



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES “ZARAGOZA”

**PUESTA EN MARCHA Y ACONDICIONAMIENTO
DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA
PLUVIAL INSTALADO EN EL LABORATORIO DE
INGENIERÍA QUÍMICA EN EL CAMPUS II DE LA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTAN

**ENRIQUEZ VEGA ULISES
ORTEGA ROBLES JUAN ESTEBAN**

DIRECTOR

DR. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO

ASESORAS

**M. EN I. MARÍA ESTELA DE LA TORRE GÓMEZ TAGLE
M. EN C. ANA LILIA MALDONADO ARELLANO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2020





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a...

A Dios por darme la vida y la salud para permitirme llegar a culminar esta meta.

A mis maravillosos padres que son el pilar más importante en mi vida, sin ellos no sería la persona que soy ahora. Los amo.

A mi padre **Francisco Enriquez Cejudo** por su apoyo y todo el esfuerzo que siempre ha hecho para que no me falte nada; gracias por ser el mejor ejemplo de superación para mí, por siempre enseñarme a ser una persona comprometida, honesta y empática como tú.

A mi madre **María Vega Millán** por todo su empeño y confianza que tuvo en mí, gracias porque siempre estuviste pendiente de que estuviera bien, por toda la educación y valores que siempre me enseñaste, gracias a todo eso que has hecho por mí he cumplido todas mis metas.

A mis hermanos **Pedro y Blanca Estela** por todo el amor y ánimo que recibo de ustedes, por estar ahí cada fin de semana para hacerme reír o enojar pero siempre estando juntos, los amo.

A mi abuela **Isabel Millán** en donde te encuentres sé que estarás orgullosa por la culminación de esta meta en mi vida, gracias porque siempre me diste el amor más sincero y siempre te preocupaste porque yo estuviera bien, te extraño como a nadie. A mi abuelo **Gilberto Vega** por todos los ánimos que me da y ser un ejemplo de vida.

A mi abuela **Elvira Cejudo** por todo su amor y cariño, gracias por cada semana que me despido de usted está ahí para darme la bendición y desearme lo mejor. A mi abuelo **Maurilio Enriquez** gracias por cuidarme en mi niñez y por seguirme cuidando desde donde este.

A todos los miembros de la familia **Enriquez Cejudo y Vega Millán** que siempre creyó y confió en mí, gracias por todo su apoyo que día a día me impulsa a poder culminar mis metas, a mi Tía **Petra**, a mis primas **Jannet Yazmin, Nayeli y Yessica**, gracias por siempre brindarme un segundo hogar.

A mi mejor amiga de toda la vida **Alondra Mejía** por enseñarme el valor de la amistad, gracias por que cada fin de semana que llego a Morelos el salir y platicar contigo me da muchísimo ánimo para seguir adelante.

A mi mejor amiga **Grecia Santamaría** por todo tu cariño y apoyo, a pesar de la distancia siempre estuviste ahí presente en cada momento importante.

A mi amigo **Esteban Ortega**, gracias por confiar en mi para la realización de este proyecto, por todo el empeño y dedicación que le pusiste, por los conocimientos que me compartiste, muchas gracias.

A la Maestra **Ma. Estela De La Torre Gómez Tagle** porque siempre confió en mí, por apoyarme en la realización de mi servicio social y ayudarme a culminar este trabajo, gracias por todos sus conocimientos y experiencias que me compartió, siempre será un ejemplo a seguir.

A la Maestra **Ana Lilia Maldonado** por todo el empeño, tiempo y conocimientos que nos compartió para la realización de este trabajo, por su asesoramiento para realizar los análisis de laboratorio, muchas gracias.

A la maestra **Dora Alicia** por su amabilidad, paciencia y conocimientos que nos brindó para la realización de una parte importante de este trabajo.

Al Dr. **Rafael Sánchez Dirzo** y al Ing. **Arturo Méndez** por sus aportaciones, conocimientos y tiempo dedicado.

A mis amigos por siempre darme ánimos y fuerza para continuar, **Noé, Diana, Martha, Alondra, Julio, Valeria, Jenny, Nicole y Astrid**. Los quiero.

A mis amigos que conocí gracias a la Facultad. A mi amiga **Karo** por todos los momentos que vivimos durante la universidad. A mis primeros amigos que conocí **Eunice, Vianney, Sandra y Omar**, gracias por todo su cariño. A **Miguel, Karen, Andrea, Karina** que sin ustedes la universidad no hubiera sido lo mismo.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a la **Facultad de Estudios Superiores** por abrirme las puertas y ser la parte fundamental para mi formación profesional.

Gracias por todo

Ulises Enriquez Vega

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por darme la vida y permitirme llegar a estas instancias con salud y sobretodo acompañado de mi familia. Por darme las fuerzas necesarias para culminar la carrera y este trabajo.

A mis padres, **Juan Ortega Cortes**; una parte fundamental en mi vida, sin él yo no sería la persona que hoy en día soy. La persona más inteligente y aguerrida que conozco que sin importar las circunstancias siempre está ahí para apoyar a su familia y hacernos crecer.

Socorro Robles Castro; La mujer más fuerte y entregada. El pilar más importante de la familia, sin importarle ella misma siempre sobrepone a todos y todo por nosotros para impulsarnos y seguir adelante. Mejor madre no pude tener

Sin ellos dos, ninguna de mis metas que me he propuesto hasta hoy serían posibles.

Gracias por su entrega y dedicación, nunca me cansaré de agradecer ni tendré las palabras suficientes para expresar mi sentir hacia ellos.

A mis hermanos, **Brenda Itzayana Ortega Robles** y **Brandon Iván Ortega Robles**; dos personas importantes en mi desarrollo como ser humano. Gracias por aguantar mi carácter y apoyarme en cualquier cosa que necesito.

†**Ana Yadira Ortega Robles** QEPD, un ser que sin importar donde este sé que siempre cuida de nosotros y sabe guiarnos por la vida.

A mis abuelos maternos, †**Esteban Robles Mondragón** y †**Eustolia Castro Hernández** QEPD; sin ellos mi existencia en esta vida no hubiera sido posible y por haberme regalado una bonita infancia y recuerdos imborrables. De la misma manera a mi abuelo paterno **Juan Ortega Martínez**, agradecimientos infinitos.

A mi abuela paterna **Natalia Cortes Sánchez**, una de las personas más importantes de mi vida, siempre está ahí para regañar, apoyar y corregir. Sin duda alguna ha aportado tanto a mi formación que sin ella todo sería distinto. Jamás podré agradecerle ni pagarle lo gran persona que es.

A *Carme, Alex y Valeria*, grandes amigos con los cuales he compartido tanto y me han dejado demasiados aprendizajes.

A *Karen y a Miguel*, las primeras personas que conocí y los únicos amigos que conserve a lo largo de la carrera, gracias por esa motivación y apoyo que recibí de su parte.

A *Ulises* que además de ser un gran amigo es mi compañero de tesis, sin el esto no hubiera sido lo mismo, agradezco la confianza que tuvo para escogerme y aventurarnos a este gran camino.

A la *Mtra. Dora Alicia Pérez Gonzales*, por su apoyo y dedicación que tuvo con nosotros en las pruebas microbiológicas. Por su paciencia que nos tuvo y disponibilidad para este proyecto.

Y por último pero no menos importantes a nuestras asesoras, la *Mtra. María Estela de la Torre Gómez Tagle* y a la *Mtra. Ana Lilia Maldonado Arellano*, por esa gran dedicación y entusiasmo que mantuvieron a lo largo de este camino. Por creer en mí y siempre apoyarme, no solo en el proyecto sino también como profesionalista y persona, alentándome a luchar por aquello que quiero. Sin duda alguna, personas con una gran calidez humana y dispuestas a apoyar a los estudiantes y egresados de nuestra gran carrera.

Juan Esteban Ortega Robles

Contenido

Resumen	1
Introducción	3
Justificación	4
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Alcance y limitaciones	5
1. Antecedentes	7
1.1 Agua: Situación actual en la Ciudad de México	8
1.2 Contaminación del agua.	10
1.3 Agua Pluvial	13
1.3.1 Medición del agua pluvial	15
1.3.2 Históricos de lluvia en la CDMX	16
1.4 Sistemas de captación de agua pluvial	19
1.4.1 Tipos de Sistemas de Captación de Agua Pluvial	20
1.5 Tipos de tratamiento de agua pluvial	21
2. Sistema de captación y tratamiento de agua pluvial en la FES – Zaragoza	25
2.1 Captación	25
2.1.1 Área (techo) y canaleta	26
2.1.2 Tanque separador	28
2.1.3 Filtro de malla	29
2.1.4 Tanque de almacenamiento	29
2.2 Tren de tratamiento	30
2.2.1 Dosificador de cloro	31
2.2.2 Filtro para sedimentos	32
2.2.3 Filtro de carbón activado	32
2.3 Ósmosis Inversa	33
2.4 Capacidad de captación	36
2.5 Localización del sistema	37
2.6 Acondicionamiento del sistema	38
3. Experimentación y resultados	42
3.1 Pruebas Químicas	42
3.2 Pruebas Microbiológicas	45
3.2.1 Técnica de tubos múltiples para determinar el Número Más Probable (NMP) de organismos coliformes totales.	47

3.2.2 Recuento de bacterias mesófilas aerobias. Técnica de vaciado en placa.	53
Recomendaciones y mejoras	55
Área de captación (techo)	56
Cloración	58
Purificación del agua	60
Conclusiones	63
Bibliografía	66
Anexos	I
Diagrama de Flujo de Procesos	I
Diagrama de Flujo de Procesos propuesto	III
Plano de Localización General	V
Especificaciones técnicas	VII
Cotizaciones	XIV
Manual de Operación	XVII
Manual de Mantenimiento	XXVIII



Resumen

Los sistemas de captación son un arreglo que permite interceptar, recolectar y almacenar el agua de lluvia, adaptable a zonas urbanas y rurales; hay opciones rústicas, sofisticadas, de alto costo, domiciliarias, comunitarias, etc.

Sin embargo, la diferencia la hace el tratamiento a la cual se somete el agua captada, la mayoría de procesos sólo tratan el agua para usarla en actividades que no involucran el consumo humano; en la actualidad hay una problemática que está afectando a algunas entidades del país, el desabastecimiento de agua potable.

Es por ello que se debe pensar en soluciones puntuales que tomen todas las adversidades de las comunidades a su favor, es decir, el captar las intensas lluvias que someten el oriente de la Ciudad de México y tratar de potabilizarlas para ser de consumo humano.

En la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II, se instaló un sistema de Captación y Tratamiento de agua pluvial que consta del área de cosecha: techo, canaleta, tanque separador, filtro de malla, tanque de almacenamiento y dosificador de cloro, y el tren de tratamiento: el filtro para sedimentos y el filtro block de carbón activado y por último el sistema de ósmosis inversa. Este arreglo pretendía dar como producto final agua para consumo humano, se le hicieron pruebas químicas y microbiológicas con base a la NOM-127-SSA1-1994, los resultados arrojados para las características químicas dieron valores favorables los cuales están dentro de los límites permisibles, caso contrario de los microbiológicos que, aún después del tratamiento al que se sometió sobrepasaron los límites establecidos en dicha norma, por lo cual no puede ser de consumo humano.



El agua pluvial captada y tratada en este proceso podría ser utilizada en otros sistemas para experimentación a favor de la educación de los estudiantes de Ingeniería Química de la facultad.

Se dejaron establecidos los manuales de operación y mantenimiento del sistema para el óptimo uso por parte de los estudiantes, así como también algunas propuestas de mejora del sistema y un nuevo arreglo para poder obtener agua potable.



Introducción

Actualmente, la sociedad enfrenta cambios muy importantes en el planeta tierra: el calentamiento global, es decir, el aumento de la temperatura del planeta provocado por las exageradas emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero y la intensa actividad humana.

Esto trae consigo múltiples consecuencias muy desastrosas para los seres vivos, poniendo en riesgo inclusive nuestra permanencia en el planeta Tierra.

La principal causa de estos cambios es la sobrepoblación, hemos tenido un crecimiento exponencial en las últimas décadas. Se espera que la población mundial aumente en 2,000 millones de personas en los próximos 30 años, pasando de los 7,700 millones actuales a los 9,700 millones en 2050 (Naciones Unidas, 2017). Esta sobrepoblación aumenta las necesidades de la sociedad, demandando más recursos y aunado a esto, la industrialización desmedida.

El recurso más exigido por la población es el agua; esta sustancia es vital para la sobrevivencia de los seres vivos, ocupada en todos los ámbitos y sobreexplotada. Muchas veces es difícil llevar ese líquido a algunos puntos del planeta, y ríos cercanos a esas poblaciones se han ido acabando, dejándolas sin acceso al vital líquido.

La escasez de agua es un problema que ya nos ha alcanzado, es una realidad la cual debemos enfrentar de manera rápida y concisa para evitar que llegue a afectar a más personas.

Al mismo tiempo, la Ciudad de México es un lugar que tiene un clima extremo, es una localidad en la cual la cantidad de lluvia que precipita anualmente es muy alta y por su ubicación geográfica ocurren inundaciones que afectan en gran medida a la población.

Es ahí, donde entra la ingeniería y ocupa esas adversidades a nuestro favor, tratando de ayudar al planeta tierra y al mismo tiempo a satisfacer nuestras necesidades básicas.

