluir el agua por 5 min libremente antes de tomar la muestra de agua, mientras que en los sitios que no contaban con sistema de bombeo como las ollas y los manantiales se tomó directamente con ayuda de un vaso de precipitado y posteriormente colocar la muestra de agua en la bolsa estéril, todas las bolsas previamente se etiquetaron con la fecha y el sitio de muestreo correspondiente. Las muestras se conservaron en una hielera a 4 °C, las determinaciones para este muestreo se realizaron el mismo día del muestreo ya que la técnica de acuerdo con las normativas para coliformes fecales y totales (NMX-AA-042-SCFI-2015) nos señala que se deben determinar en un tiempo específico no mayor a 24 hrs.

11.3 Análisis de parámetros físico-químicos.

En este trabajo se determinaron los parámetros fisicoquímicos tanto in situ (pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto, y sólidos disueltos totales) como en laboratorio (Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Dureza Total, Dureza Magnésica, Dureza Cálcica, Acidez Total, Alcalinidad Total, Cloruros (Cl⁻), Nitratos (NO₃⁻), Sulfatos (SO₄²⁻), Cianuros (CN⁻), Fósforo Total (PT), Fosfatos (PO₄), Bromo (Br), Sólidos Totales (ST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos, Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSed), Coliformes Fecales y Coliformes Totales, así como metales pesados o elementos traza (Pb, Fe, Cr, Zn, Cu, Ni, Cd) y Iones mayoritarios (HCO₃⁻, CO₃²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺) (DOF, 1994).



FIGURA 11. Determinación de parámetros con técnicas de potenciometría.

Las técnicas utilizadas para las determinaciones se encuentran descritas en la normativa mexicana: (DOF, 1981; DOF, 1981a; DOF, 1987; DOF, 2000; DOF, 2001; DOF, 2001a; DOF, 2001b; DOF, 2001d; DOF, 2001e; DOF, 2001f; DOF, 2001g) y en el manual APHA-AWWA-WPCF (1995).

Las técnicas para la medición de la temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales determinada in situ, están descritas en el manual APHA-AWWA-WPFC, (1995).



FIGURA 12. Determinación de parámetros físico-químicos con técnica de titulación.

En la determinación de los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y sanitaria (UMSNH).



FIGURA 13. Determinación de parámetros con técnica de volumetría.

Se utilizaron técnicas de titulación, analíticas de potenciometría, volumetría y espectrometría de absorción atómica.



FIGURA 14. Determinación de coliformes fecales y totales, con la técnica de tubos múltiples.

- Finalmente los coliformes fecales se determinaron mediante la técnica del número más probable en tubos múltiples de acuerdo con la Norma (NMX-AA-042-SCFI-2015). El análisis de elementos traza (Pb, Fe, Cr, Zn, Cu, Ni, Cd) y Iones mayoritarios (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+), se realizó mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica.



FIGURA 15. Determinación de metales pesados (elementos traza) Y Iones mayoritarios.

El equipo que se utilizó en las pruebas in situ de campo y de laboratorio se indica en el **(Cuadro 6)**.

Cuadro 6. Equipo utilizado para las determinaciones de campo y laboratorio.

PARÁMETRO	EQUIPO
Fisicoquímicos (in situ)	Multímetro (Thermo Scientific-Orion)
Fisicoquímicos Y Microbiológicos (en laboratorio)	Técnicas establecidas por las Normas Mexicanas (laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria UMSNH).
Metales pesados	Espectrómetro de Absorción atómica.

11.4 Índice de calidad del agua (ICA).

El ICA es un instrumento matemático que se utiliza para integrar y transformar ciertos valores en un solo número, éste índice se emplea para evaluar integralmente la calidad de diversos cuerpos de agua, se basa en el uso de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos (Olguín *et al.*, 2010). A cada uno de los parámetros se le asigna un peso relativo (w_i) de acuerdo a su importancia relativa en la calidad general de agua potable (**cuadro 7**) y uso de riego (**cuadro 8**).

Cuadro 7. Ponderación de los parámetros para determinar el ICA para uso potable.

PARÁMETRO	valor de importancia peso (w_i)	$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i$ (peso relativo)
Nitratos (NO ₃ ⁻)	4	0.108108108
Cloruros (Cl ⁻)	2	0.054054054
Cianuros (CN ⁻)	1	0.027027027
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	5	0.135135135
pH	5	0.135135135
Ca (Calcio)	3	0.081081081
Mg (Magnesio)	3	0.081081081
Na (Sodio)	3	0.081081081
K (Potasio)	3	0.081081081
Fosfatos (PO ₄)	4	0.108108108
Dureza Total	3	0.081081081
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	1	0.027027027
TOTAL	37	1

Cuadro 8. Ponderación de los parámetros para determinar el ICA para uso de riego.

PARÁMETRO	valor de importancia peso (wi)	Wi= wi/ $\sum_{i=1}^n wi$ (peso relativo)
Temperatura	5	0.227272727
Sólidos Sedimentables	3	0.136363636
Sólidos suspendidos totales	3	0.136363636
pH	5	0.227272727
DBO ₅	3	0.136363636
Fosforo total (P _T)	3	0.136363636
TOTAL	22	1

Se requieren tres pasos para la determinación del ICA (Ramakrishnaiah *et al.*, 2013). Como primer paso se asigna el peso (wi) de acuerdo a la importancia de cada uno de los parámetros con un valor de 1 a 5, en este caso se considera asignar el valor más alto de 5.0 a la demanda bioquímica de oxígeno y el valor mínimo de 1.0 se le asigna al fosfato, por ser el parámetro que no se considera en sí perjudicial, las ponderaciones de los demás parámetros se asignan de acuerdo a la importancia relativa en el agua potable (Patil V.T. y Patil P.R. 2013). Como segundo paso se calcula el peso relativo (Wi) (tabla 7) utilizando la ecuación 1;

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j}$$

Ecuación. 1

Dónde:

wi: peso asignado de acuerdo a la importancia relativa del parámetro.

Wi: peso relativo

n: número de parámetros

El tercer paso para el cálculo del ICA es la obtención de una escala de calificación de calidad (qi) para cada uno de los parámetros, el valor se obtiene mediante la ecuación 2.

$$qi = \left(\frac{Ci}{Si} \right) \times 100$$

Ecuación. 2

Dónde:

qi= calificación de calidad

Ci= concentración del parámetro obtenido en la muestra

Si= es el estándar o limite permisible para cada uno de los parámetros asignado por la Norma Oficial Mexicana NOM-127- SSA1-1994 y por la OMS para uso potable y la NOM-001-SEMARNAT-1996, para uso de riego.

En el **cuadro 9**, se pueden visualizar los (LMP) de acuerdo a la normativa nacional e internacional para uso potable.

Cuadro 9. Límites máximos permitidos por normas nacionales e internacionales para uso potable.

PARÁMETRO	LMP OMS	LMP NOM-127-SAA1-1994
Nitratos (NO ₃ ⁻)	-	10
Cloruros (Cl ⁻)	-	250
Cianuros (CN ⁻)	-	0.07
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	-	1000
pH	-	7.5
Ca (Calcio)	75	-
Mg (Magnesio)	50	-
Na (Sodio)	-	200
K (Potasio)	12	-
Fosfatos (PO ₄)	0.2	-
Dureza Total	-	500
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	-	400

Fuente: Diario oficial de la federación Y Organización Mundial de la Salud (DOF Y OMS, 1994).

En el **cuadro 10**, se pueden visualizar los (LMP) de acuerdo a la normativa nacional para uso de riego.

Cuadro 10. Límites máximos permitido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso de riego.

PARÁMETRO	LMP NOM-001-SEMARNAT-1996
Temperatura	40
Sólidos sedimentables	1
Sólidos suspendidos totales	75
pH	7.5
DBO ₅	75
Fosforo total (P _T)	20

Fuente: La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA, 1996).

Por último, se calcula para cada parámetro el subíndice (S_{li}) de cada uno de los parámetros utilizando la ecuación 3.

Ecuación. 3

$$S_{li} = W_i \times q_i$$

Y para determinar finalmente el índice de calidad del agua se utiliza la siguiente sumatoria (ecuación 4);

Ecuación. 4

$$ICA = \sum S_{li}$$

De acuerdo al valor obtenido en el cálculo del índice de calidad del agua (ICA), la calidad del agua para uso potable es clasificada en cinco tipos (**cuadro 11**).

Cuadro 11. Clasificación del valor del índice de calidad del agua para uso potable.

Valor del ICA	Calidad del Agua
<50	Excelente
50-100	Buena calidad
100-200	Mala calidad
200-300	Muy mala calidad
>300	Agua no potable

Fuente: La Secretaría de Agricultura y Desarrollo (SEMARNAT, 2018).

En cuanto a la clasificación de las categorías de la calidad del agua para uso de riego, se propone una categorización ya que no se cuenta con un estándar de categorías para clasificar el agua. Para determinar estas categorías se realizó con base en los límites máximos permisibles de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, para uso de riego, donde se tomaron los parámetros que se encuentran normados, para fines de esta investigación fueron: Temperatura, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, pH, DBO₅ y Fosforo Total, resaltando un valor de importancia mayor a los parámetros pH, temperatura, ya que son los principales parámetros que deben de cumplir los rangos permisibles para uso de riego, ya que si estos parámetros no se encuentran dentro del rango, al utilidad del agua puede repercutir directamente en la acidificación de los suelos y descontrol fisiológico de los cultivos.

La clasificación de las categorías de la calidad del agua se encuentra en el **(Cuadro 12)**, donde se tomó en cuenta los valores promedios totales de los parámetros normados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, para posteriormente determinar tres categorías (excelente, buena y mala calidad).

Cuadro 12. Clasificación del valor del índice de calidad del agua para uso de riego

Temperatura	Sólidos Sedimentables	Sólidos Suspendidos totales	pH	DBO ₅	Fosforo Total	Promedio Total	Rango	Clasificación del valor del (ICA)
40	1	75	7.5	75	20	36.416	0-35	EXCELENTE
80	2	150	15	150	40	72.833	35-70	BUENA
160	4	300	30	300	80	145.666	70 0 MAS	MALA

11.6 Análisis estadísticos

Se realizaron análisis de estadística descriptiva para determinar los promedios de cada uno de los contaminantes; así como determinar si existen diferencias estadísticamente significativas.

Así como análisis de componentes principales (ACP): es una técnica estadística descriptiva que tiene como punto de partida una matriz de datos con una serie de individuos a los que se les cuantifica varias variables (Fernández *et al.*, 2012).

El análisis de componentes principales (ACP) consiste en expresar un conjunto de variables en un conjunto de combinaciones lineales de factores no correlacionados entre sí, estos factores dando cuenta una fracción cada vez más débil de la variabilidad de los datos. Este método permite representar los datos originales (individuos y variables) en un espacio de dimensión inferior del espacio original, mientras limite al máximo la pérdida de información (Fernández *et al.*, 2012).

El ACP difiere del análisis factorial en la que conduce a un conjunto de factores no correlacionados entre sí, lo que corresponde al caso particular de las comunidades todas iguales a 1 (varianzas específicas nulas) (Fernández *et al.*, 2012).

Para la realización del ACP, se determinaron los valores promedios de los parámetros en tiempo de estiaje y lluvias agrupando en un ACP los valores de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, y en un segundo ACP; los metales pesados o elementos traza y iones mayoritarios.

12. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

12.1 Análisis de los parámetros.

Se realizaron 2 muestreos en campo, uno en tiempo de lluvias y otro en tiempo de estiaje (secas) en los sitios descritos anteriormente, realizados en los meses de mayo y septiembre con la finalidad de comprender el comportamiento de la calidad del agua en los sitios de estudio, donde los principales resultados fueron los siguientes.

12.2 Parámetros fisicoquímicos IN SITU en tiempo de estiaje y lluvias

12.2.1 Oxígeno disuelto

Como primer parámetro comprendido en campo fue el oxígeno disuelto, representado en la **(figura 15)**, en cada uno de los 9 sitios de estudio, comprendido en los dos muestreos en tiempo de estiaje y lluvias, se puede observar que la varianza de las concentraciones fue muy marcada teniendo valores menores en tiempo de secas (estiaje), teniendo un valor mayor en la olla 1, y un valor menor en la olla 3, mientras que en los valores solo se encontraron valores diferencialmente entre la olla 1 y el manantial 1 ya que sus valores fueron muy diferenciados con respecto al resto de los sitios comprendidos en tiempo de lluvias. Esto pudiera ser el resultado de que en tiempo de lluvias hay mayor acumulación y liberación de este gas favoreciendo al aumento en algunos sitios de estudio, pues este es de vital importancia para mantener las formas de vida, sin embargo, en los acuíferos el oxígeno disuelto debería ser mínimo como en el caso de los manantiales, y en las ollas por su parte deberían de presentar valores más altos puesto que hay mayor aireación con respecto a la superficie.



FIGURA 15. Valores resultantes de oxígeno disuelto (mg/L) en los sitios de estudio.

12.2.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica resultante en la **(figura 16)**, fue muy marcada en tiempo de lluvias, con respecto al tiempo de secas, donde la noria 3 presento los valores mayores, mientras que el manantial-1 presentó los valores menores, por otro lado en tiempo de secas los valores más altos de conductividad los presento el sitio olla-1, sin embargo no fue muy marcada la diferencia con respecto a los demás sitios en esta temporada, esto podría justificarse ya que la conductividad eléctrica actúa en cuanto a la cantidad de sedimentos, en el caso de la Noria-3 en tiempo de lluvias hay un mayor arrastre de sedimentos y mayor acumulación de éstos, como este sitio está rodeado de huertos de aguacate en su proceso de producción se utilizan agroquímicos convencionales, y dentro de su composición la mayoría de estos contienen sales y minerales que pudieron ver sido arrastrados, acumulados e infiltrados en este sitio de estudio lo que favoreció a tener los valores más altos de conductividad.



