

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CIENCIAS Y

ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

INFORME TÉCNICO

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA
PARA CONSUMO HUMANO EN LA ZONA CENTRO DE TUXTLA
GUTIÉRREZ, CHIAPAS.**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA:

AMALIA YERILIANA OVANDO PÉREZ.

DIRECTOR:

DR. HUGO ALEJANDRO NAJERA AGUILAR

CODIRECTOR:

ING. LEONARDO DIAZ CÓRDOVA





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 20 de abril del 2026

C. Amalia Yeriliana Ovando Pérez

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 LLUVIA PARA CONSUMO
HUMANO EN LA ZONA CENTRO DE TUXTLA GUTIÉRREZ, 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

Dr. José Manuel Gómez Ramos

Dra. Rebeca Isabel Martínez Salinas

Dr. Hugo Alejandro Najera Aguilar

Firmas:

C.c.p. Expediente



Dedicatoria

Este informe técnico está dedicado especialmente a Dios, por darme la vida y la oportunidad de llegar hasta aquí, permitiéndome concluir mi carrera profesional. A mi familia, mis padres María Antonia Pérez y Noé Ovando, por su cariño, comprensión y apoyo incondicional durante estos cuatro años de carrera, cuya presencia y aliento fueron mi mayor fortaleza.

A mis hermanos, por acompañarme en cada etapa, por su cariño, comprensión y por ser siempre un motivo de inspiración para seguir adelante, a mis sobrinos por llenar mi vida de alegría y recordarme cada día la importancia de soñar y nunca rendirse.

A H.E.M.L, por ser un apoyo fundamental en todo mi desarrollo académico, por haber sido parte de este proyecto lleno de desafíos y acompañarme en las buenas y en las malas.

Y por último a R.L.V, gracias por tu paciencia, por apoyarme en aquellos momentos en los que lo necesitaba, especialmente cuando las tareas parecían difíciles. Gracias por tus enseñanzas y confianza las cuales dejaron una huella imborrable, con cariño eterno y profunda gratitud este logro también te pertenece.

Agradecimiento

A mi familia, el pilar más grande en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, A mis padres y hermanos, les debo cada logro alcanzado, porque sin su apoyo nada de esto habría sido posible.

A mis amigos y compañeros, quienes con su compañía, consejos, risas y apoyo sincero hicieron más ligero este proceso. Gracias por escucharme, animarme y recordarme que no estaba sola en este camino.

A mis maestros, por su paciencia, orientación y confianza, por transmitirme no solo conocimiento, sino también la pasión por aprender y seguir adelante.

Además, quiero expresar mi profundo agradecimiento mi director el Dr. Hugo y al Ing. Leonardo, mi codirector, por brindarme la oportunidad de desarrollar este tema de investigación. Gracias por sus consejos, observaciones y conocimiento, lo cual enriqueció no solo este informe, sino también mi formación académica y personal.

Y, finalmente, a todas aquellas personas que, de manera silenciosa o indirecta, dejaron una huella en este proyecto y en mi vida, les dedico con gratitud cada página de este trabajo.

Índice

Introducción.....	7
Planteamiento del problema.	8
Justificación.....	9
Objetivos.	10
Antecedentes:	10
Marco teórico.....	11
1. Precipitación del agua.	12
2. Agua y salud.....	13
3. Deterioro de la calidad del agua.	13
4. Agua lluvia.....	14
5. Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL).	14
2.1 Uso de agua de lluvia.	15
2.2 Ventajas y desventajas de un SCALL.	16
4. Indicadores de calidad	16
Normatividad.....	17
Metodología.....	18
1. Ubicación del sistema	18
.....	18
2. Muestreo	19
Resultados y discusiones.....	21
Conclusión.....	30

Referencias bibliográficas	31
ANEXOS FOTOGRAFÍCO	35
Figura 11. Muestras de agua de lluvia	35
Figura 12. Determinación de dureza	35
Figura 13. Determinación de conductividad.....	36
Figura 14. Determinación de turbiedad.....	36
Figura 15. Determinación de solidos	37
Figura 16. Determinación de pH.....	38
Figura 17. Determinación de coliformes.....	38
ANEXO ESTADISTICO	39
1. ANALISIS DE ANOVA (COLOR).....	39
2. PRUEBA DE TUKEY (COLOR).....	39
3. ANALISIS DE ANOVA(TURBIDEZ).....	40
4. PRUEBA DE TUKEY (TURBIDEZ)	40

Índice de tablas

Tabla 1. Indicadores de calidad	17
Tabla 2. Límites máximos permisibles de los parámetros medidos en el presente estudio.....	18
Tabla 3. Parámetros y frecuencia de recolección.....	19
Tabla 4. Límites máximos permisibles de acuerdo a la normatividad vigente en el país.....	21
Figura 4. Comportamiento del pH en las muestras de agua analizadas	22
Tabla 5. Valor promedio obtenido en monitoreo del SCALL 2023.....	29
Tabla 6. Valor promedio de cada parámetro obtenido por Torres, (2023).....	29

Índice de figuras

Figura 1. Precipitación anual de Tuxtla Gutiérrez (Ovando 2026).....	12
Figura 2. Componentes de un SCALL (Elaborado por Ovando, 2024).	14
Figura 3. Ubicación del SCALL. fuente: google earth 2026.....	18
Figura 4. Comportamiento del pH en las muestras de agua analizadas.	22
Figura 5. Comportamiento de la conductividad del agua de las muestras analizadas.....	23
Figura 6. Comportamiento de la dureza del agua de las muestras analizadas.	24
Figura 7. Comportamiento del color del agua de las muestras analizadas.	25
Figura 8. Comportamiento de la turbidez del agua de las muestras analizadas.....	26
Figura 9. Comportamiento de UFC en las muestras analizadas	27
Figura 10. Comportamiento de los SDT en el agua de las muestras analizadas.....	28
Figura 11. Muestras de agua de lluvia	35
Figura 12. Determinación de dureza	35
Figura 13. Determinación de conductividad.....	36
Figura 14. Determinación de turbiedad.....	36
Figura 15. Determinación de solidos	37
Figura 16. Determinación de pH.....	38
Figura 17. Determinación de coliformes.....	38

Introducción

El agua es un recurso vital para la vida y el desarrollo de las sociedades; sin embargo, su disponibilidad y calidad se encuentran cada vez más comprometidas debido al crecimiento poblacional, la contaminación y el cambio climático. De acuerdo con datos presentados por la UNAM (2023), a nivel mundial, más de 2,000 millones de personas carecen de acceso a agua potable, mientras que 3,600 millones no cuentan con servicios adecuados de saneamiento, lo que refleja una crisis hídrica de gran magnitud. De acuerdo con Hernández (2024), México no está exento de esta problemática: gran parte de sus cuerpos de agua presentan algún nivel de contaminación, más de un centenar de acuíferos se encuentran sobre explotados y en estados como Chiapas el acceso al recurso es limitado, especialmente en comunidades rurales y zonas marginadas.

En este contexto, la captación de agua de lluvia se ha consolidado como una alternativa sustentable y de bajo costo que contribuye a mejorar el acceso al agua, reducir la presión sobre los sistemas convencionales de abastecimiento y fomentar una cultura de aprovechamiento responsable. Diversos estudios nacionales e internacionales han demostrado que, mediante un adecuado diseño e implementación, los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) pueden garantizar agua de calidad para usos domésticos e incluso para consumo humano, siempre que se apliquen tratamientos de purificación apropiados.

El presente trabajo se enfoca en evaluar la calidad físico-química y microbiológica del agua de lluvia recolectada en un SCALL ubicado en la zona centro de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, durante los meses de septiembre y octubre de 2023. Los resultados obtenidos se comparan con datos previos de 2019 y 2021 analizados por Torres (2023), con el propósito de determinar la viabilidad de este recurso como fuente complementaria de abastecimiento y comprobar la consistencia en su calidad. Con ello, se busca aportar evidencia científica que sustente la implementación de estos sistemas como estrategia para enfrentar la crisis hídrica local y promover el uso eficiente y sustentable del agua.

Planteamiento del problema.

La crisis hídrica es una problemática que afecta a todo el mundo, de acuerdo con el informe publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2023) el cual se dio a conocer en la conferencia de Naciones Unidas sobre el agua 2023, 2000 millones de personas no disponen de agua potable y 3600 millones carecen de este recurso, lo que representa el 26 y 46% de la población, respectivamente.

Con relación a esta problemática, ciertas regiones de México presentan una crisis hídrica, y de acuerdo con la Gaceta de la UNAM (2017) el 60 % de los cuerpos de agua presentan contaminación, 157 de los acuíferos son sobre explotados, y se ha perdido gran parte de la cobertura vegetal, lo que ha dado lugar a un desbalance hidrológico.