Justificación

La Ingeniería Química es una disciplina que principalmente estudia la transformación de materia prima en productos o servicios que satisfagan las necesidades de la sociedad, sin embargo, conforme el planeta cambia, los estudiantes deben tomar consciencia e innovar para seguir saciar esas nuevas necesidades.

Los ingenieros químicos tienen la capacidad de incursionar en varios sectores, son capaces de diseñar y mejorar el desempeño de plantas químicas, reducir incidentes, administrar y hasta entrar al ámbito económico, sin embargo, puede enfocar sus aptitudes en el área ambiental y hacer cosas importantes para el planeta.

El agua de lluvia es un recurso que se puede reutilizar para enfrentar el problema y de esta manera aprovecharlo para la realización de diversas actividades en el hogar. La captación de agua de lluvia es una práctica que ya se realizaba desde la antigüedad con la finalidad de satisfacer necesidades básicas. Hoy en día la captación de agua pluvial es una de varias soluciones para solventar la escasez de agua que sufren algunos sectores de la población, tiene múltiples beneficios para el hogar y para preservar el medio ambiente. Se puede ahorrar y aumentar el almacenamiento del agua entre otras ventajas que puede aprovechar la población.

La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza es una institución que se preocupa por los problemas actuales que aquejan a la sociedad de nuestro país, es por ello que profesores han implementado un laboratorio que apoyará a que los alumnos de la carrera de Ingeniería Química aprendan y pongan en práctica conocimientos y tecnologías que estén a la altura para dar solución claras y concisas.

Entre estas propuestas está el arranque del sistema de captación y tratamiento de agua pluvial instalado en el techo del Laboratorio de Ingeniería Química para usarla.

Objetivo general

- Poner en marcha y acondicionar el sistema de captación de agua pluvial.

Objetivos específicos

- Hacer pruebas pre-operativas del sistema de captación de agua de pluvial.
- Verificar el adecuado funcionamiento de las diferentes etapas de tratamiento en el sistema, analizando la calidad del agua a la entrada y salida del sistema.
- Elaborar los manuales de operación y mantenimiento del sistema de captación y tratamiento.

Alcance y limitaciones

Este trabajo de investigación se enfoca en comprobar el debido funcionamiento del sistema de captación de agua pluvial instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química (Área de profundización) de la Facultad, haciendo las pruebas pre-operativas de dicho sistema, los análisis necesarios para comprobar el funcionamiento del tratamiento y dando solución a los problemas que se presenten.

Se le harán las modificaciones y arreglos necesarios, así como también se elaborarán los manuales de operación y mantenimiento para un óptimo manejo en sus usos posteriores dentro de la carrera.



CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1. Antecedentes

El agua es un compuesto químico natural formado a partir de la unión por enlaces covalentes, de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O), siendo una molécula muy estable. Cubre el 75% de la superficie terrestre, siendo fundamental para los procesos ambientales y sociales e indispensable para el desarrollo de la vida. Al igual que la energía, el agua no se crea ni se destruye, sólo se transforma, se encuentra en un estado transición constante cumpliendo con su ciclo, pero su cantidad en el planeta es invariable.

El ciclo hidrológico consiste en tres fases principalmente: la precipitación, la evaporación y el flujo, tanto superficial como subterráneo. Cada fase involucra transporte, almacenamiento temporal y cambio de estado, dependiendo de varios factores tales como latitud, temperatura y época del año.

El agua se encuentra almacenada en mares, océanos, lagos, presas, ríos, acuíferos, pantanos y casquetes polares, manteniéndose en estos por lapsos distintos como se muestra en la Ilustración 1. La disponibilidad promedio anual, es de aproximadamente 1,368 millones de km^2 , de los cuales 97.5% es salado y solo el 2.5%, es decir, 35 millones de km^2 es dulce. De esa cantidad el 70% no se encuentra disponible para consumo humano (CONAGUA, 2017).

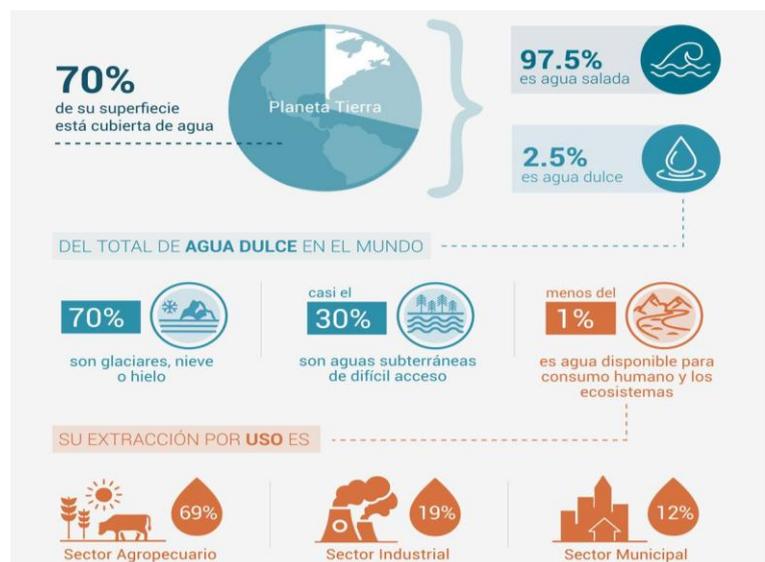


Ilustración 1. Agua en el planeta Tierra.
Fuente: Centro virtual de información del agua (2017)



Las reservas de agua dulce están siendo utilizadas por la especie humana a una gran velocidad, más grande de lo que tarda en recuperarse, por lo que este recurso renovable empieza a transformarse en no renovable, es decir, la calidad del agua es cada vez peor debido a la contaminación de los sistemas acuáticos con una gran diversidad de sustancias tales como: metales, grasas, aceites, disolventes industriales, así como miles de tipos de microorganismos (Revista ¿Cómo ves?, 2012).

La contaminación puede darse en un sólo lugar o de manera difusa, abarcando toda una región. En las zonas rurales, la contaminación es principalmente por actividades que tienen que ver con la agricultura, en las cuales se utilizan fertilizantes y plaguicidas. Alrededor de dos millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente a los distintos sistemas de almacenamiento, entre ellos, residuos industriales y urbanos (CONAGUA, 2017).

1.1 Agua: Situación actual en la Ciudad de México

La Ciudad de México es una de las 32 entidades federativas los Estados Unidos Mexicanos, se localiza a una altitud media de 2240 msnm, cuenta con una superficie de 1495 km², con una población de 8.9 millones de habitantes, distribuidos en 16 alcaldías; el Valle de México posee climas que van desde el templado hasta el frío húmedo, teniendo una temperatura media de 16.6 °C y con precipitaciones media anual de 625 mm (INEGI, 2012).

El agua utilizable por el ser humano se ha reducido en gran medida, lo que ha llevado a enfrentar una importante crisis mundial en torno al agua. Uno de ellos, el que existe actualmente en la frontera norte de México con los Estados Unidos por el Río Bravo y el Río Colorado, siendo el inicio de grandes guerras internacionales en el futuro.



Durante el siglo XX, la población mundial se triplicó, pero la extracción de agua se sextuplicó, aumentando el grado de presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial. Actualmente, México se encuentra en octavo lugar de extracción de agua a nivel mundial con un aproximado de 80.6 km^3 por año; donde el 69% es para uso agrícola, el 19% para la industria y sólo el 12% para consumo público (Centro virtual de información del agua, 2017).

La huella hídrica es la suma del agua que utiliza cada persona para sus diversas actividades cotidianas y la necesaria para producir los bienes y servicios que se consumen: los principales factores que la determinan son el nivel de consumo, el tipo de consumo, el clima y la eficiencia con la que se utiliza. El promedio mundial de cada ser humano es de $1,240 \text{ m}^3$ por año, nuestro país está por encima de la media con $1,441 \text{ m}^3$ por persona al año, siendo los Estados Unidos uno de los países con mayor huella hídrica por persona con $2,483 \text{ m}^3$ (CONAGUA, 2018).

En el centro, norte y noroeste del país se concentra el 77% de la población total generando un PIB del 85%, sin embargo, solo recibe el 32% del escurrimiento total nacional. El restante se concentra en el sureste, donde su población es el 23% del total con un PIB del 15%, provocando un desbalance importante en el país (Revista Ciencias, 2012).

En la Ciudad de México hay tres fuentes de abastecimiento de agua: 71% de aguas subterráneas, 26.5% del Río Lerma y Cutzamala y 2.5% del Río Magdalena, siendo los mantos acuíferos la mayor fuente de abastecimiento, lo que ha provocado que la sobreexplotación del subsuelo. Anualmente los acuíferos se recargan con cerca de 700 millones de metros cúbicos al año, pero se extraen 1300 millones.

1.2 Contaminación del agua.

El término contaminación se refiere a la introducción de cualquier agente químico, físico o biológico cuya presencia o acumulación tiene efectos nocivos en el entorno natural, la salud y el bienestar de las personas.

Se trata de sustancias ajenas al entorno al que se incorporan, que pueden afectar la calidad del aire, el agua y/o el suelo. La magnitud de su impacto generalmente depende de una combinación de aspectos como la cantidad, el tipo de contaminante, la vía de ingreso y el tipo de medio al que se incorporan.

Se dice que el agua está contaminada cuando los agentes contaminantes repercuten negativamente en su calidad para el consumo humano, para usos posteriores o para el bienestar de los ecosistemas. Es la contaminación que ocurre en cualquier espacio que alberga agua: ríos, lagos, acuíferos o incluso el mar.

Al ser una molécula polar, el agua tiene gran capacidad de establecer enlaces de hidrógeno con otras moléculas. Debido a esto puede diluir un gran número de sustancias por lo que es considerada el “disolvente universal”. Esta característica hace que los contaminantes, principalmente los químicos que llegan a este recurso, por vertidos o arrastre, alteren en forma significativa su calidad.

La contaminación debida al arrastre de hojarasca, partículas, o por el ingreso de gases atmosféricos transportados por la lluvia, es mínima en comparación con la contaminación que se genera por las actividades humanas, tal como se observa en la tabla 1.

- Las **características físicas** del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, gusto) tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua entre estos parámetros están la

transparencia, turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad eléctrica entre otros.

Tabla 1. Características físicas del agua.

Alteraciones físicas.	Características y contaminación que indica.
Color	El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores, pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20 °C.

Fuente: Fuente: Echarri L. (2007)

- Las **características químicas** del agua son las más importantes para definir su calidad, a continuación, se presenta la tabla 2 de los parámetros químicos más relevantes:

Tabla 2. Características químicas del agua.

Alteraciones químicas	Contaminación que indica.
Ph	Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO ₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO ₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.
Cloruros	Indican salinidad
Nitratos	Indican contaminación agrícola
Nitritos	Indican actividad bacteriológica
Fosfatos	Indican detergentes y fertilizantes
Sulfuros	Indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.).
Cianuros	Indican contaminación de origen industrial
Fluoruros	En algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida.
Sodio	Indica salinidad
Metales pesados	De efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica; (se estudian con detalle en el capítulo correspondiente).
Amonio	Contaminación con fertilizantes y heces
Calcio y magnesio	Están relacionados con la dureza del agua.

Fuente: Echarri L. (2007)

- Los **parámetros biológicos** cuantifican la cantidad y el tipo de microorganismos que habitan las aguas. Incluyen diversas especies microbiológicas patógenas al hombre, así como virus y diversos invertebrados. A diferencia de los parámetros fisicoquímicos, los parámetros biológicos no son analizados ya que no identifican a los agentes contaminantes.

Para medir el nivel de contaminación biológica que puede tener el agua, se controla la presencia de las bacterias coliformes que provienen de las vías intestinales del ser humano. Las enfermedades producidas por el agua de consumo deben detectarse rápidamente para someterlas a tratamientos adecuados de desinfección.

Tabla 3. Parámetros biológicos del agua.

Alteraciones biológicas del agua	Contaminación que indican
Bacterias coliformes	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos diversos	Eutrofización

Fuente: Echarri L. (2007)

1.3 Agua Pluvial

El agua en el planeta Tierra cumple con un proceso de transformación, llamado ciclo hidrológico; en éste, el agua pasa por los tres estados de transformación de la materia, según las condiciones ambientales. Dependiendo de la fase del proceso, el agua se encontrará en un lugar u otro:

- I. **Evaporación:** Ocurre cuando el sol calienta la superficie de las aguas de los ríos, lagos, lagunas, mares y océanos, haciéndola pasar del estado líquido al gaseoso.
- II. **Condensación:** El vapor de agua se concentra en gotas que formarán nubes y neblina. Una vez allí, el agua pasará a su estado líquido nuevamente.

- III. Precipitación: Tiene lugar cuando el agua condensada de la atmósfera desciende a la superficie en forma de gotas, y en algunas ocasiones y lugares en forma sólida como nieve o granizo.
- IV. Infiltración: Es el proceso en el cual el agua que ha caído en la superficie terrestre penetra en el suelo. De aquí se transporta de nuevo a su lugar de origen para dar inicio nuevamente al ciclo.

La lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor a 0.5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre, sería virga y si el diámetro es menor sería llovizna (OMM, 2013)

También la podemos clasificar dependiendo la intensidad, tal como lo marca la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de la precipitación según su intensidad.

