

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERIA AMBIENTAL

INFORME TÉCNICO

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE POZOS DE LA
LOCALIDAD DE “NUEVA ESPERANZA” EN EL MUNICIPIO DE
VILLAFLORES, CHIAPAS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA:
RUBÉN ORLANDO GONZÁLEZ RAMOS

DIRECTOR:
MTRA. NELLY DE LOS ÁNGELES ROBLERO GALDÁMEZ

CODIRECTORES:
MTRO. JOSÉ LUIS ORANTES GÓMEZ
DR. RUBÉN VÁZQUEZ SÁNCHEZ

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, OCTUBRE 2025





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA GENERAL

DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES

DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 7 de octubre de 2025.

C. Rubén Orlando González Ramos

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

"Evaluación de la calidad del agua de pozos en la localidad Nueva Esperanza en el
municipio de Villaflores, Chiapas"

En la modalidad de: Informe Técnico

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Mtro. José Luis Orantes Gómez

Dr. Rubén Vázquez Sánchez

Mtra. Nelly de los Ángeles Roblero Galdámez

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a dios por darme la oportunidad de levantarme cada día, por la fortaleza, salud y sabiduría que me ha permitido llegar hasta este momento.

A mi coordinadora, la Mtra. Nelly de los Ángeles Roblero Galdámez y mis asesores, el Dr. Rubén Vázquez Sánchez y el Mtro. José Luis Orantes Gómez, por su orientación, apoyo y valiosos consejos, sin los cuáles este trabajo no habría sido posible.

A mis padres, quienes siempre han sido mi mayor ejemplo y mi principal motivación. Gracias por todo su esfuerzo, por creer en mí por hacer posible mi formación profesional. Extiendo también mi agradecimiento a toda mi familia, por su cariño incondicional y por estar siempre cuando los necesité.

A una persona muy especial que, a lo largo de la carrera, me acompañó, me motivo y nunca me dejó solo. Su apoyo y compañía fueron una parte importante en esta etapa.

Y finalmente, a la familia que encontré en la universidad, mis amigos. Gracias por las risas, los consejos, las desveladas y por hacer mi etapa de foráneo mucho más llevadera y llena de buenos recuerdos.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	8
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
3	JUSTIFICACIÓN	12
4	OBJETIVO GENERAL	12
5	ANTECEDENTES	13
6	MARCO TEORICO.....	16
6.1	EL AGUA Y SUS FUENTES	16
6.1.1	FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	17
6.2	AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU RELEVANCIA.....	18
6.2.1	AGUAS SUBTERRÁNEAS	18
6.2.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	19
6.2.3	IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	19
6.3	CALIDAD DEL AGUA	20
6.3.1	CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	20
6.3.2	INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA, CONAGUA)	21
6.3.3	PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA	21
6.4	PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA	21
6.4.1	PH.....	22
6.4.2	TURBIDEZ.....	22
6.4.3	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	22
6.5	PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA	22
6.5.1	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	22
6.5.2	NITRATOS Y NITRITOS.....	23
6.6	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA.....	23
6.6.1	COLIFORMES FECALIS	23
6.6.2	COLIFORMES TOTALES	23
6.7	CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	24
6.7.1	CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	24
6.7.2	CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR PLAGUICIDAS.....	24
6.7.3	CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR NITRATOS.....	25

6.7.4	CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS POR AGENTES BIOLÓGICOS	26
6.8	ASPECTOS IMPORTANTES EN LOS MUESTREOS DE AGUA.	26
7	MARCO NORMATIVO	28
7.1	NOM-127-SSA1-2021	28
7.2	NOM-230-SSA1-2002	28
7.3	NMX-AA-038-SCFI-2001	28
7.4	NMX-AA-034-SCFI-2015	28
7.5	NMX-AA-079-SCFI-2001	28
7.6	NMX-AA-099-SCFI-2021	29
7.7	NMX-AA-042-SCFI-2015	29
8	METODOLOGÍA.....	29
8.1	UBICACIÓN DEL SITIO	29
8.2	DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	31
8.2.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NOM-230-SSA1-2002.....	31
8.2.2	PROCESO DE DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	32
8.3	POZOS Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	33
8.4	TOMA DE MUESTRA.....	36
8.5	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.....	38
8.5.1	ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS	38
8.5.2	ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUÍMICOS	39
8.5.3	ANÁLISIS DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	39
8.6	COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS ESTANDARES EXPUESTOS EN LA NOM-127-SSA1-2021	40
9	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	42
9.1	COMPARACIÓN DE RESULTADOS POR PARÁMETRO SEGÚN LA NOM-127-SSA1-2021	43
9.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
9.2.1	Pozo 1 “Rancho La Historia”	49
9.2.2	Pozo 2 “Rancho Argentina”	50
9.2.3	Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	50
9.3	COMPARACIÓN CON LOS INDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) DE LA CONAGUA	51
10	CONCLUSIONES.....	55
11	RECOMENDACIONES	56

12	REFERENCIAS	57
----	-------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sémaforo de calidad de agua subterránea según CONAGUA	19
Tabla 2. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	31
Tabla 3. Distancia entre los puntos de muestreo	31
Tabla 4. Especificaciones sanitarias.....	38
Tabla 5. Indicadores de calidad del agua de la CONAGUA.....	39
Tabla 6. Resultados obtenidos en los muestreos en época de lluvia y estiaje	40
Tabla 7. Comparación de resultados del parámetro de pH entre la época de lluvia y estiaje	41
Tabla 8. Comparación de resultados del parámetro de turbiedad entre la época de lluvia y estiaje	41
Tabla 9. Comparación de resultados del parámetro de CV entre la época de lluvia y estiaje.....	42
Tabla 10. Comparación de resultados del parámetro de coliformes fecales o <i>E. coli</i> entre la época de lluvia y estiaje	43
Tabla 11. Comparación de resultados del parámetro de CE entre la época de lluvia y estiaje	43
Tabla 12. Comparación de resultados del parámetro de temperatura entre la época de lluvia y estiaje	44
Tabla 13. Comparación de resultados del parámetro de nitratos entre la época de lluvia y estiaje	45
Tabla 14. Comparación de resultados del parámetro de nitritos entre la época de lluvia y estiaje	45
Tabla 15. Comparación de resultados del parámetro de coliformes totales entre la época de lluvia y estiaje	46
Tabla 16. Comparación de resultados del pozo 1 con los ICA de la CONAGUA.	49
Tabla 17. Comparación de resultados del pozo 2 con los ICA de la CONAGUA.	51
Tabla 18. Comparación de resultados del pozo 3 con los ICA de la CONAGUA.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de agua dulce.....	15
Figura 2. Posibles vías de contaminación de plaguicidas en ecosistemas acuáticos y terrestres.....	23
Figura 3. Geografía del municipio de Villaflores, Chiapas	29
Figura 4. Ubicación de pozos muestreados.....	30
Figura 5. Pozo 1 Rancho la Historia.....	32
Figura 6. Pozo 2 Rancho Argentina	33
Figura 7. Pozo 3 Rancho Virgilio Culebro.....	34
Figura 8. Estabilización de muestra	34
Figura 9. Toma de muestra para análisis microbiológico	35
Figura 10. Triple lavado para los parámetros físicos y químicos.....	35
Figura 11. Medición <i>In situ</i> de parámetros físicos.....	36
Figura 12. Medición de turbiedad y color verdadero	37
Figura 13. Medición de nitratos, nitritos y SDT	37
Figura 14. Medición de coliformes fecales y totales	38

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Comparación de resultados del parámetro de pH entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021.....	41
Gráfica 2. Comparación de resultados del parámetro de turbiedad entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021	41
Gráfica 3. Comparación de resultados del parámetro de CV entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021.....	42
Gráfica 4. Comparación de resultados del parámetro de coliformes fecales o E. coli entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021	43
Gráfica 5. Comparación de resultados del parámetro de CE entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021.....	43
Gráfica 6. Comparación de resultados del parámetro de temperatura entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021	44
Gráfica 7. Comparación de resultados del parámetro de nitratos entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021	45
Gráfica 7. Comparación de resultados del parámetro de nitritos entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021.....	45

1 INTRODUCCIÓN

La calidad del agua subterránea es un tema preocupante a nivel global, debido a que son estas las que abastecen de agua potable a gran parte de las regiones del mundo. Según la UNESCO (2022) “Casi el 50 % de la población urbana del mundo depende de fuentes de aguas subterráneas”. El acceso a agua potable de calidad es un derecho fundamental y una condición indispensable para la salud pública. En muchas comunidades rurales de México, como la localidad de Nueva Esperanza en el municipio de Villaflores, Chiapas, el abastecimiento de agua proviene principalmente de pozos, cuya calidad puede verse afectada por diversos factores naturales y antropogénicos. La evaluación de las características físico-químicas y microbiológicas del agua es esencial para garantizar su aptitud para el consumo humano. Existen normas mexicanas que establecen los límites permisibles de contaminantes en el agua destinada al consumo humano, así como los lineamientos para la toma de muestras y el control de calidad en los laboratorios.

La evaluación permitirá determinar si el agua cumple con los requisitos sanitarios vigentes y, en caso contrario, identificar los parámetros que requieren atención para garantizar la salud de la población. Este estudio se enmarca en la necesidad de conocer el estado actual del agua que abastece a dicha comunidad, considerando los parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana **NOM-127-SSA1-2021**, que regula la calidad del agua potable, y la **NOM-230-SSA1-2002**, que establece los requisitos para laboratorios de prueba. A través del análisis de muestras de tres pozos representativos, se busca identificar posibles riesgos sanitarios y proponer medidas correctivas o preventivas.

El estudio se llevó a cabo mediante dos campañas de muestreo en distintas épocas del año, (lluvia y estiaje) utilizando la **NOM-230-SSA1-2002**, esta nos ofrece los criterios a tomar en cuenta para poder determinar los puntos de muestreo, como lo es la accesibilidad, zonas en riesgo y el uso que se le da al agua, además, nos proporciona el procedimiento correcto para realizar la toma de muestra, para posteriormente analizarlas en laboratorio utilizando las Normas Técnicas Mexicanas. Se evaluaron parámetros como pH, turbiedad, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, nitratos, nitritos y presencia de coliformes fecales y totales.

Este diagnóstico pone en evidencia la necesidad de implementar medidas correctivas y de monitoreo continuo para asegurar la calidad del recurso hídrico y proteger la salud de la población. Además, destaca la importancia de crear conciencia sobre el uso responsable del agua subterránea, especialmente en contextos rurales con alta actividad agrícola.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad del agua subterránea es un tema preocupante a nivel global, debido a que son estas las que abastecen de agua potable a gran parte de las regiones del mundo. Según la UNESCO (2022) “Casi el 50 % de la población urbana del mundo depende de fuentes de aguas subterráneas”. Sin embargo, el aumento de la contaminación por actividades agrícolas industriales y urbanas ha llevado a la degradación de un gran número de fuentes de agua subterránea. Comúnmente, el agua es contaminada con nitratos, metales pesados, pesticidas productos comúnmente utilizados en regiones urbanas o intensamente cultivadas, afectando a la salud pública y al ecosistema.

En México, una gran parte de la población depende de aguas subterráneas especialmente en zonas rurales donde el acceso a aguas superficiales limpias es muy limitado. Según estudios realizados por el IMTA (2019) el 38.7% del agua que se utiliza en México provienen de fuentes subterráneas, de ahí la importancia de impulsar más estudios que evalúen la calidad del agua subterránea.

Como es sabido, en las diferentes fuentes de abastecimiento de agua, el impacto hacia su calidad ha sido mayor en los últimos años, un ejemplo de ello es el estudio reportado por Novelo et al. (2015), en el cual se reporta que el 83.1% de los pozos muestreados en Yucatán, mostraron una contaminación microbiológica alta sobrepasando los límites máximos permisibles señalados por la NOM-127-SSA1-1994, donde además el 34% de los pozos muestreados de acuerdo a los autores pueden estar asociadas a restos fecales de origen animal, como resultado de la ganadería y el 50% proviene de restos fecales humanos.