Hay que destacar que de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2021) menos del 50 por ciento de la población de Chiapas pueden abastecerse de agua debido a los altos costos para llevar agua a las zonas Sierra y Altos. Estos datos publicados en el Periódico Oficial “El Decreto” para la Protección del Agua en el estado de Chiapas (2022).

Durante el año 2023 se han registrado lluvias a partir del mes de marzo en Tuxtla Gutiérrez siendo junio y septiembre los meses con más lluvia con un promedio de precipitación de 220 y 258 mm, respectivamente, siendo marzo el mes con menor precipitación (22 mm).

Históricamente la cuenca del río Sabinal, el arroyo San Roque y Potinaspak entre otros, afectan a la población de Tuxtla en temporadas de lluvias por desbordamientos que provocan inundaciones y daños materiales (Nucamendi Hernández, S. 2021). Ante estos escenarios, la implementación de SCALLs pueden ayudar a reducir estos efectos, y representar además una alternativa de suministro de agua y con calidad para los habitantes de la ciudad.

Justificación.

En México la disponibilidad de agua natural de acuerdo a datos presentados por Rodríguez (2012) es de 473 km^3 de agua por año, esta cifra representa la tercera parte de la que se recibe por precipitación siendo esta el 31.22%, sin embargo más de 1091 km^3 regresa a la atmósfera mediante la evaporación. En el país son muy pocos los lugares que captan el agua para darle un uso en sus actividades diarias, y menos aún darle un tratamiento, por lo que en lugares donde existe estrés hídrico o escasez de agua puede llegar a ser una alternativa atractiva que mitigue esta problemática y disminuya el impacto en la de extracción del agua subterránea.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Chiapas 2019-2024, la disponibilidad de agua renovable ha disminuido de 3,982 a $3,656 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ esta disminución se apreció entre los años 2013 a 2017, promoviendo así, los tratamientos de agua y su recuperación.

Una manera de contrarrestar la crisis hídrica es implementar los sistemas de captación en las casas en las zonas de poca accesibilidad de agua en temporadas de lluvia mediante un sistema de filtración y purificación para eliminar los contaminantes.

El presente trabajo se basa en analizar parámetros físico químicos y microbiológicos del agua durante los meses de lluvia de septiembre y octubre del año 2023, para un sistema de captación implementado en la cabecera municipal de Tuxtla Gutiérrez, haciendo una comparativa con los datos ya analizados de los años 2018 a 2020 en el mismo sitio de estudio. Lo anterior con la finalidad de demostrar que la calidad de agua obtenida por el sistema de captación de agua lluvia tratado mediante un filtro de carbón activado y luz ultra violeta, es consistente en el tiempo y suficiente para brindar un agua de calidad para uso y consumo humano de acuerdo con ciertos parámetros determinados bajo la norma correspondiente (NOM-127-SSA1-2021).

Objetivos.

➤ **Objetivo general:**

- Determinar la calidad del agua para el uso y consumo humano de agua obtenida de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia instalado en la zona centro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

➤ **Objetivos específicos:**

- Analizar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia de los meses septiembre y octubre del año 2023.
- Comparar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia durante los meses septiembre y octubre en los años 2018, 2019, 2020 y 2023, y realizar el análisis estadístico para los principales parámetros determinados.

Antecedentes:

La implementación de los SCALL surge como alternativa de fuente de abastecimiento de agua en territorios que presentaban escasez de agua. En la historia se han registrado diversas técnicas de captación de agua en diferentes partes del mundo; a continuación, se presentan algunos casos relevantes.

En el ámbito internacional se reportan diversos trabajos, como el de Suarez et al. (2006), donde se menciona que el gobierno de la India enfrenta una problemática para satisfacer a todos sus habitantes (aproximadamente 1000 millones) con el recurso hídrico, teniendo registros de 100 horas de lluvia durante el año; la captación y almacenamiento de agua representó una de las soluciones más factible para esta problemática.

Otro trabajo es el citado por Chino-Calli et al. (2016) quienes mencionan que la población de Vilca Maquera, Puno-Perú presentaba problemas gastrointestinales por el consumo de agua de pozos rústicos contaminados, debido a esto fue necesario, diseñar, implementar y evaluar la calidad del agua de acuerdo a los lineamientos de la OMS que establece los límites máximo para consumo humano, realizando cálculos de precipitación neta, cobertura de captación, almacenamiento con respecto a la demanda de agua para

satisfacer las necesidades de cada familia, de acuerdo a eso se realizaron los análisis para ver que se cumplan estos lineamientos.

Para el ámbito nacional, Parada Molina & Cervantes Pérez (2017) reportan en la ciudad de Xalapa, Veracruz se le monitoreó de la calidad de agua captada mediante la azotea de las casas, colector omnidireccional para agua de lluvia y niebla, respectivamente, ahorrándose de 35 % del consumo mensual solo para uso doméstico en temporada de seca. Cabe mencionar, que esta agua no es sometida a un sistema de purificación por lo que no se puede consumir debido a la carga orgánica y sedimentos.

Pérez Hernández et al, (2017), quienes en el estado de Oaxaca diseñaron un SCALL que permitiera la purificación del agua, donde el área de captación estaba cubierta con geomembrana de PVC; el primer tratamiento fue una cisterna escalonada (decantación) para la eliminación de las partículas finas, para posteriormente pasarla al almacenamiento donde se le dosifica cloro. Este sistema de tratamiento no cumple con los parámetros de turbiedad, sabor, aluminio, fierro y mercurio establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

Para el estado de Chiapas, Torres (2023) realizó un estudio sobre la calidad físico-química del agua de lluvia captada en Tuxtla Gutiérrez durante los años 2018 a 2020, evaluando parámetros de pH, color, turbiedad, dureza y sólidos disueltos totales conforme a la NOM-127-SSA1-1994. Los resultados evidenciaron que el agua de lluvia cumple en la mayoría de los casos con los límites normativos, aunque se registraron ligeras variaciones en pH, color y sólidos disueltos en determinados periodos. Se concluye que esta agua es apta para actividades domésticas, pero requiere procesos de potabilización y análisis microbiológicos para su consumo humano.

Marco teórico.

De acuerdo con Toledo (2006), más del 70% de la superficie del planeta es agua, esta se encuentra distribuida en ríos, arroyos, en suelo y aire. Se considera un elemento vital de supervivencia para los seres vivos, se encuentra en los 3 estados de la materia de forma natural (sólido, líquido y gaseoso). Posee

propiedades únicas: no tiene color, sabor ni olor, es considerado un solvente universal, un reactivo ideal en los procesos metabólicos y contiene valiosos minerales y nutrientes, generalmente su pH es neutro. A continuación, se comentan algunos conceptos importantes entorno a la calidad del agua y sistemas de captación.

1. Precipitación del agua.

Romera y Santos (2015) definen a la precipitación como la caída del agua durante un cierto periodo de tiempo en la superficie en forma de lluvia o humedad (nieve, hielo, condensación) generalmente es expresada en L/m^2 .

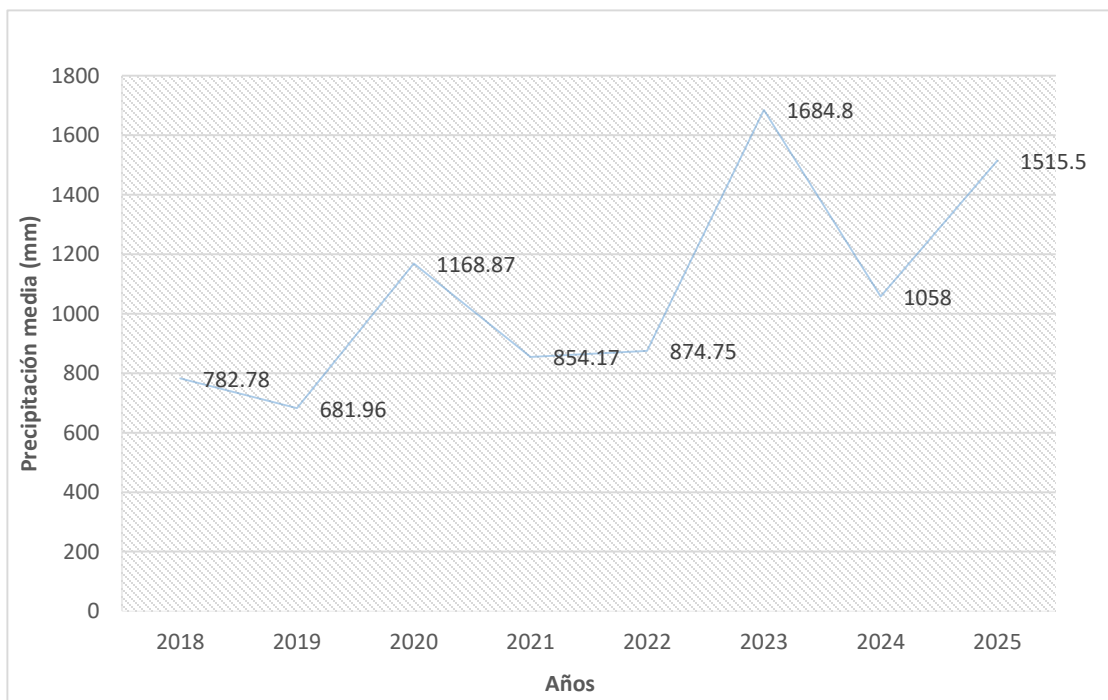


Figura1. Precipitación anual de Tuxtla Gutiérrez (Ovando 2026)