Intensidad (mm/hr)	Tipo de precipitación
Mayor a 500	Granizo de gran tamaño
Mayor a 250	Torrencial y granizo
100 a 250	Torrencial y probabilidad de granizo
40 a 100	Lluvia muy fuerte torrencial
16 a 40	Lluvia fuerte
6.5 a 16	Lluvia moderada
2.5 a 6.5	Lluvia ligera
1 a 2.5	Lluvia débil
0.5 a 1	Lluvia muy débil
0.1 a 0.5	Traza de precipitación

Fuente: Observatorio Hidrológico UNAM. (2018)

Las características del agua de lluvia la hacen perfectamente utilizable para uso doméstico e industrial. Es un agua que cae del cielo de forma gratuita, y que es conducida sistemáticamente al alcantarillado y desperdiciada.

El agua de lluvia sin contaminantes es poco frecuente encontrarla, debido al nivel de contaminación en la atmósfera local esta puede variar en su composición, puede arrastrar pequeñas partículas, microorganismos, sustancias orgánicas, metales pesados y también se deben tener en cuenta posibles contaminantes en las zonas de captación y la infraestructura de aprovechamiento.

1.3.1 Medición del agua pluvial

La precipitación se mide en milímetros de agua, un milímetro de lluvia es equivalente a un litro de agua por m^2 . Esta cantidad de lluvia es medida por un pluviómetro, que mide la cantidad de lluvia que se acumularía en una superficie horizontal e impermeable durante el tiempo que dure la precipitación o solo un periodo de la misma.

Podemos encontrar diferentes tecnologías para la medición de la lluvia, como son:

- a) Pluviómetro manual: Consiste en un recipiente especial cilíndrico, por lo general de plástico, con una escala graduada.
- b) Pluviómetros totalizadores: Se componen de un embudo o triángulo invertido, que recoge el agua en un recipiente graduado. Tiene esa forma para dar más precisión en lluvias de poco volumen y facilitar su lectura.
- c) Pluviógrafo de sifón: Consta de un tambor giratorio que, rota con velocidad constante, este tambor arrastra un papel graduado, en la abscisa se tiene el tiempo y en la ordenada la altura de la



Ilustración 2. Pluviómetro totalizador.

Fuente: Interastro (2020)

precipitación pluvia, que se registra por una pluma que se mueve verticalmente, accionada por un flotador, marcando en el papel la altura de la lluvia.

1.3.2 Históricos de lluvia en la CDMX

El clima es un factor que cambia en un día, en una estación y sobre todo a través de los años, en periodos grandes de tiempo. Estas variaciones también son ocasionadas por la situación geográfica, fenómenos naturales y por las acciones humanas.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, quedaban algunos vestigios de lagos que, en la actualidad han sido drenados en su totalidad, trayendo consigo cambios bastante importantes para la Ciudad de México. La urbanización intensiva, el crecimiento exponencial y la disminución de la vegetación han ocasionado que el clima se torne más seco.

Por ende, se llevó a cabo un estudio estadístico para conocer la situación pluvial actual de la Ciudad de México.

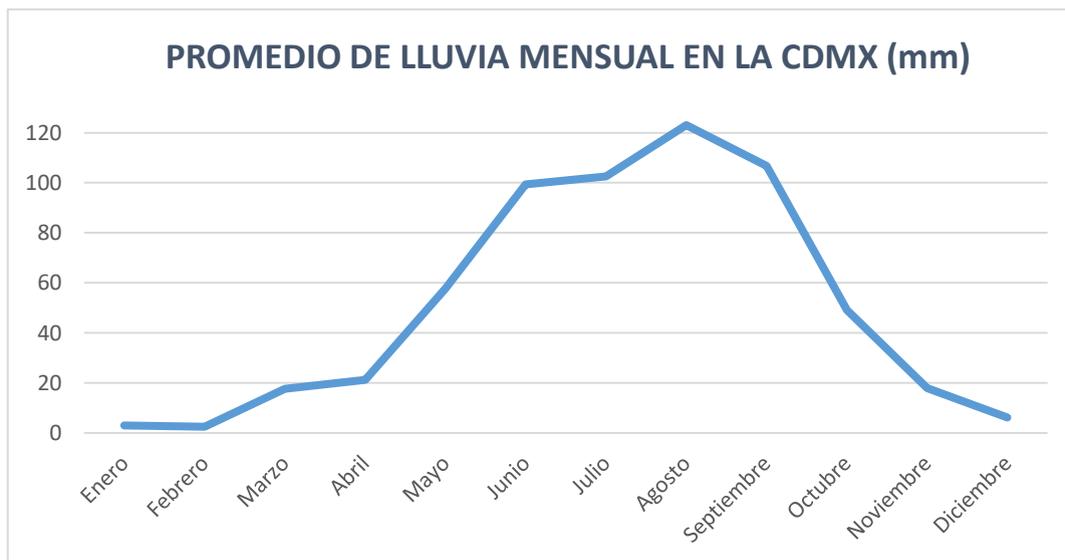
La Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con el Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU). Se tiene una estación en cada uno de sus Colegios de Ciencias y Humanidades (CCH). Se visitó la estación colocada en el CCH-Oriente, que es el más cercano al Campus II de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, para conocer el funcionamiento de este.

Se consultaron los históricos de cinco años atrás del Sistema Meteorológico Nacional (Tabla 5).

Tabla 5. Históricos de lluvia de la Ciudad de México (mm).

Mes\Año	2014	2015	2016	2017	2018	PROMEDIO
Enero	0.4	0.3	6.7	0	7.9	3.06
Febrero	1.4	2.9	0.8	0	7.7	2.56
Marzo	10.9	19.5	27.8	18.1	12.2	17.7
Abril	21.8	8.3	19	12.9	44.5	21.3
Mayo	60	69.6	51.8	48.9	59.1	57.88
Junio	96.4	74.1	113	86.2	127.4	99.42
Julio	99	94.1	131.9	101.7	85.9	102.52
Agosto	108.2	79.2	128.4	101.3	198.2	123.06
Septiembre	98.3	114.3	113.7	86.8	120.7	106.76
Octubre	92.6	20.2	14.6	31.4	86.8	49.12
Noviembre	7.1	5.4	45.5	0.6	31.1	17.94
Diciembre	19.6	4.1	2.7	0	4.8	6.24
Total anual	615.7	492	655.9	487.9	786.3	607.56

Fuente: CONAGUA (2019)



Gráfica 1. Promedio mensual de lluvia en la Ciudad de México.

Fuente: CONAGUA (2019)

Estos datos arrojaron que el promedio anual en la CDMX es de 607.56 mm, entrando apenas en la media nacional. Teniendo un periodo de seis meses en el que la lluvia es escasa o casi nula, de noviembre a abril, siendo enero y febrero los meses menos lluviosos de la ciudad. El periodo de lluvia en la CDMX comprende de mayo a octubre en los cuales tenemos el 88% de la lluvia total anual, siendo agosto el mes más lluvioso del año.

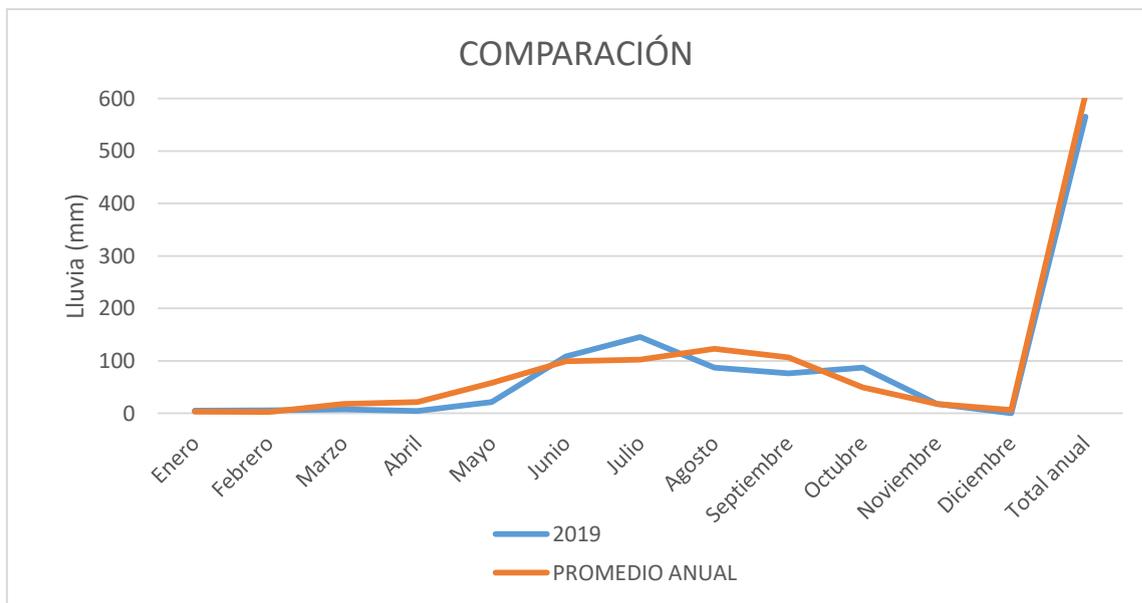
Estos son datos son del 2014 al 2018, paralelamente se hizo un análisis específico para el 2019, dando resultados presentes en la tabla 5.

Tabla 6. Lluvia mensual en el 2019 en la Ciudad de México (mm).

Mes\Año	2019	PROMEDIO
Enero	5.3	3.06
Febrero	5.7	2.56
Marzo	7.2	17.7
Abril	4.3	21.3
Mayo	21.6	57.88
Junio	108.1	99.42
Julio	145.5	102.52
Agosto	87.2	123.06
Septiembre	76.1	106.76
Octubre	86.8	49.12
Noviembre	17.6	17.94
Diciembre	0.1	6.24
Total anual	565.5	607.56

Fuente: CONAGUA (2020)

En la tabla 6 y en la gráfica 2 podemos observar que en el año 2019 la temporada de lluvia fue irregular, estuvo por debajo del promedio anual, afectando también el desarrollo de esta tesis.



Gráfica 2. Comparación del promedio de lluvia mensual de la Ciudad de México con la del 2019.

Fuente: CONAGUA (2020).

1.4 Sistemas de captación de agua pluvial

Un Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia (SCALL) consiste en un arreglo que permite interceptar, recolectar y almacenar el agua de lluvia. Los SCALL son una tecnología adaptable a zonas urbanas y rurales; hay opciones rústicas, sofisticadas, de alto costo, domiciliarias, comunitarias, etc.

La captación de agua de lluvia es una actividad que, según reportes, se ha practicado desde hace más de 5 mil años; desde siempre, el ser humano ha aprovechado el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte. Diferentes formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente. Actualmente su utilización se está haciendo muy extensiva en la República Popular China, India, Tailandia, Japón, Bangladesh, EUA, Brasil, Islas Vírgenes, México, entre otros países.

En México se conocen construcciones para el aprovechamiento de aguas pluviales que datan de 1,500 a. C. (Rojas et al, 2009). A pesar de su antigüedad, a nivel doméstico esta práctica fue reemplazada con la introducción del agua entubada. Sin embargo, la reciente escasez de este recurso ha determinado el surgimiento de promotores de SCALL en zonas urbanas y rurales. La instalación de SCALL en viviendas que ya cuentan con infraestructura de almacenamiento de agua, como una cisterna, generalmente resulta de bajo costo y no requiere un cambio de hábitos por parte de los usuarios. Las condiciones geográficas y climáticas de nuestro país son favorables para la captación de agua de lluvia; el promedio nacional anual de precipitaciones es de 1,489 miles de millones de m³ (CONAGUA, 2010).

Los gobiernos estatales y municipales presentan dificultades para abastecer de agua potable a las poblaciones urbanas y rurales, debido a que numerosos cuerpos de agua superficial están contaminados y 101 de los 282 acuíferos más importantes, que proveen del 66% del agua potable en el país, están sobreexplotados (CNA, 2009). Aunado a esto, las ciudades crecen exponencialmente, recibiendo una importante cifra de gente originaria del campo que se asienta en zonas periurbanas que adolecen de servicios básicos y numerosas comunidades rurales con clima árido, ubicadas lejos de los sistemas de abastecimiento, han quedado rezagadas en el suministro de agua potable, viéndose obligadas a satisfacer sus necesidades mediante tandeo.

En 2003 se creó el Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento del agua de Lluvia (CIDECALLI) ubicado en el Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo con el apoyo de la SAGARPA. Se han elaborado y ejecutado proyectos sobre sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para el consumo humano y uso doméstico en comunidades Mazahua y Purépecha en el estado de Michoacán, se han diseñado y construido cinco diferentes modelos de sistemas de captación de agua de lluvia llamados COLPOS 1 a COLPOS 5 (CIDECALLI, 2010).

En 2019 el gobierno de la Ciudad de México mediante la Secretaría del Medio Ambiente, inició el programa social “Sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas de la Ciudad de México”, con el objetivo de captar el agua pluvial para abastecer los hogares de colonias que presentan altos niveles de precariedad hídrica.

1.4.1 Tipos de Sistemas de Captación de Agua Pluvial

- A. Sistemas para uso humano: Son todos aquellos sistemas que aprovechan el escurrimiento superficial captado a través de tejados o superficies terrestres para

ser almacenado luego en diversos tipos de cisternas y utilizarse en la vida diaria, ejemplos de ellos son los sistemas COLPOS.