FIGURA 16. Valores de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los sitios de estudio.

12.2.3 Temperatura

La temperatura mostrada en la **(figura 17)**, no fue muy variante la tendencia fue muy similar, las temperaturas más bajas las encontramos en el manantial-1 en los dos muestreos y los más altos en la Noria-3, sin embargo la temperatura está totalmente relacionada con las condiciones ambientales de los sitios de estudio a mayor humedad la temperatura es menor y a mayor espacio a cielo abierto donde la humedad es muy baja por ende la temperatura es mayor; ya que en los manantiales hay mayor cubierta vegetal de pino y encino lo que favorece a tener mayor humedad y que la temperatura sea más baja, cosa contraria a que la temperatura más alta se determinó en la Noria-3 en tiempo de secas, a lo que se podría concluir que la temperatura del agua subterránea está en función de las condiciones climáticas de la zona, finalmente ningún sitio de estudio sobrepasa los límites máximos permisibles para uso de riego de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

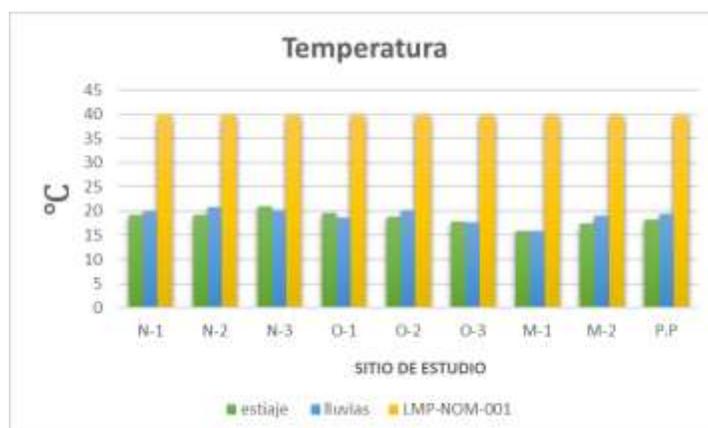


FIGURA 17. Valores de Temperatura (°C) de los sitios de estudio.

12.2.4 pH

El pH también fue medido In situ, este juega un papel en diversos procesos químicos y biológicos de las aguas subterráneas y superficiales, es importante mencionar que es un parámetro fácilmente alterable, por lo que su determinación debe realizarse en el momento de la toma de muestras. Este parámetro mostró valores muy diferenciados entre la olla-1, como se puede apreciar en la **(figura 18)** con respecto a los demás sitios de estudio en tiempo de lluvias, ya que los resultados fueron muy altos quedando fuera de los límites permisibles de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1994). Donde el rango establecido encuentra entre (6.5-8.5). Sin embargo esto se puede justificar ya que el pH se encuentra totalmente relacionado con la mineralización elevada del agua, lo que favorece a la presencia de los iones bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, la ausencia del ácido carbónico y el incremento de la alcalinidad del agua, es importante mencionar que dentro del proceso de producción del aguacate se utilizan agroquímicos convencionales tanto para nutrición como para repeler plagas, y dentro de sus componentes químicos muchos de ellos son iones que estabilizan la alcalinidad del agua como es el caso del cobre, calcio, aluminio etc. Mismos que pudieron haber llegado a la Olla-1 por arrastre a este sitio de estudio y acumularse en el mismo.

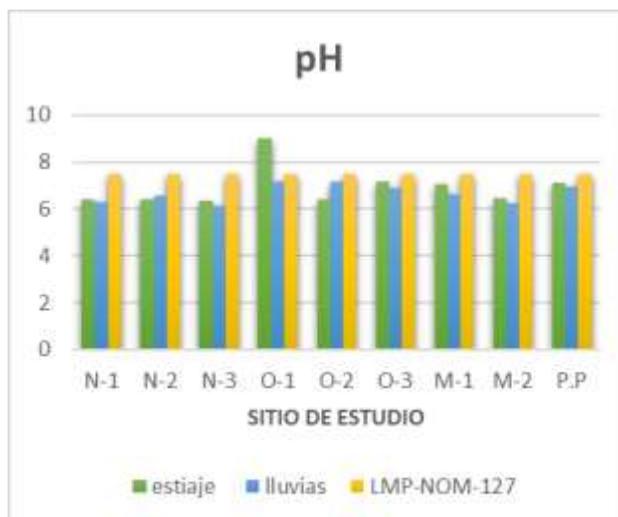


FIGURA 18. Valores de pH en los sitios de estudio.

12.3 Parámetros físico-químicos en laboratorio

Los parámetros fisicoquímicos permiten conocer toda la información sobre el transporte de contaminantes en el agua.

12.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Este parámetro nos permite medir el grado de contaminación en materia orgánica biodegradable de un agua residual, pero también es un parámetro de importancia en aguas potables. Las aguas subterráneas normalmente tienen valores bajos de DBO₅, sin embargo, los resultados mostrados en la **(Figura 19)**, mostraron valores muy bajos en la mayoría de los sitios de estudio, sin embargo, lo importante aquí es que los sitios olla-1 y olla-2 mostraron los valores más altos a diferencia del resto tanto en tiempo de lluvias como en tiempo de secas, esto pudiera tener correlación ya que al ser aguas superficiales pudo haber mayor acumulación de materia orgánica, consecuencia de la aplicación de abonos

orgánicos, del ganado circunvecino etc. Sin embargo, los resultados no excedieron los límites de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso de riego.



FIGURA 19. Valores de DBO₅ (mg O₂/L) en los sitios de estudio.

12.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

Los valores de la DQO se muestran en la (Figura 20), donde los valores más altos se encuentran en tiempo de estiaje en la olla-3 y en tiempo de lluvias en la olla-1, normalmente la DQO se encuentra totalmente relacionada con la DBO₅ donde prácticamente los valores de la DQO siempre son mayores ya que en esta última se encuentran tanto sustancias orgánicas como inorgánicas, por lo que se puede justificar que en los sitios de aguas superficiales ollas en temporada de lluvias hubo una acumulación.

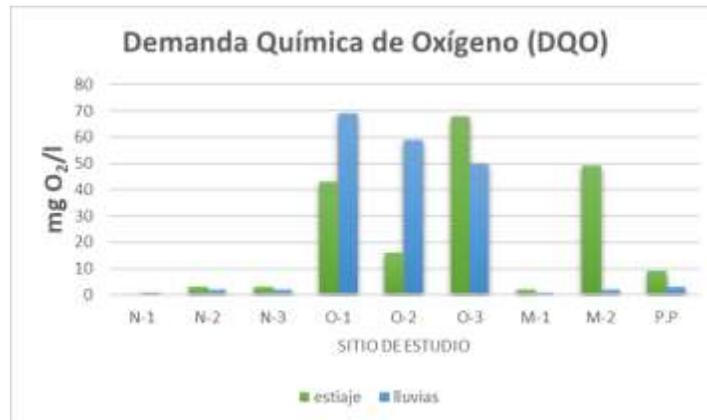


FIGURA 20. Valores de Demanda Química de oxígeno (mg O₂/l) en los sitios de estudio.

12.3.3 Dureza Total

Este parámetro muestra la característica del agua que representa la concentración total del calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺) expresadas como CaCO₃. Normalmente las aguas subterráneas tienen una dureza que varía generalmente entre 10 y 300 mg/l de CaCO₃, pudiendo alcanzar a 2000 mg/l, los resultados obtenidos de este parámetro se pueden visualizar en la **(Figura 21)**, en donde se puede observar una tendencia similar en los dos muestreos donde los valores fueron muy similares y muy bajos en dureza total, donde los valores más altos los encontramos en tiempo de estiaje y lluvia en la noria-2 y los más bajos en la olla-1 y noria-1, mientras que en temporal de lluvias, sin embargo, todos los valores están dentro del límite máximo permisible que establece la normatividad mexicana (NOM-127-SSA1-1994), donde el rango permisible para uso potable es de 500 mg/l (DOF, 1994).

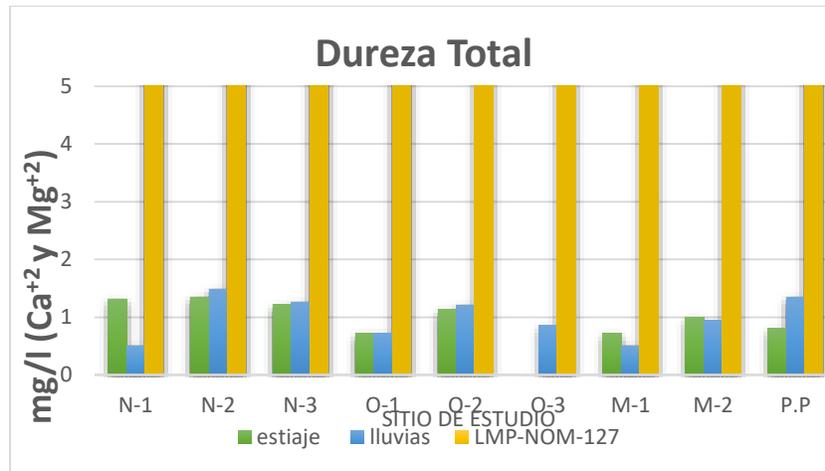


FIGURA 21. Valores de la dureza Total (mg/l Ca^{+2} y Mg^{+2}) en los sitios de estudio.

12.3.4 Acidez Total

Es la cantidad de iones hidronio (H_3O^+) en la muestra acuosa y se determina como la capacidad cuantitativa de una muestra de agua para reaccionar con una base fuerte hasta un pH de 8.3, donde los valores resultantes en la (**Figura 22**), se pueden observar que los valores fueron muy similares en tiempo de lluvias en la noria-3 con respecto a la olla-3 en tiempo de secas, cosa que pasó muy al contrario con la alcalinidad, lo que permite establecer que la acidez y alcalinidad son dos parámetros que dependen de la ausencia o acumulación de iones que permiten aumentar o disminuir la alcalinidad, dureza y acidez, como en estos resultados que tienen el ingreso y ausencia de residuos derivados de los agroquímicos y repelentes convencionales en la producción de aguacate.

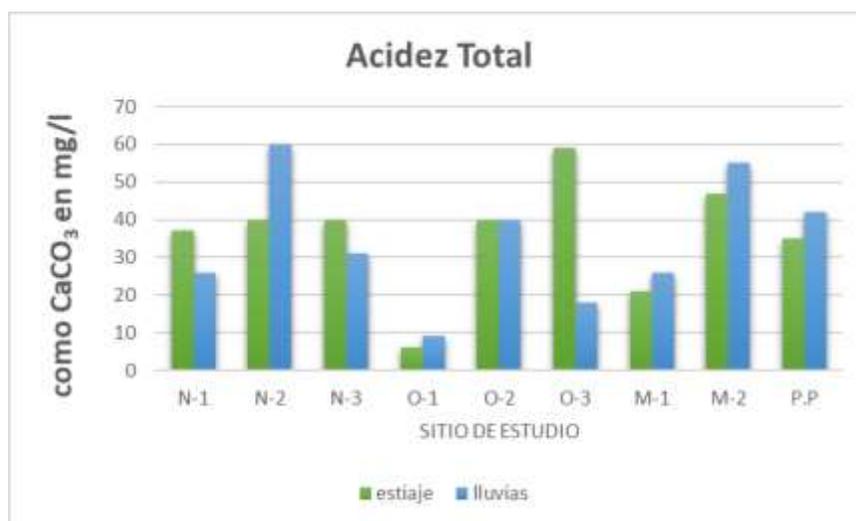


FIGURA 22. Valores de Acidez Total de los sitios de estudio.

12.3.5 Alcalinidad Total

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos. En la mayoría de las aguas naturales, ésta depende prácticamente de los iones carbonato y bicarbonato. Los resultados del análisis de este parámetro se encuentran establecidos en la **(Figura 23)**, donde se puede visualizar los valores más altos en la olla-3 esto pudo haber sido debido a la acumulación de iones descendientes de los agroquímicos convencionales utilizados en la producción de aguacate. Mientras que en el resto de los sitios se mantuvieron estables las concentraciones, la alcalinidad se encuentra totalmente correlacionada con los parámetros; conductividad eléctrica, ya que en cuerpos de agua donde la conductividad es alta, esta contendrá mayor dureza total y por ende mayor acumulación de sólidos disueltos totales y minerales en general.



FIGURA 23. Valores de Alcalinidad Total (como CaCO_3 en mg/l) de los sitios de estudio.

12.3.6 Cloruros Cl^-

El ion cloruro es uno de los iones más difundidos en las aguas naturales, no suele ser un ion que plantee problemas de potabilidad a las aguas de consumo, aunque sí puede ser un indicador de contaminación de las aguas debido a la acción del hombre. Esto es así porque, aunque la concentración de cloruro en aguas naturales es muy variable este depende de las características de los terrenos que atraviesan, dicha concentración es menor comparada con la concentración del ion en aguas residuales ya que la actividad humana incrementa las concentraciones. Los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano están establecidos en la (NOM-127-SSA1-1994) (DOF, 1994).

Para aguas de consumo humano es de 250 mg/L. Una muestra que contenga esta cantidad de cloruros puede tener un sabor salado fácilmente detectable si el anión está asociado a los cationes sodio o potasio, pero el sabor no es apreciable si la sal disuelta en agua es cloruro de calcio o magnesio ya que en estos casos el sabor salado no se aprecia incluso con concentraciones de cloruro de un g/L, sin embargo todos los sitios de estudio se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, donde los valores más altos fueron en tiempo de estiaje en la olla-2 y los valores más bajos en el manantial-1, mientras que en tiempo de lluvias los valores más altos fueron en noria-3 y los valores más bajos en el manantial-1 (**Figura 24**).