En el contexto estatal, Chiapas al ser un estado rico en recursos naturales, no es ajeno a estos grandes desafíos respecto a la calidad del agua subterránea. Aunque en algunas zonas rurales pueda parecer inofensivas en temas de contaminación por la baja industrialización, temas como la expansión de la agricultura, el uso de pesticidas y fertilizantes y así como la falta de infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales han contribuido a la contaminación del agua subterránea. Por lo antes expuesto, en el presente estudio, se ve la necesidad de realizar un estudio que evalúe la calidad del agua de los pozos en la localidad de “Nueva Esperanza”, en el municipio de Villaflores, Chiapas, por alta actividad agrícola que se llevan a cabo a los alrededores y la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales, hacen a la localidad vulnerable a la

contaminación de aguas subterráneas que son una de las mayores fuentes de abastecimiento en dicha localidad.

3 JUSTIFICACIÓN

En localidades como “Nueva esperanza” en el municipio de Villaflores, la creciente preocupación por la disminución de la calidad del agua se da por la contaminación de las aguas subterráneas, por factores como la actividad agrícola intensiva, el uso de agroquímicos y otras cuestiones que ocurren a sus alrededores. De ahí, la importancia de realizar un estudio en dicha localidad, debido a la dependencia directa de esta comunidad a esta fuente de agua para su consumo diario, tanto en actividades domésticas como agrícolas, resaltan la necesidad de monitorear y asegurar que la calidad del agua cumpla con los estándares de calidad descritos en la NOM-127-SSA1-2021, para uso doméstico y consumo humano.

La relevancia de esta investigación también radica en su contribución al bienestar de la población local, al proporcionar información técnica que puede ser utilizada por autoridades, instituciones de salud y organismos comunitarios para mejorar la gestión del recurso hídrico. Además, el estudio aporta evidencia científica que puede ser replicada en otras localidades con condiciones similares.

4 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la calidad físico-química y microbiológica del agua de 3 pozos de la localidad “Nueva Esperanza”, municipio de Villaflores, Chiapas, según la NOM-127-SSA1-2021.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del agua de los pozos.
- Analizar los parámetros físicos (pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, OD), químicos (nitratos, nitritos, SDT) y microbiológicos (coliformes termotolerantes, coliformes totales), según la normatividad oficial vigente.
- Comparar los resultados con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-2021 para el uso doméstico del agua de pozo y los ICA de la CONAGUA para agua subterránea.
- Elaborar recomendaciones estratégicas para la concientización y educación de la localidad sobre la importancia del recurso hídrico.

5 ANTECEDENTES

El agua subterránea por años ha sido una de las mayores fuentes de abastecimiento de agua, sin embargo, el deterioro de la calidad del agua subterránea es una problemática creciente a nivel mundial, esto debido a diferentes factores como la ganadería intensiva, la agricultura, etc. Es por ello que a través de los años se han realizado estudios para evaluar la calidad de estas fuentes de abastecimiento, a continuación, se presentan algunos estudios realizados para determinar la calidad del agua subterránea.

En el contexto internacional, un trabajo de Fuentes-Schweizer et al. Realizado en el año 2023 en una comunidad en Costa Rica, recolectaron muestras de 6 pozos en 2 épocas distintas del año (temporada de lluvia y estiaje) con la finalidad de determinar las características físicas como color aparente, pH, temperatura, turbiedad etc., parámetros químicos como lo son metales pesados y nutrientes, además de parámetros microbiológicos como los coliformes fecales. Llegando a la conclusión de que el agua de pozo que se usa como principal fuente de abastecimiento en la comunidad requiere un tratamiento previo, además se hace énfasis en la vulnerabilidad de los pozos por el mantenimiento inadecuado y la alta actividad agrícola.

Otro estudio internacional realizado por Crespo-Lambert et al. (2022) donde tenían como objetivo evaluar la calidad del agua para consumo humano del poblado Yamanigüey en Cuba, se determinaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos en 10 pozos alrededor de la comunidad, obtuvieron como resultado que más del 50% de los pozos muestreados se encontraban contaminados con restos fecales, esto debido a la existencia de letrinas y a la ganadería, además 2 de los pozos muestreados se encontraron restos de plástico y madera, esto debido a las malas condiciones en las que se encuentran.

Otro estudio realizado por León-Duharte et al. (2022) elaboraron 5 muestreos en temporada de seca en un pozo de abastecimiento de una localidad en Santiago de Cuba, donde determinaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua obteniendo como resultado que el agua del pozo no es apta para consumo humano ya que muchos de los parámetros se encontraban fuera de los límites máximos permisibles, debido a la actividad antropogénica.

En el territorio mexicano, de igual manera se han elaborado estudios para determinar la calidad de agua de los pozos. Un trabajo realizado en Zacoalco de Torres y Autlán de Navarro, en el estado de Jalisco realizado por Mancilla-Villa et al. (2021), se dieron a la tarea de evaluar la calidad

fisicoquímica de pozos y norias de un valle agrícola, concluyendo resultados negativos en cuanto a CE y sólidos totales disueltos, ya que, la mayoría de las aguas subterráneas en ambos municipios en las dos temporadas muestreadas, presentaron una salinidad alta, por lo que existe un riesgo alto de salinización de suelos, así como la restricción al establecimiento de cultivos sensibles.

Por otro lado, un análisis realizado por Sánchez et al. (2016) en el acuífero sur del estado de Quintana Roo, en el cual, determinaron parámetros físico-químicos tales como, pH, temperatura, sólidos totales disueltos, dureza total, sodio, sulfatos, cloruros y nitratos, con el propósito de identificar las zonas con mejor calidad del agua, obteniendo como resultado que algunos parámetros como los sólidos totales disueltos, la dureza total, el sodio, los cloruros y los nitratos, rebasaban los límites máximos permisibles establecidos por la **NOM-127-SSA1-1994**, debido a factores como a la propia geología del lugar; procesos, como la disolución de minerales de rocas carbonatadas, dolomías y evaporitas; mezcla de agua dulce-marina y una posible contaminación antropogénica.

De igual manera un estudio publicado por Novelo et al. (2015) donde se tenía como objetivo determinar la calidad microbiológica de los pozos de abastecimiento en Yucatán, se reporta que el 83.1% de los pozos muestreados, mostraron una contaminación microbiológica alta sobrepasando los límites máximos permisibles señalados por la NOM-127-SSA1-1994, donde además el 34% de los pozos muestreados de acuerdo a los autores pueden estar asociando a restos fecales de origen animal, como resultado de la ganadería y el 50% proviene de restos fecales humanos.

En el estado de Chiapas, también se han llevado a cabo estudios para la evaluación de calidad de agua de pozos, uno de ellos es el reportado por Vásquez Galo (2019) en el municipio de Oteapan, Veracruz, donde se dio a la tarea de evaluar la calidad del agua de los pozos de abastecimiento de dicho municipio, analizando parámetros físicos (pH, Conductividad, Temperatura, Turbiedad, OD), químicos (nitratos, nitritos, sulfatos) y microbiológicos (coliformes termotolerantes), obteniendo como resultado que los tres pozos muestreados se encontraban contaminados por agentes microbiológicos, recalando que esto puede deberse por las actividades humanas o por la falta de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales.

Otro estudio es el reportado por Cortez et al. (2019) donde se dieron a la tarea de determinar los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de 29 pozos en 6 comunidades rurales del área

natural protegida “La Encrucijada”, donde el agua de pozo es la mayor fuente de abastecimiento, obteniendo como resultado que 18 de los pozos evaluados rebasaban los límites máximos permisibles para nitratos y 27 de ellos mostraron presencia de coliformes fecales.

Por lo antes expuesto, este estudio tiene como objetivo determinar la calidad físico-química y microbiológica del agua de los pozos en la localidad “Nueva Esperanza” en el municipio de Villaflores, Chiapas, esto nos proporcionara información sobre posibles fuentes de contaminación, así como medidas de tratamiento si fuesen necesarias, además de concientizar a la población sobre la importancia del correcto manejo del recurso hídrico.

6 MARCO TEORICO

La calidad del agua es un factor clave para la salud pública, especialmente en localidades donde dependan de las aguas subterráneas para el uso cotidiano. En la localidad de “Nueva Esperanza” no se cuentan con registros de estudios realizados evaluando la calidad del agua de los pozos, es por ello que este estudio tiene como objetivo realizar una evaluación de la calidad físico-química y microbiología del agua de los pozos de dicha localidad. Para comprender a fondo esta problemática es necesario explorar los temas que se presentan a continuación:

6.1 EL AGUA Y SUS FUENTES

El agua es un elemento esencial para la vida y el equilibrio en el planeta tierra. Representa el 71% de la superficie en el planeta y se distribuye entre ríos, lagos, océanos, aguas subterráneas y en la atmosfera, esta sustancia es fundamental para todos los ecosistemas ya que interviene en los procesos biológicos, físicos y químicos. Además de ser esencial para los seres vivos, el agua juega un papel vital en la regulación del clima, al ayudar a moderar las temperaturas y mantener el ciclo hidrológico (Maceira, 2024).

El agua se encuentra en constante movimiento en la naturaleza pasando por diferentes estados y almacenamientos, por esto es importante entender el ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es impulsado por la energía solar. El sol calienta la superficie del océano y otros cuerpos de agua, lo que evapora el agua líquida y el hielo, convirtiéndolo directamente de sólido a gas. Estos procesos impulsados por el sol mueven el agua hacia la atmósfera en forma de vapor de agua. Después, el vapor de agua en la atmósfera se condensa en nubes y finalmente cae como precipitación, en forma de lluvia o nieve. Cuando la precipitación llega a la superficie del planeta, puede evaporarse de nuevo, fluir sobre la superficie o percolarse, filtrarse, en el suelo. Por lo general, el agua se mueve sobre la superficie de la tierra como escurrimiento solo cuando el suelo está saturado con agua, cuando la lluvia es muy fuerte o cuando la superficie no puede absorber mucha agua. El agua en los niveles superiores del suelo puede ser absorbida por las raíces de las plantas. Estas usan una parte del agua para su propio metabolismo y el agua que se encuentra en sus tejidos puede pasar al cuerpo de los animales cuando estos se comen a las plantas. Sin embargo, la mayor parte del agua que entra en el cuerpo de una planta se pierde hacia la atmósfera mediante un proceso llamado transpiración. En la transpiración, el agua entra

a través de las raíces, viaja hacia arriba por tubos vasculares formados por células muertas y se evapora a través de poros llamados estomas, que se encuentran en las hojas.

Si el agua no es absorbida por las raíces de las plantas, puede percolarse hacia el subsuelo y el lecho de roca, convirtiéndose en agua subterránea (Rintoul, Et al, 2022).

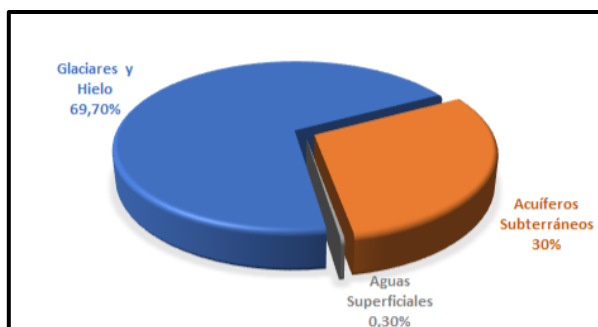


Figura 1: Porcentaje de agua dulce, SEMARNAT 2012.

Según datos ofrecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2012). Solo el 2.5% del agua del planeta es agua dulce de las cuales el 68.7% se encuentra en los glaciares, el 30% es agua subterránea y el porcentaje restante lo constituyen las aguas, superficiales, el agua suspendida en la atmosfera y el permafrost. Por

tanto, el agua subterránea representa el 96% del agua dulce disponible en el planeta.

