



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS PROFESIONAL:

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA DE
LLUVIA, EN LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

CHIAPAS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA:

PAOLA GUADALUPE TORRES GONZÁLEZ

DIRECTOR:

DR. HUGO ALEJANDRO NÁJERA AGUILAR

CODIRECTOR:

MTRO. LEONARDO DÍAZ CÓRDOVA



TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

JUNIO, 2023



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Fecha: 1 de Junio de 2023

C. Paola Guadalupe Torres Gortáez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

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

Caracterización Físico-Química del Agua de Lluvia, en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas

En la modalidad de: Tesis Profesional

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. Leonardo Díaz Córdova

Dr. Carlos Manuel García Lara

Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar

Firmas:





Ccp. Expediente

TEMA:

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA DE LLUVIA,
EN LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS**



PAOLA GUADALUPE TORRES GONZÁLEZ

DEDICATORIAS

Este proyecto de investigación va dedicado principalmente a mis padres, María González y Manuel Torres, quienes desde el primer instante e inicios de mi trayecto académico confiaron plenamente en mí y me brindaron su apoyo incondicional, además de ser mi motor día a día.

A mis hermanos Oscar y Héctor, quienes siempre han sido un motor importante para mí para lograr cada día más cosas, además de ser parte de mi fuente de inspiración.

A mis sobrinos Aaron y Hannah, para que el día de mañana ellos se motiven a terminar una carrera universitaria.

También a mi incondicional amigo Jesús, quien es parte de mi vida desde hace muchos años y que gracias a él me ha dado la fuerzas y motivaciones de seguir adelante, luchar por cada uno de mis sueños y sobre todo a confiar en él y entender que sus planes son mejores que los míos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por permitirme culminar mis estudios y brindarme la valentía de caminar de su mano, confiada en sus promesas y planes que tiene para mí.

Agradezco la paciencia y compañía académica del Dr. Hugo Nájera y el Ing. Leonardo Córdova, quienes me permitieron formar parte de este increíble proyecto, siendo mis directores y guías en este proceso apoyándome y orientándome en todo momento.

Además, del apoyo del Dr. Carlos Lara quien nos motiva como estudiantes a realizar proyectos y acercarnos a la investigación. apoyándonos y orientándonos en todo momento.

A cada una de mis amistades formadas durante mi estancia en la universidad quienes en conjunto nos motivamos para culminar nuestra etapa universitaria, teniendo siempre en mente avanzar como equipo para lograr nuestros objetivos.

Agradezco la valiosa y sincera amistad de mis hermanas y amigas Lizeth Alejandra y Grethel Gñay, quienes han estado para mí en estos últimos años de mi carrera, escuchándome y aconsejándome cada que lo necesité, siendo un apoyo y soporte importante para mí en mi caminar.

A mi familia en general, que me ha motivado a seguir adelante brindándome sus consejos, ratos de pláticas y orientación personal y sobre todo por sacarme muchas sonrisas, en especial a mis primos y tíos.

ÍNDICE

LISTADO DE ABREVIATURAS.....	8
GLOSARIO DE TÉRMINOS	10
INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
JUSTIFICACIÓN	17
OBJETIVO:.....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	18
MARCO TEÓRICO.....	19
Agua.....	19
I.1 Propiedades del agua.....	19
I.2 Ciclo hidrológico del agua.....	20
I.3 Precipitación del agua	20
I.4 Distribución.....	20
I. Importancia del uso del agua de lluvia	20
II.1 Usos del agua de lluvia.....	21
II.2 Precipitación – lluvia.....	21
II.3 Análisis de parámetros	21
II.3.1 Normatividad	21
III. Antecedentes	22
MARCO CONCEPTUAL	22
IV. Calidad	22
IV.1 Agua de lluvia.....	22
IV.2 Tipos de agua de lluvia	23
IV.2.1. Lluvia orográfica.....	23
IV.2.2 Lluvia por convección	23
IV.2.3 Lluvia ciclónica	23
V. Parámetros	23
V.1 Definición	23
V.2 Parámetro de pH	23
V.3 Parámetro de color	24
V.4. Parámetro de turbiedad.....	24
V.5 Parámetro de dureza	24

V.6 Parámetro de Sólidos Disueltos Totales	24
HIPÓTESIS	25
METODOLOGÍA.....	26
RESULTADOS	30
DISCUSIÓN	38
CONCLUSIONES.....	40
RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del SCALL.....	26
Figura 2. Parámetro de pH, 2018	30
Figura 3. Parámetro de pH, 2019	31
Figura 4. Parámetro de pH, 2020.....	31
Figura 5. Parámetro de Color, 2018	32
Figura 6. Parámetro de Color, 2019	32
Figura 7. Parámetro de Color, 2020	32
Figura 8. Parámetro de Turbiedad, 2018.....	33
Figura 9. Parámetro de Turbiedad, 2019.....	33
Figura 10. Parámetro de Turbiedad, 2020.....	34
Figura 11. Parámetro de Dureza, 2019	34
Figura 12. Parámetro de Dureza, 2020.....	35
Figura 13. Parámetro de SDT, 2019	35
Figura 14. Parámetro de SDT, 2020.....	36
Figura 15. Sistema de Captación de Agua de Lluvia.....	44
Figura 16. Muestras para los análisis.....	44
Figura 17. Determinación de pH.....	45
Figura 18. Determinación de Color	45
Figura 19. Determinación de la Turbiedad.....	45
Figura 20. Determinación de la Dureza.....	45
Figura 21. Determinación de Sólidos Disueltos Totales.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros y normatividad.....	21
Tabla 2. Parámetro y Normatividad aplicable.....	28
Tabla 3. Límites máximos permisibles según la NOM-127-SSA1-1994	30
Tabla 4. Valor promedio de cada parámetro.....	37

LISTADO DE ABREVIATURAS

%; porcentaje

Agenda 2030 (ODS); Objetivos para el Desarrollo Sostenible

CIDECALLI-CP; Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo

C20H12N3O7SNa; Ericromo negro t

EDTA; ácido etilendiaminotetraacético

HClO₄; ácido perclórico

HNO₃; ácido nítrico

H₂SO₄; ácido sulfúrico

ml; milímetro

LMP; Límite máximo permisible

NOM-127-SSA1-1994; NORMA OFICIAL MEXICANA "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN".

NMX-AA-038-SCFI-2001; NORMA MEXICANA DE ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA

NMX-AA-045-SCFI-2001; NORMA MEXICANA DETERMINACIÓN DE COLOR PLATINO-COBALTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA.

NMX-AA-008-SCFI-2016; NORMA MEXICANA, ANÁLISIS DE AGUA. - MEDICIÓN DEL pH EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. - MÉTODO DE PRUEBA.

NMX-AA-072-SCFI-2001: NORMA MEXICANA ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA

NMX-AA-034-SCFI-2015: NORMA MEXICANA ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA.

ODS; Objetivos del Desarrollo Sostenible

pH; potencial de Hidrógeno

SCALL; Sistemas de Captación de Agua de Lluvia

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Agua de lluvia; agua que se condensa a partir del vapor de agua atmosférico y cae a la tierra.

Alternativa; opción o solución que es posible elegir además de las otras que se consideran.

Calidad; conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite caracterizarla y valorarla con respecto a las restantes de su especie.

Caracterización; determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás.

Características físicas; son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

Características químicas; son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

Cultura del agua: conjunto de valores, actitudes, costumbres y hábitos que son transmitidos a un individuo o una sociedad para crear una conciencia responsable sobre el uso racional, la importancia del agua para el desarrollo de todo ser vivo, la disponibilidad del recurso en su entorno y las acciones necesarias para obtenerla, distribuirla, desalojarla, limpiarla y reutilizarla.

Desarrollo sustentable; es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Estrés Hídrico: se presenta cuando la **demanda de agua** es más alta que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad.

Muestra compuesta; la que resulta de mezclar un número de muestras simples, para conformar las muestras compuestas, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga al momento de la toma.

Muestra simple; la que se toma en el punto de descarga, de manera continua, en un día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan las descargas, durante el tiempo necesario para completar cuando

menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición.

Normatividad; es un conjunto de leyes o reglamentos que rigen conductas y procedimientos según los criterios y lineamientos de una institución u organización privada o estatal.

Parámetros; elemento o dato importante desde el que se examina un tema, cuestión o asunto.

Parámetro de color; impresión que producen en la retina los rayos de luz reflejados y absorbidos por un cuerpo, según la longitud de onda de estos rayos.

Parámetro de dureza; concentración compuesta de minerales que hay en determinada cantidad de agua.

Parámetro de pH; coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

Parámetro de Sólidos Disueltos Totales: 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 $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

Parámetro de turbiedad; medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión

Precipitación del agua; la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo

Recurso hídrico; cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas.

Sistemas de captación de agua de lluvia: es cualquier tipo de ingenio para la recolección y el almacenamiento de agua de lluvia, y cuya viabilidad técnica y económica depende de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se le dé al agua recogida.

Sólidos totales: es el residuo que permanece en una cápsula después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sólidos suspendidos totales: material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm secado y llevado a masa constante a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

INTRODUCCIÓN

Desde años anteriores el agua es y será siempre parte importante del desarrollo de la vida humana, siendo un recurso renovable y esencial para nuestra supervivencia, y correcto funcionamiento de nuestro sistema metabólico.