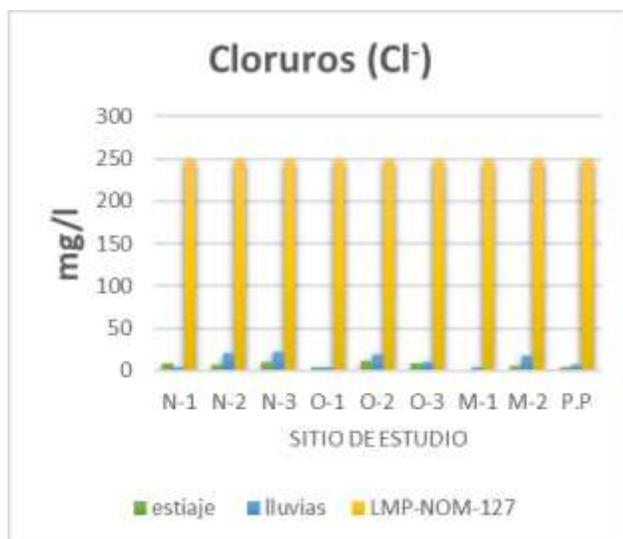


FIGURA 24. Valores de Cl⁻ (mg/L) en los sitios de estudio.

12.3.7 Nitratos (NO₃⁻)

Los valores de nitratos los podemos observar en la **(Figura 25)**, donde los valores más altos se presentaron en la noria-3, mientras que los valores más bajos se presentaron en las olla-1, los resultados son un poco alarmantes ya que los nitratos (NO₃⁻) son sales muy solubles, derivadas del nitrógeno, que se pueden encontrar en alimentos y aguas de bebidas, estos derivan principalmente del empleo de fertilizantes nitrogenados, excretas de animales, descargas de desechos sanitarios e industriales. Los nitratos se disuelven fácilmente en el agua y llegan así al suministro de agua de consumo humano y no confieren ningún sabor u olor. La principal fuente de contaminación de los acuíferos lo constituye el empleo excesivo de fertilizantes nitrogenados y, en menor medida, el empleo de abonos orgánicos procedentes de la actividad ganadera. El exceso de nitratos, puede llegar a las aguas superficiales, o bien, infiltrarse a través del suelo y llegar a los acuíferos subterráneos, en este caso hubo una mayor acumulación en las norias, principalmente lo que nos puede dar un indicio de que los residuos componentes de los nitratos se pudieran estar percolando a estos cuerpos de agua, lo que a un futuro

podiese ser un problema para la salud pública, ya que en tiempo de estiaje habitantes de la población utilizan esta agua ya que de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, (DOF, 1994).

El límite máximo permisible es de 10 mg/l, y la mayoría de los sitios de estudio están por fuera de los límites máximos permisibles principalmente para uso potable con excepción de la olla-1, olla-3 y manantial-1, quienes se encuentran por debajo de los límites permisibles.

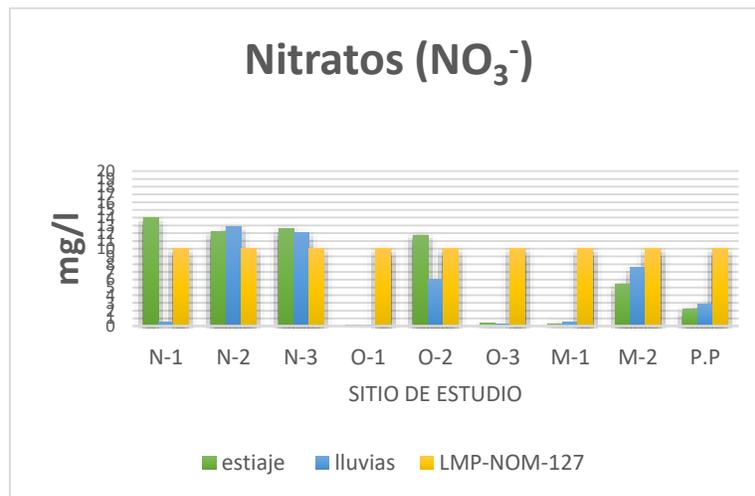


FIGURA 25. Valores de NO_3^- (mg/L) en los sitios de estudio.

12.3.8 Sulfatos (SO_4^{2-})

Como se puede observar en la (Figura 26), los valores más altos de sulfatos los encontramos en la noria-3 y los valores más bajos en el manantial-1, es importante mencionar que los sulfatos se pueden encontrar en casi todas las aguas naturales, el origen de la mayoría de los compuestos de sulfatos es la oxidación de minerales. Los sulfatos son uno de los principales componentes disueltos de lluvia, algunos suelos y rocas que contienen minerales de sulfato como el agua subterránea se mueven a través de las rocas provocando que se disuelvan en el agua. Algunos minerales que contienen sulfato son el sulfato de sodio, si se consume agua potable con altos niveles de sulfato se puede experimentar deshidratación y diarrea, sin

embargo los resultados encontrados en todos los sitios de estudio se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de acuerdo con la NOM-127-SAA1-1994, donde el límite es 400 mg/l (DOF, 1994).

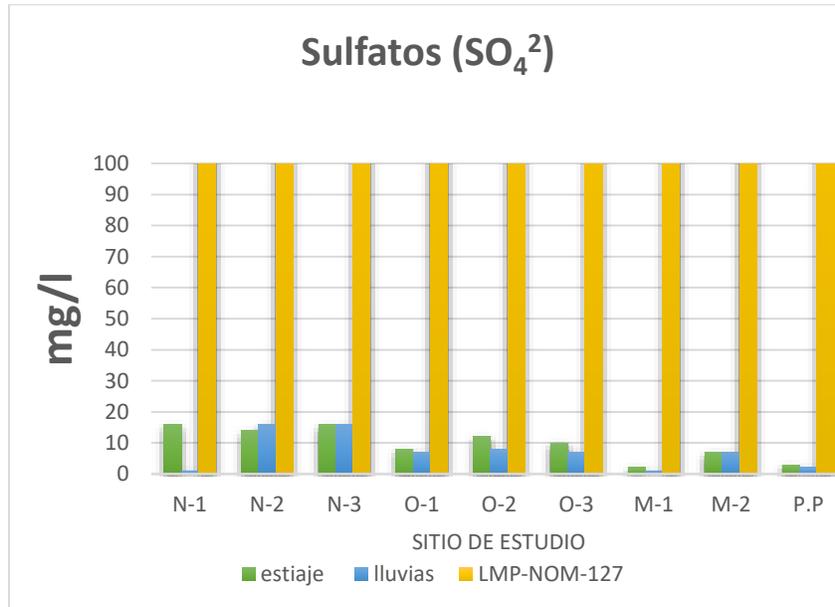


FIGURA 26. Valores de SO_4^{2-} (mg/L) en los sitios de estudio.

12.3.9 Cianuros (CN^-)

Como se puede visualizar en la Fig. 33, los valores de cianuro son muy bajos en todos los sitios, sin embargo es importante mencionar que el cianuro es el principal vector de contaminación en lugares donde la actividad minera juega un rol muy importante en la población, pueden ocurrir errores humanos o tecnológicos en los que se derramen contaminantes y desechos mineros en grandes cantidades, como el caso del cianuro, contaminante altamente peligroso, que llega hasta el agua de consumo a través de las corrientes de agua, de acuerdo a la normativa para uso potable NOM-127-SAA1-1994 (DOF, 1994), marca un rango permisible de 0.07 mg/l por lo que todos los sitios se encuentran por debajo de lo permitido, mientras que de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso de riego nos marca un rango

permisible de 3.0 mg/l por lo que también los sitios de estudio presentaron un resultado por debajo de los límites máximos permisibles.

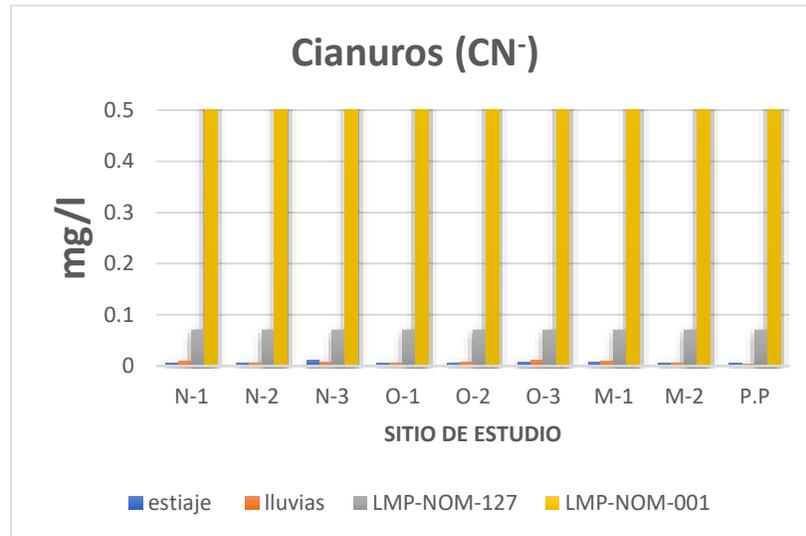


FIGURA 27. Valores de CN^- (mg/L) en los sitios de estudio.

12.3.10 Fósforo total (P_T)

El fósforo juega un papel muy importante en los cuerpos de agua principalmente como nutriente para la vegetación acuática, sin embargo, si en un cuerpo de agua se encuentran en buen estado, lo más habitual es que encontremos más nitrógeno que fósforo, Pero, con el vertido continuo de detergentes, plaguicidas, fertilizantes y aguas residuales urbanas e industriales en muchas cuencas fluviales del mundo estamos añadiendo cantidades desorbitadas de fósforo, que se está acumulando mucho más rápidamente que el nitrógeno). Así, el fósforo ha pasado de ser un nutriente deseable a ser un contaminante en las regiones urbanas más densamente pobladas y en las áreas con agricultura intensiva. Sin embargo de acuerdo a los resultados mostrados en la (**Figura 28**), los valores más altos los encontramos en el sitio olla-3 esto se puede justificar ya que al ser cuerpos de agua superficiales y estar dentro de un huerto de aguacate queda expuesto a la acumulación de fósforo descendiente de la aplicación de fertilizantes

y plaguicidas dentro del proceso de producción, mientras que los valores más bajos se encontraron en la noria-1. Sin embargo todos los sitios se encuentran por debajo de la NOM-001-SEMARNAT-1996, donde el límite máximo permisible para uso de riego es de 30 mg/l.

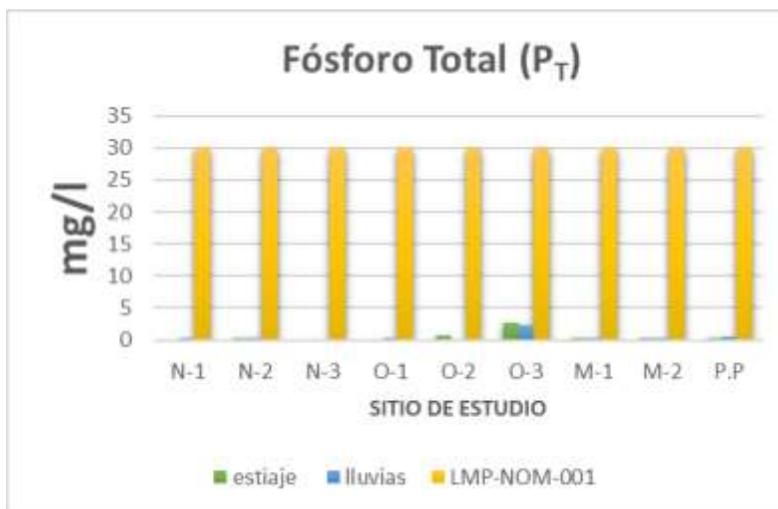


FIGURA 28. Valores de P_T (mg/L) en los sitios de estudio.

12.3.11 Bromo (Br)

Como se puede observar en la **(Figura 29)**, los valores más altos se encontraron en la olla-3, particularmente este sitio de estudio está expuesto al arrastre de sedimentos, ya que no cuenta con una cubierta adecuada, y de igual manera dentro del cuerpo hay cubierta vegetal lo que puede ser indicios directos de proliferación de bromo, es importante mencionar que el bromo es un elemento que se da de manera natural en el medio ambiente, el ser humano lleva muchos años introduciendo en la naturaleza bromuros orgánicos que no son naturales y que pueden causar graves daños al medio ambiente y a la salud humana.

Debido a sus efectos perjudiciales sobre los microorganismos, a menudo se utilizan como agentes desinfectantes. Al utilizarlos en campos de cultivo pueden acabar llegando con facilidad hasta las aguas, donde resultan perjudiciales para peces, langostas o algas.



FIGURA 29. Valores de Br (mg/L) en los sitios de estudio.

12.3.12 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) miden la cantidad de sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles, y anteriormente se mencionó que es un parámetro que se encuentra relacionado directamente con la conductividad eléctrica, la dureza y la alcalinidad, dado que entre mayor sea la conductividad eléctrica de una sustancia, mayor será su dureza, por lo que ésta contendrá una mayor concentración de sólidos disueltos o minerales, como se puede visualizar en la **(Figura 30)**, los valores más altos los encontramos en la olla-2 en temporal de estiaje y en lluvias en la noria-2, mientras que los valores más bajos se ubican en el pozo profundo en tiempo de estiaje y en tiempo de lluvias en la olla-1, en los resultados obtenidos se puede observar que todos los sitios cumplen con el límite máximo permisible que establece la NOM-127-SSA1-1994 ya que el rango permisible es de 1000 mg/l para uso potable (DOF, 1994).