6.1.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Si bien el agua es importante para la vida y el desarrollo de los ecosistemas, su distribución no es homogénea. Una fuente de agua, es el desvío de dicho elemento de su ciclo natural para ser utilizada por el hombre. Las fuentes de abastecimiento de agua se clasifican en dos sectores: las aguas superficiales, son aquellas que corren por cauces o se mantienen en embalses sobre la superficie del planeta. En un territorio particular, el agua superficial proviene fundamentalmente de la precipitación, aunque en algunos casos se le suma la de ríos que viajan desde otras regiones (SEMARNAT,2018). Y las aguas subterráneas, son todas las aguas de lluvia que caen sobre una tierra que puede ser penetrada por algún líquido, que luego descienden lentamente, bajo la acción de la gravedad, hasta encontrar un terreno o asiento impermeable. La acumulación de este recurso conforma una capa de agua debajo de la superficie del terreno (IMTA, 2019).

Los abastecimientos de agua subterráneos son de los más utilizados en el planeta debido a diferentes factores como el menor requerimiento en su tratamiento, puesto que la mayor parte de sus impurezas suelen ser removidas de forma natural al pasar por las diferentes capas del suelo. Según datos ofrecidos por UNESCO (2022) casi el 50% de la población a nivel mundial depende directamente de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento, mientras que

en México el IMTA (2019) reporta que el 38.7% del agua que abastece a la población proviene del subsuelo.

6.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU RELEVANCIA

Cuando la lluvia cae al suelo, parte de ella fluye por la superficie a través corrientes, ríos y lagos, y algo de ella humedece la tierra. Parte de esta agua es utilizada por la vegetación; otra parte se evapora y vuelve a la atmósfera. Pero otra parte de esta agua se infiltra en el suelo, fluye a través de la zona no saturada y alcanza el nivel freático, el cual consiste en una superficie imaginaria debajo del terreno que separa la zona insaturada de la saturada (UNESCO, s.f.)

6.2.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS

El agua subterránea se encuentra contenida en un área llamada acuífero. Según Ordoñez (2011) un acuífero es un volumen subterráneo de roca y arena que contiene agua. El agua subterránea que se halla almacenada en los acuíferos es una parte importante del ciclo hidrológico y se puede clasificar de la siguiente manera:

- ❖ Acuíferos libres. Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros.
- ❖ Acuíferos confinados. Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos.
- ❖ Acuíferos semiconfinados. Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua.

Las aguas subterráneas, dependiendo de su ubicación y características geológicas, pueden emerger naturalmente a la superficie a través de manantiales o ser extraídas mediante técnicas de perforación como lo son los pozos. Un pozo es un hoyo profundo, orificio, túnel vertical o perforación que se realiza en la tierra. Dichas perforaciones se llevan a cabo, por lo general, con algún fin específico, como hallar agua subterránea o petróleo (Pérez, 2023).

6.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En cuanto a sus propiedades físicas, el agua subterránea tiene una temperatura más constante que el agua superficial, a menudo cercana a la temperatura promedio del suelo de la zona. Generalmente, es incolora, aunque puede presentar coloraciones dependiendo de la presencia de minerales y sedimentos (Davis & DeWiest, 1966).

Desde una perspectiva química, la composición del agua subterránea varía según la geología del área, y puede contener minerales como calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfatos y bicarbonatos. Esta composición tiende a hacer que el agua subterránea sea más dura que la superficial, debido a la disolución de minerales, al pasar a través del suelo hasta llegar a los acuíferos (Rodríguez, 2011).

Las propiedades hidrogeológicas del agua subterránea incluyen la porosidad, que se refiere a la capacidad de los materiales geológicos para almacenar agua. Los materiales con alta porosidad, como arenas y gravas, permiten una mayor acumulación de agua. Además, la permeabilidad, que es la capacidad del suelo o la roca para permitir el paso del agua, afecta la velocidad a la que el agua puede moverse a través de los acuíferos (Zektser & Loaiciga, 1993).

En cuanto al movimiento del agua subterránea, este suele ser lento, desplazándose a través de los acuíferos, lo que puede resultar en un tiempo de residencia prolongado, a veces de años o incluso siglos. Generalmente, el agua se desplaza desde áreas de recarga, donde el agua entra al acuífero, hacia áreas de descarga, como manantiales o pozos (UNESCO, s.f.)

Es importante mencionar que el agua subterránea también puede ser vulnerable a la contaminación debido a actividades humanas, como el uso de agroquímicos, residuos industriales, etc.

6.2.3 IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

El agua subterránea juega un rol muy importante para el medio ambiente, manteniendo el flujo y nivel de agua en ríos, lagos y humedales. Especialmente en los meses secos cuando se registran pocas lluvias, el agua subterránea mantiene el flujo en el fondo de estos cuerpos de agua, el cual es esencial para los animales y plantas que viven en estas áreas. El agua subterránea también es muy importante para mantener la navegación en aguas superficiales terrestres en la época seca: la descarga de agua subterránea en los ríos ayuda a mantener los niveles de agua más altos.

Por otro lado, las aguas subterráneas juegan un rol importantísimo en la agricultura y la industria ya que según datos ofrecidos por Siebert et al., (2010) el 43% del agua usada en la agricultura para el riego de cultivos proviene de los mantos acuíferos, mientras que el 26% del agua extraída del subsuelo se destina a la industria. Además de ser una de las mayores fuentes de abastecimiento a nivel mundial y nacional, es por esto la creciente preocupación por la disminución de su calidad.

6.3 CALIDAD DEL AGUA

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) define la calidad del agua en términos de su capacidad para ser consumida de manera segura y cumplir con los usos asignados. Para la OMS, la calidad del agua implica que el agua debe estar libre de contaminantes físicos, químicos y biológicos que puedan representar riesgos para la salud humana. Además, la OMS establece recomendaciones sobre los niveles aceptables de diferentes contaminantes en el agua potable, proporcionando un marco de referencia para proteger la salud pública.

Por otro lado, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2021) define la calidad del agua como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que el agua debe cumplir para ser adecuada para su uso específico, como el consumo humano, agrícola, recreativo o industrial. Para la CONAGUA, la calidad del agua se evalúa a través de parámetros que determinan su grado de pureza y su aptitud para diferentes fines, en conformidad con las normas oficiales mexicanas.

6.3.1 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El monitoreo y análisis de la calidad del agua subterránea requieren criterios específicos debido a factores como la geología del suelo y la posible infiltración de contaminantes. A diferencia de los cuerpos de agua superficiales, el agua subterránea está menos expuesta, pero también puede ser vulnerable a contaminantes que se filtran desde la superficie, como nitratos, pesticidas y agentes biológicos.

CONAGUA ha desarrollado indicadores específicos para evaluar la calidad del agua subterránea, los cuales permiten identificar la presencia de contaminantes y evaluar si el agua es apta para distintos usos.

6.3.2 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA, CONAGUA)

Los Indicadores de calidad del agua son una herramienta cuantitativa que utiliza la Gerencia de Calidad de Agua de la Conagua para determinar cómo se encuentra la calidad del agua en diversos sitios de los cuerpos de agua nacionales, clasificados como lóticos, lénticos, costeros o subterráneos (CONAGUA, 2024).

Tabla 1. Semáforo de calidad de agua subterránea según CONAGUA

Parámetro	Indicador
Coliformes fecales (UFC/100mL)	Rojo
Nitratos (mg/L)	Rojo
Color verdadero (uC)	Amarillo
pH	Amarillo
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Amarillo
Turbidez (NTU)	Amarillo
En caso de cumplir con todos los parámetros	Verde

6.3.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Para evaluar la calidad del agua la **NOM-127-SSA1-2021** nos proporciona ciertos parámetros. Estos parámetros ayudan a determinar la concentración de contaminantes en el agua y a compararlos con los límites establecidos por dicha norma, permitiendo así conocer si el agua cumple con los estándares de calidad para un uso específico.

6.4 PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA

Estos parámetros se refieren a las características físicas del agua y pueden influir en su apariencia, sabor y olor, además de ser indicadores de contaminación

6.4.1 PH

Potencial de hidrógeno, el pH es una medida que indica la concentración de iones de hidrógeno en el agua, El pH se mide en una escala logarítmica que va de 0 a 14, donde 7 es el valor neutro, es decir, la sustancia o solución no es ácida ni alcalina. Los valores del pH disminuyen a medida que aumenta la concentración de iones de hidrógeno. El pH es un importante parámetro operativo de la calidad del agua (Pérez-López, 2016)

6.4.2 TURBIDEZ

La turbidez se define como la medida de la claridad del agua, y está relacionada con el efecto que produce el material suspendido, el cual disminuye el paso de la luz a través del agua. Los materiales suspendidos, causantes de la turbidez en el agua, incluyen partículas de suelo (arcilla, limo y arena), algas, plancton, microbios y otras sustancias. La turbidez es un parámetro fundamental como indicador de la calidad del agua potable, debido a que cuando se presentan elevados niveles de turbidez, los microorganismos presentes pueden protegerse de los efectos de la desinfección, lo que puede estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro utilizado (Velásquez & Tocuyo, 2020).

6.4.3 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica (CE) del agua es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades la CE se expresa como siemens por metro (S/m), pero por simplicidad se utiliza $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una temperatura de 25°C. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varía en conformidad con la temperatura del agua (Solís-Castro et al., 2018).

6.5 PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA

Los parámetros químicos se enfocan en la composición química del agua, incluyendo los compuestos y elementos presentes.

6.5.1 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Representan todos los contaminantes presentes en el agua, a excepción de los gases disueltos, contribuyen a la “carga de sólidos”. Los sólidos pueden ser orgánicos y/o inorgánicos,

provenientes de diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales (Chibinda et al., 2017).

6.5.2 NITRATOS Y NITRITOS

Estos son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO_2^-) generalmente se convierte en nitrato fácilmente (NO_3^-), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. El nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas. Por esta razón su uso predominante es como fertilizante y se produce en grandes cantidades industrialmente. Si bien es cierto, estos compuestos forman parte del ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas incrementan sus niveles principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua, por lo que llega a alcanzar concentraciones importantes en ríos o lechos profundos (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

6.6 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA

Estos parámetros analizan la presencia de microorganismos en el agua, especialmente aquellos que podrían causar enfermedades en humanos y animales. Los parámetros microbiológicos a determinar son los siguientes

6.6.1 COLIFORMES FECALES

Los coliformes fecales son contaminantes comunes tanto del hombre como de los animales de sangre caliente; están presentes en el tracto intestinal en grandes proporciones, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección. Un tipo de bacteria coliforme llamada *Escherichia coli* (*E. coli*) es una señal de que hay desechos fecales en el agua. (Fuccz-Gamboa et al., 2007).

6.6.2 COLIFORMES TOTALES

Los coliformes totales se definen como bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan lactosa a temperatura de 35 a 37 °C y producen ácido y gas (CO_2) en 24 h, son aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática β -galactosidasa. Entre ellas se encuentran *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. (Murrell, Rojas, Romeu, Rojas, & Heydrich, 2013)

6.7 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Aceptamos la idea de que un contaminante del agua es cualquier sustancia o compuesto que, al exceder ciertos niveles, dificulta o impide que el agua se use de manera beneficiosa. Por tanto, se define entonces la contaminación del agua como la “introducción por el hombre en el ambiente acuático (mares, ríos y lagos) de elementos abióticos o bióticos que causen efectos dañinos o tóxicos, perjudiquen los recursos vivos, constituyan un peligro para la salud humana, obstaculicen las actividades marítimas (incluida la pesca), menoscaben la calidad del agua o disminuyan los valores estéticos y de recreación” (FAO, 1999).

Otra definición de contaminante del agua nos lo ofrece la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA, 1998) que define la contaminación del agua como la presencia en el agua de materiales o formas de energía que alteran su calidad natural, afectando su disponibilidad para el consumo humano, el equilibrio ecológico, y otros usos.

6.7.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Aunque las aguas subterráneas se encuentran bajo la superficie, protegidas por capas de suelo y roca, no son ajenas a temas de contaminación. Ciertos compuestos pueden filtrarse en el suelo y llegar a los acuíferos afectando significativamente su calidad y disponibilidad para el uso humano. Es importante conocer los contaminantes específicos de las aguas subterráneas, ya que su presencia, representa un riesgo para la salud humana y los ecosistemas que dependen de ellas. Para comprender mejor los riesgos, es útil clasificar estos contaminantes según su origen. Entre los principales grupos se encuentran los derivados de actividades agrícolas, industriales y los patógenos que provienen de fuentes orgánicas.