La problemática del abastecimiento del recurso hídrico ha crecido conforme transcurren los años afectando principalmente las zonas rurales, zonas donde este recurso es escaso, es decir, es una problemática a nivel mundial que le compete a todos los países del mundo, Arroyave Rojas, J., Díaz Vélez, J., Vergara, D., & Macías, N. (2011) mencionan que “en la actualidad, es manifiesta la necesidad de gestionar la disponibilidad del recurso hídrico asociada a diferentes problemáticas ambientales tales como la deforestación, el cambio en los usos del suelo, incremento en la demanda de agua, cambio climático, etc.”(p.78).

En la Agenda 2030 (ODS), uno de los objetivos con respecto a este tema es garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, objetivos que en la actualidad no se han concretado, por lo que, poco se ha hecho. Por esta y más razones es necesario identificar todo lo que acontece con el tema del agua, desde su captación, manejo, disponibilidad, distribución etc., es aquí donde entran las aguas pluviales, Hugues (2019) menciona:

La lluvia, al ser un mecanismo natural de limpieza, se puede emplear en una multitud de aplicaciones diarias que no requieren una calidad de potable, para las cuales el agua de lluvia es una alternativa eficaz y adecuada, pudiendo reducir más del 40% del consumo de agua potable en un hogar. (p.126)

El agua de lluvia es una de las alternativas más convincentes, eficaces, sostenibles y ecológicas que ha tomado fuerza en los últimos años en diversos países, en especial el apoyo que otorga a las personas que sufren de la escasez de este recurso, por diversos motivos.

Datos numéricos presentan a nivel mundial un 42% de la población que no cuenta con acceso a este recurso y además un porcentaje similar no cuentan con la distribución y/o el dinero suficiente para invertir en otros métodos de obtención del agua, como podría ser el uso de las pipas, etc. De igual manera se requiere del análisis y estudios que nos proporcionen la precipitación de cada zona, ya que es un factor determinante para la aplicación de la captación del agua pluvial, considerando que no en todas las regiones llueve de igual forma.

En México los sistemas de captación del agua de lluvia (SCALL), y de acuerdo al autor Hugues (2019) comenta que, se han constituido como una solución para el abastecimiento de agua para consumo humano dirigida aproximadamente a 13 millones de mexicanos ubicados en 3,3 millones de viviendas en toda la República Mexicana. Aunque en México hablar de la captación y análisis de sus parámetros del agua de lluvia es un tema el cual, ha tomado más auge, sobre todo en estados que cuentan con sistemas de recolección y tratamiento de agua pluvial para su posterior uso.

Existen estados en los cuales en particular el tema de la captación de agua de lluvia no ha sido tocado y mucho menos se ha implementado un sistema que les ayude a obtener este recurso, siendo necesario generar más información del aprovechamiento del agua pluvial.

En México, Hugues (2019) menciona que:

El Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo (México), CIDECALLI-CP, constituido en 2003, ha dirigido sus actividades para el consumo doméstico, cría de peces de ornato y comestibles en sistemas de producción libre y de jaulas flotantes con uso alternativo en el cultivo de hortalizas en huerto familiar, planta purificadora de agua de lluvia, abrevadero para pequeñas explotaciones ganaderas, riego en invernaderos, producción intensiva de conejos y riego de auxilio y cultivo comercial de peces.

En general son múltiples las actividades, tareas, proyectos y estudios que se pueden realizar si se conoce y analizan bien los parámetros Físico-Químicos sobre el tema del uso del agua pluvial y conocer el impacto positivo a nivel social, económico y ambiental, resolviendo gran parte de la problemática sobre la escasez del agua, siendo esta una alternativa de sustentabilidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática del abastecimiento del recurso hídrico ha crecido conforme transcurren los años, afectando a las zonas rurales en las cuales, el recurso es escaso o poco accesible.

Se trata de una problemática a nivel mundial; tal y como es citado en distintas literaturas, como, Adler et al., (2008), mencionan que en el año 2000 por lo menos 1.1 billones de habitantes en el mundo no tuvieron acceso al agua, otros como Arroyave et al. (2011) comentan que “en la actualidad es manifiesta la necesidad de gestionar la disponibilidad del recurso hídrico asociada a diferentes problemáticas ambientales tales como; la deforestación, el cambio en los usos del suelo, incremento en la demanda de agua, cambio climático, etc.”.

La problemática tiende a acentuarse cuando desde la misma fuente de suministro el agua se pierde en cantidades importantes, tal y como sucede en el territorio nacional, donde se estima que un 40% de lo que se distribuye en la red llega a perderse por fugas y rupturas de las tuberías (Adler et al., 2008), lo que conlleva a tener un mayor desperdicio del agua por el mal mantenimiento de la red hidráulica, generando problemas graves a la sociedad.

Actualmente en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se cuenta con una distribución de agua deficiente, lo que genera a la población inconformidad y por lo consiguiente, se tienen problemas graves de distribución y la escasez del agua, las cuales generan problemas sociales, económicos y ambientales. Por otra parte, de acuerdo a lo publicado en CONAGUA (2012), se tiene una cobertura del 92% de agua potable con una dotación de 434 L/Hab/Día, actualmente la cobertura se encuentra en 93.9% según lo menciona el Programa Estatal Hídrico del Estado de Chiapas 2020.

Cabe mencionar que, en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez se tiene la temporalidad de las lluvias en los meses de mayo a octubre con una precipitación pluvial de 900 a 1000 milímetros (mm) (91.41%), (Plan Municipal de Desarrollo, 2021).

Con lo anterior, resulta relevante crear nuevas alternativas ecológicas de suministro de agua, que mitiguen los problemas de escasez tanto en áreas rurales como urbanas, al menos para la temporada de lluvias.

Dado lo anterior, en el presente estudio se busca analizar la calidad físico-química del agua de lluvia, captada en un sistema implementado en el centro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, para

determinar los posibles usos y ser comparada con otras fuentes de suministro de agua (red de distribución municipal y agua embotellada “Bonafont”). Es importante tener en cuenta, que a pesar de la cantidad de agua con la que se cuenta en el sureste del país, su disponibilidad y calidad llegan a ser limitadas en muchas zonas urbanas, por lo cual, los resultados del presente estudio pueden representar una alternativa real en la reducción de problemas de suministro de agua y, por consiguiente, menores gastos por concepto de adquisición de pipas, al menos para la temporada de lluvia.

JUSTIFICACIÓN

Con el paso de los años se ha incrementado la demanda del recurso hídrico, afectando gran parte de la sociedad y se incrementa con respecto al crecimiento exponencial de la población mundial, de igual manera el papel fundamental que tiene el líquido en las actividades humanas, va desde la alimentación hasta la higiene, siendo necesario su abastecimiento en cantidad y calidad para la población actual y futura, tal como se establece en la Agenda 2030 y sus objetivos de Desarrollo Sostenible.

Sin duda, el agua es un tema de categoría mundial, es de suma importancia y trascendencia conocer las diversas alternativas y tecnologías que se pueden aplicar para captar, suministrar y aprovechar el agua.

La presente investigación se realiza con el fin de analizar una fuente alternativa para el suministro de agua poco explorada en la región, como lo es la captación del agua de lluvia, específicamente el estudio se centra en evaluar las características físico-químicas del agua de lluvia captada con respecto a los parámetros de color, turbiedad, pH, dureza y sólidos disueltos totales, tomadas en tres temporalidades diferentes, 2018, 2019 y 2020. El estudio permitirá determinar la calidad y los posibles usos del agua pluvial de un sistema de captación de agua de lluvia implementado en el centro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

El impulso en el uso de esta fuente alterna de agua, podrá contribuir a la mitigación de la escasez del agua tanto en áreas urbanas como rurales en temporalidad, además de poder representar menores gastos por conceptos de adquisición de agua por otras fuentes, como puede ser agua en pipas, especialmente para zonas urbanas, esto al menos, para la temporada de lluvias.

Actualmente son escasos los datos que se tiene sobre el análisis de la calidad del agua de lluvia, por lo que, la mayoría de los estudios se enfocan en implementación de los sistemas de captación, diseños con respecto al tipo de vivienda, estrato socioeconómico y usos, de igual manera en México son pocos los estados los cuales cuentan con investigación y sistemas de esta índole, por lo que el presente trabajo aporta valiosa información sobre los parámetros físico-químicos que ayudan a definir la calidad del agua de lluvia, y que pueden brindar información valiosa para futuras investigaciones.

OBJETIVO:

Analizar las características físico-químicas del agua de lluvia (color, turbiedad, pH, dureza y sólidos disueltos totales) para determinar la calidad y los posibles usos del agua pluvial captada en un sistema implementado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar, para los años 2018 a 2020, los parámetros de color, turbiedad, pH, dureza y sólidos disueltos totales, en el agua de lluvia proveniente de un sistema de captación implementado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.
- Determinar los posibles usos del agua de lluvia en función de la calidad físico-química encontrada y su comparación con un agua comercial y el agua de la red de suministro.

MARCO TEÓRICO

En materia ambiental estamos enfrentando tiempos difíciles, con el paso de los años es más evidente la existencia de problemas ambientales de diversas índoles, las cuales afectan de manera considerable a la sociedad, en especial el recurso hídrico.