2. Agua y salud.

Forde et al (2019) hace una relación entre agua, salud y economía. Estos factores afectan a los seres vivos, el agua que se consumen debe estar libre de contaminantes químicos, microbiológicos, de lo contrario el individuo presentará modificaciones graves en su salud, ejemplo de ello son las enfermedades gastrointestinales, cáncer, retraso en el desarrollo físico y neurológico este último es más común en niños o adultos de la tercera edad debido a que tienen un sistema inmunológico más débil.

La calidad del agua que consume depende del contexto económico de la región, en países desarrollados poseen tecnologías de purificación y eliminación de microorganismo del agua contaminada provenientes de industrias y vertederos de lixiviados provenientes de una mala disposición final de los residuos De acuerdo con esto, es fundamental priorizar las zonas vulnerables que tienen un menor acceso al agua, con el propósito de reducir las enfermedades provocadas por el consumo de agua de mala calidad. Uno de los objetivos establecidos dentro de los denominados Objetivos de Desarrollo Sustentable para el año 2030, nos dice lo siguiente: “los esfuerzos deben centrarse en aplicar políticas y prácticas de desarrollo urbano inclusivo, resiliente y sostenible que den prioridad al acceso a los servicios básicos, a la vivienda a precios asequibles, al transporte eficiente y a los espacios verdes para todo el mundo”.

3. Deterioro de la calidad del agua.

Cirelli (2012) menciona que las principales causas del deterioro del agua son los vertidos de aguas residuales urbanas e industriales sin tratamiento, así como la acumulación de sustancias en el suelo y sedimentos por prácticas agrícolas deficientes, minería, industrias, vertederos de lixiviados (basureros), etc.

Las principales alteraciones son: crecimiento microbiológico, pérdida de ecosistemas acuáticos, pérdida de fertilidad en el suelo, enfermedades por consumo, entre los principales.

4. Agua lluvia.

El agua de lluvia en el contexto rural puede definirse como el agua que no es absorbida por el suelo, teniendo un escurrimiento en edificios, calles, pavimentación hasta llegar a las alcantarillas o drenajes.

5. Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL).

De acuerdo con Anaya (2014), en el territorio mexicano se registra una precipitación aproximada de 1,488 mil millones de metros cúbicos de agua, de los cuales únicamente se aprovecha alrededor del 3% del agua de lluvia. Ante esta situación, los SCALL constituyen una estrategia sustentable de gestión hídrica, particularmente en viviendas con techos de lámina o concreto localizadas en zonas con limitado acceso a la red de distribución. Estos sistemas permiten disponer de agua apta para usos domésticos y, mediante tratamientos adecuados, para consumo humano.

Usualmente un SCALL está conformado por 5 elementos, tal y como se muestra en el siguiente esquema (figura 1).

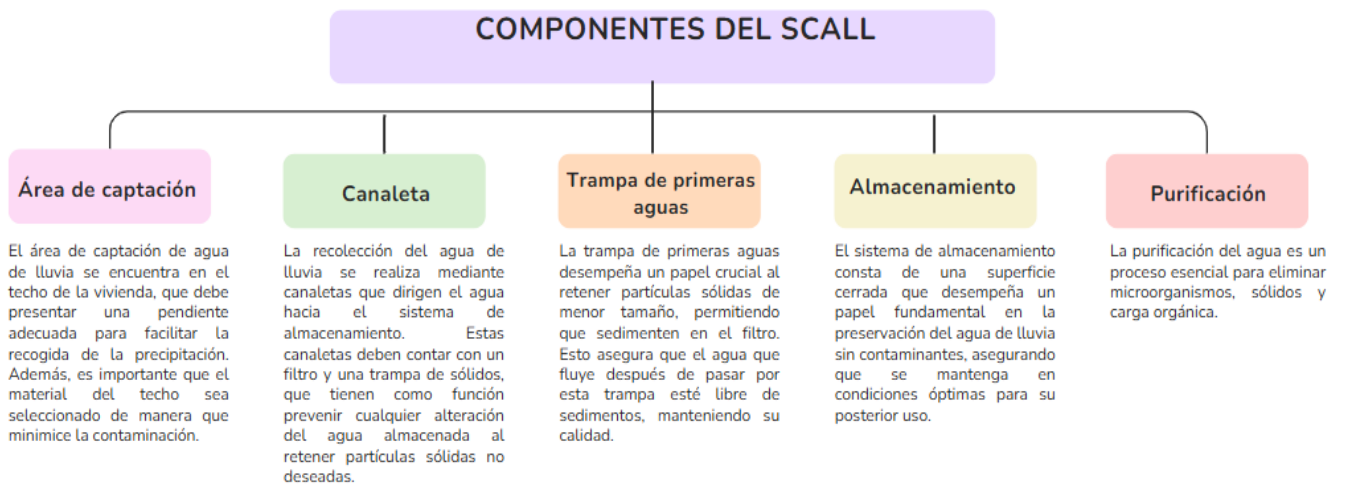


Figura 2. Componentes de un SCALL (Elaborado por Ovando, 2024).

2.1 Uso de agua de lluvia.

Históricamente el agua de lluvia era utilizada para lavarse, beber y cocinar directamente con ella. Hoy día los criterios son un poco más restrictivos y no suele aconsejarse el consumo directo del agua (Ñontol Salazar, 2021).

En la actualidad el agua de lluvia generalmente se usa para uso doméstico (lavado de ropa, limpieza de las casas, para w.c, riego de planta), agricultura (limpieza de animales, riego de cultivo, entre otros) estas actividades no requieren un tratamiento previo.

La filtración es un método necesario tanto para el agua destinada a uso doméstico como para el consumo humano. Este proceso ayuda a eliminar la turbidez, los sólidos suspendidos, las esporas, la carga orgánica y los metales oxidados, entre otros contaminantes. Existen diversas técnicas de purificación del agua, pero generalmente se utilizan los siguientes dos métodos.

-Luz ultravioleta: elimina las bacterias, protozoos, sabor desagradable, virus, entre otros microorganismos.

-La cloración: en este método se eliminan las bacterias, virus, patógenos, entre otros.

Sin embargo, para el consumo humano existen normas que regulan y establecen los límites máximos de calidad del agua después de darle un tratamiento para la eliminación de sustancias contaminantes y microorganismos, estos límites suelen variar muy poco según el país donde esté ubicado el sistema.

2.2 Ventajas y desventajas de un SCALL.

Se debe conocer las ventajas y desventajas del sistema antes de la implementación para determinar si es o no factible, así como el lugar específico que permita tener mejores resultados.

➤ Ventajas:

- No requiere energía para su funcionamiento, exceptuando la filtración por método de luz ultravioleta.
- Bajo precio en su construcción y mantenimiento en comparación con los métodos convencionales de abastecimiento de agua.
- Menor contaminación en el agua.
- Fácil recolección.

➤ Desventajas

- El agua captada depende del nivel de precipitación de la zona.
- La construcción y potabilización puede tener un alto costo para familias de bajo recurso.
- La ubicación del almacenamiento determina si es necesario el uso de bombas.