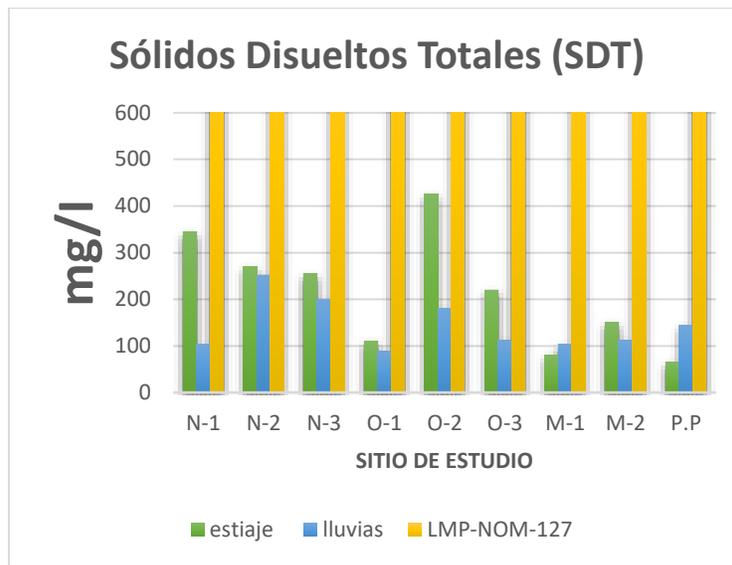


FIGURA 30. Valores de SDT (mg/L) en los sitios de estudio.

12.3.13 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los Sólidos Suspendidos Totales están relacionado a todo aquello que podemos encontrar suspendido o en la superficie de una muestra, como se puede ver en la (**Figura 31**), los valores más altos los encontramos en la olla-3, estos se puede justificar ya que son cuerpos de agua superficial, y hay una mayor acumulación de sólidos, donde principalmente en temporal de lluvias hubo una mayor acumulación de estos, de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, marca que el límite máximo permisible para que el agua sea usada para riego debe de estar por debajo de los 75 mg/l, donde los resultados de los nueve sitios en tiempo de estiaje puede ser utilizada para agua de riego, ya que se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, mientras que los resultados en temporal de lluvias únicamente los sitios (N-2, N-3, y P.P) son los únicos que se encuentran por debajo del rango permisible, el resto de los sitios de estudio, el agua no es apta para uso de riego.

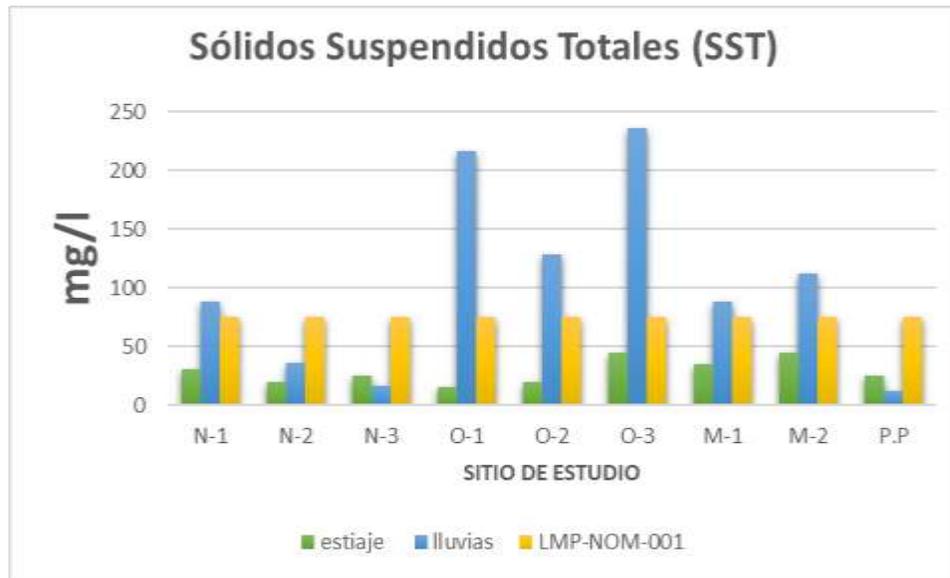


FIGURA 31. Valores de SST (mg/L) en los sitios de estudio.

12.4 Parámetros Microbiológicos.

El análisis microbiológico, se llevó a cabo en lo establecido en la Norma NMX-AA-102-SCFI-2006. En las (Figura 32 y 33), se puede apreciar que los coliformes están presentes en todos los sitios sin excepción alguna tanto en muestreo de lluvias como en el de estiaje, sin embargo los valores menores se encontraron en los manantiales y norias y los valores más altos en las olas en especial las olla-1 y olla-3, esto se podría correlacionar ya que las ollas son cuerpos de agua superficial, en los cuales en tiempo lluvias hay mayor arrastre de sedimentos orgánicos descendientes de abono orgánico aplicado en el cultivo de aguacate así como del ganado circunvecino a estos cuerpos de agua, el límite máximo permisible para este tipo de microorganismos es cero no detectable para coliformes fecales NMP/100 ml y 2/100 ml para coliformes totales sin embargo todos los sitios sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1994).

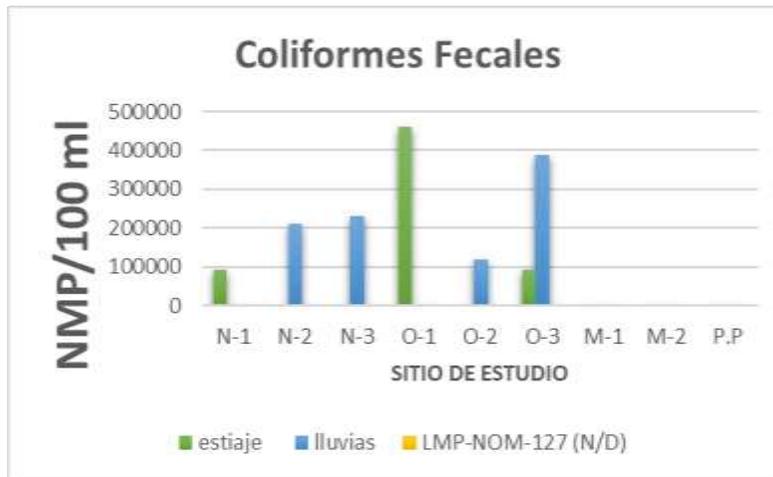


FIGURA 32. Valores de coliformes fecales NMP/100 ml, en los sitios de estudio.

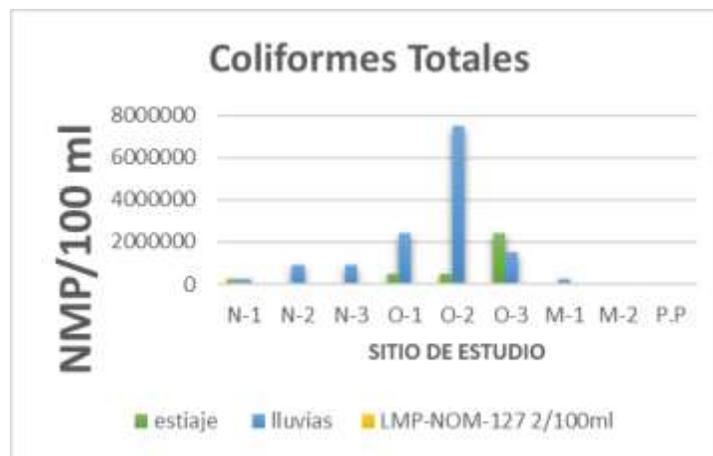


FIGURA 33. Valores de coliformes totales NMP/100 ml, en los sitios de estudio.

12.5 Metales pesados o Elementos Traza.

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más frecuentes de encontrarse en el agua destacamos el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo. El incremento de la concentración en las aguas de estos elementos en el agua se debe principalmente a contaminación puntual de origen industrial o minero. Los lixiviados de vertederos o vertidos de aguas residuales pueden ser asimismo

una fuente de contaminación. Es importante mencionar que en algunos casos existen aguas con una concentración alta de estos elementos de manera natural al atravesar acuíferos formados por rocas que los contienen en su composición y de igual manera dentro del proceso de producción agrícola. La utilización de agroquímicos convencionales es una fuente principal de residuos acumulativos en aguas superficiales y subterráneas aledañas a sitios de producción agrícola; los sitios de estudios muestreados presentaron concentraciones detectables de los siguientes elementos traza: Fe, Zn, Cu y Ni.

12.5.1 Hierro (Fe)

Como se puede visualizar los resultados en la **(Figura 34)**, los únicos sitios que presentaron presencia de este metal fueron los sitios de agua superficial, donde se puede justificar ya que al ser sitios expuestos a la ventilación directa, y al contacto directo con los huertos de aguacate, estos son vectores directamente de acumulación, dentro de la producción del aguacate se utilizan foliares con gran cantidad de (Fe), principalmente para la retención de flor y como nutrimento y repelación de plagas en el temporal de estiaje por lo que principalmente la acumulación del (Fe) es mayor, al ser agua superficial y que normalmente su utilidad es para riego, debería de estar normado dentro de la agricultura, ya que esta agua posteriormente es utilizada en el mismo sistema de producción donde en grandes cantidades puede percolar los mantos acuíferos y contaminar los centros de abastecimiento que atienden a la población de Tingambato.

Este metal se encuentra normado para uso potable de acuerdo a la NOM-127-SAA1-1994, donde el rango permisible es de 0.30 mg/l (DOF, 1994).

El sitio olla-3 presento resultados por fuera del límite permisible en temporal de estiaje, sin embargo es importante mencionar que los sitios de las 3 ollas son aguas superficiales que se alimentan de la captación de agua de lluvia por lo tanto su único uso es de riego

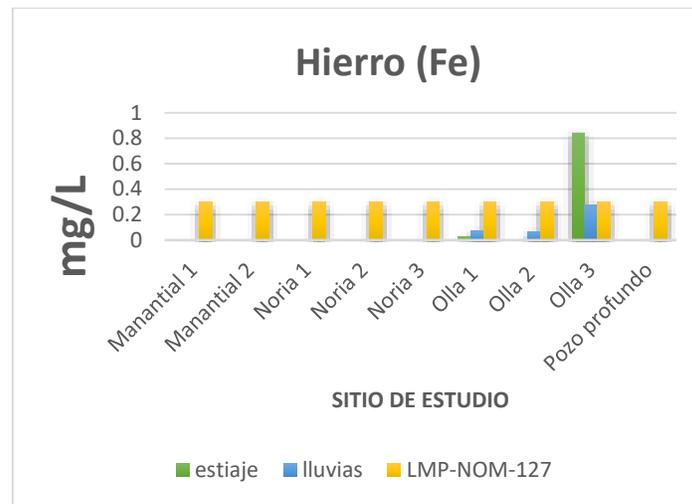


FIGURA 34. Valores de Fe (mg/L) en los sitios de estudio.

12.5.2 Zinc (Zn)

Como se puede visualizar los resultados en la **(Figura 35)**, los únicos sitios que presentaron presencia de este metal fueron los manantial 1 y 2 y las ollas 2 y 3, donde se puede justificar que en el caso de las ollas, son sitios expuestos a la ventilación directa, y al contacto directo con los huertos de aguacate y estos son vectores directamente de acumulación, reiterando que el (Zn) es un componente dentro de los nutrimentos del aguacate, por lo que se le puede ligar directamente su presencia con la aplicación principalmente de fertilizantes, como se puede visualizar las cantidades son pequeñas, sin embargo de acuerdo con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SAA1-1994, el rango permitido es 5.0 mg/l (DOF, 1994).

Para esto el agua del sitio manantial-1 excede los rangos permisibles para uso potable, por lo que para esta determinación no es viable su uso, en cuanto a la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso de riego agrícola, todos los sitios que presentaron este metal están dentro de los límites permisibles.

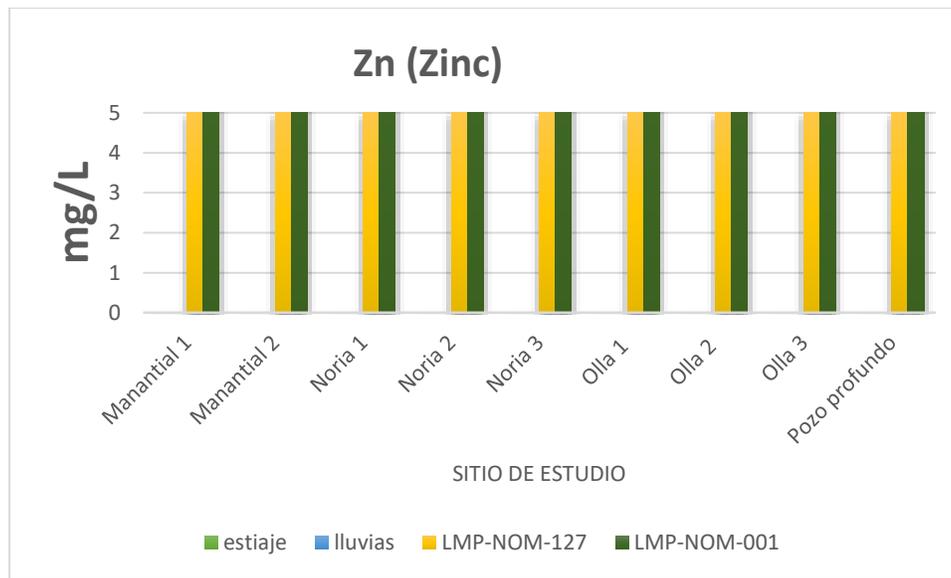


FIGURA 35. Valores de Zn (mg/L) en los sitios de estudio.