Esta problemática se ha incrementado con el paso de los años por diversos factores en especial por las actividades antropogénicas que dañan directamente la calidad del agua, Adler, Carmona & Bojajil (2008) mencionan que dentro del marco del 4° Foro Mundial del Agua, en la declaración Ministerial se reafirmó la importancia crítica de este recurso, en particular el agua dulce para todos los aspectos del desarrollo sustentable y de la continuidad de las actividades humanas, en la cual se subrayó la necesidad de incluir el agua y saneamiento como prioridades en los procesos nacionales, reconociendo el interés y la importancia de prácticas innovadoras y sostenibles como el manejo del agua de lluvia y su inclusión como alternativa de sostenibilidad.

Por lo cual, es necesario empezar a generar mayor información acerca de las alternativas sostenibles y su funcionamiento en la sociedad y medio ambiente, empezando por familiarizarnos con los conceptos relevantes.

Agua

El agua es el recurso natural con mayor demanda a nivel mundial, el cual tiene una estrecha relación con la calidad de vida de la población y toma un papel importante en el sector económico (Cruz & Martínez, 2015). La demanda del agua ha ido incrementando con el crecimiento poblacional, causando un desequilibrio ambiental y económico, siendo este recurso cada vez menos disponible.

I.1 Propiedades del agua

El agua cuenta con propiedades físicas y químicas, las cuales hacen que este recurso sea único e incomparable, encontrándose presente en los 3 estados de la materia (sólido, líquido y gaseoso), es solvente universal, no tiene color, ni sabor, por lo que es aceptable para el ser humano.

I.2 Ciclo hidrológico del agua

Definiéndolo como el movimiento general del agua (Luna et al., 2015), asciende por medio de la evaporación, descendiendo por precipitación y finalmente como escorrentía superficial y subterránea, conociéndolo como el ciclo hidrológico ecológico y por otro lado el ciclo hidrológico urbano se entiende como la distribución del agua, el cual se lleva a cabo por medio del abastecimiento, consumo y saneamiento.

I.3 Precipitación del agua

Fuente principal del ciclo hidrológico, la cual se presenta de manera líquida o sólida, alcanzando a la superficie terrestre, que depende de factores como: la temperatura, viento, presión, etc., generando la “lluvia”.

I.4 Distribución

El incremento de la población, combinando con las diferentes actividades antropogénicas, incrementa la demanda de agua, sin considerar los sistemas de abastecimientos que no opera de la manera correcta, generan desperdicio y contaminación. Adler et al., (2008) comenta que en el año 2000 por lo menos 1.1 billones de personas en el mundo no tuvieron acceso al agua limpia, generando una problemática social. En la Ciudad de México se pierde gran cantidad de agua por fugas y rupturas de las tuberías, un 40% del total del agua potable que debería entregar la red hidráulica (Adler et al., 2008).

I. Importancia del uso del agua de lluvia

El agua es vital para desarrollar nuestras actividades domésticas, además contribuye al desarrollo sustentable, el agua de lluvia es interceptada, recolectada y almacenada en depósitos de diversos volúmenes para su posterior distribución y empleo de acuerdo con los usos para los cuales se disponga (Arroyave Rojas et al., 2011).

Dentro de este ámbito el agua pluvial es una alternativa ecológica y tecnológica para cubrir la demanda de la distribución del agua, al menos en temporalidad, en especial para aquellas zonas las cuales no cuentan con un sistema de distribución, generando gastos elevados en otras alternativas de obtención del recurso hídrico.

II.1 Usos del agua de lluvia

En la actualidad se han incrementado las múltiples funciones que se le otorgan al agua de lluvia, siendo una alternativa que llega a sustituir al agua de la llave, mismas que son determinadas a través de análisis pertinentes, determinando la calidad y la eficacia. Arroyave Rojas et al., (2011) dice que: la captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtención de agua para consumo humano y/o uso agrícola, entre otras funciones, en especial en lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente alternativa de abastecimiento.

El agua recolectada a comparación de los sistemas de distribución convencional, almacena y disminuye de manera considerable una distribución compleja y costosa, ahorrando energía, procesos de extracción, su aplicación es adaptable, además de no impactar con el subsuelo (Adler et al., 2008).

II.2 Precipitación – lluvia

La precipitación de la lluvia varía dependiendo la zona, por lo que la disponibilidad del agua puede ser limitada, lo que implica que deba existir una fuente de agua externa en algunas temporadas.

II.3 Análisis de parámetros

Dentro de los estudios para determinar la calidad del agua de lluvia, es necesario el análisis de parámetros físico-químicos, las cuales están marcados en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para uso y consumo del agua y dentro de ella se establecen los límites máx.-permisible

II.3.1 Normatividad

Al igual que la normatividad aplicable para el análisis y determinación de los parámetros.

Tabla 1. Parámetros y normatividad

Parámetro	Normatividad
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001
Color	NMX-AA-045-SCFI-2001
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2015

III. ANTECEDENTES

En la evaluación de los parámetros se debe tomar en cuenta el contar con los sistemas de captación, que nos proporcionen muestras para llevar a cabo los análisis correspondientes.

Japón, Hugues (2019) menciona que, para mitigar la escasez de agua, controlar inundaciones y asegurar agua para situaciones de emergencia, en la ciudad de Japón en el distrito de Mukojim se han implementado los sistemas “Ronjinson”, los cuales llevan el agua de lluvia por medio de un sistema desde el techo de la casa hasta un pozo subterráneo para almacenarla y extraerla mediante una bomba manual, para emplear en diversas actividades.

Un dato y caso interesante en Australia que menciona, Hugues (2019):

El 30,4 % de la población en zonas rurales y el 6,5 % en las ciudades utilizan algún SCALL, por su parte, el 13 % de las casas cuentan con uno y utilizan el agua para beber, cocinar y usos agrícolas (p.134).

En otras investigaciones, se ha desarrollado en Cuba según Marta et al., (2015) un estudio en el cual se presenta eficiencia y distribución de la captación de agua de lluvia desde los techos de tres casas de Cultivos bajo diferentes condiciones edafoclimáticas; a través de indicadores de beneficio; de protección ambiental; socioeconómica y productiva, dando un plus a esta alternativa.

MARCO CONCEPTUAL

IV. Calidad

Representa el conjunto de sus propiedades las cuales permiten ser valoradas y aptas para su fin.

IV.1 Agua de lluvia

Hugues (2019) menciona, que la lluvia es un mecanismo natural de limpieza, siendo un recurso natural y fuente de vapor de agua por su viaje por medio de la atmósfera, empleándose en una multitud de aplicaciones diarias que no requieren una calidad de potable siendo el agua de lluvia una alternativa eficaz y adecuada.

IV.2 Tipos de agua de lluvia

La lluvia está clasificada en diversos criterios, dependiendo en gran parte de la temperatura que se encuentra por encima de la superficie.

IV.2.1. Lluvia orográfica

“Se produce por la ascensión de las masas de aire húmedo al chocar con cordones montañosos” (Luna et al., 2015, p.48).

IV.2.2 Lluvia por convección

Este tipo de lluvia está originada por las corrientes de aire húmedo las cuales precipitan al encontrarse con capas más frías.

IV.2.3 Lluvia ciclónica

Esta lluvia se da cuando se topan masas de aire a diferentes temperaturas. “La masa de aire de mayor temperatura se eleva por la presión de la masa más fría” (Luna et al., 2015, p.49).

V. Parámetros

V.1 Definición

Se entiende como parámetro a la variable que se usa para determinar la calidad, en este caso del agua que se analiza (Industrial, 2001).

V.2 Parámetro de pH

Es uno de los principales parámetros de calidad del agua, la Secretaría de Economía (2016) establece: “En términos de la actividad relativa de los iones de hidrógeno en la disolución: $pH = -\log aH = -\log (m_{H^+} / m_0)$ (p.8). Logrando identificar la acidez o basicidad de la muestra.

V.3 Parámetro de color

La Norma (1982) establece:

Se refiere al valor numérico expresado en por ciento de luminancia y pureza, longitud de onda dominante y tono; obtenido de la medición de la luz transmitida, después de eliminar los sólidos suspendidos y las partículas pseudocoloidales. (p. 3)

V.4. Parámetro de turbiedad

En cuestiones de la turbiedad se usa como una expresión de calidad óptica de una determinada muestra, la cual es originada al pasar en un haz de luz, la cual se dispersa y se absorbe (Industrial, 2001).

V.5 Parámetro de dureza

Se expresa como la dificultad que esta posee al producir espuma, lo cual está dada por la presencia de iones de calcio y magnesio (Industrial, 2001).

V.6 Parámetro de Sólidos Disueltos Totales

Es 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 $1,5 \mu\text{m}$ a una temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (SEMARNAT, 2015).

HIPÓTESIS

- La calidad del agua de lluvia captada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas es apta para uso doméstico, por lo que puede sustituir o competir con el agua de la red de distribución municipal
- La captación y uso del agua de lluvia es una alternativa real sustentable que contribuye a disminuir la problemática de escasez del agua en temporada de lluvia.

METODOLOGÍA

En el presente proyecto de investigación se incide en la importancia que tiene el agua en los diferentes ámbitos de nuestra vida diaria, el valor que va adquiriendo con el paso de los años al ser este un recurso que por incidencia humana se ha perjudicado, siendo esto, un importante factor que altera su composición, lo cual, trae consigo grandes consecuencias a la población y al recurso.