4. Indicadores de calidad

A lo largo de los años, se han llevado a cabo diversos estudios sobre la calidad del agua de lluvia recolectada. En estos estudios, se destacan seis indicadores de calidad que se repiten con mayor frecuencia, los cuales se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Indicadores de calidad

Parámetro	Descripción
Turbidez	Trujillo (2014) señala que la turbidez constituye uno de los parámetros más relevantes para evaluar la calidad del agua, tanto en las fuentes de abastecimiento como en los procesos de distribución y potabilización. Este parámetro se expresa comúnmente en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).
Color	El color en el agua es producido por la materia suspendida y disuelta, el cual se denomina color aparente. La unidad de medida 1mg Pt-Co/1L , la relación de platino cobalto es expresada en Pt-Co, varía de acuerdo con el pH de la muestra (Herrera 2012)
pH	Ramos (2018) menciona que el potencial de hidrogeno es utilizado para medir la acidez del agua, normalmente el pH de las aguas naturales se mantiene entre los rangos 6.5 y 8.0.
Conductividad eléctrica	Solís (2018) define a la conductividad como la capacidad de un agua para transportar corriente eléctrica y se encuentra íntimamente relacionada con las sales disueltos, aproximadamente $2\frac{\mu S}{cm} = 1ppm$ de solidos disueltos totales.
Dureza	La dureza se caracteriza porque produce muy poca espuma cuando se junta con el jabón, otra característica del agua dura es la cantidad de residuos que deja cuando se evapora, su rango varía entre 10 y 300 ppm (Herrera 2012).
Solidos disueltos totales	SEMARNAT (2015) define solidos disueltos totales como el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Coliformes	El grupo de bacterias coliformes se utiliza como indicador de contaminación fecal en el agua, es expresada en unidades de NMP/100 ml (SEMARNAT 2020).

Normatividad

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-2021, agua para uso y consumo humano. La presente norma establece los límites permisibles en cuanto a sus características físicas, químicas y microbiológicas del agua sometida a tratamiento de potabilización para uso y consumo humano. En la tabla 2 solo se mencionan los parámetros de la NOM-127 que fueron considerados en el presente estudio.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de los parámetros medidos en el presente estudio.

Parámetros	LMP
Turbiedad	4 UTN
Color	15 unidades Pt-Co.
Dureza	500 mg/L
pH	6.5-8.5
Conductividad	50-500 mmhos/cm
Solidos disueltos totales	1000 mg/L
Coliformes	1 NMP/100 ml
	1 UFC/100 ml

Metodología.

1. Ubicación del sistema

A continuación, se presentan las coordenadas geográficas donde se recolectaron las muestras analizadas durante este estudio.

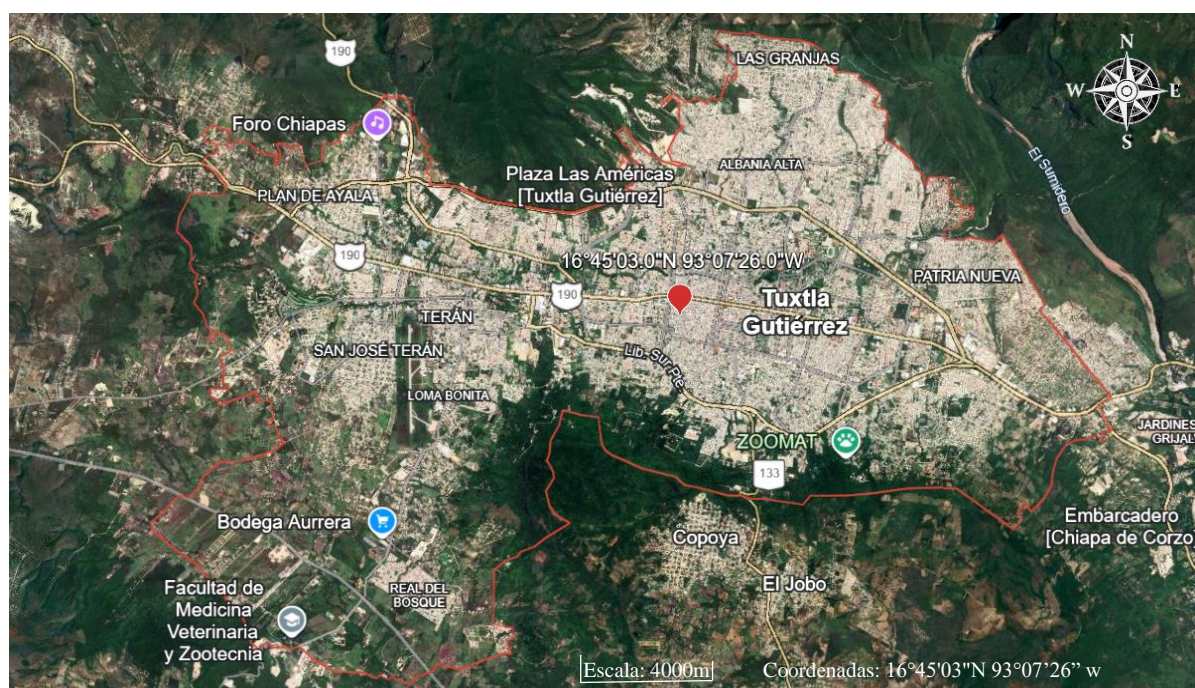


Figura 3. Ubicación del SCALL. fuente: google earth 2026

La metodología de la investigación adopta un enfoque comparativo, analizando las características físico-químicas (pH, turbiedad, color, dureza y sólidos disueltos totales) y microbiológicas del agua de lluvia extraída de un prototipo de SCALL implementado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. A continuación, se muestran las coordenadas del sitio de estudio.

2. Muestreo

El en trabajo se recolectaron un total de 8 muestras; 4 tomadas del tanque de almacenamiento y 4 muestras tomadas después de su paso por la lámpara UV. Las muestras corresponden a los meses septiembre y octubre. Las muestras se depositaron en botellas de plástico de 1000 ml. Estas fueron debidamente etiquetadas con información detallada sobre la fecha y el lugar de origen de cada muestra. Las muestras fueron refrigeradas a 4°C hasta el día de su análisis (enero de 2024, debido a la disponibilidad de reactivos), incorporando además muestras de agua de la red pública y agua comercial con el fin de establecer una comparación de la calidad del agua.

En la tabla 3 se presentan los parámetros analizados, la norma técnica aplicada y la frecuencia en la que se recolectaron las muestras.

Tabla 3. Parámetros y frecuencia de recolección.

Parámetro	Normas técnicas	Frecuencia de recolección	Instrumento	Determinación
Color	NMX-AA-045-SCFI -2001	Quincenal	Colorímetro	La medición de color verdadero mediante la comparación visual con una escala estandarizada platino-cobalto es una herramienta eficaz para garantizar la consistencia y la exactitud del color.

Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	Quincenal	Turbidímetro	Este método se conoce como la técnica de turbidez y se utiliza comúnmente en la medición de la claridad de una muestra de líquido. El turbidímetro es un dispositivo que emite luz a través de la muestra y mide la cantidad de luz dispersa por las partículas en suspensión en la muestra. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersa, mayor será la turbidez de la muestra.
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	Quincenal	Medidor de pH	La medición del valor de pH mediante un pHmetro se basa en la diferencia de potencial de una celda electroquímica, que puede variar con la temperatura. Se agrega una gota del indicador visual en la muestra que se va a analizar. Si la muestra contiene calcio y magnesio, el indicador visual se tornará de color rojo, indicando la presencia de estos elementos. En cambio, si la muestra no contiene calcio y magnesio, el indicador visual se tornará de color azul.
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001	Quincenal	Equipo de Titulación por indicador	La medición de sólidos disueltos y materia orgánica en aguas se lleva a cabo mediante procesos de evaporación, calcinación y pesada de residuos sólidos, que permiten tanto una medición cuantitativa como cualitativa de estos componentes en las muestras de agua.
Solidos	NMX-AA-034-SCFI-2015	Quincenal	Equipo de evaporación y calcinación de muestras filtradas	El método permite la determinación de los grupos del coliformes fecales existentes en diversas guías de microbiología, ya que es uno de los más estudiados con resultados consistentes, siendo capaz de determinar una cantidad de coliformes difícilmente detectable por otros métodos.
Coliformes	NMX-AA-042-SCFI-2015	Quincenal	Equipo de Filtración y incubadora.	

Análisis estadístico de los resultados:

Los resultados obtenidos fueron correlacionados con los reportados por Torres (2023) para los años 2018, 2019 y 2020, esto con la finalidad de identificar cambios o variaciones en los parámetros analizados en temporalidades diferentes, para ello se empleó el coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados y discusiones

Previo a presentar los resultados obtenidos, en la tabla siguiente (Tabla 4) se muestran los límites máximos permisibles que menciona la NOM-127-SSA1-2021, para los parámetros considerados en el presente trabajo.