12.5.3 Cobre (Cu)

Como se puede observar en la **(Figura 36)**, el único sitio que presentó (Cu) fue la olla-3 en sus dos temporales de muestreo en lluvias y estiaje, de acuerdo a los límites máximos permisibles se encuentran dentro del rango de la NOM-127-SAA1-1994, para uso potable (DOF, 1994).

Sin embargo este sitio su uso no es potable, es meramente uso de riego agrícola y de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, para uso de riego se encuentra por debajo del rango permisible, ya que el rango debe estar por debajo de los 0.025 mg/L.

La presencia de este metal se centra de igual manera sobre la disposición de los agroquímicos convencionales en el proceso de producción del aguacate, principalmente como plaguicida.

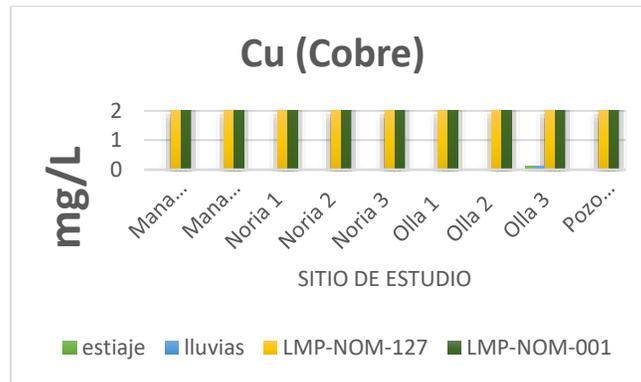


FIGURA 36. Valores de Cu (mg/L) en los sitios de estudio.

12.5.4 Níquel (Ni)

Los resultados de (Ni), prácticamente son muy bajos, como se puede ver en la (Figura 37), los valores más altos se encontraron en la noria-1 y los más bajos en el pozo profundo, la presencia de este metal es por lixiviaciones de la tubería de la red pluvial, descargas agrícolas, descargas residuales, etc, sin embargo las concentraciones son muy bajas que se encuentran por debajo de la NOM-001-SEMARNAT-1996, para uso de riego agrícola, ya que el rango permisible debe ser inferior a 2 mg/L.

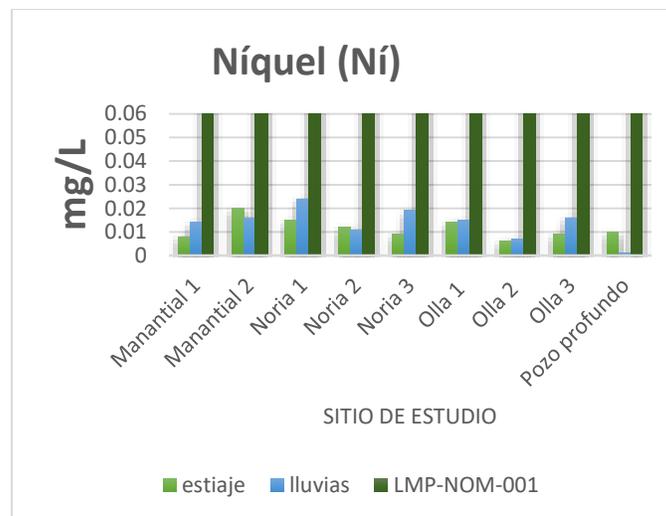


FIGURA 37. Valores de Ni (mg/L) en los sitios de estudio.

12.6 Iones mayoritarios

En las aguas naturales la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Algunos de estos iones se encuentran presentes casi siempre en el agua y suelen representar casi la totalidad de los iones disueltos. Estos iones, llamados fundamentales o mayoritarios, son los cationes: calcio Ca^{2+} , magnesio Mg^{2+} , sodio Na^+ y potasio K^+ ; y los aniones: carbonatos CO_3^{2-} , bicarbonato HCO_3^- , sulfato SO_4^{2-} y cloruros Cl^- . La mayor parte de la carga disuelta que transporta un cauce fluvial procede de la disolución de las rocas que afloran en su cuenca vertiente. No obstante, la concentración de los distintos iones presentes en el agua no solo depende de la composición de las rocas, sino que otros factores, como las condiciones climáticas, la permeabilidad de los materiales o las actividades antrópicas, influyen de forma importante, y a veces dominante, en las características químicas del agua (Custodio y Llamas, 1983).

12.6.1 Calcio (Ca^{2+})

El (Ca^{2+}) es el catión principal en la mayoría de las aguas subterráneas debido a su amplia difusión principalmente en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. La concentración para aguas subterráneas puede variar ampliamente de entre 10 hasta 250 mg/L (Custodio y Llamas, 1983). Como se puede observar en la **(Figura 38)**, los valores más altos se encuentran en la olla-3 y los valores más bajos se encuentran en el pozo profundo, es importante mencionar que el (Ca^{2+}) principalmente es un componente que también se puede encontrar de forma natural en el agua, sin embargo en los sitios de estudio de esta investigación la mayor acumulación se encuentra en la olla-3, este sitio es un cuerpo de agua superficial, donde el agua acumulada es de la captación de agua de lluvia y al no tener una cubierta queda expuesta a la aireación y acumulación por escorrentía e infiltración de los agroquímicos: (fertilizantes y plaguicidas) utilizados en los huertos de aguacate en su producción, sin embargo todos los sitios se encuentra por debajo

del rango permisible para uso potable de acuerdo con la (OMS), ya que el rango permisible es de 75 mg/L, es importante mencionar que el tipo de geología predominante en el Municipio de Tingambato, Michoacán es por rocas ígneas extrusivas básicas, lo que incrementa la dureza, la cantidad de minerales en los sitios de agua subterránea, sin embargo el (Ca^{2+}) aumentan mayormente en las aguas superficiales por la acumulación de estos derivados de los agroquímicos convencionales.

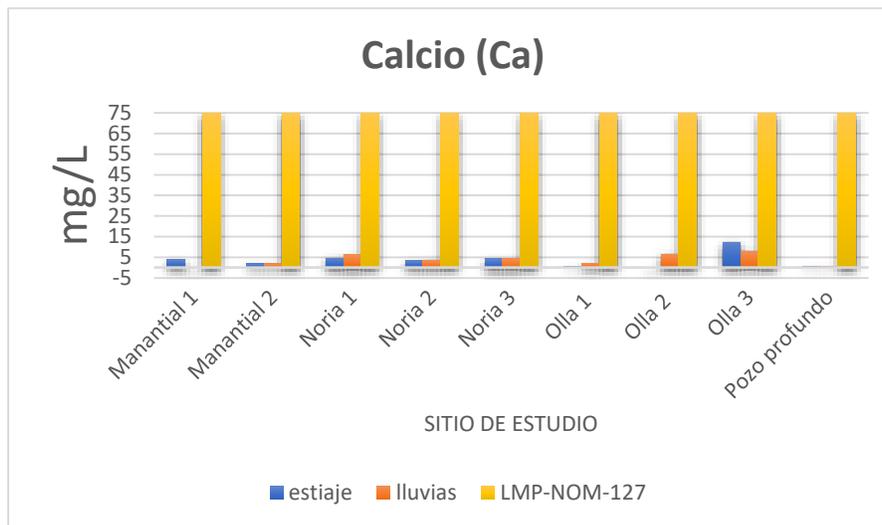


FIGURA 38. Valores de (Ca^{2+}) (mg/L) en los sitios de estudio.

12.6.2 Magnesio (Mg^{2+})

Normalmente el (Mg^{2+}), en los cuerpos de agua subterránea es menos abundante que el Ca^{2+} principalmente proviene de la disolución de rocas carbonatadas, evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos (Custodio y Llamas, 1983). La concentración en este tipo de agua no supera los 40 mg/L, el rango de concentraciones de este parámetro varía desde 2.5 hasta 3.9 mg/L, como se puede observar en la (**Figura 39**), los valores más altos en tiempo de estiajes se encuentran en la noria-1 y los más bajos en la olla-2 y en temporal de lluvias los valores más altos se encuentran en el sitio noria-3 y los más bajos en el sitio manantial-1, sin embargo todos los sitios se encuentran por arriba de los límites

máximos permisibles para uso potable de acuerdo con la organización mundial de la salud (OMS), ya que el rango permisible debe ser inferior a 50 mg/L.

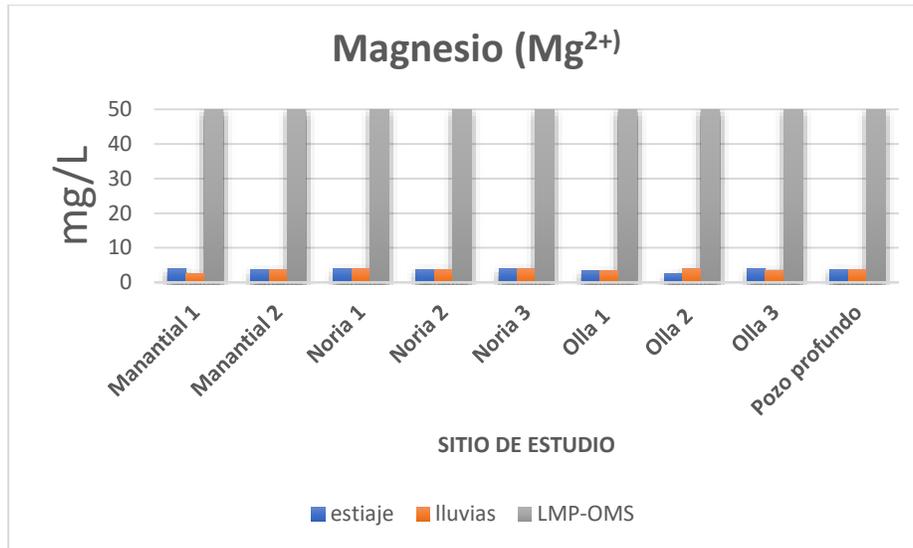


FIGURA 39. Valores de Mg^{2+} (mg/L) en los sitios de estudio.

12.6.3 Sodio (Na^+)

En esta investigación, el catión predominante fue el Na^+ , el cual se representa en la (Figura 40), en donde el sitio que presentó la mayor concentración de este parámetro fue la noria-1 y el que menor concentración presento fueron los sitios de agua superficial olla-1 y olla-3, lo que significa que hay una mayor cantidad de minerales que provocan un aumento en la alcalinidad, por consecuencia una mayor dureza y desde luego un aumento en la conductividad eléctrica, los rango de concentración oscilan entre los 13.82 mg/L hasta los 41.77 mg/L, las sales de Na^+ son altamente solubles y tienden a permanecer en solución debido a que no se producen entre ellas reacciones de precipitación como ocurre en el caso del Ca^{2+} . Sin embargo, el Na^+ puede ser absorbido en arcilla de alta capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado por Ca^{2+} provocando una disminución de la dureza de las aguas, sin embargo de acuerdo a la normativa para uso potable, la

NOM-127-SAA1-1994, el rango permisible es de 200 mg/L y todos los sitios se encuentran por debajo de los límites permisibles (DOF, 1994).

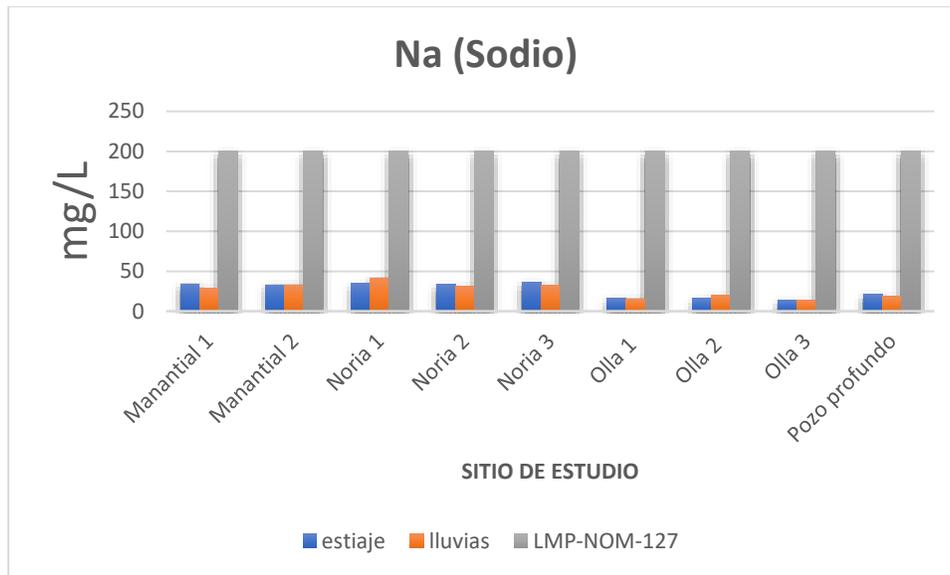


FIGURA 40. Valores de Na⁺ (mg/L) en los sitios de estudio.

12.6.4 Potasio (K⁺)

Como se puede observar en la **(Figura 41)**, los valores más altos los encontramos en el sitio manantial-1 en ambos temporales en estiaje y lluvia, y los más bajos en la olla-2, donde los rangos de concentración oscilan entre 1.19 mg/L hasta 63.08 mg/L, es importante mencionar que el K⁺ ocurre naturalmente en el agua en pequeñas cantidades, los arroyos de agua dulce suelen llevar de 2 a 3 partes por millón de K⁺, este entra en el agua cuando los arroyos lavan las rocas y arcillas que contienen K⁺ de acuerdo con la (OMS) el rango permisible es de 12 mg/L y los sitios manantial-1 y noria-3 se encuentran por fuera del rango permisible, es importante señalar que al ser cuerpos de agua subterránea la presencia de potasio puede ser perjudicial para la salud, pudiéndose correlacionar con enfermedades coronarias, hipertensión, enfermedades renales y hepáticas. En el

agua dulce, los niveles más altos de K^+ se encuentran en los ríos de tierras bajas y en el agua subterránea, mientras que en tierras altas, tendrán un contenido de este elemento relativamente bajo. Los niveles de K^+ más elevados son los que están relacionados con el agua subterránea en aquellos lugares donde hay abundancia de depósito de mineral Custodio, E. y Llamas, M.R. (1983).