El diseño de la investigación es tipo experimental, examinándose más de una variable, analizando las características físico- químicas del agua de lluvia proveniente de un prototipo de SCALL implementado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Los parámetros de estudio son; pH, turbiedad, color, dureza y sólidos disueltos totales, asumiendo estos parámetros con las normatividades correspondientes determinando la calidad y usos en actividades domésticas.

Para el proyecto se consideró un estudio no experimental longitudinal, recolectando datos en diferentes temporalidades, analizando el agua captada de los años 2018, 2019 y 2020, obteniendo datos cuantitativos y cualitativos respectivamente.

Figura 1. Ubicación del SCALL



Fuente: propia, 2020

El sistema de captación de agua de lluvia se encuentra ubicada en la zona urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en las coordenadas geográficas 16°45'4.08" N y 93°7'26.64" O (ver figura 1) siendo el punto de recolección de las muestras.

El SCALL (Ver figura 15) fue monitoreado en la temporada de lluvia, durante 3 años, abarcando los meses de mayo a octubre, realizando el mantenimiento antes de iniciar el período de precipitación, se limpió y lavó el sistema completo para su optimización y almacenamiento del agua de lluvia. Las muestras fueron recolectadas de manera quincenal, obteniéndose 4 muestras mensuales, 2 muestras del agua recolectada en el filtro de primeras aguas y 2 muestras del agua recolectada en el almacenamiento, teniendo un total de 24 muestras por temporada, más 2 muestras de agua comercial y 1 muestra de agua de la llave, mismas que se utilizaron de referencia para realizar las comparaciones correspondientes respecto a lo que marca la normatividad, usos y consumo del agua. Las muestras fueron recolectadas en botellas de plástico de 600 ml, rotuladas con fecha y origen de la muestra (Ver figura 16).

Las muestras recolectadas fueron almacenadas hasta el término de la temporada (septiembre-octubre), analizándose de manera conjunta al concluir la época de lluvia del año correspondiente, a excepción de las muestras recolectadas del año 2020, las cuales se analizaron en el mes de marzo-abril por la contingencia del Covid-19 y las dificultades de ingreso al laboratorio en tiempo y forma.

En la tabla 1 se presenta la relación de parámetros utilizados en la caracterización, la norma seguida en cada uno de ellos y la frecuencia con la cual se determinaron, entre otros detalles. Para los parámetros de Dureza y Sólidos disueltos totales se obtuvieron a partir del 2019, mismos que fueron determinados de manera quincenal, mientras las muestras del 2020 fueron analizadas de manera mensual como muestras compuestas.

Tabla 2. Parámetro y Normatividad aplicable

Parámetro	Normatividad	Frecuencia de recolección	Instrumentos	Determinación
Color	NMX-AA-045-SCFI -2001	Quincenal (muestra simple)	Espectrofotómetro	Medición de color verdadero, mediante su comparación visual con escala estandarizada platino-cobalto.
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	Quincenal (muestra simple)	Turbidímetro	Método basado en la comparación entre la intensidad de la luz dispersa por muestra bajo condiciones definidas e intensidad de luz dispersa por suspensión bajo las mismas condiciones, lecturas realizadas mediante un turbidímetro calibrado.
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	Quincenal (muestra simple)	Medidor de pH	La medición del valor de pH basado en la diferencia de potencial de una celda electroquímica empleando un pH metro adecuado que depende de la temperatura.
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001	Mensual (muestra compuesta)	Equipo de Titulación por indicador	El método consiste en una valoración empleando un indicador visual de punto

Sólidos Disueltos Totales				final, negro de Ericromo T que es de color rojo en la presencia de Ca y Mg y vira a azul cuando estos están ausentes.
	NMX-AA-034-SCFI-2015	Mensual (muestra compuesta)	Equipo de evaporación y calcinación de muestras filtradas.	Medición cuantitativa y cualitativa de los sólidos disueltos, así como la cantidad de materia orgánica contenido en aguas, mediante la evaporación y calcinación de muestras filtradas o no, en su caso a temperaturas específicas donde los residuos son pesados y sirven a base de cálculo del contenido de estos.

Los resultados de la caracterización, se presentaron por medio de gráficas y tablas, para una mejor presentación visual, apoyándonos de la herramienta digital Microsoft Excel.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las muestras de agua de lluvia de acuerdo a la metodología correspondiente de cada parámetro tabla 3, con los límites máximos permisibles que marca la NOM-127-SSA 1994.

Tabla 3. Límites máximos permisibles según la NOM-127-SSA1-1994

Norma	Parámetro	Límite máximo permisible	Unidad
NOM-127-SSA1-1994	Color	20	Pt-Co
	Turbiedad	5	UTN
	pH	6.5-8.5	----
	Dureza total (CaCO ₃)	500	CaCO ₃ (mg/l)
	Sólidos disueltos totales	1000	mg/l

Figura 2. Parámetro de pH, 2018

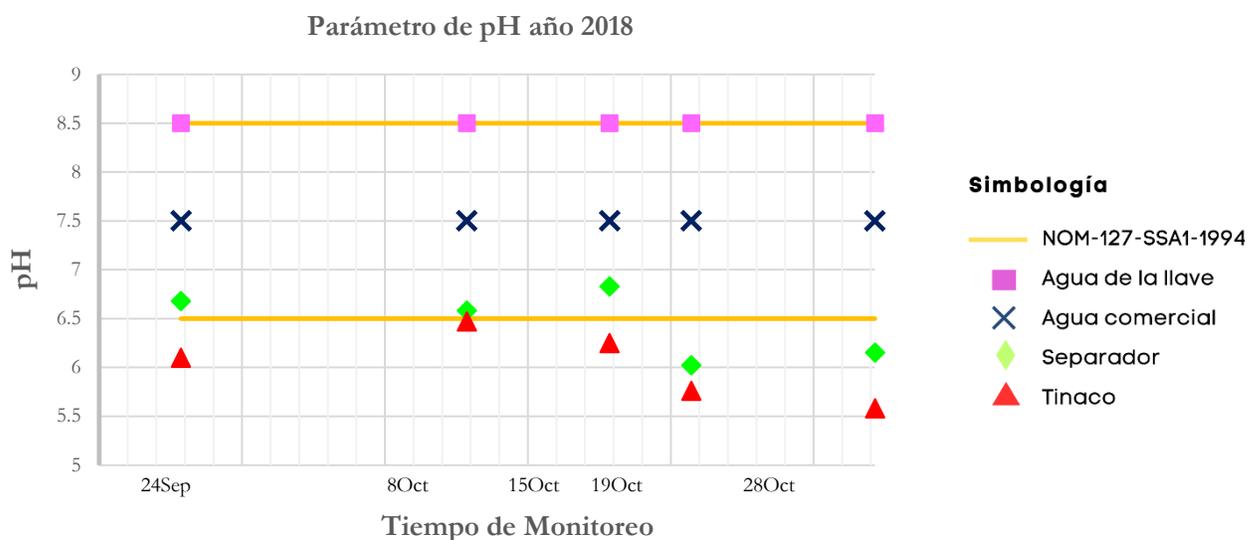


Figura 4. Parámetro de pH, 2019

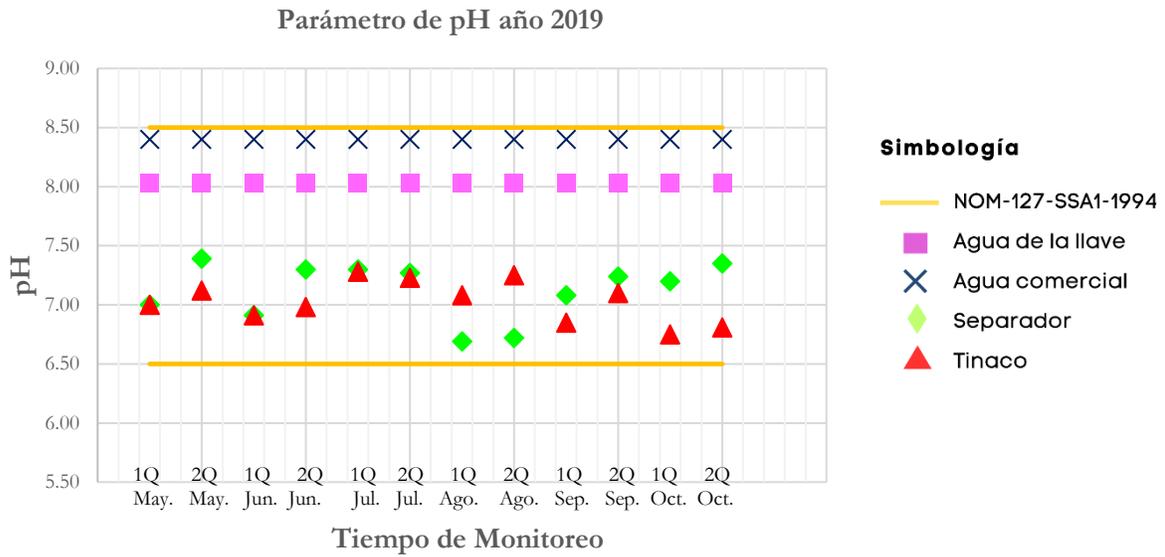
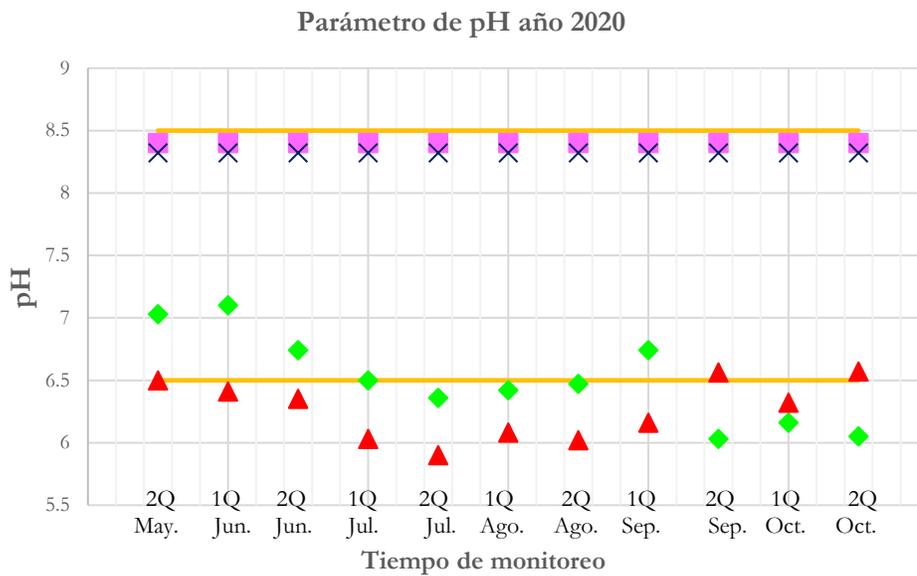