- B. Sistemas para uso agrícola y ganadero: Son aquellos que tienen por objetivo mejorar la producción de cultivos, árboles y pastizales en áreas propensas a sequía en lugar de que el escurrimiento superficial provoque erosión. Funcionan bajo el concepto de micro captación in situ, el cual manipula los escurrimientos superficiales para su almacenamiento en presas de tierra, atajados, estanques, hondonadas, jagüeyes, terrazas de cultivo y aljibes. Las técnicas de micro captación in situ involucran conservación del suelo, aumentan la disponibilidad de agua para los cultivos, mitigan los efectos de sequía y mejoran el entorno ecológico. Estos sistemas de captación de agua de lluvia son más relevantes para zonas áridas y semiáridas y donde los problemas de degradación ambiental, sequía y presiones de población son más evidentes.
- C. Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas: Tienen por objetivo la regulación y almacenamiento de agua en un acuífero, asegurando una gestión racional del potencial hidráulico de cualquier cuenca hidrológica o sistema de explotación. Se da a través de la infiltración natural en: suelos permeables, cunetas verdes, estanques de retención, humedales, entre otros.

1.5 Tipos de tratamiento de agua pluvial

Se denomina agua prepotable, al agua antes de ser sometida a los correspondientes tratamientos potabilizadores y agua potable al agua apta para el consumo humano, una vez que ha pasado por el correspondiente tratamiento potabilizador. El agua que es un compuesto natural, para ser consumida requiere hoy día una serie de operaciones que

nos aseguren su vuelta a una calidad aceptable desde el punto de vista sanitario. No llega de forma casual y simple al domicilio de los usuarios.

Los tratamientos para potabilizar el agua, se pueden clasificar de acuerdo con:

1. Los componentes o impurezas a eliminar.
2. Parámetros de calidad
3. Grados de tratamientos de agua

Según los puntos anteriores, los procesos unitarios necesarios para la potabilización del agua en función de sus componentes sería la siguiente:

Tabla 7. Procesos a llevar a cabo en función de los contaminantes presente.

Operación unitaria	Tipo de contaminante
Desbaste	Sólidos gruesos
Coagulación + Floculación + Decantación	Partículas coloidales
Filtración	Sólidos en suspensión
Afino con Carbón Activo	Materia Orgánica
Cloración al Breakpoint	Amoniaco
Desinfección	Gérmenes Patógenos
Precipitación por Oxidación	Metales no deseados (Fe, Mn)
Ósmosis Inversa	Sólidos disueltos (Cl-, Na+, k+)

Fuente: Elaboración propia

Hasta ahora no existe una normatividad que regule o determine las características de los SCALL, aunque instituciones están realizando esfuerzos para establecerla. La NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" la cual determina los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano. El



agua cosechada por un SCALL que se destine al consumo humano debería cumplir con los parámetros establecidos en estas normas. Además, la NOM-230-SSA1-2002 “Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo” la cual establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimientos públicos y privados durante el manejo de agua para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano.



CAPÍTULO 2

SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA PLUVIAL EN LA FES-ZARAGOZA

2. Sistema de captación y tratamiento de agua pluvial en la FES – Zaragoza

El sistema consta de un proceso de tres etapas:

1. Captación: Se encuentra instalado en el techo del laboratorio.
2. Tratamiento: Dentro del Laboratorio de Ingeniería Química.
3. Ósmosis Inversa: Conectado al tren de tratamiento.

2.1 Captación

La captación es la primera etapa del sistema, antecede al tratamiento químico que se le dará. Consta del área destinada para su obtención, conducción y almacenamiento del agua pluvial.

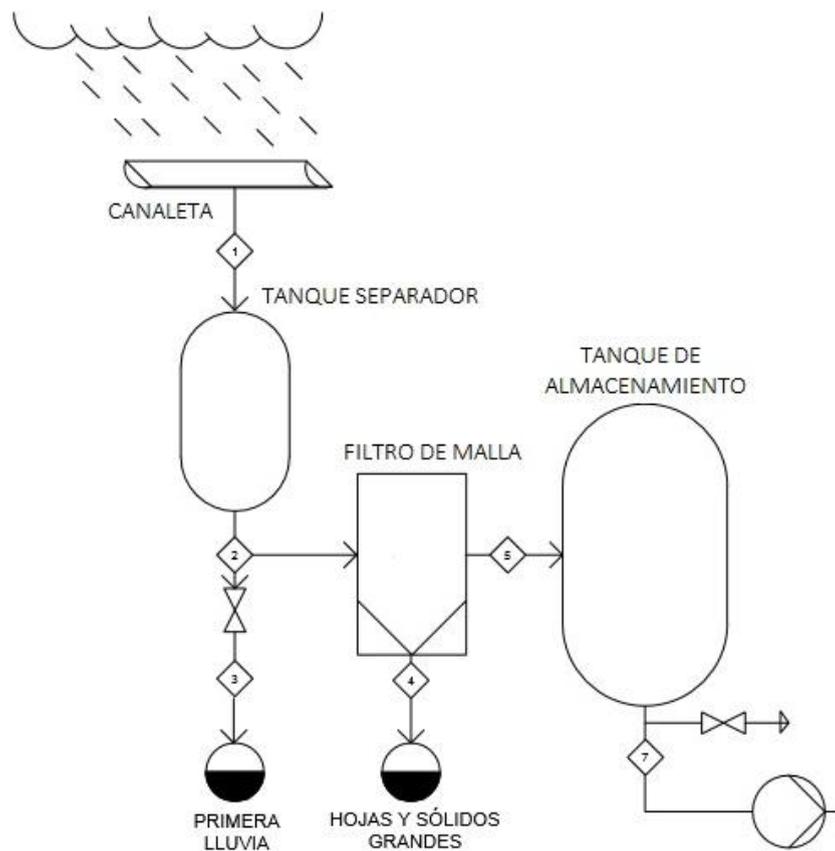


Ilustración 3. Área de captación. Fuente: Elaboración propia.

2.1.1 Área (techo) y canaleta

El espacio de captación está ubicado en la planta alta del Laboratorio de Ingeniería Química (Área de profundización), consta de un área de 10 m² y el material de la cubierta es lámina de asbesto.

El asbesto es un mineral natural extraído de la tierra, es una roca con fibras largas, resistentes y manipulables. Es el nombre comercial que se le da al producto de la combinación de seis materiales fibrosos diferentes; amosita, crisotilo, crocidotila, tremolita, actinolita y antofilita. Esta combinación le otorga al asbesto flexibilidad, resistencia a la tensión, a diferentes sustancias químicas y a la descomposición térmica.

Es por estas propiedades que el asbesto ha sido altamente utilizado en una gran variedad de productos manufacturados: en la construcción, para automóviles y materiales textiles termoresistentes. También podemos encontrar su aplicación en láminas acanaladas, tinacos y tuberías.

Sin embargo, este material al entrar en contacto con el agua o el viento desprende partículas microscópicas que permanecen en el aire y el agua provocando serios problemas de salud en la población:

- Asbestosis: Disminución de la capacidad pulmonar.
- Mesotelioma: Un tipo de cáncer que se desarrolla en la cavidad torácica o abdominal.
- Cáncer pulmonar.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés) tiene como nivel máximo permisible para el agua potable el de 7 millones de fibras por litro.

Es por esto, que en el sistema de captación se tomó la decisión de cubrir la lámina de asbesto con una membrana de polietileno de alta densidad.

La membrana de polietileno está compuesta de polímeros especiales que protegen al agua del contacto con el asbesto, tiene una alta resistencia química y térmica, propiedades mecánicas, flexibilidad y alta durabilidad.



Foto 1. Techo cubierto con la membrana de polietileno.

El techo cuenta con una ligera inclinación natural, en el que al final de este se colocó la canaleta para que conduzca el agua captada al tanque separador.

La canaleta es de lámina galvanizada, es decir, lámina de acero que mediante un proceso de inmersión en caliente recubre totalmente la lámina de zinc, esto para prevenir la corrosión y prolongar su vida útil.

Finalmente, el agua es transportada por medio de tubería de policloruro de vinilo (PVC), que es un polímero termoplástico que conduce con facilidad los fluidos sin alterar sus características físicas y químicas.



Foto 2. Tubería de PVC.

2.1.2 Tanque separador

Este, es un recipiente, que como su nombre lo dice, se encarga de separar las primeras lluvias de la temporada, así como también los primeros minutos de estas.

El área de captación es la principal fuente de contaminación del agua, aunque ya se toman medidas para mantener limpio el techo, tales como libre de mascotas o que no tenga árboles cercanos, la tierra que el aire conduce y deja sobre él será lo que contaminará el agua de lluvia.

Los primeros minutos de lluvia limpiarán el techo, dejándolo libre de contaminantes, estos quedaran atrapados en el tanque separador, que al llenarse formará un tapón hidráulico que hará que el agua limpia sea la que pase al tanque de almacenamiento.



Foto 3. Tanque separador.

La industrialización trajo consigo mucha contaminación y entre ellas la atmosférica. Un estudio realizado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM, demostró que la lluvia de la Ciudad de México posee contaminantes tóxicos tales como plomo, mercurio, níquel, arsénico, zinc y aluminio.

Además, durante la temporada en que la lluvia es casi nula en la Ciudad de México, los contaminantes como el óxido de azufre y el óxido de nitrógeno se concentran más en el aire y estos al entrar en contacto con la primera lluvia de la temporada llevan a cabo una reacción química y forman la lluvia ácida, la cual también arrastra los contaminantes antes mencionados. Por ende, el tanque separador se encarga de almacenar los primeros minutos de cada lluvia y dejar pasar agua con menos concentración de contaminantes.

Por cada milímetro de la primera lluvia separada, es posible reducir la concentración de contaminantes hasta un 50%.

2.1.3 Filtro de malla

Este filtro tiene la finalidad de impedir la entrada de contaminantes de mayor tamaño al tanque de almacenamiento, tales como hojas, piedras o animales. Es una malla de acero inoxidable, colocada en la entrada del tanque de almacenamiento.



Foto 4. Filtro de malla..

2.1.4 Tanque de almacenamiento

La última operación de la captación es el almacenamiento del agua de lluvia, se instaló un tanque de almacenamiento de 450 litros, está hecho de polietileno de baja densidad para proteger el agua del exterior.



Foto 5. Tanque de almacenamiento.

2.2 Tren de tratamiento

Después de la captación, lo siguiente es el tratamiento químico que se dará al agua pluvial, principalmente para eliminar impurezas, malos olores y bacterias, que consta de tres etapas:

- Cloración.
- Filtro para sedimentos.
- Filtro de carbón activado.

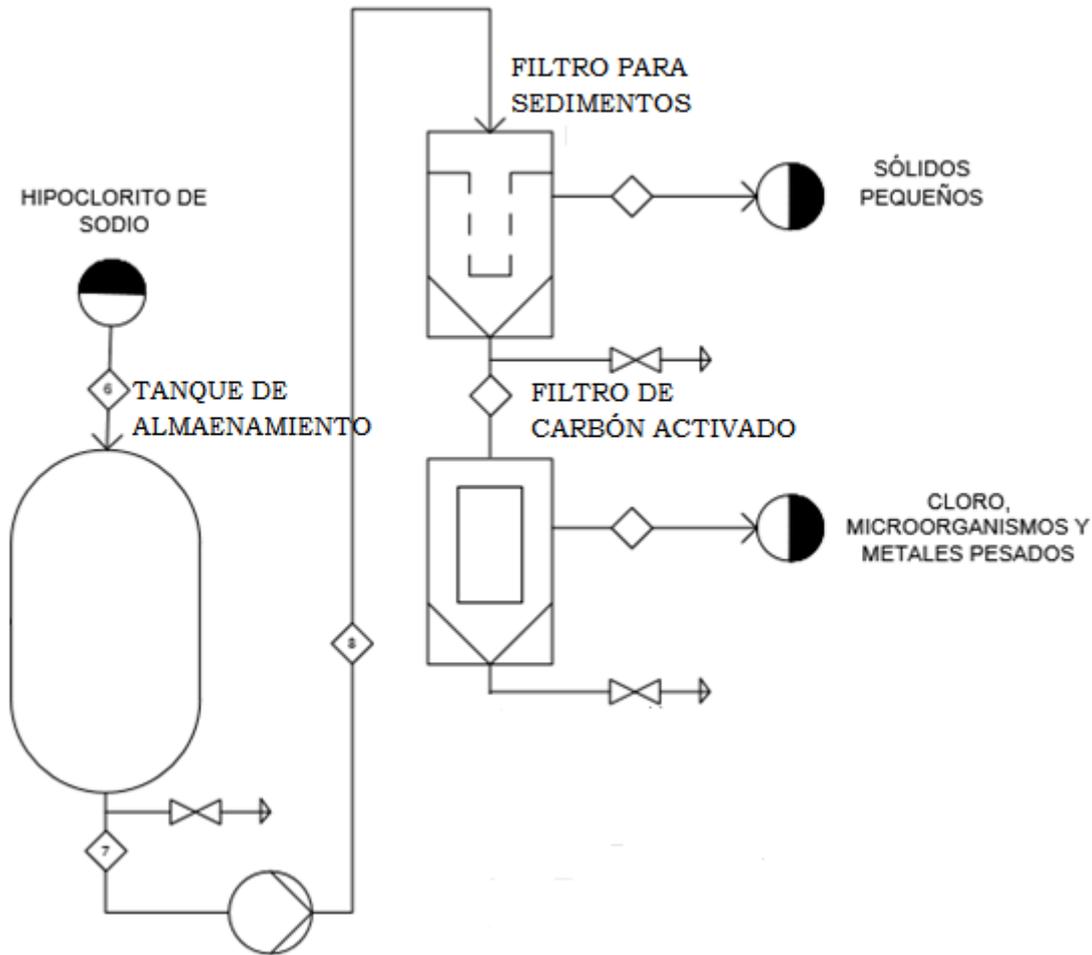


Ilustración 4. Tren de tratamiento. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1 Dosificador de cloro

Es un pequeño recipiente en el cual se agregan las pastillas de hipoclorito de calcio, este se sumerge en el tanque de almacenamiento, haciendo más fácil la tarea para el usuario.