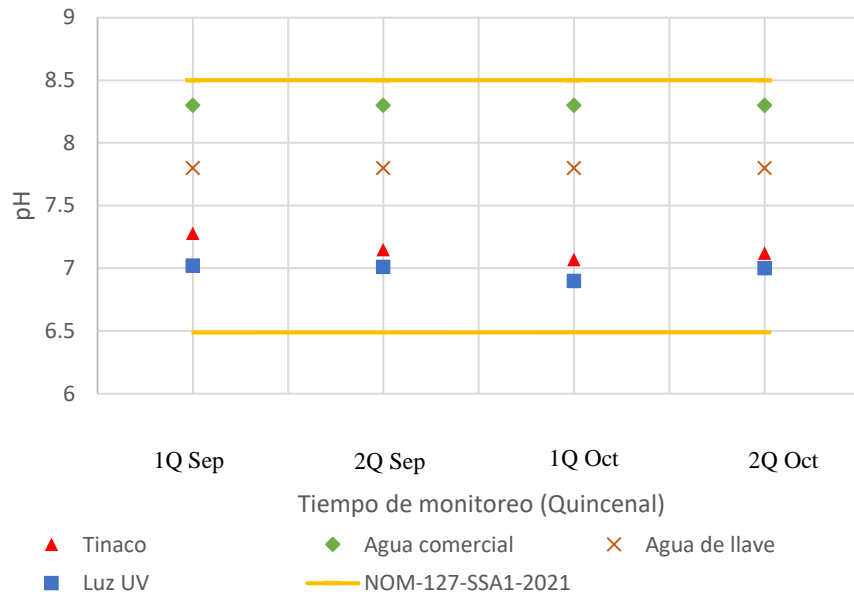
Tabla 4. Límites máximos permisibles de acuerdo a la normatividad vigente en el país.

Norma	Parámetro	Límite máximo permisible UTN	Unidad
NOM-127-SSA1-2021	Color	15	Pt-Co
	Dureza	500	CaCO ₃ (mg/l)
	pH	6.5-8.5	--
	Solidos disueltos totales	1000	Mg/l
	Coliformes	<1	NMP/100 ml
		<1	UFC/100 ml
	Turbiedad	4	UTN
	Conductividad	50-500	mmhos/cm

Los resultados obtenidos para el pH se muestran en la figura 3, donde se observa que los valores estuvieron entre 7.2 a 7.28 para el agua de lluvia, siendo estos valores más bajos que los obtenidos para el agua comercial (8.3) y el agua de llave (7.8). Sin embargo, los registros de pH se mantienen dentro del rango que establece la NOM-127-SSA1-2021 (6.5 y 8.5). En general, el pH del agua de lluvia tiende a ser ligeramente ácido, de acuerdo con lo reportado por Ramos (2018), y para el presente estudio su valor promedio fue de 5.6. El valor de pH en el agua de lluvia puede variar debido a diversos factores, como la ubicación geográfica y la cantidad de contaminantes presentes

en la atmósfera. Para el caso de los resultados de este estudio, se observa que tanto las muestras de tinaco como las muestras tratadas con luz UV están dentro del rango permitido.

Figura 4. Comportamiento del pH en las muestras de agua analizadas.

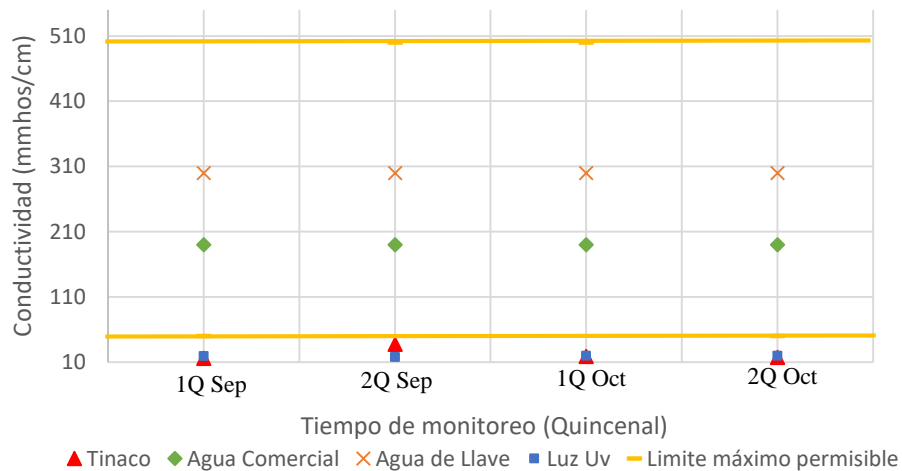


Respecto al parámetro de conductividad, los valores obtenidos en el agua de lluvia estuvieron entre 16 y 37 mmhos/cm, lo cual es inferior al rango óptimo recomendado para agua destinada al consumo humano (50 y 500 mmhos/cm) (NOM-127-SSA1-2021). En contraste, solo las muestras de agua comercial y agua de la llave están dentro de lo establecido según este parámetro, registrando 300 y 190 mmhos/cm, respectivamente.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Galloway et al. (1982), quienes señalan que el agua pluvial presenta una conductividad extremadamente baja, cercana a la del agua desionizada en equilibrio con el CO₂ atmosférico ($\approx 1 \mu\text{S}/\text{cm}$). Esta similitud es explicada por Orué et al (2015), donde mencionan que el agua de lluvia carece de un contacto prolongado con el suelo o con formaciones geológicas que permitan

su mineralización, por lo que sus características químicas se asemejan más al agua destilada o desionizada que a otras fuentes naturales.

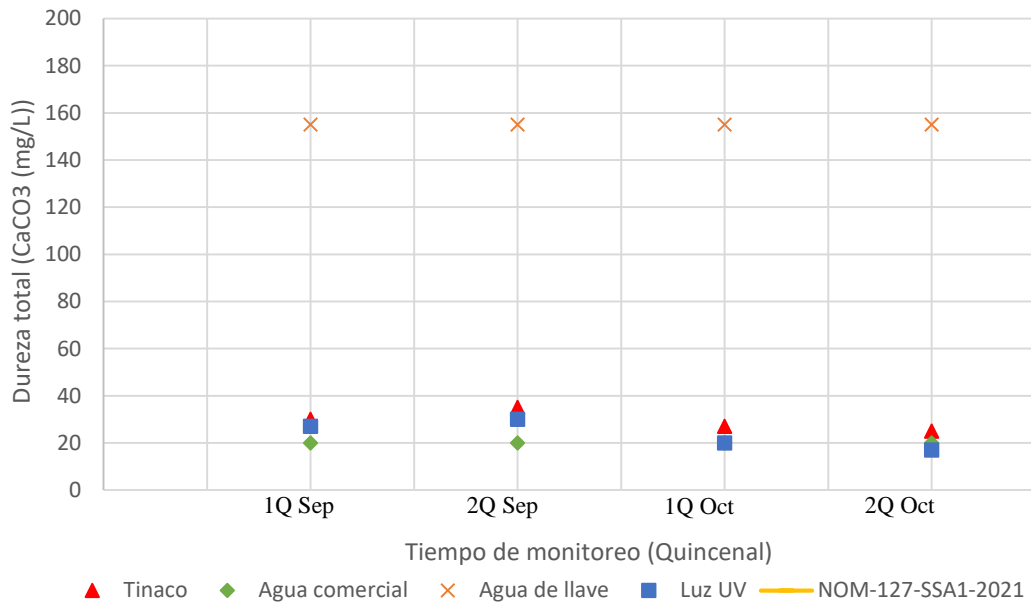
Figura 5. Comportamiento de la conductividad del agua de las muestras analizadas.



En cuanto al parámetro de dureza (figura 5), se observa que sus registros se encuentran en un rango de 17 a 35 mg/L CaCO_3 , cumpliendo con los valores establecidos como límite máximo en la NOM-127-SSA1-2021 (500 mg/L CaCO_3). En general, se observan diferencias claras entre los tipos de agua analizadas. En el caso del agua de lluvia recolectada, se evidenció una dureza muy baja, lo que permite clasificarla como agua blanda. Esta condición se explica por la escasa presencia de cationes como calcio, magnesio y manganeso, debido a la ausencia de procesos de arrastre mineral desde formaciones geológicas y a la limitada incorporación de iones provenientes de la atmósfera como lo menciona Rojas (2024).

Por otro lado, aunque las muestras de agua de llave también se encuentran por debajo del límite normativo, presentan valores de dureza más elevados en comparación al agua de lluvia. Esto es coherente con lo observado en regiones con abundancia de rocas calcáreas, donde minerales presentes en el subsuelo se disuelven con mayor facilidad en el agua, aumentando su dureza; tal es el caso de la zona de Tuxtla Gutiérrez como lo explica Ordóñez (20215). De este modo, la composición del agua analizada refleja distintos grados de mineralización asociados a su origen y a los procesos naturales a los que ha estado expuesta.