Figura 5. Parámetro de pH, 2020



En la figura 3 se observa que los valores de pH se mantuvieron entre 6.5 y 7.5 durante el año 2019 en lo que respecta al agua de la lluvia, sin embargo, para los años 2018 y 2020 los registros fueron un poco más bajos de acuerdo a lo que marca la norma, con valores entre 5.5 y 6.5 para el año 2018 y 5.9 a 7.3 para el año 2020. Estos valores de pH en general son más bajos que los presentados en el agua comercial y en el agua de suministro de la red (7.5-8.5). Sin embargo, los valores de pH se mantienen dentro del rango de 6.5 a 8.5 recomendado por la NOM-127-SSA1-1994, excepto las lecturas obtenidas durante la temporada de lluvia del año 2018.

Figura 6. Parámetro de Color, 2018

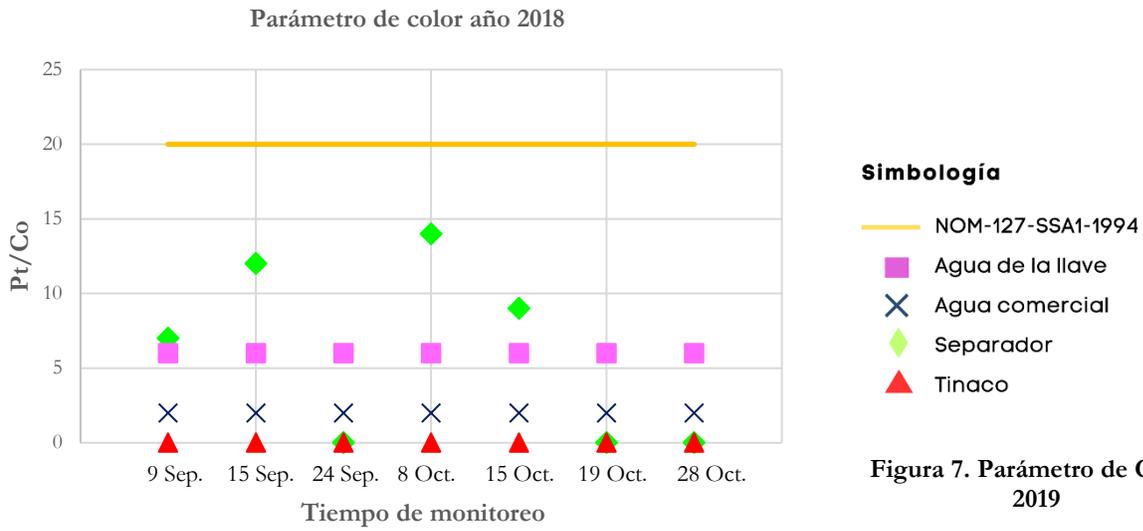


Figura 7. Parámetro de Color, 2019

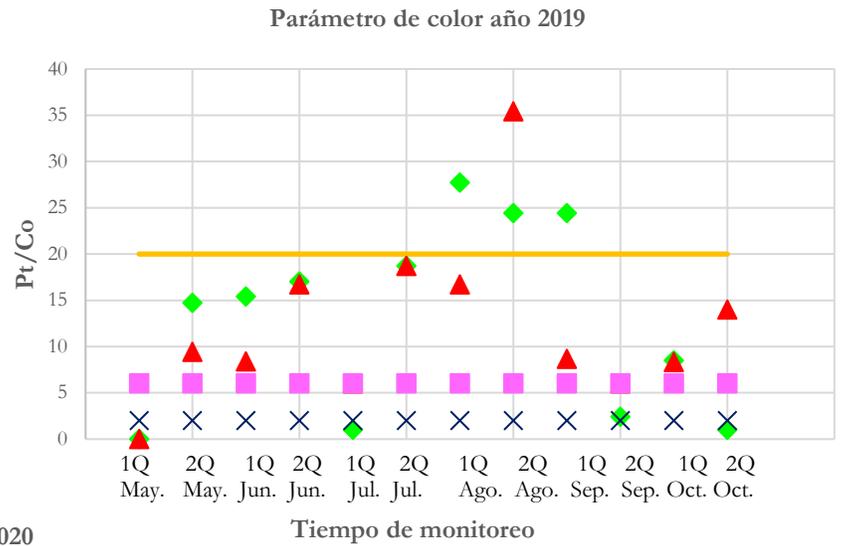
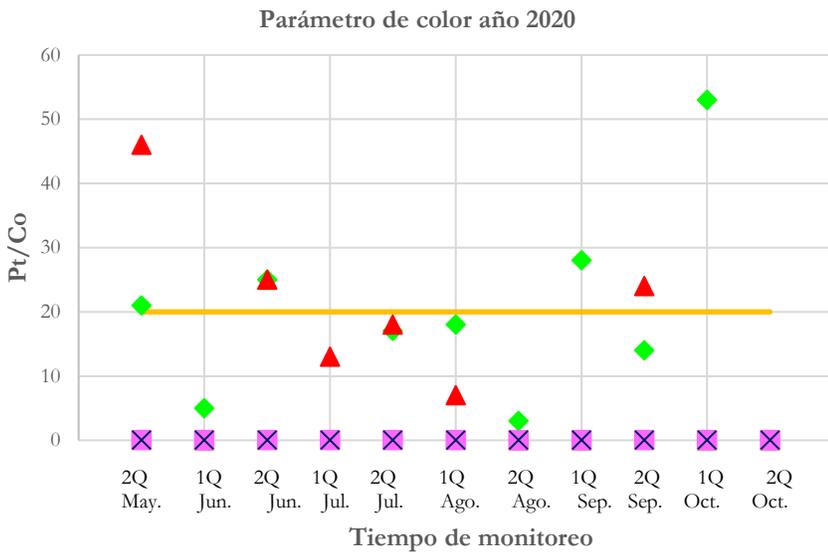


Figura 8. Parámetro de Color, 2020



De acuerdo a la figura 5, el parámetro de color en el año 2018 no presenta irregularidades, todas las muestras se encuentran por debajo de los 20 Pt/Co que marca la norma NOM-127-SSA1-1994, sin embargo, en los años 2019 y 2020 existen algunas muestras que se encuentran sobre el límite, entre los 20-55 Pt/Co respectivamente, en general, los valores del parámetro de color durante el periodo del estudio se encuentran entre los 5-20 Pt/Co.