Los siguientes son algunos de los contaminantes más comunes y relevantes en las aguas subterráneas, cada uno con su propio impacto y fuentes específicas como fertilizantes, productos químicos y contaminantes biológicos

6.7.2 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR PLAGUICIDAS

La continua necesidad de producir más alimentos para una población que presenta un rápido crecimiento ha hecho que estos compuestos químicos, en su mayoría sintéticos, tengan un papel fundamental para garantizar la protección y la calidad de los diferentes cultivos (FAO, 1993)

La actividad agrícola se encuentra dentro de aquellas actividades que influyen en el deterioro de la calidad de las aguas. Los campos de cultivos generalmente están asociados a llanuras costeras y valles cruzados por ríos, por diferentes vías. A estos ríos y zonas costeras llegan los residuos de los plaguicidas empleados en la protección de esos cultivos (Arrazcaeta, 2002).

Un estudio realizado por Madrigal (2015) se reportó la presencia de plaguicidas organoclorados en 10 muestras de agua de pozos en el valle de Autlán, Jalisco.

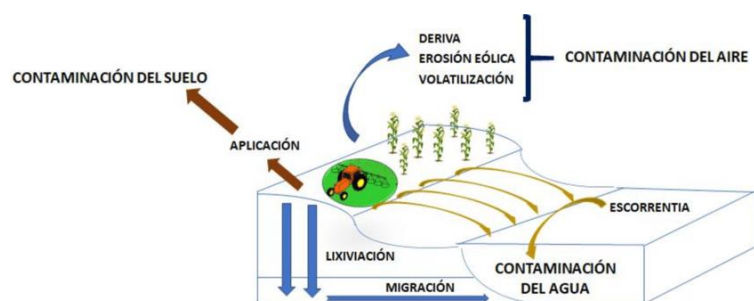


Figura 2. Posibles vías de contaminación de plaguicidas en ecosistemas acuáticos y terrestres, Luciana Regalado, 2021.

El ambiente acuático es altamente complejo y diverso. Incluye distintos tipos de ecosistemas, corrientes de agua, lagos, ríos, estuarios, costas marinas y las aguas profundas de los océanos. Todos ellos tienen diferentes componentes bióticos y abióticos con características únicas

(Arrazcaeta, 2002). Los plaguicidas pueden llegar a estos ecosistemas por diferentes vías, algunas de las cuales se muestran en la figura 2.

Ellos se desplazan por la superficie terrestre o penetran en el suelo, arrastrados por el agua y el viento. Estos contaminantes consiguen abrirse paso hasta las aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos, lagos y finalmente hasta los océanos en forma de sedimentos y cargas químicas transportadas por los ríos.

6.7.3 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR NITRATOS.

Los nitratos se encuentran naturalmente en muchos ecosistemas acuáticos en moderada cantidad. En el agua subterránea pueden relacionarse con actividades volcánicas y procesos de consolidación de sedimentos. Sin embargo, determinadas actividades antrópicas, principalmente asociadas a la agricultura y excretas animales, contribuyen a que sus niveles se eleven considerablemente. (Palma et al., 2014)

La infiltración de nitratos al agua subterránea es un proceso complejo que depende de muchos factores como el uso y características del suelo, carga de nitrógeno presente en el mismo, zonas de recarga de agua subterránea y la profundidad del nivel freático (Palma et al., 2014).

Un estudio realizado por Cortez et al. (2019) reporta que más de la mitad de los pozos muestreados, rebasaban los límites máximos permisibles en cuanto a nitratos.

6.7.4 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS POR AGENTES BIOLÓGICOS

La contaminación microbiana y química del agua potable origina efectos adversos a la salud, como cólera, diarrea y fiebre tifoidea, en un número significativo de individuos durante periodos prolongados de tiempo causando incapacidad en los afectados causando pérdidas económicas considerables, lo anterior se debe al crecimiento demográfico, desarrollo industrial y urbanización (De Jesús et al., 2013).

El agua natural puede contener una gran variedad de microorganismos patógenos, bacterias, virus y protozoos. El principal origen de estos microorganismos patógenos son las heces humanas y de otros mamíferos de sangre caliente. Estos microorganismos fecales se introducen en los ambientes de agua dulce, principalmente mediante la liberación de efluentes de aguas residuales, las aguas superficiales de escorrentía y la lixiviación de suelos (De Jesús et al., 2013).

Se han realizado diversos estudios para determinar la presencia de estos contaminantes en cuerpos de agua subterráneos, uno de ellos es el publicado por Novelo et al. (2015) donde se reporta que un 83.1% de los pozos muestreados en Yucatán presentaron contaminación microbiológica, debido a actividades humanas.

6.8 ASPECTOS IMPORTANTES EN LOS MUESTREOS DE AGUA.

Las muestras de agua son esenciales para evaluar la calidad de este recurso y determinar su idoneidad para diferentes usos, como el consumo humano, la agricultura o el control ambiental. Un adecuado proceso de muestreo permite obtener resultados representativos y confiables, lo cual depende de varios factores clave (CONAGUA, 2018).

- ❖ **Objetivo del muestreo:** Antes de iniciar el muestreo, es fundamental definir claramente su propósito, lo cual permite seleccionar los parámetros y procedimientos específicos que mejor se adecuen a la meta del estudio (CNA, 2002). Por ejemplo, un muestreo orientado a identificar contaminantes industriales medirá diferentes parámetros que uno destinado a evaluar la potabilidad del agua.

- ❖ Selección de sitios de muestreo: La elección de sitios representativos asegura que los resultados reflejen de manera adecuada las condiciones del cuerpo de agua. En el caso de cuerpos de agua superficiales, los sitios deben abarcar diferentes puntos de interés, y para el agua subterránea, los pozos deben representar correctamente el acuífero (INEGI, 2020). Factores como la proximidad a fuentes de contaminación o la variabilidad geológica del suelo son determinantes en esta etapa.
- ❖ Frecuencia y temporalidad del muestreo: La frecuencia del muestreo depende de la variabilidad natural del agua. En cuerpos de agua estacionales, es crucial realizar muestras en distintas épocas del año para capturar variaciones (CONAGUA, 2018).
- ❖ Profundidad del muestreo: En cuerpos de agua superficiales, la calidad puede variar en función de la profundidad. En el agua subterránea, la profundidad de extracción debe ser representativa del acuífero en cuestión, evitando posibles sesgos por contaminaciones superficiales (Sánchez et al., 2017).
- ❖ Técnicas de muestreo: Para evitar la contaminación de las muestras, es necesario emplear técnicas que minimicen la manipulación directa del agua y utilicen recipientes limpios o estériles (CNA, 2002). Algunos parámetros como la temperatura y el oxígeno disuelto deben medirse in situ para garantizar resultados precisos.
- ❖ Preservación y transporte de muestras: Las muestras deben preservarse adecuadamente para mantener su composición química y microbiológica original. Esto puede incluir el uso de conservantes y el transporte en condiciones refrigeradas para prevenir alteraciones (Sánchez et al., 2017).
- ❖ Parámetros a analizar: La selección de los parámetros a analizar depende del objetivo del muestreo y puede incluir análisis de pH, conductividad, metales pesados, entre otros. Esto permite adaptar el muestreo a las necesidades específicas de la investigación o el monitoreo (INEGI, 2020).
- ❖ Normatividad y protocolos: Es esencial cumplir con las regulaciones y metodologías establecidas por las normas ambientales y de salud para garantizar resultados válidos y confiables. En México, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) regulan estos procesos (CONAGUA, 2018).

Estos aspectos aseguran que el muestreo refleja con precisión la calidad del agua en el sitio y momento específico, permitiendo una gestión adecuada de los recursos hídricos (CONAGUA, 2018).

7 MARCO NORMATIVO

Para llevar a cabo la evaluación de la calidad del agua de pozo en la localidad “Nueva Esperanza” en el municipio de Villaflores, Chiapas, es importante seguir un conjunto de normas y técnicas que aseguren la validez de los resultados y el cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales. Estas regulaciones establecen los parámetros que deben analizarse y los métodos aceptados para medir la calidad del agua.

7.1 NOM-127-SSA1-2021

Esta norma establece los límites máximos permisibles de calidad de agua que debe cumplir el agua para uso y consumo humano.

7.2 NOM-230-SSA1-2002

Esta norma nos proporciona los requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, además, de los procedimientos sanitarios para el muestreo.

7.3 NMX-AA-038-SCFI-2001

Esta norma mexicana establece el procedimiento para la determinación en campo y en el laboratorio de la turbiedad en muestras de agua residual, residual tratada y natural, en un intervalo de trabajo de 0,01 a 40 UNT.

7.4 NMX-AA-034-SCFI-2015

Esta norma mexicana establece el método para la medición de sólidos y sales disueltas y aplica para aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Es de aplicación nacional.

7.5 NMX-AA-079-SCFI-2001

Esta norma mexicana establece dos métodos de prueba para la determinación de nitratos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

7.6 NMX-AA-099-SCFI-2021

Esta Norma Mexicana especifica un método de prueba espectrofotométrico para la determinación de nitrógeno de nitritos. Aplica para aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas en un intervalo de 0,01 mg/L a 0,2 mg/L de N-NO₂⁻. Es de aplicación nacional.

7.7 NMX-AA-042-SCFI-2015

La presente norma mexicana especifica el método enumeración en agua de organismos coliformes, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* (*E. coli*) mediante cultivo en un medio líquido contenido en tubos múltiples y cálculo de su número más probable en la muestra, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

8 METODOLOGÍA

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo, ya que, se utilizaran métodos de análisis numéricos para medir los parámetros de calidad del agua, además, se caracteriza por ser observacional, porque no se manipulan las condiciones del entorno ni del agua, si no que se observa y analiza la calidad del agua tal como se encuentran en las distintas épocas del año, con el fin de entender las variaciones que puedan existir, también es descriptiva, pues se busca caracterizar las condiciones del agua en los pozos, identificando los principales parámetros de calidad y describiendo su comportamiento en las dos épocas del año, también se caracteriza por ser comparativa y longitudinal, ya que, el análisis se basa en una comparación entre las dos épocas del año (lluvia y estiaje), esto también nos otorga un enfoque longitudinal permitiendo observar cómo evoluciona la calidad del agua a lo largo del tiempo. El estudio se enfoca en el análisis de la calidad del agua de pozos en la localidad de Nueva Esperanza, municipio de Villaflores, Chiapas, mediante la evaluación de sus características físicas, químicas y microbiológicas en dos épocas distintas del año, correspondientes a la temporada de lluvias y la temporada de estiaje.

8.1 UBICACIÓN DEL SITIO

Villaflores se encuentra en la parte centro-occidental del estado de Chiapas en la región Frailesca, Entre los paralelos 16°09' y 16°36' de latitud norte; los meridianos 93°02' y 93°47' de longitud oeste; altitud entre 200 y 2 300 m. Colinda al norte con los municipios de Jiquipilas, Ocozocoautla de Espinosa y Suchiapa; al este con los municipios de Suchiapa, Chiapa de Corzo

y Villa Corzo; al sur con los municipios de Villa Corzo y Tonalá; al oeste con los municipios de Tonalá, Arriaga y Jiquipilas (INEGI, 2010).

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, Villaflores tiene una población de aproximadamente 98 618 habitantes, de los cuales 37 237 residen en la cabecera municipal (INEGI, 2020). Su territorio se encuentra en una zona geográfica caracterizada por un relieve que va desde los 300 hasta los 2 200 metros sobre el nivel del mar, en la transición entre la Depresión Central y la Sierra Madre de Chiapas (INEGI, 2013).

El clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 14 °C y 26 °C. Los meses más cálidos alcanzan hasta 33 °C, mientras que en invierno pueden descender a 12 °C. La precipitación anual varía entre 1 200 mm y 2 000 mm, siendo mayor en las zonas altas (INEGI, 2013).