Cuenta con una esfera de poliestireno expandido que funge como tapa, este material es resistente al cloro, al igual que el policloruro de vinilo, de lo cual está hecho el dosificador.



Foto 6. Dosificador de cloro..

El distribuidor sugiere, a partir de la siguiente tabla, añadir dependiendo de la cantidad de agua las pastillas de cloro de 6 g cada una aproximadamente cada 15 días:

Tabla 8. Relación de la cantidad de cloro con la cantidad de agua almacenada.

Capacidad de la cisterna (L)	Número de pastillas de cloro (6 g)
2500	3
5000	5
10000	10
15000	15

Fuente: Isla Urbana (2019)

2.2.2 Filtro para sedimentos

Los sedimentos son aquellas partículas sólidas que quedan asentadas al fondo del tanque de almacenamiento, al poner a trabajar el equipo y encender la bomba centrífuga es posible que arrastre estas partículas, las cuales serán retiradas por el filtro.

La cubierta hecha de polietileno de alta densidad que soporta una malla de alambre de acero inoxidable para grados de filtración de 50 micras.



Foto 7. Filtro de mallas.

2.2.3 Filtro de carbón activado

El carbón es un compuesto resultante de una reacción de combustión de algún cuerpo orgánico y que es rico en carbono y otros elementos como hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Este tiene la capacidad de atrapar compuestos presentes en un gas o un líquido, es decir, es un excelente adsorbente.

Es por esta propiedad que es muy utilizado en el proceso de purificación del agua, puede retener plaguicidas, grasas, detergentes, aceites, toxinas, subproductos de la desinfección, y aquellas sustancias que producen olor, sabor y turbiedad al agua.

Cualquier partícula de carbón es capaz de adsorber, sin embargo, al activarlo ampliamos su capacidad de adsorción: Un gramo de carbón leña tiene un área superficial de 50 m^2 y con la activación, puede llegar a los 600 u 800 m^2 .

La activación consiste en provocar una oxidación parcial del carbón, para lograr que se formen los poros, pero evitando la gasificación y así perder carbón, esto sucede a temperaturas entre los 600 y $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ y en una atmósfera controlada con vapor de agua o nitrógeno.



Foto 8. Filtro de carbón activado.

La forma física del carbón activado es un sólido granular, sin embargo, para tener una mayor adsorción suelen usarse en bloque. Se muele el carbón, se vierte en un molde y se alienta hasta lograr la unión.

El exterior del filtro es de policloruro de vinilo y dentro se coloca el bloque de carbón activado, el agua entrante fluye por un lado del cartucho y se mueve hasta el centro del bloque de carbón activado para iniciar lograr una adsorción uniforme.

2.3 Ósmosis Inversa

La ósmosis es un proceso de difusión, es decir, un solvente pasa a través de una membrana semipermeable de una disolución diluida a una concentrada para lograr un equilibrio iónico entre ambos lados de la membrana.

Este proceso tiene como consecuencia un aumento de la cantidad de disolvente en la parte que contiene la disolución más concentrada y una disminución en la disolución cuya concentración es menor, este proceso ocurre gracias a que la solución más diluida ejerce una presión a la que se le conoce como presión osmótica.

La presión osmótica es la presión requerida para restablecer el nivel de ambos lados del contenedor forzando agua a través de la membrana semipermeable, esto provocará una diferencia de alturas y en consecuencia una presión hidrostática que, al contrario de la osmótica, tiende a empujar el solvente hacia la parte diluida, y como consecuencia la presión osmótica y la hidrostática se igualan deteniendo el flujo de solvente, por ende, la diferencia de concentraciones disminuye pero no desaparece.

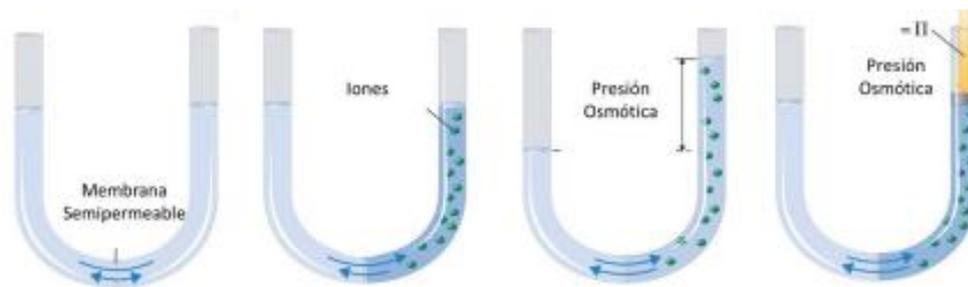


Ilustración 5. Ósmosis. Fuente: Osorio F. (2010)

Se puede invertir el proceso aplicando presión en la disolución más concentrada para vencer la presión osmótica, provocando el movimiento hacia la más diluida, se puede alcanzar un equilibrio o diluir cada vez más el solvente y dejando las partículas del soluto de un lado de la membrana; este proceso se conoce como ósmosis inversa.

La eficiencia de este proceso se ve afectada por varios factores: el tratamiento que antecede a la ósmosis inversa, la presión aplicada y la membrana a usarse. La membrana debe reunir las siguientes características:

- Resistencia a altas presiones.

- Suficientemente permeable al agua.
- Rechazar un porcentaje elevado de soluto.

Las membranas más usadas en el proceso de purificación del agua se clasifican en dos grupos:

- Orgánicas
- Inorgánicas

Poliamida aromática
Acetato de celulosa
TFC (poliamida compuesta)
Polisulfona
Polioléfina aromática

Cerámicas (óxidos, nitruros, carburos de metales como aluminio, zirconio o titanio).



Foto 9. Ósmosis inversa instalado en la Facultad.

La ósmosis inversa bien aplicada en el proceso de purificación del agua, tiene una alta eficiencia, removiendo gran cantidad de contaminantes en suspensión.

2.4 Capacidad de captación

Para poder calcular la cantidad de agua que podemos cosechar en un día de lluvia, es necesario conocer el área de captación, la cantidad de lluvia y el coeficiente de captación.

El coeficiente de captación es un valor que da un porcentaje de eficiencia que una superficie puede captar, la siguiente tabla nos da los valores según corresponda.

Tabla 9. Coeficientes de captación de superficies comunes en techo.

Tipo de superficie	Coeficiente de captación
Lámina metálica y plástica	0.8 – 0.85
Teja de cemento	0.62 – 0.69
Teja de barro (hecha a máquina)	0.30 – 0.39
Teja de barro (hecha a mano)	0.24 – 0.31
Loza de concreto	0.73 – 0.76

Fuente: Gould y Nissen-Petersen (1999)

La superficie del área de captación del sistema instalado en la Facultad es de lámina de asbesto con una cubierta de polietileno de alta densidad, por lo cual el coeficiente a ocupar será de 0.8.

$$\text{Vol. de lluvia captada} = \text{Área de captación} * \text{Cantidad de lluvia} * \text{Coeficiente}$$

En la temporada de lluvia en la Ciudad de México, la precipitación puede ser de 25 mm.

Recordando que $1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2$;

$$\text{Vol. de lluvia captada} = 10 \text{ m}^2 * 25 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} * 0.8$$

$$\text{Vol. de lluvia captada} = 200 \text{ L.}$$

2.5 Localización del sistema

La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II se encuentra localizada al oriente de la Ciudad de México, en la Alcaldía de Iztapalapa, donde fue instalado el sistema de captación y tratamiento de agua pluvial en el Laboratorio de Ingeniería Química (Área de profundización), a un lado del centro de acopio, como se puede observar en la ilustración 6 y 7.



Ilustración 6. Localización del sistema. Fuente: Google Maps (2020)



Foto 10, Laboratorio donde se instaló el sistema.

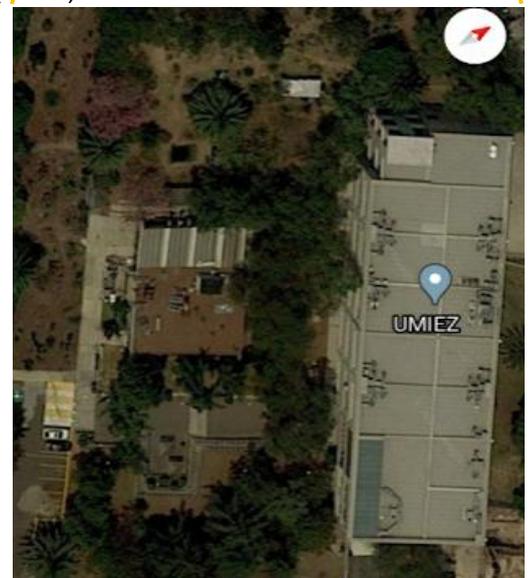


Ilustración 7. Vista aérea del laboratorio.
Fuente: Google Maps (2020)

2.6 Acondicionamiento del sistema

El sistema de captación y tratamiento de agua pluvial fue instalado aproximadamente en el mes de marzo del 2019, sin embargo, sólo fue instalado y no tuvo una prueba de arranque o alguna prueba que indicara que el equipo estaba funcionando de manera óptima.

A continuación, se presenta una imagen en donde se puede observar cómo se encontraba una parte del área de captación y la canaleta meses después de que este no recibiera alguna limpieza.



Foto 11. Área de captación meses después de su instalación.

Se procedió a realizar una limpieza profunda con agua y jabón para eliminar toda la suciedad, hojas, tierra, polvo, etc. Para así tener un área óptima de captación y no se contaminará con alguno de estos el agua captada que llegue al sedimentador. Así mismo la canaleta no tuviera algún problema en la conducción del agua.

Durante el desarrollo del trabajo se tuvieron problemas con el área de captación debido a que la membrana no estaba colocada de una manera correcta lo que llevó a que en dos ocasiones esta se derrumbara; se volvió a colocar la membrana que cubre el área y debido a falta de presupuesto por parte de la institución solo se pudo volver a colocar y

fijar con metales, por lo consiguiente en el capítulo 4 se dan recomendaciones para resolver este problema.

Para el sedimentador sólo se le realizó una limpieza pasando una corriente de agua y jabón por él, debido a que se encuentra totalmente cerrado y dificulta su limpieza.

El tanque de almacenamiento es la parte más importante del sistema debido a que es donde se tendrá por más tiempo el agua pluvial y debe estar en las mejores condiciones.

La siguiente imagen presenta el antes y después del interior del tanque de almacenamiento tal y como fue instalado y dejado; cómo se puede observar este se encontraba con tierra que pudo ser arrastrada por la mala limpieza del área de captación y la canaleta y el tiempo que llevaba almacenada; se procedió a realizarle una buena limpieza con agua y jabón.



Foto 12. Antes y después del lavado.

Como ya se explicó anteriormente se pueden captar hasta 200 L en una lluvia de 25 mm sin embargo, fue una temporada de lluvias inestable lo que provocó a captar muy poca agua y en días diferentes, por lo consiguiente se llevó a realizarle un aforo al tanque para saber aproximadamente cuantos litros de lluvia se estaban captando de un día a otro.

Y para que en futuros trabajos sea más fácil la medición de la lluvia captada. En la siguiente foto se puede observar el aforo que se le realizó:



Foto 13. Tanque aforado.



CAPÍTULO 3

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

3. Experimentación y resultados

Se realizaron análisis químicos y bacteriológicos al agua de lluvia con y sin tratamiento; conocer la calidad de esta es muy importante ya que debe de cumplir con los límites permisibles que exige la NOM -127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION"

3.1 Pruebas Químicas

Se le realizó un análisis al agua pluvial captada y almacenada de los siguientes parámetros:

- Sulfatos. Para la determinación de la cantidad del ión sulfato se siguió el procedimiento de la NMX- AA- 074 –SCFI- 2014. ANÁLISIS DE AGUA- MEDICIÓN DEL ION SULFATO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS- MÉTODO DE PRUEBAS. La cual es de aplicación nacional y establece el método turbidimétrico para la medición del ión sulfato que en un medio ácido precipita con cloruro de bario, formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La concentración de masa del ion sulfato se mide por comparación de lectura con una curva de calibración analítica.
- Cloruros. Se determinaron de acuerdo a la NMX-AA-073-SCG-2001. ANÁLISIS DE AGUA- DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de cloruros totales. El ión cloruro es uno de los iones orgánicos que se encuentran en mayor cantidad en las aguas, su presencia es necesaria en aguas potables. En aguas potables, el sabor salado producido por la concentración de cloruros es variable. En algunas

aguas se puede detectar el sabor salado si su contenido es de 25 mg Cl^-/L si es el catión sodio. Por otra parte, éste puede estar ausente en aguas conteniendo hasta 1g Cl^-/L cuando los cationes que predominan son calcio y magnesio.

Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar crecimiento de plantas.

- Dureza. Se determinó de acuerdo a la NMX- AA – 072- SCFI- 2001. ANÁLISIS DE AGUA- DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA. Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de la dureza total por titulación.

La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. Es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales.

- Alcalinidad. Se determinó de acuerdo a la NMX-AA-036- SCFI-2001. ANÁLISIS DE AGUA- DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS. MÉTODO DE PRUEBA. La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (OH^-), como son las bases fuertes, y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos; contribuyen también en forma importante a la alcalinidad de los carbonatos y fosfatos. La presencia de boratos y silicatos en concentraciones altas también contribuyen a la alcalinidad del medio.

- pH. Conceptualmente, el pH en fase acuosa se define como el logaritmo negativo de la actividad del ión hidronio (protón hidratado, H⁺):

$$pH = - \log a_{H^+}$$

De esta definición no puede interferirse directamente el procedimiento de medición de esta magnitud debido a que no es posible determinar de manera experimental la actividad de iones individuales, con base en esto se determinó el pH con un potenciómetro.

En la tabla 10 se presentan los valores resultantes de la experimentación para una muestra agua pluvial obtenida del tanque de almacenamiento.

Tabla 10. Parámetros químicos del agua pluvial del tanque de almacenamiento sin tratamiento

Parámetro	Límite máximo permisible según NOM 127. (mg/L)	Agua pluvial. Valor obtenido experimentalmente. (mg/L)
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400 mg/L	5 mg/L
Cloruros (como Cl ⁻)	250 mg/L	77 mg/L
Dureza total (como CaCO ₃)	500 mg/L	42 mg/L
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 – 8.5	6
Sólidos disueltos totales	1000	No detectado
Conductividad.	-	28 μΩ/cm
Alcalinidad	-	28 mg/L

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla los parámetros sulfatos, cloruros, dureza total y sólidos disueltos totales están dentro de los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA1-1994. A excepción del pH que se encuentra ligeramente por debajo del límite.

La tabla 11 muestra los parámetros químicos obtenidos experimentalmente del agua pluvial al final del tratamiento.

Tabla 11. Parámetros químicos del agua pluvial después del tratamiento.

Parámetro	Límite máximo permisible según NOM 127. (mg/L)	Agua pluvial. Valor obtenido experimentalmente. (mg/L)
Sulfatos (como SO ₄ =)	400 mg/L	2 mg/L
Cloruros (como Cl -)	250 mg/L	55 mg/L
Dureza total (como CaCO ₃)	500 mg/L	30 mg/L
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 – 8.5	6.5
Sólidos disueltos totales	1000	No detectado
Conductividad.	-	20 μΩ/cm
Alcalinidad	-	24 mg/L

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 11, todos los parámetros evaluados experimentalmente están dentro de los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-1994.

3.2 Pruebas Microbiológicas

La presencia y el grado de contaminación fecal es un factor importante en la evaluación de la calidad de un cuerpo de agua.

El grupo coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino también se observan en aguas potables, por lo que el grupo coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua; conforme mayor sea el número de coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación fecal reciente. Como los coliformes también pueden vivir en otros ambientes, se distingue entre coliformes totales y coliformes fecales.

Coliformes totales, comprenden todos los bacilos Gram negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h a 35 °C ± 1 °C, que comprenden los géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citobacter* y *Klebsiella*.



Coliformes fecales, están constituidos por bacterias Gram negativas capaces de fermentar la lactosa con producción de gas a las 48 h de incubación a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este grupo incluye los géneros *Escherichia*, *Klebsiella* y organismos termoresistentes como *Enterococcus faecalis*, sin embargo, la más prominente es *Escherichia coli*.

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la tabla 1 de la NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION", como se observa a continuación:

Características biológicas de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994.

CARACTERISTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml
Organismos coliformes fecales	2 UFC/100 ml No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 mL (número más probable por 100 mL), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 mL (unidades formadoras de colonias por 100 mL), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

Para el análisis microbiológico se siguió la metodología de la NMX-AA-042-SCFI-2015 ANÁLISIS DE AGUA - ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES, ORGANISMOS COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y *Escherichia coli* – MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE EN TUBOS MÚLTIPLES, así mismo los análisis también fueron con base en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-112-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. DETERMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES. TÉCNICA DEL NÚMERO MÁS PROBABLE y a la Norma Oficial Mexicana NOM-092-

SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS, MÉTODO PARA LA CUENTA DE BACTERIAS AEROBIAS EN PLACA.

Para las pruebas microbiológicas realizadas en este trabajo de investigación se analizaron dos muestras de agua pluvial, una del tanque de almacenamiento y la segunda al final del tratamiento

3.2.1 Técnica de tubos múltiples para determinar el Número Más Probable (NMP) de organismos coliformes totales.

El método del Número Más Probable (NMP) para la determinación de los microorganismos coliformes totales, se basa en la capacidad de que este grupo microbiano la cual consiste en fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a $35\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ durante 48 h, utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares. Esta determinación consta de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa.

En la fase presuntiva el medio de cultivo que se utiliza es el caldo lactosado el cual permite la recuperación de los microorganismos que se encuentren presentes en la muestra y que sean capaces de utilizar a la lactosa como fuente de carbono. Durante la fase confirmativa se emplea como medio de cultivo caldo lactosado bilis verde brillante el cual es selectivo y solo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar tanto las sales biliares como el verde brillante.

Expresión de resultados.

Con el número de tubos de las pruebas confirmativas que hayan dado reacciones positivas, se calcula el NMP de organismos coliformes totales en 100 mL de muestra, refiriéndose a las tablas estadísticas del NMP.

Tabla 12. Valores de NMP por cada 100 mL de muestra y 95 % de límite de confianza (cinco alícuotas de muestra de 10 mL, cinco de 1 mL y cinco de 0,1 mL).

Número de tubos que dieron reacción positiva			NMP por 100 mL	Número de tubos que dieron reacción positiva			NMP por 100 mL
5 de 10 mL	5 de 1 mL	5 de 0.1 mL		5 de 10 mL	5 de 1 mL	5 de 0.1 mL	
0	0	0	< 1.8	3	3	2	24
0	0	1	1.8	3	4	0	21
0	1	0	1.8	3	4	1	24
0	1	1	3.6	3	5	0	25
0	2	0	3.7	4	0	0	13
0	2	1	5.5	4	0	1	17
0	3	0	5.6	4	0	2	21
1	0	0	2.0	4	0	3	25
1	0	1	4.0	4	1	0	17
1	0	2	6.0	4	1	1	21
1	1	0	4.0	4	1	2	26
1	1	1	6.1	4	1	3	31
1	1	2	8.1	4	2	0	22
1	2	0	6.1	4	2	1	26
1	2	1	8.2	4	2	2	32
1	3	0	8.3	4	2	3	38
1	3	1	10	4	3	0	27
1	4	0	10	4	3	1	33
2	0	0	4.5	4	3	2	39
2	0	1	6.8	4	4	0	34
2	0	2	9.1	4	4	1	40
2	1	0	6.8	4	4	2	47
2	1	1	9.2	4	5	0	41
2	1	2	12	4	5	1	48
2	2	0	9.3	5	0	0	23
2	2	1	12	5	0	1	31
2	2	2	14	5	0	2	43
2	3	0	12	5	0	3	58
2	3	1	14	5	1	0	33
2	4	0	15	5	1	1	46
3	0	0	7.8	5	1	2	63
3	0	1	11	5	1	3	84
3	0	2	13	5	2	0	49
3	1	0	11	5	2	1	70
3	1	1	14	5	2	2	94
3	1	2	17	5	2	3	120
3	2	0	14	5	2	4	150
3	2	1	17	5	3	0	79
3	2	2	20	5	3	1	110
3	3	0	17	5	3	2	140
3	3	1	21	5	3	3	170

Fuente: Standard Methods (2012)

Tabla 12. (Continuación)

Número de tubos que dieron reacción positiva			NMP por 100 MI
5 de 10 mL	5 de 1 mL	5 de 0.1 mL	
5	3	4	210
5	4	0	130
5	4	1	170
5	4	2	220
5	4	3	280
5	4	4	350
5	4	5	430
5	5	0	240
5	5	1	350
5	5	2	540
5	5	3	920
5	5	4	1600
5	5	5	>1600

Fuente: Standard Methods (2012)

Se determinó el NMP en el agua pluvial que se encontraba en el tanque de almacenamiento arrojando los siguientes resultados de la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de las cinco alícuotas de muestra de 10 mL, cinco de 1 mL y cinco de 0,1 mL, para el agua pluvial del tanque de almacenamiento.

Tubo	Reacción en tubo de caldo lactosado 24 h	Reacción en tubo de caldo bilis verde brillante 24 h.
1	CON GAS	CON GAS
2	CON GAS	CON GAS
3	CON GAS	CON GAS
4	CON GAS	CON GAS
5	CON GAS	CON GAS
6	CON GAS	CON GAS
7	CON GAS	CON GAS
8	CON GAS	CON GAS
9	CON GAS	CON GAS
10	CON GAS	CON GAS
11	CON GAS	CON GAS
12	CON GAS	CON GAS
13	CON GAS	CON GAS
14	CON GAS	CON GAS
15	CON GAS	CON GAS

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 13 se observa que para ambos medios de cultivo (caldo lactosado y caldo bilis verde brillante) hay presencia de microorganismos ya que los 15 tubos tuvieron producción de gas.

De igual manera, se determinó el NMP al agua pluvial después del tratamiento dando los siguientes resultados:

Tabla 14. Resultados de las cinco alícuotas de muestra de 10 mL, cinco de 1 mL y cinco de 0,1 mL, para el agua pluvial a la salida de la Ósmosis Inversa.

Tubo	Reacción en tubo de caldo lactosado 24 h	Reacción en tubo de caldo bilis verde brillante 24 h
1	CON GAS	CON GAS
2	CON GAS	CON GAS
3	CON GAS	CON GAS
4	CON GAS	CON GAS
5	CON GAS	CON GAS
6	CON GAS	CON GAS
7	CON GAS	CON GAS
8	CON GAS	CON GAS
9	CON GAS	CON GAS
10	CON GAS	CON GAS
11	CON GAS	CON GAS
12	CON GAS	CON GAS
13	CON GAS	CON GAS
14	CON GAS	CON GAS
15	CON GAS	CON GAS

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14 se observa que de igual manera que para la muestra sin tratamiento, se mostró presencia de gas en los 15 tubos de los dos medios de cultivo para la muestra de agua pluvial a la salida de la ósmosis inversa.

Dados los resultados anteriores para las dos muestras se calculó el NMP con base en la Tabla 12. Valores del NMP, siendo para ambas muestras > 1600 NMP/ 100 ml excediendo los límites máximos permisibles de características bacteriológicas.

Tinción de Gram.

El procedimiento de tinción utilizado en este trabajo de investigación fue la tinción de Gram; Esta tinción nos permite dividir a las bacterias en dos grandes grupos taxonómicos: Gram positivas y Gram negativas, según sea su comportamiento frente a la tinción. Se cree que la diferencia en la coloración que adquieren los dos grupos de bacterias se debe a la distinta composición química de la pared celular. Las bacterias Gram positivas tienen una gruesa capa de mureína o peptidoglicano (de 20 a 80 nm de espesor) en su pared celular, mientras que las bacterias Gram negativas tienen una capa de peptidoglicano (2 nm) más fina y una capa más externa de lipopolisacáridos, lipoproteínas y lípidos.

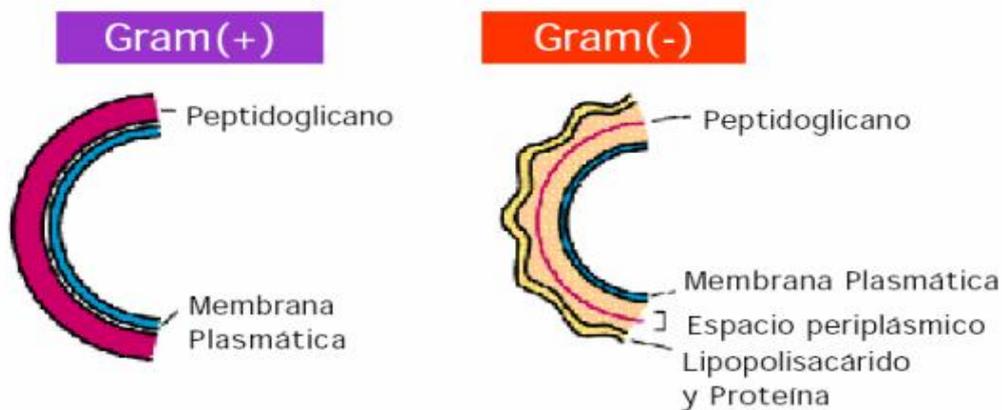


Ilustración 8. Pared celular de bacterias Gram positivas y bacterias Gram negativas
Fuente: Madigan M. (2009).

Al tener sospecha de infección bacteriana en la muestra, esta fue extendida en frotis sobre un portaobjetos de vidrio, teñida y examinada en el microscopio.