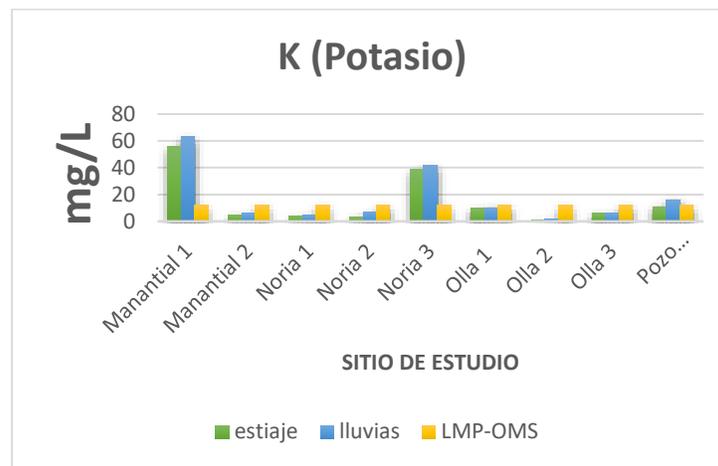


FIGURA 41. Valores de k^+ (mg/L) en los sitios de estudio.

12.6.5 Bicarbonatos (HCO_3^-)

El ion HCO_3^- observado a lo largo de los 2 muestreos se encontró en un rango de 42.8 a 166.98 mg/L como se puede ver en la (Figura 42), haciendo hincapié que la olla-1, fue el que presentó la mayor concentración en el temporal de estiaje, mientras que el pozo profundo en temporal de lluvias, las concentraciones mínimas se encontraron en la olla-2 en el temporal de estiaje y en la noria 2 en temporal de lluvias de este parámetro. Por otro lado, las concentraciones no presentaron una variación notable a lo largo de los dos muestreos, es importante mencionar que en aguas donde se encuentra con un pH ente 8-8.5, como la mayoría de las aguas subterráneas, la especie carbonatada dominante es el ion bicarbonato.

Sin embargo el ion carbonato (CO_3^{2-}) se empieza a presentar en valores superiores a este pH (Manahan, 2007). La cantidad de HCO_3^- y CO_3^{2-} , se relaciona

directamente con la alcalinidad del pH incidiendo directamente con la solubilidad y disponibilidad de nutrientes, donde principalmente en alcalinidades altas la disposición de estos iones es mayor, por otra parte la baja alcalinidad del agua puede ser un problema, ya que algunos fertilizantes con potencial básico (como los fertilizantes de nitrato) proporcionan ingredientes que Acidifican el pH y esto puede repercutir directamente en la producción agrícola alterando la fisiología de los cultivos y secando las raíces de los mismos.

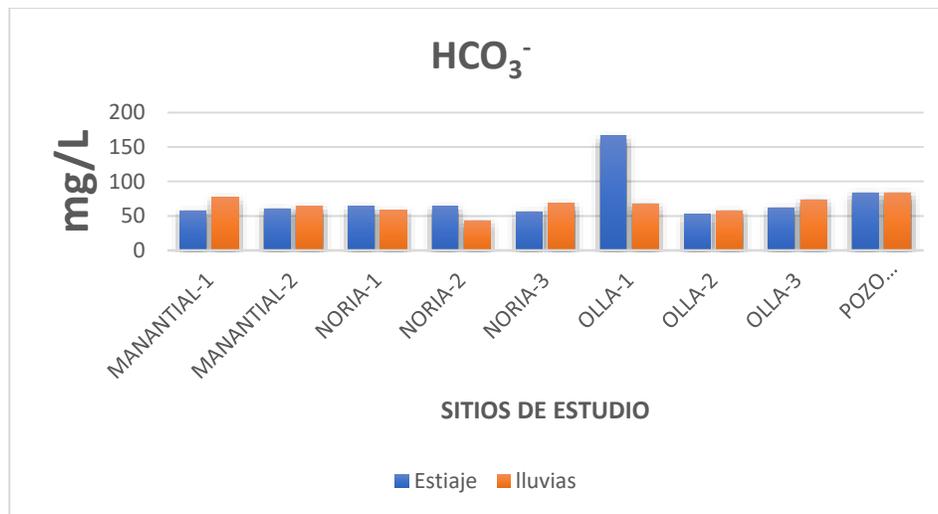


FIGURA 42. Valores de HCO_3^- (mg/L) en los sitios de estudio.

12.7 Evaluación del índice de calidad del agua (ICA).

Los ICA generalmente son diseñados para atender problemáticas ambientales de cada región, aunque muchos países adoptan metodologías ajenas para implementarlas en sus territorios, y permite hacer comparaciones de niveles de contaminación en diferentes áreas. El ICA se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura.

El diseño adecuado de un ICA debe incorporar los límites permisibles y descritos por la norma, los criterios para los usos específicos del agua y el potencial uso del recurso. También debe integrar un número reducido de parámetros pero que sean de gran importancia o los que el científico considere importantes para llevar a cabo su propia investigación.

El método que se utiliza en esta investigación es el “Método del Promedio Aritmético Ponderado”, el cual tiene diversas ventajas en comparación con los otros ICA, destacando: que es un método simple y conciso, ya que los pasos para desarrollarlo son muy sencillos y de fácil entendimiento, es un método que incluye los límites máximos permisibles por cualquier tipo de normatividad principalmente para uso potable (NOM-127-SSA1-11994 y OMS) y para uso de riego (NOM-001-SEMARNAT-1996), estos proporciona un resumen general de los datos previamente obtenidos y se puede adaptar a las necesidades del tipo de estudio que se esté llevando a cabo. Sin embargo, tiene ciertas limitaciones, entre las cuales destacan: el que no proporcionan información completa sobre la calidad del agua de la zona de estudio, no se pueden evaluar todos los riesgos que se encuentran presentes en el agua, la ponderación que se requiere para cada parámetro de acuerdo a su importancia llega a ser subjetiva y a criterio de quien lo está implementando, por lo que algunos científicos tienden a rechazar y criticar este tipo de métodos como una herramienta de gestión del recurso hídrico.

ICA: USO POTABLE NOM-127-SAA1-1996 Y OMS

Los resultados del ICA en los sitios de estudio para uso potable, oscila entre el rango que va desde 31.22 a los 74.14 en el temporal de estiaje, en temporal de lluvias desde 37.11 a los 75.86 (**Cuadro 13**), donde se puede visualizar que se encuentran dos clasificaciones de calidad del agua: buena y excelente calidad. Los sitios que presenta una calidad excelente, son: manantial-2, noria 1 y 2 y el pozo profundo, mientras que los únicos sitios que presentan una calidad buena, por debajo de la excelente son: el manantial 1 y la noria 3 en ambos temporales se comportan las mismas calidades del agua, derivado de estos resultados los sitios evaluados con uso potable cumplen con la calidad del agua para utilizar sin problema como uso potable.

Cuadro 13. Valor del índice de calidad del agua (ICA) de los sitios de estudio con uso potable.

SITIO DE ESTUDIO	ESTIAJE (VALOR DEL ICA)	CALIDAD DEL AGUA	LLUVIAS (VALOR DEL ICA)	CALIDAD DEL AGUA
MANANTIAL-1	74.146	BUENA	75.864	BUENA
MANANTIAL-2	39.620	EXCELENTE	37.110	EXCELENTE
NORIA-1	31.430	EXCELENTE	46.620	EXCELENTE
NORIA-2	31.223	EXCELENTE	37.468	EXCELENTE
NORIA-3	54.800	BUENA	55.952	BUENA
POZO PROFUNDO	42.072	EXCELENTE	45.624	EXCELENTE

ICA: USO DE RIEGO NOM-001-SEMARNAT-1996

Los resultados del ICA en los sitios de estudio para uso de riego, oscila entre el rango que va desde 28.73 a 39.07 en el temporal de estiaje, donde se determinan dos categorías de calidad del agua bien establecidas: excelente categoría en un solo sitio (manantial-1) y en el resto de los sitios en categoría de buena calidad y en temporal de lluvias los rangos oscilan desde 33.28 a 73.61 (**Cuadro 15**), donde se puede visualizar que se encuentran las tres categorías de calidad del agua: excelente, buena y mala calidad. Los sitios que presenta una calidad excelente,

son: noria-3 y el pozo profundo, mientras el sitio que presenta una mala calidad, por debajo de la excelente es la olla-1 y el resto de los sitios en este temporal, son de buena calidad, derivado de estos resultados los sitios evaluados con uso de riego cumplen con la calidad del agua para utilizar sin problema como uso de riego, con excepción de la olla-1, lo anterior debido a que al ser agua superficial es un principal acumulador de sustancias orgánicas e inorgánicas que repercuten en su calidad del agua principalmente en el pH, y este repercute directamente en la acidificación de los suelos, aunado a esto la cubierta vegetal repercute directamente con la temperatura y este parámetro favorece cuando las condiciones son ideales para el crecimiento y nutrición de los cultivo o viceversa una alteración del pH y temperatura inhibe el crecimiento de los cultivos agrícolas.

Cuadro 14. Valor del índice de calidad del agua (ICA) de los sitios de estudio con uso de riego.

SITIO DE ESTUDIO	ESTIAJE	CALIDAD DEL AGUA	LLUVIAS	CALIDAD DEL AGUA
MANANTIAL-1	28.734	EXCELENTE	36.498	BUENA
MANANTIAL-2	38.726	BUENA	50.493	BUENA
NORIA-1	35.977	BUENA	46.988	BUENA
NORIA-2	34.793	BUENA	38.605	BUENA
NORIA-3	36.256	BUENA	33.289	EXCELENTE
OLLA-1	43.431	BUENA	73.616	MALA CALIDAD
OLLA-2	35.116	BUENA	57.639	BUENA
OLLA-3	39.070	BUENA	61.593	BUENA
POZO PROFUNDO	37.254	BUENA	34.846	EXCELENTE

12.8 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

El análisis de componentes principales fue determinado con ayuda de software estadística_7 como se puede visualizar en la **(Figura 43)**, en el análisis se pueden resaltar dos factores con un componente horizontal y uno vertical resaltando los porcentajes 24.7% y 44.99% esto sugiere que los parámetros conforme se van generando más factores la cantidad de componentes disminuye y por ende el porcentaje. Es por ello que se centra la importancia en este análisis donde nos permite conocer y agrupar distintas variables y homogeneizarlas en componentes que presentan correlación en este caso las concentraciones de parámetros fisicoquímicos resultantes en cada sitio, en este componente podemos observar que mientras más cercanos se encuentren las variantes más relación se tienen entre ellos y mientras más alejados es más negativa la correlación, así mismo si se forma un Angulo de 90° la relación es negativa.

Se puede observar que los parámetros más relacionados mostrados en el componente horizontal fueron la DQO, DBO₅, SST, fosfatos, dureza magnésica, fósforo total, mientras que en el componente vertical los parámetros con mayor correlación fueron los ST, SD, cloruros, sulfatos, pH, conductividad eléctrica, nitratos (NO₃⁻), dureza cálcica, y con los parámetros que existió poca relación con respecto a los sitios fue con los coliformes fecales y totales, acidez total.

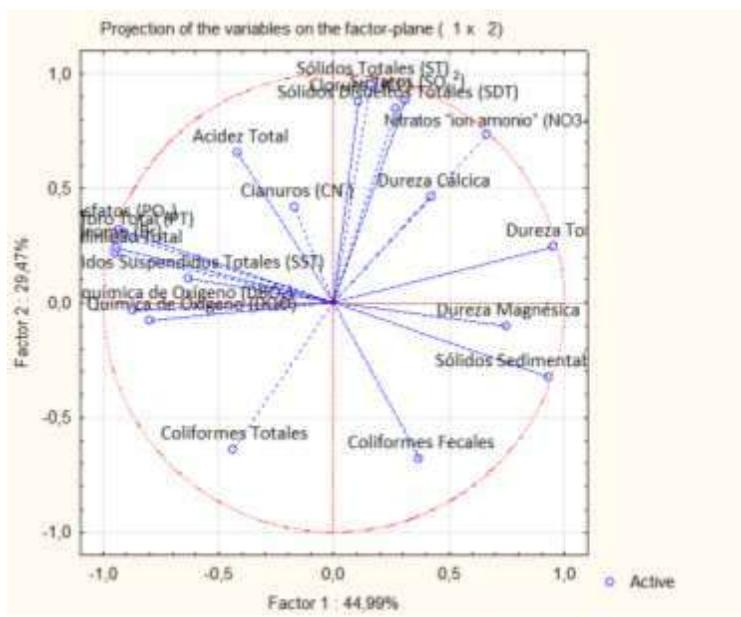


FIGURA 43. Análisis de componentes principales parámetros fisicoquímicos de los sitios de estudio.