En cuanto a los suelos, predominan los tipos Leptosol, Cambisol, Luvisol y Regosol, con presencia también de Vertisol, Feozem y Planosol. Estas condiciones edafológicas son apropiadas para la actividad agrícola, que representa uno de los principales usos del suelo junto con selva baja caducifolia y pastizales (INEGI, 2022).

Desde el punto de vista geológico, el subsuelo está compuesto principalmente por granito (59 %), aluvión (22 %) y caliza (16 %) (INEGI, 2013). La vegetación nativa incluye selva baja caducifolia, bosques de pino y encino, así como vegetación secundaria inducida por las actividades agropecuarias.

En términos hidrológicos, Villaflores forma parte de la cuenca del río Grijalva–La Concordia, con subcuencas importantes como las del río Suchiapa, Santo Domingo y Zoyatenco. Esta región cuenta con múltiples ríos y arroyos que alimentan el sistema hídrico de la zona, como el arroyo San Lucas, el río El Tablón y el río Los Amates (INEGI, 2013).

Cabe destacar que aproximadamente el 28 % del territorio municipal se encuentra dentro de áreas naturales protegidas, como la Reserva de la Biósfera La Sepultura y el área de protección de flora y fauna La Frailescana, lo que resalta la importancia ecológica de la región (INEGI, 2013).

Fig.3 Geografía del municipio de Villaflores, Chiapas.



Fig.3 Geografía del municipio de Villaflores, Chiapas, Ruiz Benigno et al., noviembre de 2021.

La localidad de Nueva Esperanza se encuentra a 3.3 kilómetros (en dirección Noroeste) de la cabecera municipal de Villaflores y tiene una población aproximada de 720 habitantes.

8.2 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para determinar los puntos de muestreo, se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, la cual establece el procedimiento sanitario para la toma de muestras de agua destinada al consumo humano. Esta norma proporciona criterios técnicos para la selección de los puntos de muestreo, garantizando que las muestras recolectadas sean representativas de la calidad del agua en la localidad de estudio.

8.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SITIO SEGÚN LA NOM-230-SSA1-2002

En primer lugar, se realizó un reconocimiento preliminar de la zona de estudio, en el cual se identificaron las principales fuentes de agua subterránea en la localidad de “Nueva Esperanza” en el municipio de Villaflores, Chiapas (Figura 1). La identificación se realizó tomando en cuenta:

- La accesibilidad.

- El uso del agua y posibles fuentes de contaminación, como áreas de alta actividad agrícola, ganadera.
- Vulnerabilidad.

8.2.2 PROCESO DE DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

Se identificaron y seleccionaron los pozos representativos de diferentes áreas de la localidad mediante la evaluación de factores de riesgo y la accesibilidad a cada punto. Este proceso incluyó visitas de campo y entrevistas con habitantes locales para corroborar el uso de cada pozo y sus posibles variaciones en la calidad del agua.

Finalmente, se determinaron los puntos de muestreo definitivos y se procedió a programar las visitas para la recolección de las muestras. Los puntos seleccionados fueron documentados y georreferenciados, de modo que puedan ser fácilmente identificados en estudios futuros.

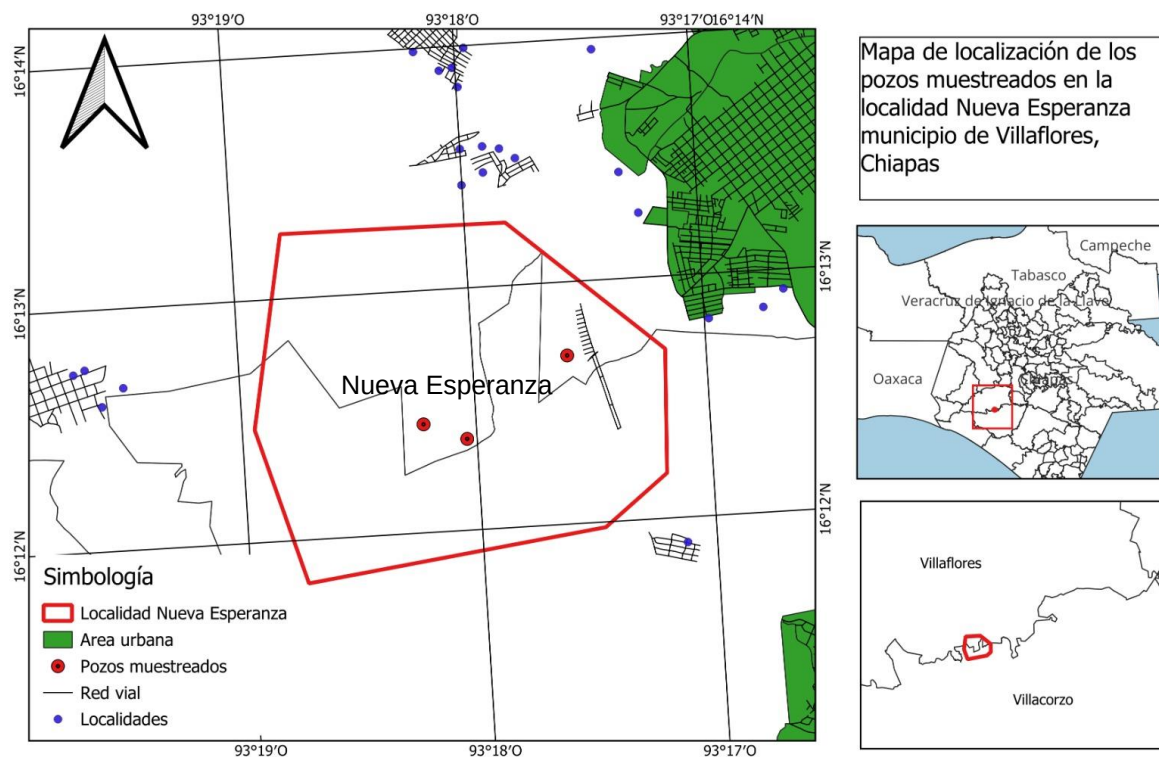


Figura 4. Ubicación de pozos muestreados.

Tabla 2. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

No. De pozo	Nombre	Coordenadas geográficas.
1	Rancho La Historia	16°12'50"N 93°17'28"W
2	Rancho Argentina	16°12'25"N 93°17'53"W
3	Rancho Virginio Culebro	16°12'25"N 93°18'00"W

Tabla 3. Distancia entre los puntos de muestreo.

No. De pozo	Nombre	Distancia
2-3	Rancho Argentina- Rancho Virginio Culebro	211.88 metros.
1-3	Rancho La historia- Rancho Virginio Culebro	1233.75 metros.
1-2	Rancho La Historia- Rancho Argentina	1064.71 metros.

8.3 POZOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

El pozo número 1 se encuentra en el rancho La Historia y sus características son:

- Tiene una profundidad de 16 metros (es el menos profundo de los 3)
- Se encuentra tapado por lo que no se aprecia presencia de materia orgánica y no se puede apreciar un espejo de agua.
- Se le da un mantenimiento anual.

- El agua se utiliza para riego, labores domésticas y uso pecuario.



Fig.5. Pozo 1 Rancho la Historia

El pozo 2 se encuentra en el Rancho Argentina y sus características son:

- Tiene una profundidad de 30 metros
- Se encuentra abierto y se puede ver restos de materia orgánica y un espejo de agua.
- Se le da un mantenimiento anual
- El agua de este pozo se utiliza para riego agrícola, uso pecuario, labores domésticas y para consumo humano.



Fig. 6. Pozo 2 Rancho Argentina

El tercer y último pozo muestreado se encuentra en el Rancho Virginio Culebro y sus características son:

- Tiene una profundidad de 25 metros
- Se encuentra tapado, por lo tanto, no se puede ver presencia de materia orgánica dentro, ni un espejo de agua.
- El agua de este pozo se utiliza para el riego de cultivos, uso pecuario y para labores domésticas.



Fig. 7. Pozo 3 Rancho Virginio Culebro

8.4 TOMA DE MUESTRA

La toma de muestra se realizó en dos temporadas distintas, siendo el 20 de octubre del 2024 la primera toma de muestra en épocas de lluvia y el 13 de enero del 2025 para la época de estiaje. La toma de muestra se realizó con base a la **NOM-230-SSA1-2002** donde nos señala el procedimiento sanitario para el muestreo de pozos.



Figura 8. Estabilización de muestra

El agua se tiene que dejar correr por aproximadamente 3 minutos, con la finalidad de que el agua contenida en las tuberías haya sido renovada y que la temperatura del agua se estabilice para la toma de muestra.



Figura 9. Toma de muestra para análisis microbiológico

Para la toma de muestra de los parámetros microbiológicos se utilizó una bolsa estéril de 250 ml, y se obtiene directamente de la toma de agua y se hace al inicio según lo dicta la norma.



Figura 10. Triple lavado para los parámetros físicos y químicos.

Para la toma de muestra de los parámetros físicos y químicos se utilizó un bote de 1 litro, para proceder a tomar la muestra primero, se hace un triple lavado del recipiente para asegurar que la muestra sea representativa, según la norma.

Las muestras colectadas fueron colocadas en una hielera para su transporte a laboratorio a una temperatura de 4°C.

8.5 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Para el análisis de los parámetros físico-químicos se recolectaron 1 litro por cada punto de muestreo en un recipiente plástico, las muestras se tomaron siguiendo el procedimiento descrito en la NOM-230-SSA1-2002. Mientras que para los parámetros microbiológicos se utilizaron bolsas estériles de igual forma el procedimiento será acorde a como lo indica la norma. Las muestras fueron conservadas a una temperatura de 4 °C previo a su análisis en laboratorio sin rebasar los tiempos de conservación establecidos en la norma.

8.5.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS

Algunos parámetros físicos como lo son la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica fueron medidos en campo, utilizando un medidor multiparamétrico de la marca HANNA Instruments, que fue proporcionado por el laboratorio del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental.



Figura 11. Medición *In situ* de parámetros físicos

El análisis de la turbiedad y color verdadero, se llevaron a cabo en laboratorio utilizando las normas NMX-AA-038-SCFI-2001 y NMX-AA-034-SCFI-2015, respectivamente.



Figura 12. Medición de turbiedad y color verdadero

8.5.2 ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUÍMICOS

Para la determinación de los parámetros químicos, las muestras fueron puestas a reposar a temperatura ambiente, para posteriormente analizar los parámetros; nitratos y nitritos. Los análisis se llevaron a cabo en un plazo no mayor a 24 horas para mantener su estabilidad, se utilizaron las NMX-AA-079-2001 y NMX-AA-099-2021, respectivamente.



Figura 13. Medición de nitratos, nitritos y SDT.

8.5.3 ANÁLISIS DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Los parámetros microbiológicos que se determinaron son coliformes fecales y coliformes totales, las muestras permanecieron a una temperatura de 4°C previo a su análisis en laboratorio. La norma técnica que se aplicó es la NMX-AA-042-SCFI-2015.



Figura 14. Medición de coliformes fecales y totales.

8.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS ESTANDARES EXPUESTOS EN LA NOM-127-SSA1-2021

Los datos obtenidos después de pasar las muestras a laboratorio serán comparados con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-2021 expuestos en la tabla 4, además de los Indicadores de Calidad del Agua que nos proporciona la CONAGUA, expuestos en la tabla 5.