La tinción requiere cuatro soluciones un colorante o tinte básico, un mordiente (sustancia que incrementa la afinidad entre la célula y el tinte), un decolorante (elimina el tinte de una célula teñida) y un segundo tinte o colorante de contraste (tinte de color diferente al inicial).

Tras la tinción con el primer colorante (Cristal violeta) se efectúa una decoloración con ayuda del mordiente (Lugol), las bacterias Gram negativas pierden el colorante básico cuando son tratadas con el alcoholcetona, dando como resultado la pérdida del complejo cristal violeta lugol, las bacterias decoloradas captan el colorante de contraste (Safranina) razón por la cual están bacterias se observan de color rojo al microscopio; mientras que en las Gram positivas debido a la estructura y composición bioquímica de su pared celular retienen el complejo cristal violeta lugol y aún después del tratamiento con el alcoholcetona conservan el colorante básico, por lo que se observan de color púrpura o violeta al microscopio, como se puede observar en la Ilustración 9:

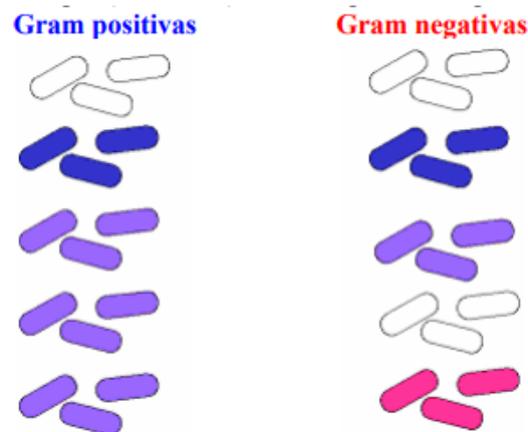


Ilustración 9. Pautas de la tinción según el tipo de bacteria.
Fuente: Madigan M. (2009).

Para la muestra de agua sin tratamiento se pudo observar en la foto 14 que las bacterias se tiñeron de color rojo por lo que se deduce que son bacterias Gram negativas.

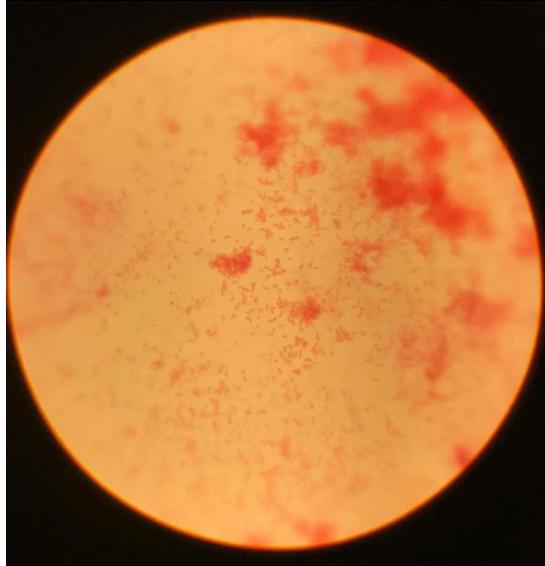


Foto 14. Bacterias Gram negativas de la muestra de agua sin tratamiento vistas en el microscopio.

3.2.2 Recuento de bacterias mesófilas aerobias. Técnica de vaciado en placa.

La técnica de vaciado en placa se basa en contar las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) presentes en un mililitro de muestra, cada colonia que se desarrolla en el medio de cultivo de elección y a la temperatura adecuada proviene de un microorganismo de la muestra a estudiar.

Esta técnica no detecta todos los microorganismos presentes, pero bajo las condiciones de temperatura, medio de cultivo y presencia de oxígeno permite seleccionar el grupo de bacterias a estudiar.

Se usó agar para cuenta estándar y se incubó a $35\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ por duplicado para obtener bacterias mesófilas aerobias.

El conteo en placa por duplicado de la inoculación de 1 mL de muestra de agua del tanque de almacenamiento las colonias fueron incontables como se puede observar en la ilustración 15:

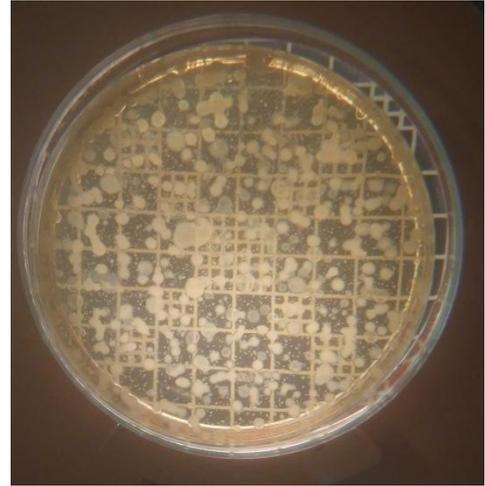


Foto 15. Crecimiento de una muestra de agua pluvial en agar para cuenta estándar.

La inoculación del agua pluvial a la salida de la Ósmosis Inversa dio un resultado 140 UFC/ mL de muestra (Fotos 16 y 17).



Foto 16. Inoculación del agua de lluvia A después del tratamiento.



Foto 17. Inoculación del agua de lluvia B después del tratamiento.



RECOMENDACIONES Y MEJORAS

No obstante, a que durante el desarrollo de este trabajo de investigación se le hicieron mejoras al sistema de captación y tratamiento, en esta sección se propondrán ideas a ejecutarse en un futuro para el perfecto funcionamiento del equipo. Sin embargo, el actual diseño del sistema no obstaculiza el debido funcionamiento de este.

Área de captación (techo)

La lámina de asbesto sobre la cual fue instalada la membrana de polietileno, para que fungiera como la primera fase de recolección del agua de lluvia, está en muy mal estado. Fue la causante de que la membrana de polietileno se derrumbara dos veces durante la temporada de lluvia. Además de que el asbesto causa fuertes problemas de salud al usar agua que estuvo en contacto con este material, por ende, se debe cambiar esa lámina de asbesto.

En la construcción es muy importante la parte final que cubre los interiores de un espacio, ya que este le dará ciertas características al lugar, las láminas más demandadas para el hogar son las siguientes:

- Láminas de acero
- Láminas de Policarbonato
- Láminas tipo teja
- Láminas acrílicas
- Láminas de PVC

De acuerdo a la Tabla 8: Coeficientes de captación de superficies comunes en techo (Gould y Nissen-Petersen, 1999), el valor más alto para captación lo tienen las láminas metálicas y de plástico, con un 0.8 a 0.85.

Por sus características y dado el uso del espacio sobre el cual será instalada, la mejor opción es la lámina de PVC (policloruro de vinilo). Éste es un polímero sintético resistente formado a partir de carbono, cloro e hidrogeno donde a partir de un proceso de polimerización se obtiene la resina de PVC. Esta resina entra a un proceso llamado calandrado el cual le da el espesor que se requiera.

Estas laminas tienen una excelente resistencia mecánica al impacto, es de bajo peso, es resistente al agua y productos químicos, es un aislante térmico, acústico y eléctrico, flexible y ecológico. Además de que este material tiene una durabilidad superior a 60 años. El costo de estas láminas no es muy elevado con respecto a otros tipos de láminas para techos.



Ilustración 10. Lámina de PVC.
Fuente: Stabilit (2020)

De igual manera, el área de captación debe estar libre, es decir no debe haber mascotas que puedan ensuciar el techo, ni árboles que obstruyan el área. Por ende, se recomienda recortar las ramas del árbol que se encuentra justo a un lado del techo, ésta arroja basura que obstruye la bajada del agua por la tubería, que si no se tiene el perfecto mantenimiento puede afectar la captación del agua.

Cloración

El cloro es el agente desinfectante más utilizado en el agua de abastecimiento. Lo que comúnmente denominamos cloro se mide como la presencia de cloro residual en el agua, es decir, la concentración de cloro sin reaccionar.

En el mundo el cloro es el agente más utilizado como desinfectante en el agua de consumo humano, debido principalmente a:

- Su carácter fuertemente oxidante, responsable de la destrucción de los agentes patógenos (en especial bacterias) y numerosos compuestos causantes de malos sabores.
- Inocuidad a las concentraciones utilizadas.
- La facilidad de controlar y comprobar unos niveles adecuados de este.

La presencia de cloro residual en el agua de las redes de abastecimiento se establece en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". En dicha normativa se fija un máximo de concentración de cloro libre en la red de abastecimiento de 0.2- 1.5 mg/L.

El cloro se utiliza para la eliminación de la contaminación bacteriológica y actúa destruyendo la materia orgánica por oxidación. Si aseguramos una presencia permanente de cloro libre controlamos de manera indirecta que no haya contaminación bacteriológica en el agua.

Para la preparación de un determinado volumen de solución de hipoclorito de calcio a una concentración del 65%, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$P = \frac{D \times V}{(\% \times 10)}$$

Donde:

P: Peso del producto (hipoclorito de calcio) en gramos a disolver en el tanque.

D= Dosis de cloro libre en mg/L de solución a prepararse

V= Volumen de agua contenida en el tanque

%= Porcentaje de cloro libre del compuesto clorado

10 =Factor para que el resultado sea expresado en gramos del producto

Con base en la ecuación anterior, se mantuvo constante el %= 65 (concentración del hipoclorito de calcio que se tiene a disposición) y el V = 200 L, se calcularon los gramos de hipoclorito de calcio a dosificar para no rebasar los límites máximos permisibles de concentración de cloro residual libre que marca la NOM-127-SSA1-1994, como se puede observar en la tabla.

Tabla 15. Relación de la dosificación de hipoclorito de calcio a una concentración del 65%.

Gramos de hipoclorito de calcio a dosificar	mg/L de cloro existente en el agua
0.46	1.5
0.43	1.4
0.40	1.3
0.37	1.2
0.34	1.1
0.31	1
0.28	0.9
0.25	0.8
0.22	0.7
0.18	0.6
0.15	0.5
0.12	0.4
0.09	0.3
0.06	0.2
0.03	0.1

Fuente: Elaboración propia

Purificación del agua

Cómo se explicó en el capítulo anterior, el agua de lluvia cumple con la NOM-127-SSA1-1994 en cuanto a características químicas, pero no con las bacteriológicas.

La ósmosis inversa no es suficiente para eliminar los microorganismos que puedan crecer en el agua, por ende, se proponen algunas soluciones a esto.

Luz ultravioleta

La luz ultravioleta (UV) es una forma de luz invisible al ojo humano. Ocupa la porción del espectro electromagnético situada entre los rayos X y la luz visible con una longitud de onda que va entre los 200 y los 300 nanómetros.

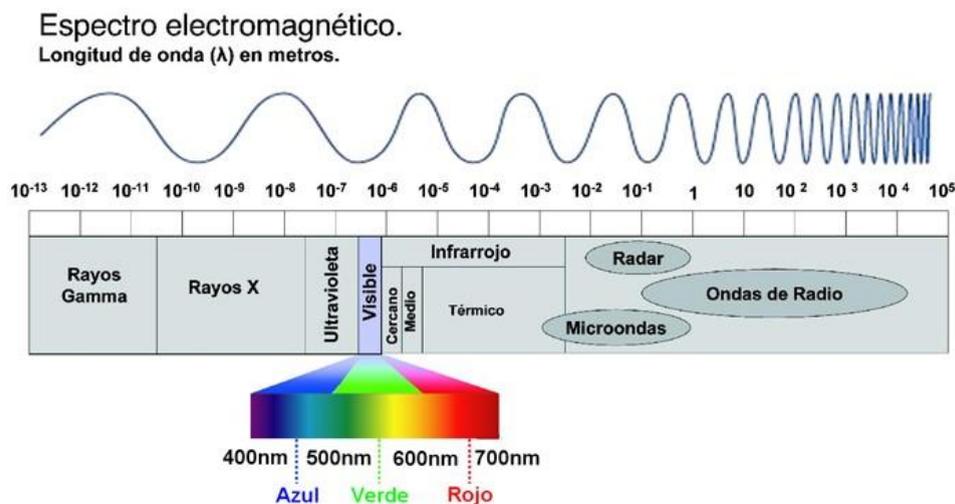


Ilustración 11. Espectro electromagnético.
Fuente: Unidad de apoyo para el aprendizaje UNAM. (2017).

Esta capacidad ha permitido la adopción generalizada de la luz UV como una forma respetuosa con el medio ambiente, sin sustancias químicas y muy eficaz para desinfectar y proteger el agua frente a microorganismos perjudiciales.

De todos los métodos de desinfección actuales, la luz ultravioleta (UV) es la más eficiente, económica y segura. Se clasifica como germicida, es decir, puede inactivar

microorganismos como bacterias, virus y protozoos volviéndolos incapaces de reproducirse en segundos o en fracciones de estos, además es el método más adecuado desde el punto de vista ambiental, utilizado en todo el mundo durante varias décadas.

Se ha demostrado que la luz UV es eficaz frente a microorganismos patógenos, como los causantes del cólera, la polio, la fiebre tifoidea, la hepatitis y otras enfermedades bacterianas, víricas y parasitarias.

Una de las limitaciones de la luz UV, es que solo actúa sobre lo que pasa por la cámara, y si a la salida de esta hay una recontaminación, la luz UV ya no funciona. A diferencia del cloro que, al estar todo el tiempo en contacto con el agua, no tiene esta limitante. Sin embargo, es un proceso libre de sustancias químicas, no genera subproductos carcinógenos que puedan afectar negativamente la calidad del agua y no requiere almacenamiento o manipulación. Lo que lo convierte en uno de los mejores métodos de purificación de agua.