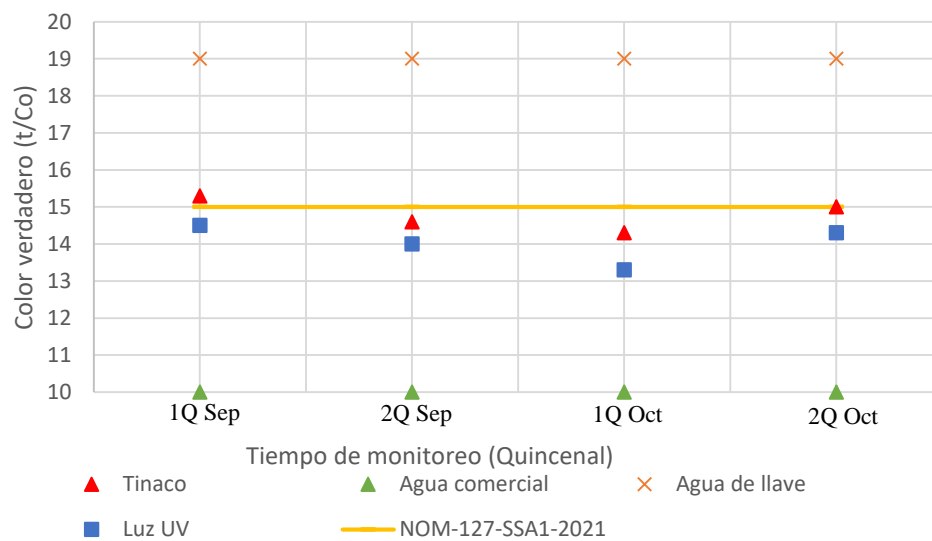
Figura 6. Comportamiento de la dureza del agua de las muestras analizadas.



Otro parámetro medido fue el color, cuyos resultados se muestran en la figura 6. En términos generales, los registros de este parámetro para el agua de lluvia tratada con luz UV, presentaron valores por debajo del límite normativo, mientras que las muestras provenientes del tinaco se encontraron cercanas al valor máximo permitido. Los resultados obtenidos para el agua pluvial, se mantuvieron dentro de un rango que oscila entre 13.3 y 15.3 unidades de color (UC), reflejan una condición aceptable en términos de cumplimiento normativo, lo cual sugiere una menor presencia de compuestos cromóforos y una adecuada

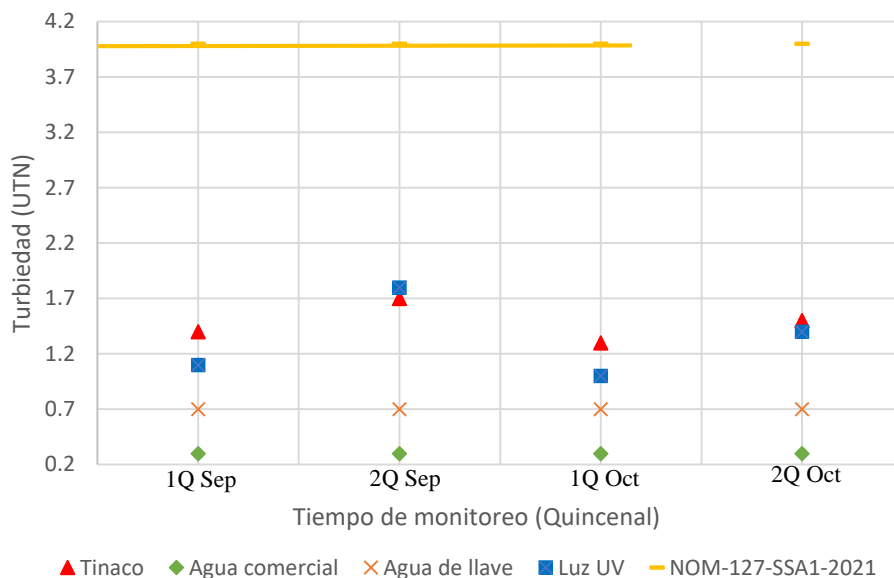
calidad en este parámetro, de acuerdo con lo señalado por la normatividad vigente en el país. Sin embargo, de acuerdo con lo reportado por Hoyos et al. (2018), el arrastre de materiales desde la superficie de los techos donde se capta el agua de lluvia podría ser el responsable de obtener valores más altos en el color en algunos casos. En conjunto, estos hallazgos evidencian diferencias significativas entre las fuentes de agua analizadas, atribuibles tanto a su origen como a los procesos a los que fueron sometidas antes de su evaluación.

Figura 7. Comportamiento del color del agua de las muestras analizadas.



Respecto al parámetro de Turbidez (figura 7), las muestras analizadas se encuentran dentro de un rango de 0.3 y 1.8 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja la concentración aproximada de materiales coloidales, minerales u orgánica, por lo que puede constituir un indicio de contaminación de acuerdo con Espigares García y Fernández (1999). En general, el agua evaluada presentó valores bajos en turbidez cumpliendo con la NOM-127-SSA1-2021.

Figura 8. Comportamiento de la turbidez del agua de las muestras analizadas.



En relación con el parámetro de coliformes, se observa que todas las muestras analizadas cumplen con el límite máximo permisible de 1 UFC/100 mL establecido.

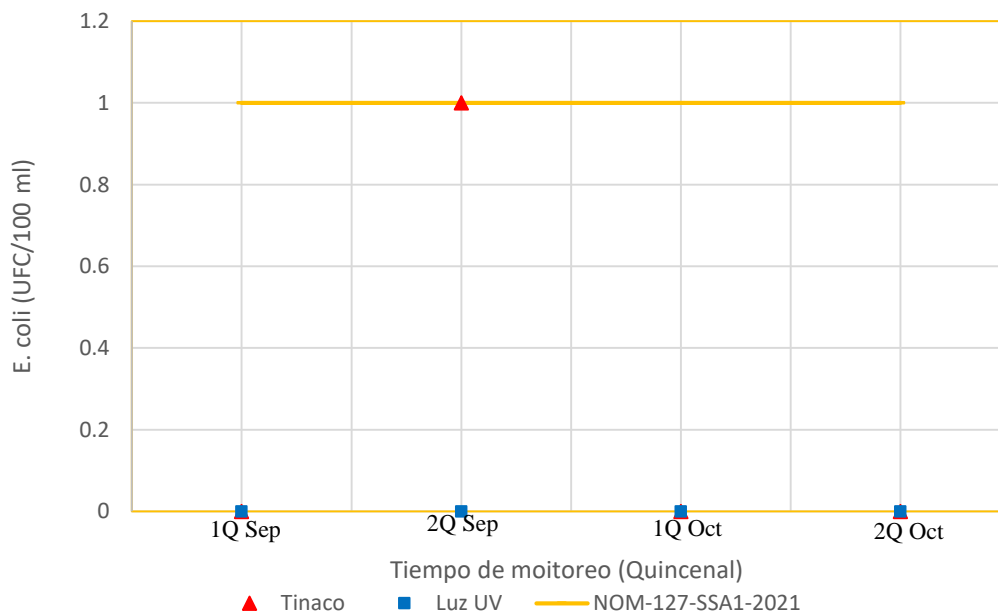
No obstante, la muestra proveniente del tinaco correspondiente a la segunda quincena de septiembre se encuentra justo en el límite normativo, lo que indica una condición que, si bien no representa un incumplimiento, sí sugiere un mayor riesgo potencial en comparación con las demás fuentes evaluadas.

Al contrastar estos hallazgos con lo señalado por Uriburu Chávez (2018), el cumplimiento observado en la mayoría de las muestras respalda que el agua analizada mantiene condiciones microbiológicas adecuadas; sin embargo, la situación particular del tinaco subraya la importancia de implementar medidas de control, limpieza y mantenimiento que prevengan procesos de contaminación secundaria.

De acuerdo con las guías de diseño y construcción del SCALL, se recomienda realizar una limpieza de techos y canaletas al menos cada 3 o 6 meses, o con frecuencia en épocas de acumulación de polvo y hojas (materia orgánica), así como realizar la limpieza y desinfección en el sitio de almacenamiento de agua, por lo menos 2 veces al año. Además, se requiere la limpieza periódica de filtros y trampas de primeras aguas para garantizar su correcto funcionamiento y evitar la acumulación de sedimentos.