Tabla 4. Especificaciones sanitarias

Parámetros	Máximo permisible	Unidades
pH	6.5 a 8.5	Unidades de pH
Sólidos disueltos totales	1000.00	mg/L
Conductividad eléctrica	250	mS/cm2
Oxígeno disuelto	6-9	mg/L
Color verdadero	15	UC
Turbiedad	4.0	UNT
Nitratos	11.00	mg/L
Nitritos	0.90	mg/L
Demanda química de oxígeno	<5	mg/L
<i>E. coli</i> o coliformes termotolerantes	<1.1 o no detectable	NMP/100ml
Coliformes totales	<1.1 o no detectable	NMP/100ml

Tabla 5. Indicadores de calidad del agua de la CONAGUA

Indicador	Unidades	Cumplimiento			Incumplimiento		Color del semáforo en caso de incumplimiento del indicador
Coliformes Fecales	NMP/100mL	CF<1.1 Potable - Excelente	1.1<=CF<= 200 buena calidad	200<CF<= 1000 aceptable	1000<CF<= 10000 contaminada	CF>10000 Fuertemente contaminada	Rojo
Nitratos	Mg/L	N_NO3<=5 Potable - Excelente	5<N_NO3<=11 Buena calidad	Potable -	N_NO3>11 No apta como FAAP		Rojo
Conductividad	μ S/cm	CONDUCT<=250 Excelente para riego	250<CONDUCT<=750 Buena para riego	750<CONDUCT<= 2000 permisible para riego	2000<CONDUCT<= 3000 dudosa para riego	CONDUCT>3000 indeseable para riego	Amarillo
Sólidos disueltos Totales- Riego Agrícola	Mg/L	SDT <=500 Excelente para riego	500<SDT<=1000 Cultivos sensibles	1000<SDT<=2000 Cultivos con manejo especial	2000<SDT<=5000 Cultivos tolerantes	SDT>5000 Indeseable para riego	Amarillo
Sólidos Disueltos- Salinización	Mg/L	SDT<=1000 Potable - Dulce	1000<SDT<=2000 Ligeramente salobres		2000<SDT<=10000 Salobres	SDT>10000 Salinas	Amarillo
En caso de cumplimiento de todos los indicadores, el color del semáforo es verde							Verde

Esta comparación nos permitirá conocer la calidad del agua y el uso que se le puede dar, además, podremos identificar posibles fuentes de contaminación, riesgos a la salud y proponer soluciones en caso de detectar niveles de contaminantes que rebasen los valores permitidos.

9 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En la siguiente tabla, se presentan los resultados obtenidos de los análisis de calidad del agua en los tres pozos muestreados en la localidad de “Nueva Esperanza” evaluados en las épocas de lluvia y estiaje, respectivamente. Se analizaron diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos comparando su comportamiento en los distintos periodos para identificar variaciones estacionales y su posible impacto en la calidad del agua:

Tabla 6. Resultados obtenidos en los muestreos en época de lluvia y estiaje

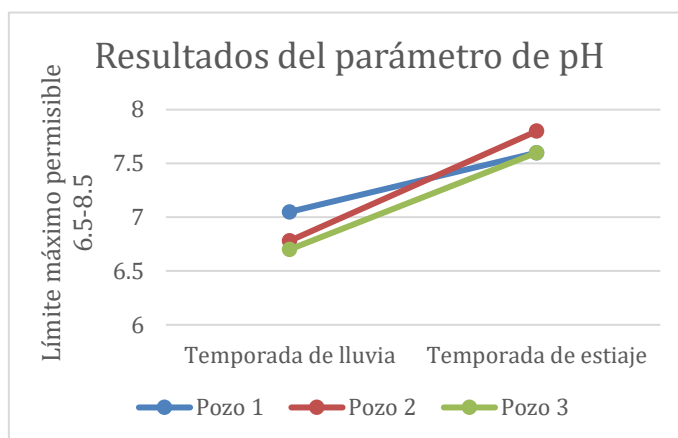
Parámetros	Unidades	Punto de muestreo						Valores establecidos por la NOM-127-SSA1-2021
		Pozo 1		Pozo 2		Pozo 3		
		Lluvia	Estiaje	Lluvia	Estiaje	Lluvia	Estiaje	
pH	Unidades de pH	7.05	7.6	6.78	7.8	6.70	7.6	6.5 a 8.5
Conductividad		279	289	279	279	332	330	50 a 550 (como referencia)
Temperatura	Grados	27.41	27.44	26.88	26.14	26.6	26.6	No mayor a 35
Turbiedad	UNT	5.19	5.49	1.71	3	7.3	7.62	4.0
Color verdadero	UC	5	14	2	6	5	7	15
Nitratos	mg/L	0.051	0.046	0.089	0.087	0.031	0.020	11.0
Nitritos	mg/L	0.025	0.018	0.007	0.003	0.012	0.011	0.90
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/L	232	330	298	266	310	270	1000
E. coli o Coliformes fecales	UFC	No detectable	No detectable	400	200	790	No detectable	1.1 o no detectable
Coliformes totales	NMP	Incontables	Incontables	Incontables	Incontables	Incontables	Incontables	2 NMP mg/L (NOM-127-SSA1-1997)

9.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS POR PARÁMETRO SEGÚN LA NOM-127-SSA1-2021

pH

Resultados del parámetro de pH		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	7.05	7.6
Pozo 2 “Rancho Argentina”	6.78	7.8
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	6.70	7.6

Tabla 7. Comparación de resultados del parámetro de pH entre la época de lluvia y estiaje.



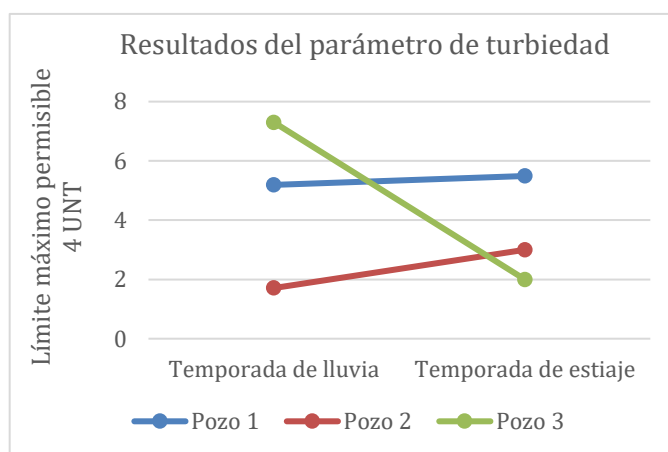
Gráfica 1. Comparación de resultados del parámetro de pH entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la **NOM-127-SSA1-2021**.

Los resultados de pH mostraron una ligera variación entre las dos épocas del año, siendo el pozo 2 el que presentó una mayor variación, dando un valor de 6.78 en época de lluvia y 7.8 en época de estiaje.

Turbiedad

Resultados del parámetro de turbiedad		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	5.19	5.49
Pozo 2 “Rancho Argentina”	1.71	3
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	7.3	7.62

Tabla 8. Comparación de resultados del parámetro de turbiedad entre la época de lluvia y estiaje



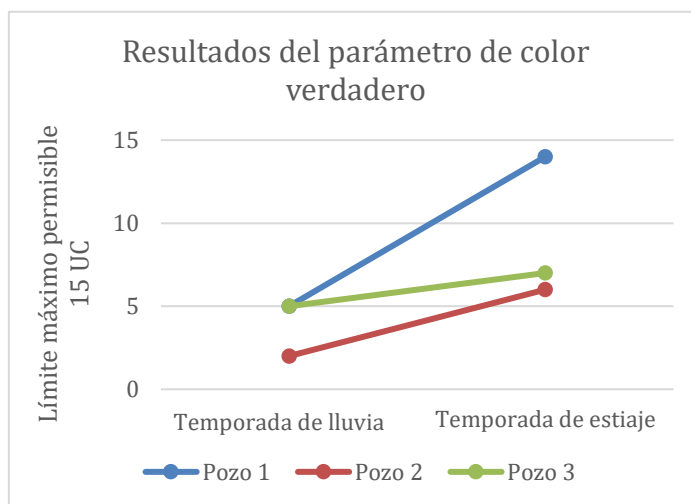
Gráfica 2. Comparación de resultados del parámetro de turbiedad entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la **NOM-127-SSA1-2021**.

Los resultados de turbiedad mostraron resultados negativos en los pozos 1 y 3, ya que, en ambas épocas rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la **NOM-127-SSA1-2021**. En cuanto al pozo 2 no se presentó una variación significativa en las dos épocas ni una turbidez alta y se encuentra dentro del límite máximo permisible establecido en la norma oficial.

Color verdadero

Resultados del parámetro de color verdadero		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	5	14
Pozo 2 “Rancho Argentina”	2	6
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	5	7

Tabla 9. Comparación de resultados del parámetro de color verdadero entre la época de lluvia y estiaje.



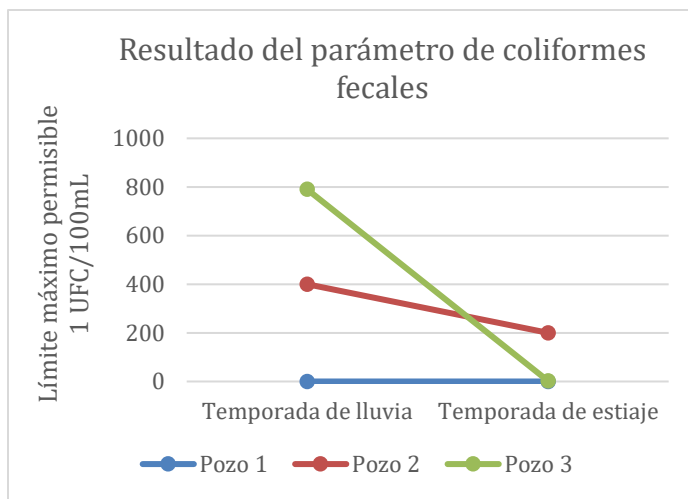
Gráfica 3. Comparación de resultados del parámetro de color verdadero entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la **NOM-127-SSA1-2021**.

El parámetro de color verdadero presentó una variación estacional significativa en el pozo 1, presentando valores de 5 en época de lluvia y 14 en época de estiaje, a pesar de este incremento, no se encuentra fuera del rango establecido en la norma. Los pozos 2 y 3, también incrementaron su valor en temporada de estiaje, aunque en menor medida que el pozo 1.

Coliformes Fecales o *E. Coli*

Resultados del parámetro de coliformes fecales <i>E. Coli</i>		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	0	0
Pozo 2 “Rancho Argentina”	400	200
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	790	0

Tabla 10. Comparación de resultados del parámetro de coliformes fecales o *E. coli* entre la época de lluvia y estiaje



Gráfica 4. Comparación de resultados del parámetro de coliformes fecales o *E. coli* entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la **NOM-127-SSA1-2021**.

Los resultados de coliformes fecales mostraron diferencias marcadas entre las dos épocas del año (ver Gráfica 4.). Durante la época de lluvias los pozos 2 y 3 presentaron niveles elevados de contaminación fecal (400 y 790 UFC/mL, respectivamente) mientras que en estiaje solo el pozo 2 mostró presencia (200 UFC/mL). El pozo 1 mantuvo ausencia de coliformes fecales en ambas temporadas.