En la siguiente (**Figura 44**), se resume más concretamente las relaciones que tienen las concentraciones de los parámetros con respecto a los sitios, donde se agrupan los sitios con mayor relación la N-1, N-3, O-2 y N-2 y en otra relación los sitios PP, O-2 y O-3, y M-1 y finalmente la O-3 y M-2 componentes más que presentan poca correlación, esta desintegración es muy importante recalcar que al ser dos cuerpos de agua con características físico-químicas usos muy diferentes una es agua superficial y otra es agua subterránea, sin embargo las concentraciones de los resultados físico-químicos son las que los hacen quedar sin tener relación alguna.

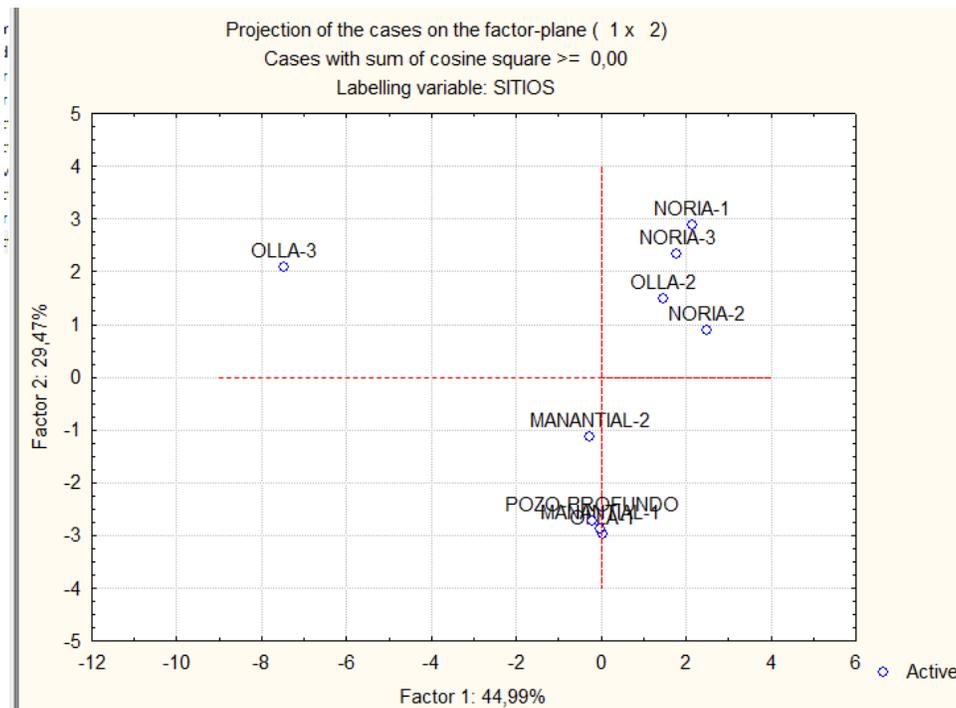


FIGURA 44. Análisis de componentes principales, agrupando las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y los sitios de estudio.

En cuanto a los parámetros determinados en los sitios de estudio (elementos traza, y iones mayoritarios, de acuerdo a los resultados del ACP, como se puede visualizar en la figura. 45) se encontró un porcentaje de 38.00% en el factor 1 y 29.75% en el factor 2, esto nos indica que los parámetros conforme se van generando más factores la cantidad de componentes disminuye y por ende el porcentaje, en este componente podemos observar que mientras más cercanos se encuentren las variantes más relación se tienen entre ellos y mientras más alejados es más negativa la correlación, así mismo si se forma un Angulo de 90° la relación es negativa.

Se puede observar que los parámetros más relacionados mostrados en el componente horizontal fueron: Na^+ , K^+ , CO_3^- , HCO_3^- y Zn esto es justificable que ya las mayores concentraciones a pesar de que son concentraciones en (ppm) fueron las concentraciones con mayor concentración en ambos sitios, su existencia es meramente residual por derivados de agroquímicos y por naturaleza en estos

cuerpos de agua, con los parámetros que existió poca relación con respecto a los sitios fue con el Ca, Mg y Ni, prácticamente fue en cuanto a la concentración muy baja casi escasa, sus orígenes son residuales derivado de la utilización de agroquímicos.

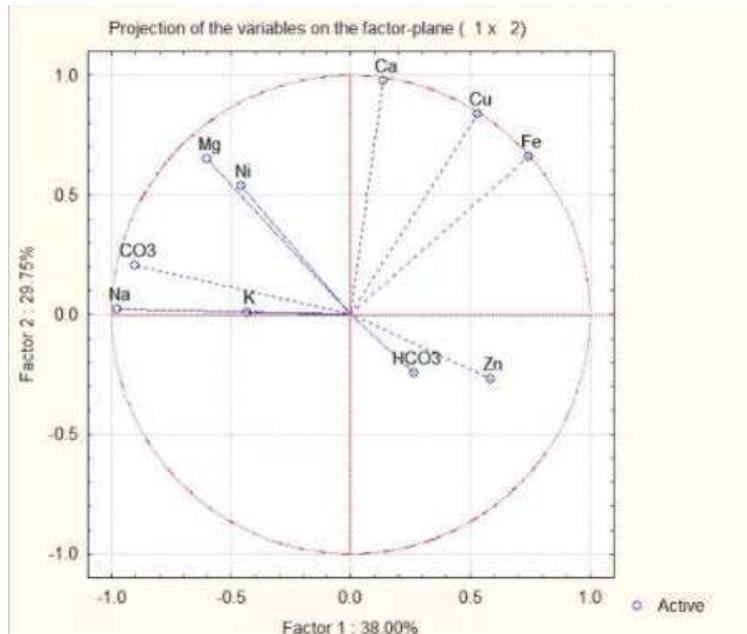


FIGURA 45. Análisis de componentes principales elementos traza y iones mayoritarios de los sitios de estudio.

Con respecto a la relación entre los sitios de estudio, únicamente existe relación entre los sitios manantial 1 y manantial 2 al ser cuerpos de agua subterránea los elementos traza resultados muy escasos es por ello que los sitios se conjuntan formando casi 1 solo sitio, lo cual nos da incidencia de la casi nulidad de elementos traza en estos sitios, el resto de los sitios quedaron separados ya que cada sitio presenta diferenciación en la concentración de los elementos traza y iones mayoritarios, por lo que no existe correlación alguna.

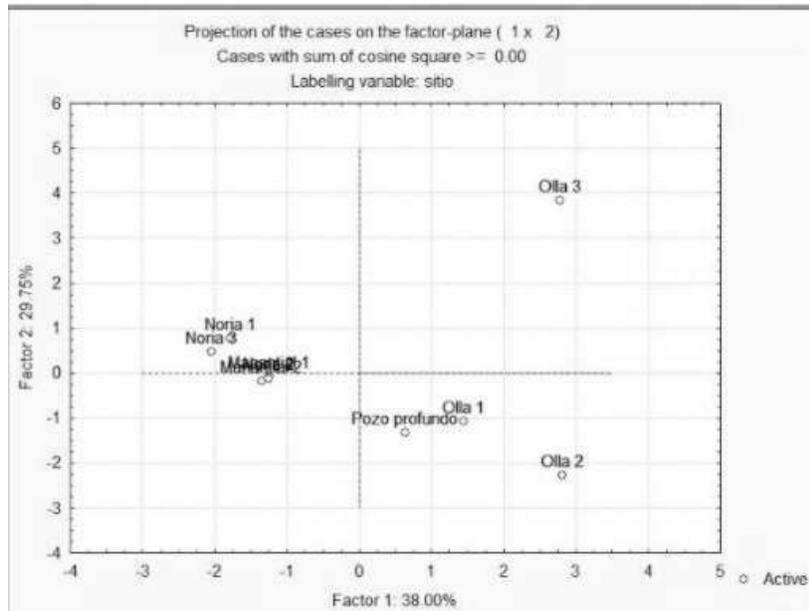


FIGURA 6. Análisis de componentes principales, agrupando las concentraciones de los elementos traza, iones mayoritarios y los sitios de estudio.

13. CONCLUSIONES

- Las concentraciones resultantes de los parámetros físico-químicos determinados in situ, ninguno sobrepasa los límites permisibles, de acuerdo con la normativa nacional e internacional, con excepción de un solo sitio (O-1) que en la determinación del pH sobrepasa la limitante para uso potable, pero no hay problema alguno ya que este sitio es agua superficial donde su uso es únicamente de riego agrícola.
- El pH fue muy similar en los sitios con agua subterránea con una tendencia alcalina, lo cual es muy característico de las aguas subterráneas debido a que hay una estabilidad físico-química.
- De los parámetros analizados, únicamente los nitratos (NO_3^-) sobrepasan los límites permisibles en los sitios de estudio con uso potable de acuerdo a la normativa mexicana (M-1, M-2, N-1, N-2, N-3 y P.P) tanto en el temporal de estiaje como en el temporal de lluvias, lo cual se asocia directamente con la utilización intensiva de agroquímicos convencionales (fertilizantes y plaguicidas) en la producción del aguacate, lo cual nos indica que es un foco de contaminación principalmente en el agua de uso potable ya que en ambos temporales se está infiltrando y acumulando en las fuentes de agua que abastecen a la población de Tingambato y a un futuro se pueden tener implicaciones en la salud pública.
- Los microorganismos biológicos deberían de jugar un papel importante dentro del ICA, para determinar si el agua es viable para consumo potable, a pesar de que la (NOM-127-SSA1-1994) establece que su determinación debe de ser nula para este uso, todos los sitios presentaron gran cantidad de coliformes fecales.
- Las concentraciones de los elementos traza (Cu, Zn y Fe) rebasan los límites establecidos por la normatividad mexicana para uso potable, los cuales están

directamente correlacionados de la derivación residual de agroquímicos convencionales en la producción agrícola del aguacate.

- En las determinaciones en el temporal de estiaje se observaron las concentraciones más elevadas de los iones mayoritarios, esto se correlaciona directamente con la mineralización proveniente de la roca y por otra parte a la disminución de la cantidad del agua que se encuentra en los acuíferos aunado a esto a la acumulación de residuos de los agroquímicos utilizados en el cultivo de aguacate, principalmente (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , y Mg^{2+}).
- En los cationes, la mayor concentración la tuvo el Na^+ y Mg^{2+} , con respecto al Ca^{2+} y K^+ .y en los aniones, quien tuvo la mayor concentración en todos los sitios de estudio fue el Cl^- y (HCO_3^-).
- Respecto a los ICAS para uso potable, el agua se encuentra en categorías de buena y excelente calidad por lo que no tiene implicaciones para su uso, mientras que respecto a los ICAS para uso de riego, todos los sitios se encuentran dentro del rango para uso de riego clasificándose en buena y excelente calidad.
- De acuerdo al análisis de componentes principales (ACP) los parámetros con mayor correlación fueron (pH, Alcalinidad, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, coliformes, nitratos y dureza), al igual que los sitios mayor correlacionados fueron el M-1, y N-3, respecto al uso y concentración de los parámetros en ambos temporales
- Finalmente se determina que la calidad del agua de los sitios de estudio determinados en Tingambato, Michoacán es apta para uso potable y riego agrícola, de acuerdo a la normativa nacional e internacional, se hace hincapié en considerar el uso racional de los acuíferos y tomar en cuenta el uso de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) en las zonas agrícolas para disminuir la concentración de nitratos (NO_3^-).

14. RECOMENDACIONES

- Continuar con el análisis de parámetros físico-químicos, elementos traza y microbiológicos, como lo establece la normatividad mexicana e internacional o al menos dos veces por año, uno en época de estiaje y otro en época de lluvias como mínimo.
- Es necesario continuar con el monitoreo de los sitios analizados principalmente los manantiales y norias, así como identificar los componentes o elementos químicos que ocasionan el incremento en la concentración de los nitratos (NO_3^-) ya que los límites por fuera de lo permisible puede repercutir directamente con la salud pública de quienes se abastecen del agua derivada de estos sitios de estudio.
- Informar a los productores de aguacate y habitantes de la población de Tingambato para sensibilizar a la implementación de estrategias de conversión de agroquímicos convencionales por tradicionales u orgánicos, para evitar que aporten a la contaminación a sus aguas subterráneas.
- Es importante identificar las fuentes principales de bacterias fecales para disminuir o erradicar el índice de organismos coliformes que inciden directamente en enfermedades gastrointestinales, así mismo compartir la información con las autoridades para que refuercen los programas de saneamiento del agua e informar a la población de antes de utilizar el agua como potable es necesario hervirla, tratarla con filtros minerales etc.
- Evaluar el cálculo del ICA de al menos dos veces por año, uno en época de estiaje y otro en época de lluvias como mínimo, para corroborar el índice que se obtuvo en este proyecto de investigación.

16. BIBLIOGRAFÍA

1. Arbuckle E, Lin Z & Mery LS., 2001. An Exploratory Analysis of the Effect of Pesticide Exposure on the Risk of Spontaneous Abortion in an Ontario Farm Population. *Environ Health Pespect*; 109:851-7.
2. Arreola-Cianca, M., 2014. Evaluación de la calidad del agua subterránea en función de la presencia de arsénico, flúor y boro en Ciudad Hidalgo, Michoacán. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 109 pp.
3. Benavides, S. & J. Echeverri., 2014. Validación de un método para el análisis de residualidad de plaguicidas en aguacate hass. *Revista Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín V3 N°2 Julio-Diciembre 2014*. ISSN 0121-747X 94 – 107pp.
4. Chávez, L.J, Vargas M.L, Bravo, M.E, Sáenz, T.R, Muñoz, H.F, Vidales, I.F, Guzmán, A.L, Bautista, F.A, Villaseñor, F.L, Sánchez, J.P, & Alcántar, J.J., 2012. Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Uruapan Agosto de 2012 Libro Técnico Núm. 13, ISBN: 978-607-425-825-7.
5. DOF (1996). Diario Oficial de la Federación. NOM-001-SEMARNAT-1996 (antes NOM-001-ECOL-1996) norma oficial mexicana, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales
6. DOF (1993). Diario Oficial de la Federación. NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos Sanitarios para el Muestreo de Agua para uso y Consumo Humano en Sistemas de Abastecimiento de Agua Públicos y Privados. México.