Figura 9. Parámetro de Turbiedad, 2018

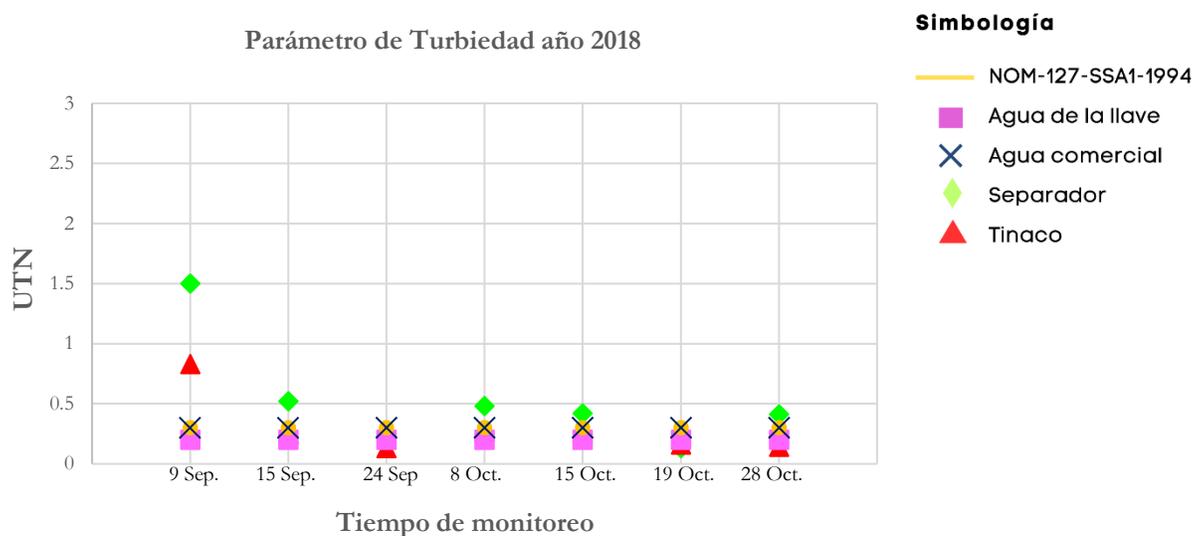


Figura 10. Parámetro de Turbiedad, 2019

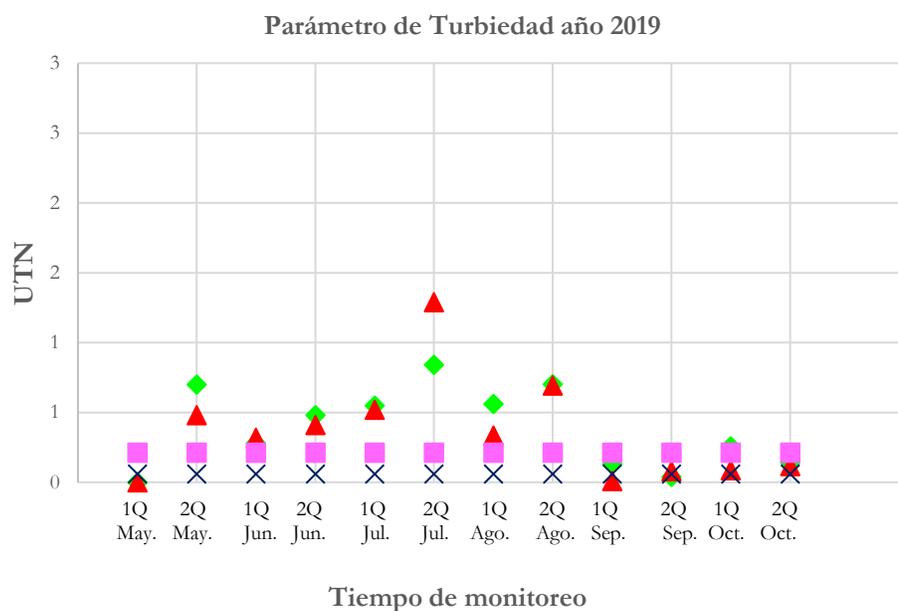
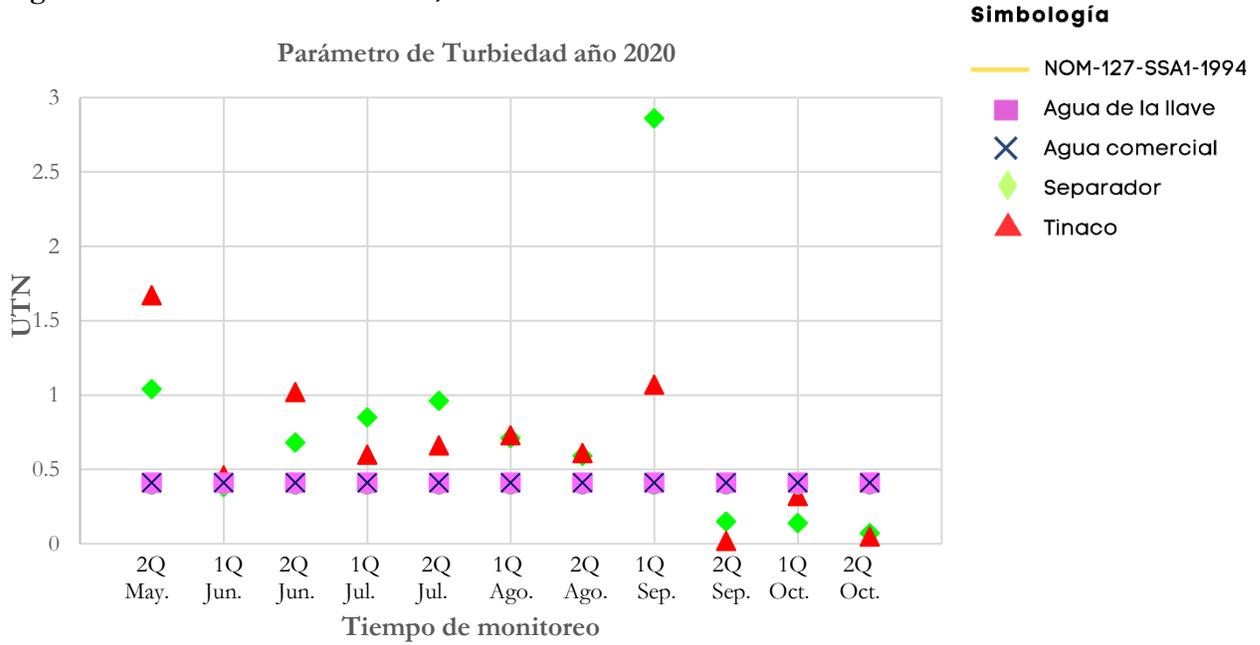


Figura 11. Parámetro de Turbiedad, 2020



En las figuras 8, 9 y 10 corresponden al parámetro de Turbiedad las muestras de los 3 años del monitoreo se encuentran entre 0-3 UTN de acuerdo a lo que marca la norma NOM-127-SSA1-1994 (5 UNT), cumpliendo por completo los límites permisibles.

Figura 12. Parámetro de Dureza, 2019

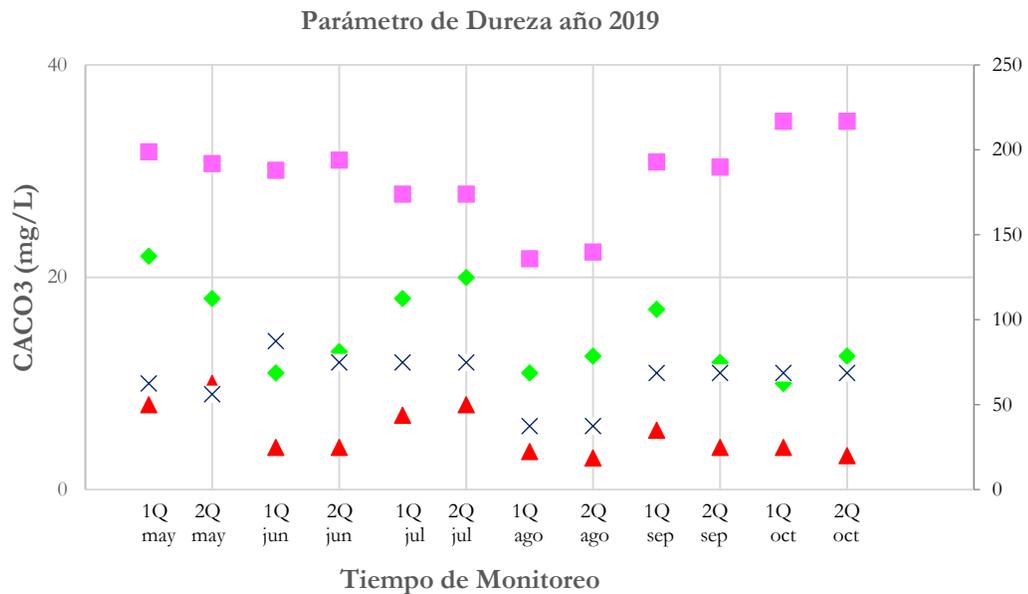
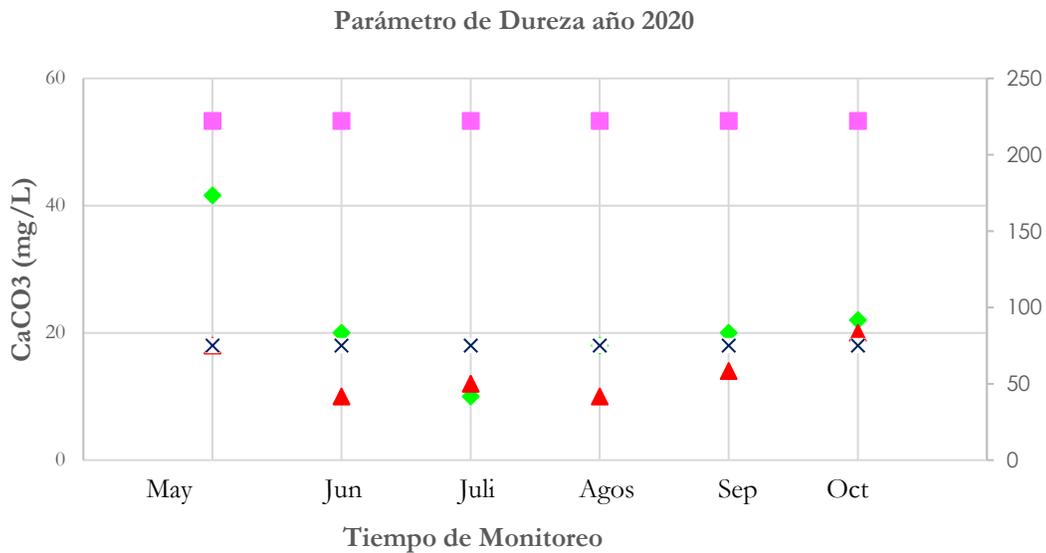


Figura 13. Parámetro de Dureza, 2020



El parámetro de dureza (figuras 11 y 12) para ambos años de monitoreo se encuentra por debajo de lo establecido en la norma, cabe mencionar, que los valores mayores para ambos monitoreos se presentaron en las muestras de agua de la llave (174-2022 CaCO₃ (mg/L)) considerando que muchos de los sistemas de abastecimiento de agua no tienen el mantenimiento adecuado y afectan la calidad del agua.