Cabe destacar que, en esta etapa del análisis, el agua evaluada aún no se considera destinada al consumo humano; no obstante, estas acciones preventivas resultan fundamentales para asegurar su inocuidad en fases posteriores, especialmente si se quiere potabilizar o darle uso doméstico directo.

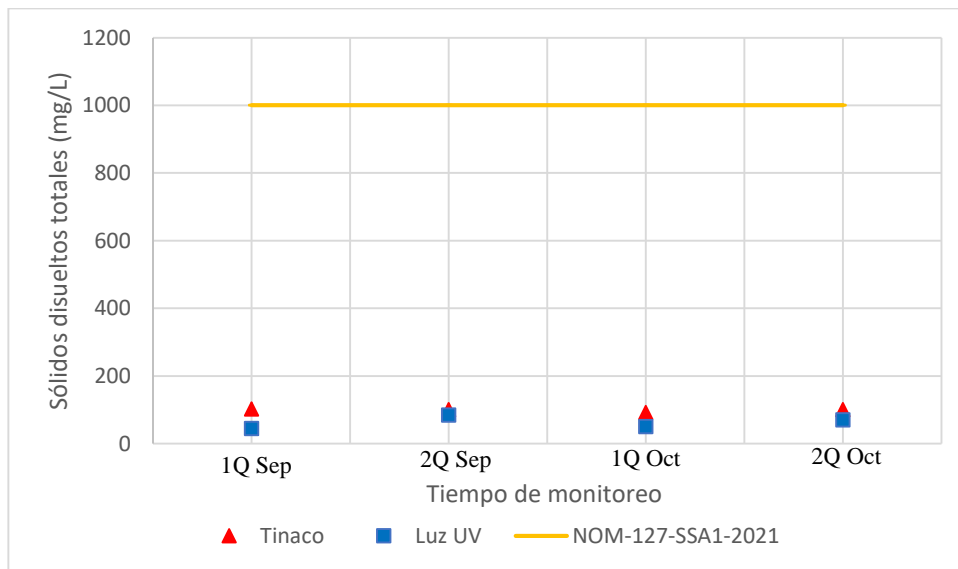
Figura 9. Comportamiento de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en el agua de las muestras analizadas.



Para el caso de SDT, los valores obtenidos se muestran en la Figura 9, los cuales se mantuvieron en un rango de 44.5 a 102 mg/L. Estos valores cumplen ampliamente con el límite máximo permisible de

1000 mg/L establecido por la NOM-127-SSA1-2021 para agua destinada al consumo humano. De acuerdo con lo señalado por Quispe Peralta (2025), concentraciones en este rango reflejan una baja presencia de sales minerales disueltas, lo que no solo garantiza la potabilidad del agua desde la perspectiva de este parámetro, sino que también favorece una adecuada aceptabilidad organoléptica, ya que niveles más elevados pueden generar sabores salobres o amargos. En conjunto, los resultados indican que las muestras analizadas presentan una calidad adecuada en términos de SDT.

Figura 10. Comportamiento de los SDT en el agua de las muestras analizadas.



En términos generales, los resultados señalan que la calidad del agua de lluvia varía de acuerdo al material y condiciones geológicas en la cual fluye, alterando de esta manera los parámetros físicos-microbiológicos como el pH, dureza, conductividad, turbidez, color, SDT y el contenido de coliformes. Por lo consiguiente, el material del sistema de captación; su manejo, mantenimiento y almacenamiento del agua de lluvia puede modificar la calidad del agua, y el destino final de este tipo de agua. Cabe destacar que el agua analizada de Tuxtla Gutiérrez presentó valores bajos de contaminación, por lo que se concluye que

los SCALL deben estimar la remoción de sólidos y carga microbiana, y de esta forma, garantizar la calidad del agua, obteniendo una alternativa, sustentable y asequible para su uso en época de escasez hídrica.

Correlación de resultados con el estudio de torres (2023)

En la tabla 5 se presenta los valores promedio obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados, con el propósito de facilitar su análisis e interpretación.

Tabla 5. Valor promedio obtenido en monitoreo del SCALL 2023.

Año	pH		Color (Pt-Co)		Dureza (CoCO3mg/l)		SDT (mg/l)		Turbiedad (UNT)		Conductividad		Coliformes	
	Tinaco	Luz UV	Tinaco	Luz UV	Tinaco	Luz UV	Tinaco	Luz UV	Tinaco	Luz UV	Tinaco	Luz UV	Tinaco	Luz UV
2023	7.15	6.98	14.8	14.02	29.25	23.1	98.62	62.25	1.47	1.325	22.5	19.2	0.25	0
Nom-127-SSA1-2021	6.5-8.5		15 UC		500 mg/L		1000 mg/l		4 UTN		50-500 mmhos/cm		1 UFC	

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por Torres (2023), de acuerdo con el estudio realizado en el mismo sitio de investigación, los cuales permiten establecer una base comparativa y aportar elementos de análisis relevantes para la presente investigación.

Tabla 6. Valor promedio de cada parámetro obtenido por Torres, (2023)

Año	pH		Color (Pt-Co)		Turbiedad (UNT)		Dureza (CoCO3mg/l)		SDT (mg/l)	
	Separador	Tinaco	Separador	Tinaco	Separador	Tinaco	Separador	Tinaco	Separador	Tinaco
2018	4.6085	4.3085	6	0	0.5271	0.2914	---	---	---	---
2019	7.1208	7.03	12.933	12.355	0.39025	0.36175	14.76	5.36	102	69.1696

2020	6.509	6.264	16.7272	12.1010	0.7663	0.6554	21.93	14	375.45	612.03
Nom-127-SSA1-2021	6.5-8.5		20 UC		5 UTN		500 mg/L		1000 mg/l	

Al realizar el análisis estadístico mediante el ANOVA y la prueba de Tukey comparando el agua durante los años 2018,2019, 2020 y 2023, se observó que no hay diferencia significativa, excepto para turbidez durante la primera y la segunda quincena de septiembre, como se muestra en el anexo estadístico.

En cuanto al color, en (2018-2020) los valores se mantuvieron dentro de la norma (≤ 20 UC) vigente en ese año, los cuales sobrepasa al límite máximo permisible (≤ 15 UC) que establece la norma vigente actualmente. En contraste, en 2023 el color se mantuvo cercano al límite normativo (14.8 UC en tinaco), en la evidenciando una disminución significativa con relación a los años anteriores.

Conclusión.

Los análisis demostraron que los parámetros de pH, conductividad, color, turbidez, dureza y SDT se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la norma NOM-127-SSA1-2021, confirmando la viabilidad del agua de lluvia para usos domésticos. Asimismo, el análisis de coliformes reveló que las muestras cumplen en general con los criterios microbiológicos. Estos resultados corroboran que, con un tratamiento complementario mediante filtración y desinfección, el agua de lluvia puede ser considerada una alternativa sustentable y segura para el consumo humano, contribuyendo a mitigar la escasez hídrica, sobre todo para regiones donde esta problemática se agudice. En este sentido, el análisis destaca la importancia de no limitarse al cumplimiento normativo en un momento puntual, sino de mantener un monitoreo constante y prácticas de almacenamiento seguras.

Respecto al análisis estadístico de ANOVA y la prueba Tukey se observó que no hay diferencia significativa, excepto para turbidez durante la primera y la segunda quincena de septiembre, como se muestra en el anexo estadístico.

Referencias bibliográficas

Enfrenta México crisis hídrica. (14 de mayo, 2023). Unam.mx. Recuperado el 7 de septiembre de 2023, de https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2023_370.htm

México experimenta escasez de agua y falta de equidad en su distribución. (2021, marzo 17). Gaceta UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/mexico-experimenta-escasez-de-agua-y-falta-de-equidad-en-su-distribucion/>

Gobierno y sociedad trabajan en unidad para proteger el agua. (actualizado el 17 de septiembre del 2022). Gob.mx. Recuperado el 7 de septiembre de 2023, de <https://proteccioncivil.chiapas.gob.mx/comunicado-133-09-09-22>

Riesgo inminente de una crisis mundial del agua (UNESCO/ONU-Agua). (2023, marzo 22). Unesco.org. <https://www.unesco.org/es/articulos/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua>

El clima en Tuxtla Gtz, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. (s/f). Weatherspark.com. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de <https://es.weatherspark.com/y/9988/Clima-promedio-en-Tuxtla-Gtz-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Las propiedades del agua. (2017, mayo 16). iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/mexico/conagua/17/05/16/propiedades-agua>

Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170.

LORENZO HERNÁNDEZ, N. L. LA SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO EN
TEXCOCO Y SU IMPACTO EN LOS FACTORES SOCIOECONÓMICOS EN MÉXICO, 2005-2019.