7. DOF (1994). Diario Oficial de la Federación. NOM-127-SSAI-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. México.
8. DOF (2000). Diario Oficial de la Federación. NMX-AA-007-SCFI-2000. Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. México.
9. DOF (2000). Diario Oficial de la Federación. NMX-AA-093-SCFI-2000. Determinación de la Conductividad Electrolítica- Método de Prueba. México.
10. DOF (2001). Diario Oficial de la Federación. NMX-AA-028-SCFI-2001. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas- Método de Prueba. México.
11. DOF (2001). Diario Oficial de la Federación. NMX-AA-036-SCFI-2001. Determinación de Acidez y Alcalinidad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas- Método de Prueba. México.
12. DOF (2001). Diario Oficial de la Federación. NMX-AA-072-SCFI-2001. Determinación de Dureza Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas- Método de Prueba. México.
13. DOF (2002). Diario Oficial de la Federación. NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. México.
14. DOF (2006). Diario Oficial de la Federación. NMX-AA-102-SCFI-2006. Detección y enumeración de organismos Coliformes, organismos Coliformes termotolerantes y Escherichia coli presuntiva- Método de filtración en membrana. México.
15. Edmunds W.M., Shand P., Hart P., Ward R.S. (2003). “The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study” The Science of the Total Environment (310) 25-35pp.
16. El Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2015.

17. Furlong CE, Brophy VH, Jarvik GP, Richter RJ, Shih DM, Lulis AJ & Costa LG. 2000. The PON1 gene and detoxication. *Neurotoxicology*; 21:581-7.
18. G. palomo, J. M. Negrete, & J. G. Castellón., (2017). Pesticides district irrigation canals of La Doctrina (Córdoba-Colombia). Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación en aguas, Química Aplicada y Ambiental – GAQAA, Montería-Colombia, Departamento de Química. Carrera 6 No. 76 -103 Montería – Colombia.
19. García Hernández. (2017). Estado Actual de la Investigación sobre Plaguicidas en México. *rev. int. contam. ambie.* 34 (especial sobre contaminación y toxicología por plaguicidas (ctp) 29-60, 2018 doi: 10.20937/rica.2018.34.esp 01.03.
20. Mireles Ireri. 2018. (uso de pesticidas en huertas de aguacate tradicionales y de exportación del municipio de Tingambato, Michoacán) tesis de licenciatura: Licenciatura en Ciencias Ambientales, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia. 142pp.
21. Jiménez, Cisneros. A & Blanca E., 2001. La contaminación en México: casusas, efectos y tecnología apropiada. México: editorial Limusa, colegio de ingenieros ambientales de México, A, C., Institutos de ingeniería de la UNAM y FEMISCA.926 PP.
22. Lacasaña M, Vázquez Grameix JH, Blanco J, Borja VH, Romieu I García AM. 2006. Exposición ocupacional de los padres a plaguicidas y riesgo de anencefalia: un estudio de casos y controles. *Occup Environ Med*; 63: 649-656. pp.
23. Manahan S.E. (2007). “Introducción a la química ambiental” Ed. Reverté. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 224pp.
24. Quengan, F. & Erazo, E. 2015. Determinación de plaguicidas organofosforados y carbamatos en agua para consumo humano del departamento de Nariño mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (hplc-vwd). Tesis de Maestría.

Universidad de Nariño Facultad de ciencias exactas y naturales departamento de Química. San Juan de Pasto, Colombia. 129pp.

- 25.-Ramírez Espitia, J. A., & Lacasaña, M. (2001). "Plaguicidas clasificación, uso, toxicología y exposición". (Figura). Universidad Pompeu Fabra, Barcelona en colaboración con el INSP (Instituto Nacional de Salud Pública), México. [En línea] Recuperado 12 NOVIEMBRE, 2018, de https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-01_11-59-0899004.pdf.
26. Reyes Claudia. (2019). Estudio de la hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea en la zona urbana de Zamora, Michoacán. Tesis de posgrado en ciencias en ingeniería ambiental (MCIAM-UMSNH) Morelia, Michoacán. 159pp.
- 27.-Salazar-García, S., Zamora-Cuevas, L., & Vega-López, J. Ricardo., (2005). "Actualización sobre la Industria del Aguacate de Michoacán, México". [En línea] Recuperado 16 OCTUBRE, 2018, de http://avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_87_2004-2005/CAS_2004-05_V87_PG_045054.pdf
28. SEGOB (Secretaría de Gobernación). (2010). "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-232-SSAL-2009, Plaguicidas". [En línea] Recuperado 16 DICIEMBRE, 2016, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5139018&fecha=13/04/2010.
29. SEMARNAT (secretaría del Medio Ambiente y recursos naturales). (2017). "Permiso de importación de plaguicidas y sustancias tóxicas sujetos a control por SEMARNAT". [En línea] Recuperado 19 NOVIEMBRE, 2018, de <https://www.gob.mx/tramites/ficha/permiso-de-importacion-de-plaguicidas-y-sustancias-toxicas-sujetos-a-control-por-semarnat/COFEPRIS732>.

- 30.-SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2012). “El aguacate joya mexicana”. [En línea] Recuperado 11 DICIEMBRE, 2018, de <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/2/02-aguacate/index.html>.

ANEXOS

Cuadro 15. Resultados de parámetros in situ de los sitios de estudio.

Sitio de estudio	temporal de muestreo	pH	Conductividad Eléctrica	Oxígeno Disuelto	Temperatura
M-1	estiaje	7.06	3.7	6.56	15.9
	lluvias	6.62	163.9	16.1	15.8
M-2	estiaje	6.46	28.3	5.74	17.4
	lluvias	6.25	438.1	20.7	18.9
N-1	estiaje	6.41	32.2	6.6	19.1
	lluvias	6.31	531.5	20.6	19.9
N-2	estiaje	6.42	32.06	6.6	19.1
	lluvias	6.55	521.1	21.2	20.8
N-3	estiaje	6.37	34.4	5.02	21
	lluvias	6.13	842	20.4	20.2
O-1	estiaje	9.04	95.5	7.62	19.6
	lluvias	7.15	497.6	18.4	18.6
O-2	estiaje	6.43	30.1	6.43	18.8
	lluvias	7.16	486.6	20.8	20.2
O-3	estiaje	7.17	8.6	3.06	17.8
	lluvias	6.88	207.6	20.7	17.6
P.P	estiaje	7.09	16.3	6.5	18.2
	lluvias	6.97	361.7	19.8	19.4

Cuadro 16. Resultados de parámetros físico-químicos y microbiológicos en los sitios de estudio.

Sitio de estudio	Temporal de muestreo	(DQO)	(DBO ₅)	Dureza Total	Dureza Magnésica	Dureza Cálcica	Acidez Total	Alcalinidad Total	(Cl ⁻)	(NO ₃ ⁻)	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(CN ⁻)	(P _T)
N-1	Estiaje	0	1.76	1.31	0.63	0.68	37	61	8.76	14	16	0.005	0.16
	lluvia	0	0.64	1.44	0.18	1.26	43	78	28.78	15.9	21	0.007	0.202
N-2	Estiaje	3	2.07	6,42	32,06	6,6	19,1	1.35	1.26	0.009	40	42	6.91
	lluvia	2	0.54	1.49	0.46	1.03	60	66	21.34	12.8	16	0.006	0.232
N-3	Estiaje	3	1.17	1.22	0.45	0.77	40	66	10.6	12.6	16	0.011	0.185
	lluvia	2	0.24	1.26	0.54	0.72	31	60	22.33	12.1	16	0.008	0.215
O-1	Estiaje	43	10.5	0.72	0.68	0.04	6	66	3.69	0.086	8	0.005	0.219
	lluvia	69	10.56	0.72	0.32	0.4	9	44	3.97	0.13	7	0.006	0.401
O-2	Estiaje	16	3.39	1.13	1.04	0.09	40	58	12.44	11.7	12	0.006	0.821
	lluvia	59	4.95	1.21	0.27	0.94	40	70	19.35	6.01	8	0.007	0.228
O-3	Estiaje	68	16.02	0	0	0	59	167	8.3	0.329	10	0.008	2.64
	lluvia	50	7.86	0.86	0.3	0.56	18	68	10.92	0.259	7	0.011	2.24
M-1	Estiaje	2	3.13	0.72	0.5	0.23	21	54	1.38	0.32	2	0.007	0.397
	lluvia	1	0.33	0.5	0.28	0.22	26	58	4.96	0.497	1	0.009	0.354
M-2	Estiaje	49	3.78	0.99	0.85	0.14	47	62	5.07	5.45	7	0.006	0.379
	lluvia	2	0.43	0.94	0.18	0.76	55	74	17.87	7.54	7	0.006	0.348
P.P	Estiaje	9	2.52	0.81	0.68	0.14	35	84	3.69	2.22	3	0.005	0.423
	lluvia	3	0.41	1.35	0.81	0.54	42	84	7.94	2.82	2	0.004	0.453

Cuadro 17. Continuación de cuadro 15.

Sitio de estudio	Temporal de muestreo	(PO ₄)	Bromo (Br)	Sólidos Totales (ST)	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	(SST)	(SSed)	C. Fecales	C. Totales
N-1	Estiaje	0.15	0.02	375	345	30	<0.01	93000	24000
	llovía	0.199	0.02	244	204	40	0.01	75000	150000
N-2	Estiaje	12.2	14	0.006	0.246	0.188	0	290	75000
	llovía	0.244	0.01	288	252	36	0.01	21000	93000
N-3	Estiaje	0.167	0.02	280	255	25	0.01	3	23000
	llovía	0.175	0.02	216	200	16	0.01	23000	93000
O-1	Estiaje	0.187	0.08	125	110	15	0.01	46000	460000
	llovía	0.077	0.08	304	88	216	0.01	3000	240000
O-2	Estiaje	0.009	0.04	265	425	20	0.01	3	46000
	llovía	0.05	0.04	308	180	128	0.01	1.2	750000
O-3	Estiaje	1.51	0.4	265	220	45	0.3	93000	240000
	llovía	1.67	0.4	348	112	236	0.3	39000	150000
M-1	Estiaje	0.359	0	115	80	35	0.01	3	400
	llovía	0.307	0	192	104	88	0.01	3	23000
M-2	Estiaje	0.35	0.01	195	150	45	0.01	3	23000
	llovía	0.296	0	224	112	112	0.01	3	900
P.P	Estiaje	0.321	0.06	90	65	25	0.01	3	3
	llovía	0.341	0.04	156	144	12	0.01	3	3

Cuadro 18. Resultados de metales pesados o elementos traza en los sitios de estudio.

Sitio de estudio	Temporal de muestreo	Pb	Fe	Cr	Zn	Cu	Ni	Cd
M-1	estiaje	0	0	0.008	0.007	0	0	0
	lluvias	0	0	0	0	0	0.014	0
M-2	estiaje	0.00	0.000	0.00	0.003	0.00	0.020	0.00
	lluvias	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.016	0.000
N-1	estiaje	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.015	0.00
	lluvias	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.024	0.000
N-2	estiaje	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.012	0.00
	lluvias	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.011	0.000
N-3	estiaje	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.009	0.00
	lluvias	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000
O-1	estiaje	0.00	0.022	0.00	0.00	0.00	0.014	0.00
	lluvias	0.00	0.070	0.00	0.00	0.00	0.015	0.000
O-2	estiaje	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00
	lluvias	0.00	0.066	0.00	0.018	0.00	0.007	0.000
O-3	estiaje	0.00	0.841	0.00	0.00	0.101	0.009	0.00
	lluvias	0.00	0.275	0.00	0.005	0.129	0.016	0.000
P.P	estiaje	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.010	0.00
	lluvias	0.00	0.006	0.00	0.000	0.00	0.001	0.000

Cuadro 19. Resultados de Iones mayoritarios en los sitios de estudio.

Sitio de estudio	temporal de muestreo	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
M-1	estiaje	3.909	3.862	34.3737426	55.9906155	0.16	57.84
	lluvias	0.141	2.598	28.4100707	63.0829783	1.06	76.94
M-2	estiaje	1.84	3.715	33.0085647	4.66166574	1.5	60.5
	lluvias	1.834	3.696	33.0804162	5.79613509	1.68	64.32
N-1	estiaje	4.593	3.889	34.9485543	3.74328579	1.68	64.32
	lluvias	6.132	3.909	41.7744439	4.6385133	1.68	58.32
N-2	estiaje	3.363	3.794	34.0144853	3.07958264	1.68	64.32
	lluvias	3.563	3.779	31.2841294	6.73766747	1.2	42.8
N-3	estiaje	4.239	3.833	35.810772	38.6417238	1.68	56.32
	lluvias	4.248	3.824	32.5056044	41.5049083	1.68	68.32
0-1	estiaje	0.822	3.385	16.0516181	9.67030932	0.02	166.98
	lluvias	2.165	3.275	15.8360637	10.2414027	0.34	67.66
0-2	estiaje	0.138	2.603	15.9797666	1.19651787	1.68	52.32
	lluvias	6.518	3.846	19.8597459	1.52836945	0.34	57.66
0-3	estiaje	12.356	3.901	14.2553314	6.17429154	0.34	61.66
	lluvias	7.843	3.483	13.8242226	5.96591961	0.54	73.46
P.P	estiaje	0.779	3.736	21.3686268	10.9359758	0.38	83.62
	lluvias	0.855	3.709	18.8538254	16.083534	0.48	83.52