Figura 14. Parámetro de SDT, 2019

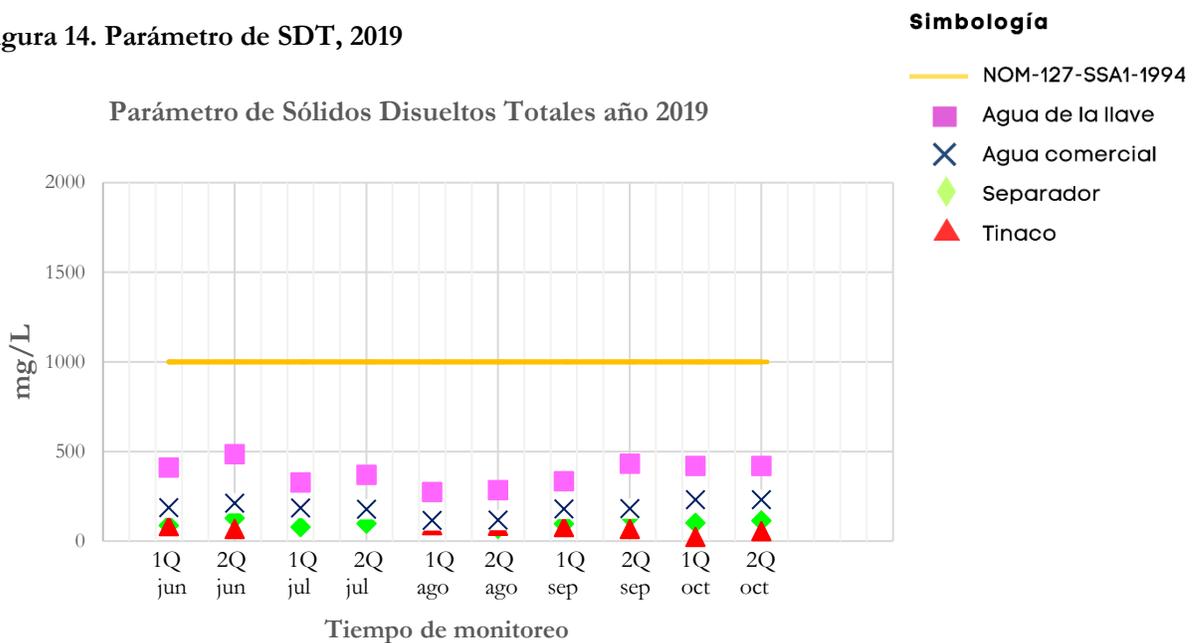
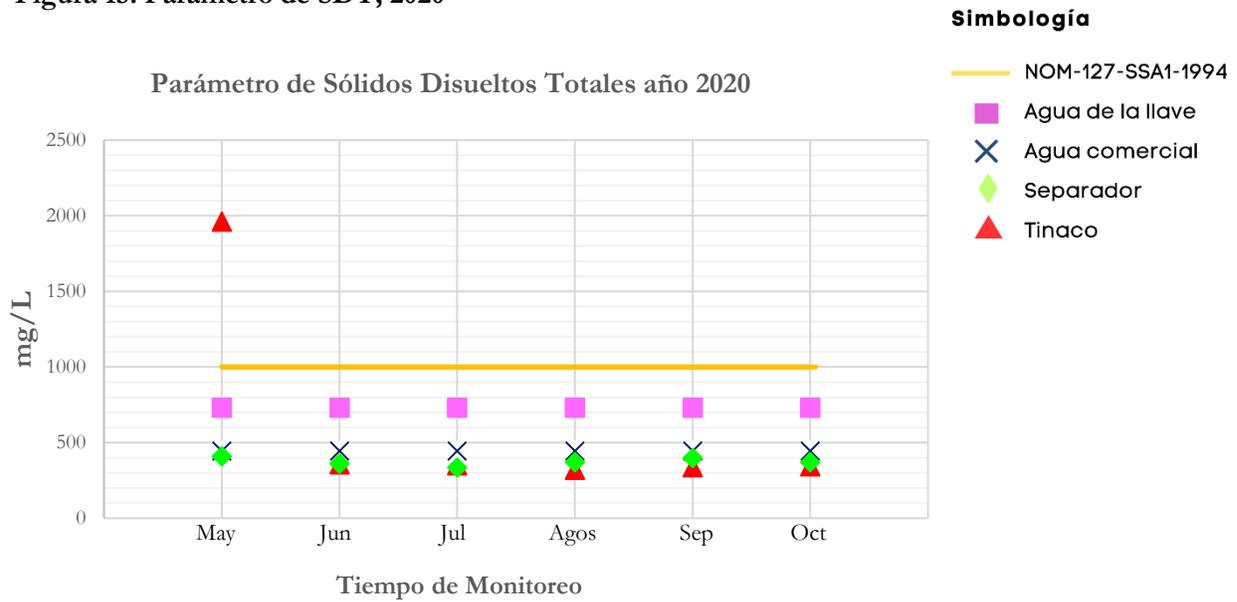


Figura 15. Parámetro de SDT, 2020



Respecto al parámetro de Sólidos Disueltos Totales (Figuras 13 y 14) en los 2 años de monitoreo se encuentran por debajo del límite que marca la NOM-127-SSA1-1994, en el año 2019 los valores rondaron entre los 0 – 150 mg/L y en 2020 los valores se encontraron entre los 300 – 400 mg/L, mismos que pueden deberse a la poca limpieza del sistema y mala manipulación de las muestras al realizar los análisis, en el mes de mayo de 2020 el valor de SDT superó los 1000 mg/L que marca la norma, alcanzando los 1961 mg/L, lo cual nos da la idea del arrastre de sedimentos hacia el sistema por el inicio de la temporada de lluvias.

Cabe mencionar que los parámetros de Dureza y SDT no fueron analizados en 2018, año en donde se inició el proyecto con 3 parámetros de manera general y en 2019 y 2020 se agregaron estos 2 parámetros para mayores resultados y promover la continuidad de este proyecto en posteriores temas de investigación.

A continuación, se presentan las tablas resumen en donde se describe el valor promedio de cada parámetro correspondientes a cada año, conforme lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994.

Tabla 4. Valor promedio de cada parámetro.

Año	pH		Color (Pt-Co)		Turbiedad (UNT)		Dureza (CaCO ₃ mg/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-SSA1-1994	6.5-8.5		20		5		500		1000	

Año	pH		Color (Pt-Co)		Turbiedad (UNT)		Dureza (CaCO ₃ mg/l)		SDT (mg/l)	
	Agua de la llave	Agua comercial	Agua de la llave	Agua comercial	Agua de la llave	Agua comercial	Agua de la llave	Agua comercial	Agua de la llave	Tagua comercial
2018	8.5	7.5	6	2	0.2	0.3	---	---	---	---
2019	8.03	8.4	6	2	0.2	0.06	184.5	10.41	375.6	181.68
2020	8.4	8.32	0	0	0.38	0.41	222	18	132	445
Nom-127-SSA1-1994	6.5-8.5		20		5		500		1000	

DISCUSIÓN

- De acuerdo con los valores máximos y mínimos de pH (6.5-8.5) establecido por la NOM-127-SSA1-1994 agua para uso y consumo humano, se observa que algunas muestras del tinaco y separador tienen valores de pH por debajo de 6.5 algo similar con los resultados de las muestras del año 2020, pero contrario a los resultados obtenidos en el año 2019, donde todas las muestras están dentro del rango recomendado. También se observa que el agua de lluvia en general osciló en valores de pH de 6 a 7.5, valores menores a los obtenidos con el agua comercial y el agua de la llave (8.0 -8.5). Los valores ligeramente ácidos observados en el agua de lluvia, pueden estar relacionados con agentes contaminantes presentes en la atmósfera urbana, y con el arrastre de sedimentos en el área de captación, además de las características propias del agua de lluvia y la limpieza del mismo sistema. Autores como Aci et al. (2012) afirman que este tipo de comportamiento en el agua de lluvia, es decir, valores ácidos de pH al inicio de la temporada y valores más cercanos a la neutralidad hacia el final de la misma son comunes.
- En lo que respecta al parámetro de color los resultados del año 2018 se encuentran dentro de las 20 unidades de color marcadas en la NOM-127-SSA1-1994, caso contrario en 2019 que presenta pequeñas variaciones entre 25 y 35 unidades de color y en 2020 sobre pasa los límites hasta llegar a las 50 unidades de color en el mes de octubre, lo cual sucede por la presencia de materia orgánica en el agua, estudios como el de Ospina & Ramírez (2014) afirman que “el agua de lluvia a través de un filtro convencional llega a cumplir con lo establecido en la normatividad”.
- En lo que respecta al parámetro de turbidez todas las muestras en las 3 temporadas de muestreo se encuentran dentro de lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994, siendo un parámetro con el 100% de confiabilidad.
- Dentro de la medida de Dureza se observa que es uno de los parámetros con mejor comportamiento, teniendo resultados entre los 3-42, mg/L como CaCO₃, caso contrario

en los resultados que muestra el agua de la llave teniendo valores mayores a 150 mg/L como CaCO_3 en ambos años de muestreo. Estos valores de dureza moderada a alta encontrada en el agua de suministro de la red, se encuentra dentro de los valores esperados dada las condiciones geológicas que envuelven en general a la entidad, estos es, alta presencia de roca caliza que favorece la disolución de carbonatos de calcio y magnesio en el agua, otros trabajos de investigación mencionan que el parámetro de Dureza no sobre pasa los 400 CaCO_3 (mg/L) (Brignoli, 2013).