Conductividad Eléctrica

Resultados del parámetro de conductividad eléctrica		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	279	289
Pozo 2 “Rancho Argentina”	279	279
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	332	330

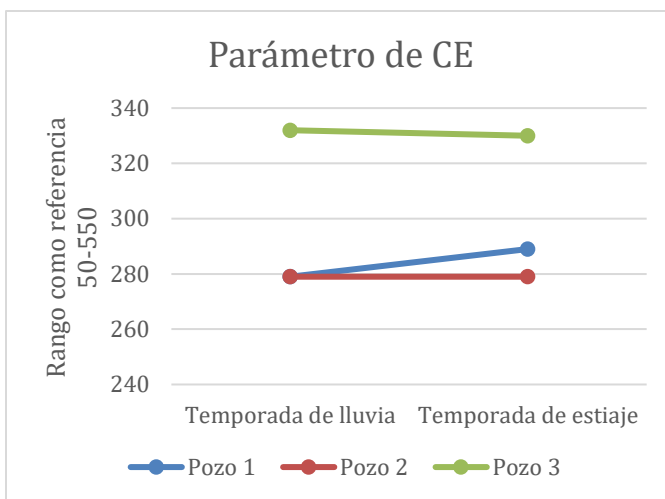


Tabla 11. Comparación de resultados del parámetro de conductividad eléctrica entre la época de lluvia y estiaje

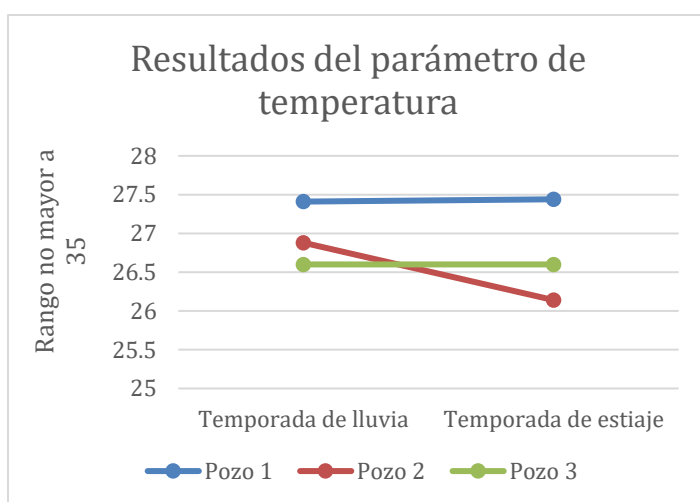
Gráfica 5. Comparación de resultados del parámetro de conductividad eléctrica entre la época de lluvia y estiaje

El parámetro de conductividad eléctrica se mantuvo estable en las dos estaciones en los 3 pozos muestreados no rebasando el rango de 50-550 (es como referencia, ya que este parámetro no está en la norma) obteniendo un rango similar y en caso del pozo 2 igual en ambas estaciones.

Temperatura

Resultados del parámetro de temperatura		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	27.41	27.44
Pozo 2 “Rancho Argentina”	26.88	26.14
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	26.6	26.6

Tabla 12. Comparación de resultados del parámetro de temperatura entre la época de lluvia y estiaje



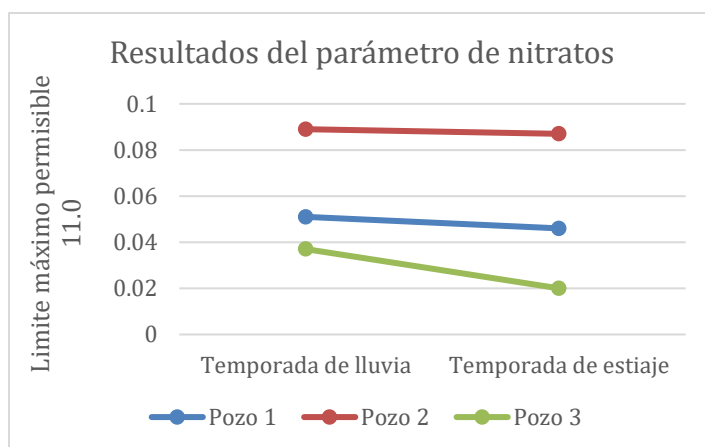
Gráfica 6. Comparación de resultados del parámetro de temperatura entre la época de lluvia y estiaje

El parámetro de temperatura no presentó cambio anormal entre las dos épocas, obteniendo un valor en el pozo 1 de 27.41 y 27.44 en temporada de lluvia y estiaje, respectivamente. En el pozo 2 se obtuvieron valores 26.88 y 26.14 en temporada de lluvia y estiaje respectivamente. Mientras que en el pozo 3 se obtuvo una temperatura de 26.6 en ambas épocas.

Nitratos

Resultados del parámetro de nitratos		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	0.051	0.046
Pozo 2 “Rancho Argentina”	0.089	0.087
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	0.037	0.020

Tabla 13. Comparación de resultados del parámetro de nitratos entre la época de lluvia y estiaje



Gráfica 7. Comparación de resultados del parámetro de nitratos entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA1-2021.

Los resultados del parámetro de nitratos presentaron una estabilidad general en ambas épocas, obteniendo valores muy bajos siendo el Pozo número 2 el que presentó una mayor presencia, 0.089 y 0.087 en época de lluvia y estiaje, respectivamente, siendo de igual manera un valor muy bajo, que no se acerca al rango establecido en la norma que es de 11.

Nitritos

Resultados del parámetro de nitritos		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	0.025	0.018
Pozo 2 “Rancho Argentina”	0.007	0.003
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	0.012	0.011

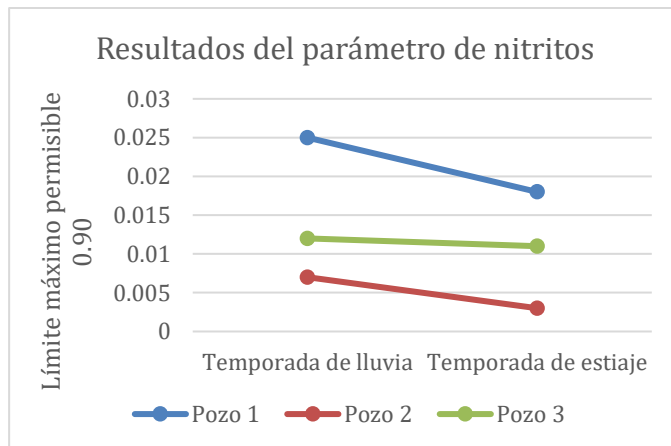


Tabla 14. Comparación de resultados del parámetro de nitritos entre la época de lluvia y estiaje

Gráfica 8. Comparación de resultados del parámetro de nitratos entre la época de lluvia y estiaje con el límite máximo permisible establecido en la **NOM-127-SSA1-2021**.

El parámetro de nitritos, al igual que el parámetro de nitratos no se presentaron valores altos en ninguno de los pozos muestreados, tampoco mostró una variación notable en ninguna de las dos temporadas analizadas siendo el pozo 1 en donde se obtuvieron los valores más altos (observar la gráfica 7).

Coliformes totales.

Resultados del parámetro de coliformes totales		
No. De Pozo	Lluvia	Estiaje
Pozo 1 “Rancho La Historia”	Incontables	Incontables
Pozo 2 “Rancho Argentina”	Incontables	Incontables
Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”	Incontables	Incontables

Tabla 15. Comparación de resultados del parámetro de coliformes totales entre la época de lluvia y estiaje

(No se presentó una gráfica, ya que, los resultados obtenidos en laboratorio son incontables). Los coliformes fecales se hicieron presentes en los 3 pozos muestreados en ambas épocas del año (lluvia y estiaje) sobrepasando los límites máximos permisibles establecidos en la **NOM-127-SSA1-1997** (ya no se encuentra vigente).

9.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los tres pozos evaluados, se procedió a su análisis para tener un panorama más claro sobre las variaciones entre las dos épocas del año (lluvia y estiaje) y posibles efectos en la calidad del agua de uso agrícola y doméstico.

También se interpretarán los valores obtenidos, relacionándolos con los factores ambientales y actividades humanas en la localidad

9.2.1 Pozo 1 “Rancho La Historia”

(De acuerdo a la tabla 7, tabla 9 y gráfica 2) El pozo 1 presentó una calidad del agua en general estable en las distintas épocas estacionales, sin embargo, mostró una presencia constante de turbiedad. Esto se debe a la presencia de partículas en suspensión, como arcilla, sedimentos y materia orgánica. La turbiedad presente en este pozo en la época de lluvia, puede deberse al arrastre de sedimentos por la recarga hídrica y en la temporada de estiaje puede deberse al nivel bajo del agua ya que un nivel bajo de agua contiene una mayor concentración de sedimento y partículas en suspensión, aunado a esto una mala construcción y un mal mantenimiento del mismo son factores a considerar que podrías causar una turbidez constante del agua de este pozo.

Aunque la turbidez no representa un riesgo directo a la salud según datos ofrecidos por Martínez-Orjuleta et al. (2020). “La turbidez en el agua puede indicar la presencia de microorganismos patógenos, aumentando el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua”.

También hubo presencia de coliformes totales en ambas épocas del año, que, aunque ya no está considerado en la normatividad oficial vigente (**NOM-127-SSA1-2021**) su presencia sigue siendo un indicador importante de contaminación microbiológica en el agua. Su presencia puede estar relacionada a la infiltración de aguas residuales, infiltraciones debido a la ganadería presente en el entorno o letrinas mal manejadas.

El color verdadero presentó un incremento significativo, en época de lluvia se obtuvo un valor de 5 mientras que en época de estiaje ascendió hasta los 14, sin embargo, se encuentra dentro del rango establecido en la NOM-127-SSA1-2021 (que es de 15). El incremento puede deberse a sustancias disueltas como lo puede ser materia orgánica y otros materiales.

Los demás parámetros no presentaron una variación estacional importante y se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la norma.

9.2.2 Pozo 2 “Rancho Argentina”

Según los análisis realizados en el laboratorio (como se observa en la tabla 7, tabla 11 y gráfica 4), se pudo interpretar que la mayoría de los parámetros analizados cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la **NOM-127-SSA1-2021**, excepto 2 que son los de mayor importancia sanitaria como los son los coliformes.

El pozo 2 mantuvo una contaminación constante tanto de coliformes fecales como de coliformes totales, obteniendo valores de 200 y 400 UFC/100mL en época de lluvia y estiaje, respectivamente, claramente sobrepasando el límite máximo permisible establecido en la norma (que es de 0 o no detectable). Esto puede deberse a distintos factores, como la infiltración de aguas superficiales, que pueden transportar bacterias coliformes, el mal funcionamiento de sistemas sépticos, deficiencias en la construcción, al igual pudo influir en que el pozo no se encontrara tapado, por otro lado este pozo es el más próximo a una planta de alimentos, un mal manejo de sus aguas residuales, podría estar ocasionando una contaminación microbiológica persistente en este pozo, al igual que la ganadería y excretas de animales que se encuentran alrededor podrían contribuir a la contaminación fecal de este pozo.

La presencia de coliformes fecales representa un riesgo sanitario importante, puede transmitir enfermedades diarreicas, el cólera, la fiebre tifoidea entre otros, según la ONU (2023) “la contaminación del agua causa cada año 505,000 muertes por enfermedades diarreicas”. Por lo tanto, el consumo del agua de este pozo representa un riesgo para los que se benefician de este.

9.2.3 Pozo 3 “Rancho Virgilio Culebro”

El pozo 3 al igual que el pozo número 1, presentó una turbiedad mayor al límite máximo permisible que establece la norma (como se observa en la tabla 7 y gráfica 2), en las 2 épocas muestreadas, como se argumentó en el pozo 1, esto se debe a la presencia de partículas en suspensión, debido a la presencia de materia orgánica, arcilla, sedimentos, etc. Esto podría atribuirse a una combinación de factores ambientales y actividades humanas, como el arrastre de sedimento en época de lluvia, a un mal diseño o mal mantenimiento del pozo, las actividades agrícolas o también la sobre explotación del acuífero, ya que, esto puede provocar que el agua arrastre sedimentos al bajar el nivel freático.

Además, en el análisis realizado en época de lluvia hubo presencia de coliformes fecales, lo cual representa una contaminación microbiológica significativa, sobrepasando los valores establecidos en la **NOM-127-SSA1-2021**, que exige una ausencia total de estos microorganismos, la detección de coliformes fecales en época de lluvia suele estar asociada a varios factores:

- Escorrentía superficial contaminada provenientes de actividades agrícolas, que puede infiltrarse debido a unas estructuras mal selladas del pozo.
- Proximidad de fosas sépticas, que en épocas de lluvia suelen desbordarse o infiltrarse hasta llegar al acuífero o bien descargas directas de aguas residuales sin tratamiento.
- Una mala construcción del pozo o falta de mantenimiento.
- Además, este pozo se encuentra bastante cerca de una planta de alimentos, y un mal manejo de sus aguas residuales podría estar causando la infiltración de contaminantes en época de lluvia a este pozo.

Los parámetros restantes, no presentaron una variación significativa entre estaciones, además se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la norma.

9.3 COMPARACIÓN CON LOS INDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) DE LA CONAGUA

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los análisis realizados comparando con los Índices de Calidad de Agua que nos ofrece la CONAGUA para agua subterránea esto nos proporcionará información más precisa para conocer la utilidad que se le puede dar el agua en cada pozo, además nos ayudará a elaborar recomendaciones para mejorar la calidad del agua.