Parada Molina, P. C., & Cervantes Pérez, J. (2017). Captación de agua de lluvia y niebla en la época de secas en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. *Ingeniería Del Agua*, 21(3), 153. <https://doi.org/10.4995/ia.2017.5661>

Pérez Hernández, A., Palacios Vélez, O. L., Anaya Garduño, M., & Tovar Salinas, J. L. (2017). Agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico en San Miguel Tulancingo, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1427–1432. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.313>

Rodríguez, F. S. (2012). El Futuro De La Disponibilidad Del Agua En México Y Las Medidas De Adaptación utilizadas En El Contexto Internacional. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*, 12(2), 165–187.

Romera, E., & Santos, M. (2015). Analisis De La Precipitacion. *Hidrologia Aplicada*, 1–15.

Forde, M., Izurieta, R., Ôrmeci, B., Arellano, M., & Mitchell, K. (2019). Agua y salud. *Calid. Del. Agua En. las Américas*, 29.

Gómez, S., & Anaya, Á. A. (2004). Acercamiento a un modelo conceptual de recarga de los acuíferos de la región de Bucaramanga. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (11), 37-50.

Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ion*, 27(1), 17-34.

Herrera Monroy, L. A. (2012). Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia (Doctoral dissertation).

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), 35-46.

Ramos Vizcarra, la región sudoccidental, d. l. r. (2018). facultad de ciencias naturales y formales unidad de segunda especialidad (doctoral dissertation, universidad nacional de san agustín).

Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. VI SEREA-Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil), 5.

Parada Molina, P. C., & Cervantes Pérez, J. (2017). Captación de agua de lluvia y niebla en la época de secas en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. *Ingeniería Del Agua*, 21(3), 153. <https://doi.org/10.4995/ia.2017.5661>

Pérez Hernández, A., Palacios Vélez, O. L., Anaya Garduño, M., & Tovar Salinas, J. L. (2017). Agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico en San Miguel Tulancingo, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1427–1432. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.313>

Rodríguez, F. S. (2012). El Futuro De La Disponibilidad Del Agua En México Y Las Medidas De Adaptación utilizadas En El Contexto Internacional. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*, 12(2), 165–187.

Romera, E., & Santos, M. (2015). Analisis De La Precipitacion. *Hidrologia Aplicada*, 1–15.

Parada Molina, P. C., & Cervantes Pérez, J. (2017). Captación de agua de lluvia y niebla en la época de secas en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. *Ingeniería Del Agua*, 21(3), 153. <https://doi.org/10.4995/ia.2017.5661>

Pérez Hernández, A., Palacios Vélez, O. L., Anaya Garduño, M., & Tovar Salinas, J. L. (2017). Agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico en San Miguel Tulancingo, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1427–1432. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.313>

Rodríguez, F. S. (2012). El Futuro De La Disponibilidad Del Agua En México Y Las Medidas De Adaptación utilizadas En El Contexto Internacional. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*, 12(2), 165–187.

Romera, E., & Santos, M. (2015). Analisis De La Precipitacion. *Hidrologia Aplicada*, 1–15.

Ramos, F., & Jeanpiere, A. (2018). Determinación de la presencia de lluvia ácida, un factor de la degradación del medio ambiente en la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha).

Torres González, P. G. (2023). Caracterización físico-química del agua de lluvia, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas.

Galloway, J. N., Likens, G. E., Keene, W. C., & Miller, J. M. (1982). The composition of precipitation in remote areas of the world. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C11), 8771-8786.

Toledo, A. (2006). Agua, hombre y paisaje. Instituto Nacional de Ecología.

Orué, M. R., & de las Mercedes López, E. (2015). Claro como el agua... de lluvia. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 5(1), 11-19.

Rojas, J. A. A., Duque, M. E. G., & Restrepo, C. A. M. (2024). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Cuaderno activa*, 16(1).

Uriburu Chavez, L. S. (2018). Determinación del índice de calidad del agua de consumo humano, del centro poblado de agua fresca, distrito de Chontabamba–2018.

Quispe Peralta, V. S. (2025). Calidad del agua para consumo humano del manantial del Centro Poblado Huanutuyo-Macusani, 2024.

Ordóñez-Ruiz, J., Auvinet-Guichard, G., & Juárez-Camarena, M. (2015). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16(3), 453-470

Hoyos, S. E. G., Flores, M. A., González, A. R., Morteo, L. Á. B., Herrera, A. G., Palacios, L. M., ... & Hernández, O. C. (2018). Potabilización de agua de lluvia rodada por medio de filtración en múltiples etapas modificada, México.

ANEXOS FOTOGRÁFICO

Figura 11. Muestras de agua de lluvia



Fuente: propia 2024

Figura 12. Determinación de dureza



Fuente: propia 2024

Figura 13. Determinación de conductividad



Fuente: propia 2024

Figura 14. Determinación de turbiedad.



Fuente: propia 2024

Figura 15. Determinación de solidos



Fuente: propia 2024

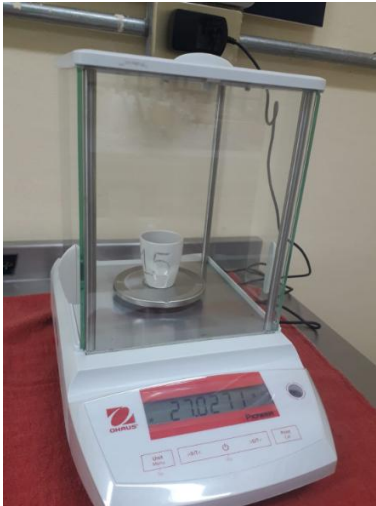


Figura 16. Determinación de pH



Fuente: propia 2024

Figura 17. Determinación de coliformes



Fuente: propia 2024



ANEXO ESTADISTICO

1. ANALISIS DE ANOVA (COLOR)

Año	Color (Pt-Co)			
	1q sep (a)	2q sep (b)	1q oct ©	2q oct (d)
2018	1	1	1	1
2019	16	25	7	12
2020	11	19	8	50
2023	15.3	14.6	14.3	15
media	13.15	16.8	7.5	13.5

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	4	4	1	0
Fila 2	4	60	15	58
Fila 3	4	88	22	370
Fila 4	4	59.2	14.8	0.19333333

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	928.32	3	309.44	2.89065687	0.07935159	3.49029482
Dentro de los grupos	1284.6	12	107.048333			
Total	2212.9	15				

se debe rechazar la hipótesis nula. Existe diferencia entre los resultados 2018, 2019, 2020, 2023

2. PRUEBA DE TUKEY (COLOR)

$$T_a = (q_\alpha(K, N - K) \sqrt{CM_E n_i})$$

DATOS:

$$K = 4$$

$$N - K = 12$$

$$CM_E = 107.05$$

$$n_i = 4$$

$$q_\alpha(K, N - K) = 4.2$$

$$T_a = 21.727$$

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
ma-mb	3.65	no significativa
ma-mc	5.65	no significativa
ma-md	0.35	no significativa
mb-mc	9.3	no significativa
mb-md	3.3	no significativa
mc-md	6	no significativa

3. ANALISIS DE ANOVA(TURBIDEZ)

Año	Turbiedad (UNT)			
	1q sep (a)	2q sep (b)	1q oct ©	2q oct (d)
2018	0.8	0.1	0.3	0.2
2019	0.1	0.2	0.2	0.3
2020	1	0.1	0.4	1
2023	1.4	1.7	1.3	1.5
media	0.9	0.2	0.35	0.65

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	4	1.4	0.35	0.09666667
Fila 2	4	0.8	0.2	0.00666667
Fila 3	4	2.5	0.625	0.2025
Fila 4	4	5.9	1.475	0.02916667

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3.8925	3	1.2975	15.4925373	0.00019877	3.49029482
Dentro de los grupos	1.005	12	0.08375			
Total	4.8975	15				

se debe rechazar la hipótesis nula. Existe diferencia entre los resultados 2018, 2019,2020, 2023

4. PRUEBA DE TUKEY (TURBIDEZ)

$$T\alpha = (q_{\alpha}(K, N - K)\sqrt{CM_E n_i})$$

DATOS:

$$K = 4$$

$$N - K = 12$$

$$CM_E = 0.08375$$

$$n_i = 4$$

$$q_{\alpha}(K, N - K) = 4.2$$

$$T_{\alpha} = 0.60773144$$

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
ma-mb	0.7	significativa
ma-mc	0.55	no significativa
ma-md	0.25	no significativa
mb-mc	0.15	no significativa
mb-md	0.45	no significativa
mc-md	0.3	no significativa