- En el caso del parámetro de SDT se presenta la única variante en mayo de 2020, consecuencia de las primeras lluvias del año haciendo el efecto de limpieza, es decir, presentando un mayor arrastre de sedimentos. En los meses siguientes, los SDT se comportan de una manera estable sin sobrepasar el límite permisible, algunas investigaciones menciona que para este parámetro se han encontrado concentraciones hasta de 1500 mg/L (Brignoli, 2013) y en otros se confirma que los SDT varían entre 7 a 10 mg/L (Aci et al., 2012) considerando que la NOM establece como máximo 1000 mg/L.
- Con todo lo anterior se confirma que la calidad del agua de lluvia es apta para emplearla en actividades domésticas y desde luego compite con el agua que se abastece en la red municipal e incluso tanto su uso como captación contribuyen a la problemática de escasez del agua, al menos en la temporada de lluvia.

CONCLUSIONES

- El agua de lluvia proveniente del SCALL ubicado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, cumple en su mayoría y de manera satisfactoria con los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, dando mayor confiabilidad de su uso dentro de las actividades domésticas, además de constituir una medida inmediata y de bajo costo de adquisición, siendo este una de las alternativas sustentables para disminuir la problemática de la escasez del agua en temporada de lluvia.
- El pH es el parámetro que más variaciones presenta, haciendo notar la incidencia que tienen las condiciones atmosféricas de la región, repercutiendo en los resultados, pero afortunadamente se puede llegar a neutralizar.
- Los resultados indican que el agua de lluvia puede ser empleada para cualquier actividad doméstica, sin embargo, para lograr que se emplee para consumo humano requiere de agregar un sistema de potabilización que dependerá de cada usuario, como puede ser la cloración o el uso de lámparas UV, además de realizar análisis microbiológicos.
- Es importante comenzar a familiarizarnos con el término “cultura del agua”, es decir, tomar conciencia de la problemática actual de la escasez de este recurso y no ver al agua de lluvia como un desperdicio sino como aprovechamiento a causa del estrés hídrico.

RECOMENDACIONES

- Se debe de considerar de manera particular el diseño de cada SCALL dependiendo del área destinada a la captación y volumen de almacenamiento para procurar obtener las propiedades adecuadas del agua de lluvia que se va a emplear sin llegar al consumo humano, sin olvidar que el mantenimiento del sistema es esencial para el buen funcionamiento y seguir conservando los estándares de calidad.
- Es recomendable realizar al menos 3 limpiezas del sistema durante el año (temporada de estiaje, época de lluvia y término de la temporada de lluvia), ya que si no se realiza la limpieza se pueden tener resultados fuera de la normatividad.
- Antes de emplear el agua de lluvia que se encuentra almacenada dejar reposar 1 hora para que los sólidos precipiten y así emplear el agua clarificada.
- Evitar captar en el área de almacenamiento el agua de las primeras 4-5 lluvias debido a que la atmósfera y la superficie de captación están en proceso de limpieza, misma que puede traer consigo alteraciones en los resultados e impregnar el olor al área de almacenamiento, si estas aguas son captadas pueden emplearse para el riego de plantas o limpieza de espacios en el hogar o vehículos.
- Es necesario tener presente las consideraciones ambientales de la mancha urbana, fauna, vegetación, actividad antropogénica para la implementación del SCALL, entre otros factores, para el buen aprovechamiento del agua de lluvia.
- Se recomienda realizar los análisis microbiológicos para definir de mejor manera, la calidad del agua de lluvia captada, además de darle continuidad a los análisis de posteriores años y promover la continuidad de este proyecto para posteriores temas de investigación.
- Para que el agua de lluvia se use para el consumo humano, es necesario aplicar un tratamiento de potabilización, mismo que dependerá de cada usuario.

REFERENCIAS

- [1] Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, A. (2008). *Manual de Captacion de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos*. 1–47. [http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION oct 2008.pdf](http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION%20oct%202008.pdf)
- [2] Aci, M., Sistema, D. E. U. N., Aci, D. E. C., & Captaci, D. E. A. D. E. L. (2012). Implementación Y Caracterización De Un Sistema De Captación Y Aprovechamiento De Agua De Lluvia. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), 16–23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2012.1.54>
- [3] Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, A. (2008). *Manual de Captacion de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos*. 1–47. [http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION oct 2008.pdf](http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION%20oct%202008.pdf)
- [4] Arroyave Rojas, J., Díaz Vélez, J., Vergara, D., & Macías, N. (2011). Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Producción + Limpia*, 6(1), 76–85.
- [5] A. Turzillo, C. Campion, C. Clay et al. Programa Estatal Hidrico del Estado de Chiapas, 2019-2024.
- [6] Brignoli, D. (2013). *Estudio de la calidad del agua de lluvia, para el consumo humano y productivo en los Talas, partido de Berisso*.
- [7] CONAGUA. (2012). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2012. Recuperado de <https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-40-12.pdf>
- [8] Cruz, A., & Martínez, P. (2015). El Recurso Agua En El Entorno De Las Ciudades Sustentables. *Cultura Científica y Tecnológica*, 0(31), 1–11. <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/341>
- [9] Hugues, R. T. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125–139.
- [10] Industrial, S. de C. y F. (2001). NMX-AA-038-SCFI-2001 -Determinación De Turbiedad En Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas. *Secretaría de Economía*, 15.
- [12] Luna, K., Ordoñez, I., & Romero, M. (2015). *Diagnóstico de la calidad de agua pluvial y de la red de abastecimiento municipal. Diseño de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia y su aceptación en la comunidad de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAWMéx.* 204. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/23992>
- [13] Municipio de Tuxtla Gutiérrez. (2022). Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024, Tuxtla Gutiérrez. Recuperado de <https://tuxtla.gob.mx/pg/muni/archivos/Plan-Municipal-de-Desarrollo-2021-2024.pdf>

- [14] Normas, D. G. D. E. (1982). *Fomento Industrial Norma Mexicana Nmx-Aa-083-1982 “ Analisis De Agua . - Determinacion De Olor .”*
- [15] Ospina, Ó., & Ramírez, H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 125–137.
- [16] Secretaría de Economía. (2016). NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de Agua- Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.-Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2011). *Diario Oficial de La Federación*, 1–21.
- [17] SEMARNAT. (2021). Educación ambiental y cultura del agua. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/educacionambiental/es/articulos/educacion-ambiental-y-cultura-del-agua?idiom=es>
- [18] SEMARNAT. (2015). NMX-AA-034-SCIFI-2015 Análisis De Agua - Medición De Sólidos Y Sales Disueltas En Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas – Método De Prueba. *Diario Oficial de La Federación*, 16. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>

ANEXO

Figura 16. Sistema de Captación de Agua de Lluvia



Fuente: propia, 2023

Figura 17. Muestras para los análisis



Fuente: Propia, 2020

Figura 18. Determinación de pH



Fuente: propia, 2020

Figura 19. Determinación de Color



Fuente: propia, 2020

Figura 20. Determinación de la Turbiedad

Figura 21. Determinación de la Dureza

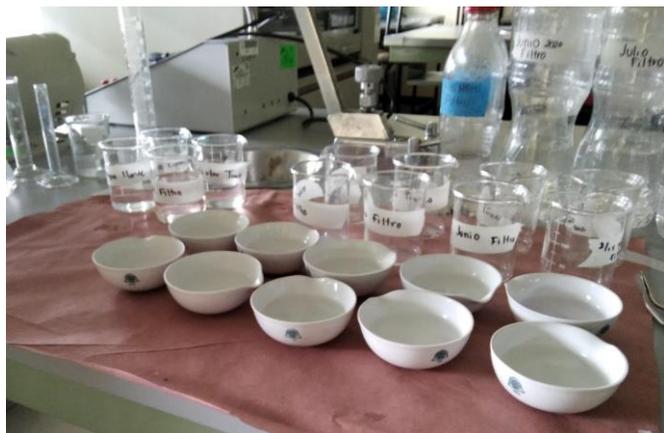


Fuente: propia, 2020



Fuente: propia, 2020

Figura 22. Determinación de Sólidos Disueltos Totales



Fuente: propia 2020