Pozo 1

Tabla 16. Comparación de resultados del pozo 1 con los ICA de la CONAGUA.

Parámetro	Temporada de lluvia	Temporada de estiaje	LMP NOM-127-SSA1-2021	Evaluador (color)
Coliformes fecales (UFC/100mL)	0	0	0	Cumple
Turbidez (NTU)	5.19	5.49	5	Ligero riesgo
Color verdadero	5	14	15	Cumple

(uC)				
pH	7.05	7.6	6.5-8.5	Cumple
Sólidos disueltos totales (mg/L)	232	274	1000	Cumple
Nitratos (mg/L)	0.051	0.046	11	Cumple

Resultado general ICA del pozo 1

- Temporada de lluvias: Color en el semáforo: amarillo, lo que indica una calidad aceptable para consumo humano, requiere una atención menor en turbidez (supera ligeramente el límite establecido en la norma).
- Temporada de estiaje: Color en el semáforo: amarillo, al igual que en la época de lluvias el valor de turbidez sobrepasa el límite ligeramente, sin embargo, los demás parámetros se encuentran dentro de la norma.

Usos:

- Riego agrícola.
- Uso pecuario.
- Lavado, limpieza y riego de jardines.
- Uso doméstico (idealmente con un tratamiento de cloración).
- Consumo humano (no sin antes pasar por un tratamiento previo).

Pozo 2

Tabla 17. Comparación de resultados del pozo 2 con los ICA de la CONAGUA.

Parámetro	Temporada de lluvia	Temporada de estiaje	LMP NOM-127-SSA1-2021	Evaluador (color)
Coliformes fecales (UFC/100mL)	400	200	0	Alto riesgo
Turbidez (NTU)	1.71	3	5	Cumple
Color verdadero (uC)	2	6	15	Cumple
pH	6.78	7.8	6.5-8.5	Cumple
Sólidos disueltos totales (mg/L)	298	266	1000	Cumple
Nitratos (mg/L)	0.089	0.087	11	Cumple

Resultados general ICA del pozo 2

- Temporada de lluvia: Color en el semáforo: rojo, tuvo presencia de coliformes fecales que es un indicador de contaminación microbiológica claro, lo que la hace no apta para consumo humano directo.
- Temporada de estiaje: Color en el semáforo: rojo, al igual que la temporada de lluvias hubo presencia de coliformes por lo que no es apta para consumo directo.

Usos:

- Riego agrícola (según cultivo y tipo).
- Uso pecuario
- Para uso doméstico se necesita un tratamiento previo.
- Para consumo humano es obligatoria su desinfección.

Pozo 3

Tabla 18. Comparación de resultados dl pozo 3 con los ICA de la CONAGUA.

Parámetro	Temporada de lluvia	Temporada de estiaje	LMP NOM-127-SSA1-2021	Evaluador (color)	
Coliformes fecales (UFC/100mL)	790	0	0	Alto riesgo (época de lluvia).	Cumple (época de estiaje)
Turbidez (NTU)	7.3	7.62	5	Ligero riesgo	
Color verdadero (uC)	5	7	15	Cumple	
pH	6.70	7.6	6.5-8.5	Cumple	
Sólidos disueltos totales (mg/L)	310	270	1000	Cumple	
Nitratos (mg/L)	0.031	0.020	11	Cumple	

Resultados general ICA del pozo 3

- Temporada de lluvia: color en el semáforo: rojo, la calidad del agua no es apta para el consumo humano, ya que presenta contaminación microbiológica y turbidez elevada.
- Temporada de estiaje: color en el semáforo amarillo, aunque no hay coliformes la turbidez está claramente fuera del límite máximo permisible establecido en la norma, lo que sigue representando un riesgo microbiológico indirecto.

Usos:

- Riego agrícola (según cultivo y tipo).
- Uso pecuario
- Para uso doméstico se necesita un tratamiento previo.

- Para consumo humano es necesario una filtración y una desinfección.

10 CONCLUSIONES.

La evaluación de la calidad físico-química y microbiológica del agua en los pozos de la localidad Nueva Esperanza, municipio de Villaflores, Chiapas, evidenció que ninguno cumple con los límites establecidos por la normativa oficial para consumo humano. Los resultados revelan problemas de turbidez y presencia de coliformes, lo que representa un riesgo para la salud de los habitantes que consumen esta agua sin un tratamiento adecuado.

- La determinación de los puntos de muestreo se realizó conforme a los criterios establecidos en la NOM-230-SSA1-2002, lo que permitió obtener datos representativos de los pozos en uso dentro de la localidad. Esta correcta elección fue clave para identificar con precisión los focos de contaminación y las características particulares de cada fuente de agua.
- El análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos durante las temporadas de lluvia y estiaje evidenció variaciones importantes en la calidad del agua, particularmente en la turbiedad y la presencia de coliformes. Destaca el pozo 3, con contaminación microbiológica constante, y el pozo 2, que presentó coliformes en época de lluvia, lo que indica una posible infiltración superficial relacionada con escurrimientos o malas condiciones de protección del pozo.
- Al comparar los resultados con la NOM-127-SSA1-2021 y los Índices de Calidad del Agua (ICA) de CONAGUA, se confirmó que los tres pozos exceden al menos un parámetro permitido para consumo humano. Esto ratifica la necesidad de implementar medidas de tratamiento y protección de las fuentes, así como estrategias comunitarias de gestión del recurso hídrico para garantizar su potabilidad

Este estudio confirma que, pese a la aparente calidad física del agua subterránea, su seguridad sanitaria puede verse comprometida por condiciones ambientales y prácticas humanas

inadecuadas. Por tanto, se requiere fortalecer el monitoreo y la gestión integral del recurso hídrico en comunidades rurales como “Nueva Esperanza”.

11 RECOMENDACIONES

Cloración periódica del agua: Implementar un sistema básico de desinfección (por ejemplo, con hipoclorito de sodio) para reducir riesgos microbiológicos, especialmente en temporada de lluvias.

Sellado y mantenimiento de pozos: Asegurar que los pozos estén protegidos con tapas adecuadas, libres de residuos y con una estructura que impida la entrada de contaminantes superficiales, además, de continuar con un mantenimiento anual.

Monitoreo continuo: Realizar análisis de calidad del agua al menos dos veces por año (época de lluvias y estiaje), para detectar variaciones estacionales y tomar decisiones informadas.

Evaluación de alternativas de tratamiento: Considerar la instalación de sistemas de filtración o tratamiento casero (como filtros de cerámica o UV) en los hogares que utilizan agua directamente del pozo.

Ubicación adecuada de letrinas y establos: Establecer una distancia mínima segura entre pozos y fuentes de contaminación (excretas, animales, fertilizantes), conforme a lo establecido en la NOM-230-SSA1-2002.

12 REFERENCIAS

Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>

Comisión Nacional del Agua. (2021). *Calidad del agua*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua>

Cortez, M. F., Mata, D. I., & Rosales, D. O. M. (2019). Percepción y calidad de agua en comunidades rurales del Área Natural Protegida La Encrucijada, Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 317–334. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.05>

Crespo-Lambert, M., Fernández-Rodríguez, M., & Pérez-García, L. A. (s. f.). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el poblado de Yamanigüey según ICA de Montoya. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122022000200157

EcuRed. (s.f.). *Villaflores*. Recuperado el 19 de junio de 2025, de <https://www.ecured.cu/Villaflores>

Fuccz-Gamboa, J., Gómez-Moreno, R., Cárdenas-Guzmán, M., & Campos-Pinilla, C. (2007). Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizados para la restauración ecológica de la cantera Soratama, Bogotá. *DOAJ (Directory Of Open Access Journals)*. <https://doaj.org/article/cdaa7e85a75c434498d5143c1debbd4f>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2019, 24 de septiembre). *Aguas subterráneas*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/imta/articulos/aguas-subterranas>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2022). *Carta edafológica y uso del suelo de la región Frailesca*. <https://www.inegi.org.mx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020. Resultados por localidad*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Datos>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2013). *Compendio de información geográfica municipal: Villaflores, Chiapas*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07022.pdf

Julián Pérez Porto. (2023, 4 de julio). *Pozo - Qué es, características, definición y concepto*. <https://definicion.de/pozo/>

Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Heydrich-Pérez, M., & Vedado, I. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las

aguas: Revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24–34.
<https://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/sites/default/files/articulos/CB%2011-12.pdf>

León-Duharte, L., De los Ángeles Arada Pérez, M., Cutiño, M. B., & Falcón, E. S. (2022). Evaluación de la calidad del agua del pozo de la comunidad “Soledad” del Municipio II Frente, Santiago de Cuba. *Deleted Journal*, 79(596). <https://doi.org/10.55815/400728>

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [LGEEPA]. (1988). *Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Última reforma el 1 de abril de 2024*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>

León-Duharte, L., De los Ángeles Arada Pérez, M., Cutiño, M. B., & Falcón, E. S. (2022). Evaluación de la calidad del agua del pozo de la comunidad “Soledad” del Municipio II Frente, Santiago de Cuba. *Deleted Journal*, 79(596). <https://doi.org/10.55815/400728>

Madrigal, M. T. S. (2015). Contaminación por plaguicidas en acuíferos del Valle de Autlán, Jalisco. *RIDE Revista Iberoamericana Para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 5(10), 17–30.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5343117.pdf>

Martínez-Orjuela, M. R., Mendoza-Coronado, J. Y., Medrano-Solís, B. E., Gómez-Torres, L. M., & Zafra-Mejía, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15–24.
<https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>

Novelo, R. I. M., Ávila, J. G. P., Borges, E. R. C., Sansores, A. C., Del Rosario Vázquez Borges, E., & Vargas, D. D. C. (2015). Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México. *R*, 19(1), 51–61.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750924005>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2022). *Mensaje de la Sra. Audrey Azoulay, Directora General de la UNESCO, con motivo del Día Mundial del Agua*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380879_spa

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guías de la OMS para la calidad del agua potable: Primer suplemento a la cuarta edición*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

Palma, S. M., Hernández, M. A. A., Castillo, R. R., & Mariani, E. D. (2014). Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la cuenca de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(2), 149–165.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n2/v30n2a3.pdf>

Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(3), 3.
<https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>

- Rodríguez, J., & Sosa, M. (2011). Calidad del Agua Subterránea en México: Situación y Perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(2), 319–332.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157–167. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37012012004.pdf>
- Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-038-SCFI-2001, *Análisis de agua. Determinación de sólidos y ventas disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-079-SCFI-2001, *Protección al ambiente - Calidad del agua - Manejo y preservación de muestras de agua - Directrices*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Economía. (2011). NMX-AA-030/2-SCFI-2011, *Análisis de agua - Determinación de aceites y grasas en aguas naturales, residuales y residuales tratados - Parte 2: Método de prueba*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Economía. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015, *Análisis de agua - Medición de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Economía. (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015, *Análisis de agua - Determinación de nitrógeno amoniacal en aguas naturales, potables, residuales y residuales - Método de prueba*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Economía. (2021). NMX-AA-099-SCFI-2021, *Análisis de agua - Determinación de cloruros en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Salud. (2002). NOM-230-SSA1-2002, *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que deben cumplir las fuentes fijas y móviles de abastecimiento público y privado de agua para su manejo y suministro*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Salud. (2021). NOM-127-SSA1-2021, *Agua para uso y consumo humano. Límites permitidos de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Diario Oficial de la Federación.
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Sánchez, J. A., Álvarez, T., Pacheco, J. G., Carrillo, L., & González, R. A. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *DOAJ (Directory Of Open Access Journals)*. <https://doaj.org/article/57a0027c58c04a2290a0e5a865f057e7>

Sánchez, M., Ramírez, J., & Pérez, L. (2017). *Guía práctica para el monitoreo de calidad de aguas subterráneas*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Velásquez, T. D. M., & Tocuyo, D. D. J. A. (2020). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (*Cocos nucifera*) a nivel de laboratorio. *Revista ION*.
<https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020008>