Ozonificación

El ozono es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno, es un gas incoloro e inodoro, es el segundo oxidante más poderoso y útil conocido después del fluoruro. Es utilizado en la desinfección del agua ya que oxida materia orgánica e inorgánica.

Elimina bacterias, virus y otros tipos de microorganismos, elimina metales pesados como el hierro y el manganeso que precipitan rápidamente en forma de óxido. Es un floculante natural, facilitando los procesos de filtración de tratamiento de aguas, disminuyendo la turbidez del agua, eliminando los nitritos, pesticidas, cloraminas, etc.

Debido a estas características, su uso en el proceso de purificación es indistinto en el proceso, es decir, dependerá del tipo de agua que se requiera tratar. Puede usarse al



inicio para precipitar materia inorgánica y después filtrar o al final si solo se requiere eliminar microorganismos.

Este proceso requiere menor concentración y tiempo de contacto y no altera el pH del agua, sin embargo, a pesar de su pequeña dosis requiere mayor costo de operación.



CONCLUSIONES



La Ciudad de México es la quinta ciudad más habitada en el mundo con una población estimada de 21 millones 581 mil habitantes, justo por debajo de la metrópolis brasileña de Sao Paulo. El crecimiento de la población en la capital ha sido exponencial, convirtiendo a la ciudad en una de las más importantes de América Latina por su actividad cotidiana.

Esto trae consigo grandes problemas para el gobierno y la gente que radica en la megaurbe: El aumento de la población se traduce en una mayor demanda de los recursos y de las necesidades básicas de una sociedad.

Además de la sobrepoblación, la industrialización de la ciudad de igual manera necesita de una gran cantidad de servicios para subsistir lo que provoca una explotación exagerada de los recursos naturales del país.

La Ciudad de México empieza a tener grandes problemas, como lo es el llevar a cada uno de sus habitantes agua potable para cubrir las necesidades de estos. Iztapalapa es una de las Alcaldías que más ha resentido este problema, lo que ha obligado al gobierno y otras instituciones a pensar en soluciones optimas que ayuden y eviten a que se propague aún más.

Así mismo, dada la localización de la Ciudad otro problema son las lluvias, afecta de una gran manera con las inundaciones que estas provocan. Sin embargo, tomando estas adversidades y poniéndolas a favor se han creado los sistemas de captación de agua pluvial, si esta técnica llegará a mas lugares disminuirían las inundaciones y ayudarían con la escases de este líquido indispensable.

A pesar de ello, la captación no es una solución completa, se han pensado y puesto en marcha varios procesos de tratamiento para el agua pluvial para potabilizarla y hacerla de consumo humano.



En la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza se instaló un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia que consta del área de cosecha y de dos filtros que son el de sedimentos y el de carbón activado seguido de una ósmosis inversa, lo que pretendía potabilizar el agua captada; las pruebas preparativas realizadas tuvieron un resultado satisfactorio ya que gracias a esas se encontraron las fallas técnicas del sistema, como lo son el área de captación, la cantidad y reubicación del hipoclorito de calcio las cuales se encuentran en la sección de recomendaciones y mejoras.

Con los análisis hechos en este proyecto basados en la NOM-127-SSA1-1994, el agua cumple con los límites permisibles para las características químicas pero no para las bacteriológicas, las cuales arrojaron resultados muy por arriba de la norma.

Por lo cual se revisaron otras técnicas existentes como son la luz ultravioleta y la ozonificación para ser instaladas en un futuro y así lograr la eliminación completa de bacterias.

Para el proceso de tratamiento del agua pluvial se propuso un nuevo arreglo que consta en añadir un nuevo tanque de almacenamiento al final del tratamiento, para ahí colocar el hipoclorito de calcio protegiendo los filtros y el sistema de ósmosis inversa, eliminando la mayor cantidad de bacterias posibles, este arreglo se puede observar en el Diagrama de Flujo de Procesos (DFP) A-102; no sin más, el actual sistema cumple con las características para poder usar el agua en otros proyectos y en cualquier tipo de experimentación que requiera un agua con niveles de impureza bajos dentro de la Facultad, por lo cual se dejaron hechos los manuales de mantenimiento y operación del sistema para el adecuado uso de este..

Bibliografía

1. APHA, AWWA, WPCF. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22 Ed. Washington, E.U.A.
2. B. Wachsman Mónica, L. Vullo Diana, E. Alche Laura. (2000). *Manual de técnicas de laboratorio para la enseñanza de microbiología básica y aplicada*. Editorial Atlante Argentina, Buenos Aires, Argentina.
3. CONAGUA. (2010). *El Agua en México: Cauces y encauces*. México: Creativa Impresores SA de CV.
4. De la lanza, E. (2003). *Manual para la colecta, el manejo y las observaciones*. México: AGT.
5. Echarri L. (1998). *Ciencias de la tierra y medio ambiente*. España: Teide.
6. Faust, Samuel D. (1998). *Chemistry of Water treatment*
7. Hans G. Schlegel. (1975). *Microbiología general*, Ediciones Omega, Barcelona, España.
8. Lightfoot, E., & Maeir E. (2002). *Análisis microbiológico de alimentos y aguas: directrices para el aseguramiento de la calidad*. Zaragoza, España: Acribia.
9. Marin, V. (2003). *Análisis químico de suelos y agua*. Valencia: UPV, Servicio de publicaciones.
10. Manahan Stanley E. (2010). *Green Science and technology of nature's most renewable resource*.
11. Marsh Harry. (2006). *Activated Carbon, Amsterdam*.
12. Nollert, M.L. (2007). *Handbook of water analysis*. Florida: CRC Press.
13. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. (Diario Oficial de la Federación 2000)
14. Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014, *Análisis de agua – Medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba* (Diario Oficial de la Federación 2015)
15. Norma Mexicana NMX-AA-073-SCG-2001, *Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba* (Diario Oficial de la Federación 2001)
16. Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001, *Análisis de agua - Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba* (Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2001)



17. Norma Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001, *Análisis de agua - Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba* (Diario Oficial de la Federación 2001)
18. Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015, *Análisis de agua – enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli – Método del número más probable en tubos múltiples.* (Diario Oficial de la Federación 2016)
19. Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, *Bienes y Servicios, Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.* (Diario Oficial de la Federación 1995)
20. Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994, *Bienes y servicios. método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.* (Diario Oficial de la Federación 1995)
21. Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994, *Bienes y servicios. determinación de bacterias coliformes. técnica del número más probable.* (Diario Oficial de la Federación 1995)
22. Ortiz Moreno Jorge Adrián, Masera Cerutti Omar Raúl, Fuentes Gutiérrez Alfredo Fernando. (2014). *La ecotecnología en México.* México: Imagia Comunicación.
23. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia.* Santiago, Chile.
24. Osorio, F., Torres, J.C, & Sánchez, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales.* Madrid: Díaz de Santos.
25. Olson, J. C., Simonsen, B. & Lundbeck, H. (2000). *Microorganismos de los alimentos:* Acribia.
26. Perk Marcel Van Der. (2006). *From molecular to catchment scale,* Llundon.
27. Romero Rojas Jairo. (1999). *Potabilización del agua,* México, D.F.
28. Spellman, F. & Drinan, J. (2004). *Manual del agua potable.* Zaragoza: Acribia.
29. Seoáñez Calvo Mariano, (2003). *Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales en la industria agroalimentarias,* Madrid, España.
30. SEMARNAP. (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación,* México.



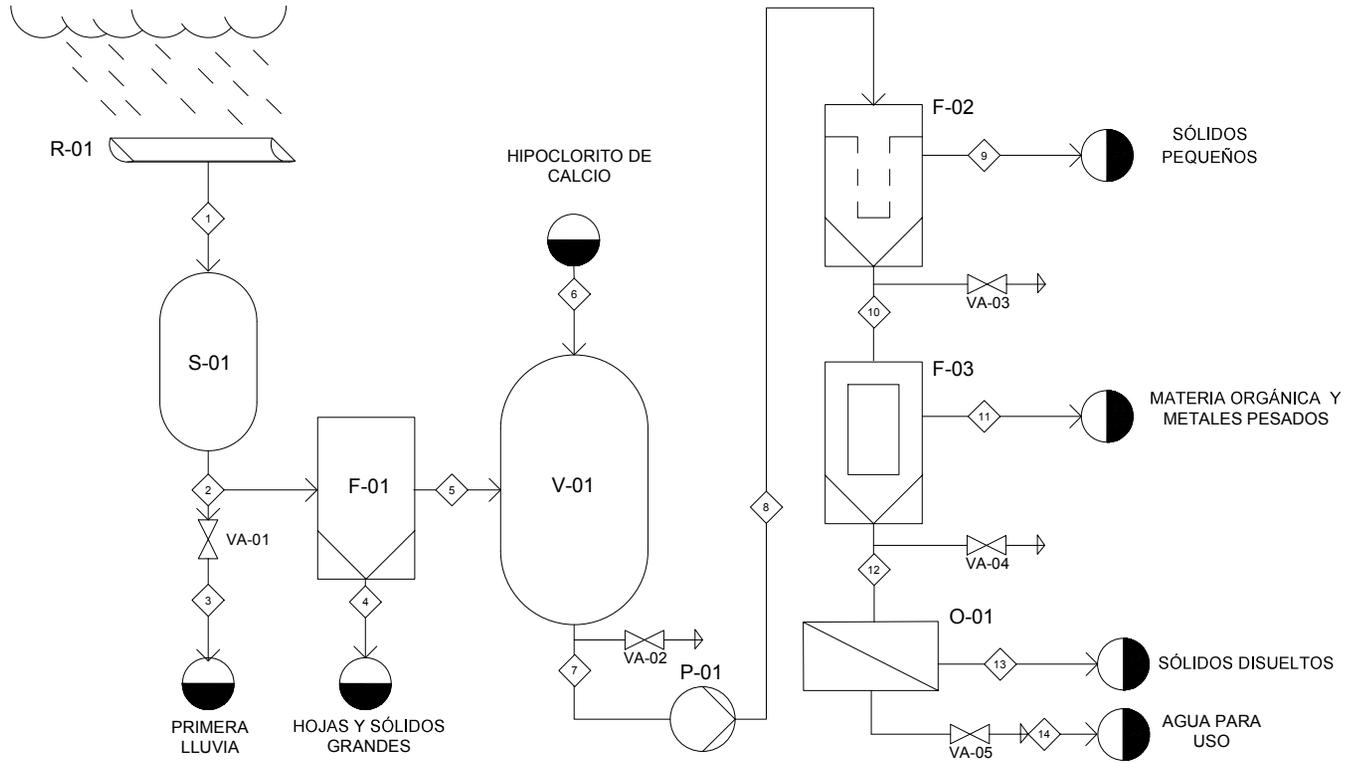
31. Wais de Badgen Irene. (1997). *La contaminación en ríos y lagos*, Argentina.
32. Anaya M, (1998) *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe, Manual técnico*. IICA Biblioteca. Venezuela. [Fecha de consulta 28 de septiembre de 2009]. Disponible en: <http://books.google.com.mx/books?id=894qAAAAYAAJ&printsec=frontcover>
33. AGUA. (2019). *Contaminación del agua*. Noviembre 24, 2019, de Agua Sitio web: <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua/>
34. *Agua en el mundo*, CONAGUA, http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf
35. *El agua como recurso*, Marisa Mazari Hiriati, <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/54/el-agua-como-recurso.pdf>
36. *El agua en la ciudad de México*, Tani Guerrero, Cceleste Rives, Alejandra Rodríguez Yolitzí Ssaldiva, Virginia Cervantes. <https://www.revistaciencias.unam.mx/en/43-revistas/revista-ciencias-94/203-el-agua-en-la-ciudad-de-mexico.html>
37. Madigan, M, Martinko, J, & Dunlap P, (2009). *Biología de los microorganismos*. Madrid: Pearson.



Anexos

Diagrama de Flujo de Procesos

LISTA DE EQUIPO		
CLAVE	EQUIPO	CARACTERISTICAS
R-01	CANALETA	CANALETA RECOLECCIÓN
F-01	FILTRO	FILTRO HOJAS
F-02	FILTRO	FILTRO PARA SEDIMENTOS
F-03	FILTRO	FILTRO CARBÓN ACTIVADO
O-01	OSMOSIS	OSMOSIS INVERSA
S-01	SEPARADOR	TANQUE SEPARADOR
V-01	TANQUE	TANQUE DE ALMACENAMIENTO CENTRIFUGA 1/2 HP
P-01	BOMBA	CENTRIFUGA 1/2 HP
VA-01	VÁLVULA	DRENE
VA-02	VÁLVULA	1er. MUESTREO
VA-03	VÁLVULA	2do. MUESTREO
VA-04	VÁLVULA	3er. MUESTREO
VA-05	VÁLVULA	4to. MUESTREO



CP	FECHA	REVISIONES				NUMERO	DIBUJOS DE REFERENCIA	APROBADO POR
		REV.	DESCRIPCION	FECHA	POR			



DIR.	J.E.G.R.	SEP-19
PROY.	J.E.G.R.	SEP-19
REV.	U.E.V.	SEP-19
COORD.	U.E.V.	SEP-19
APROB.	M.E.T.G.T.	SEP-19

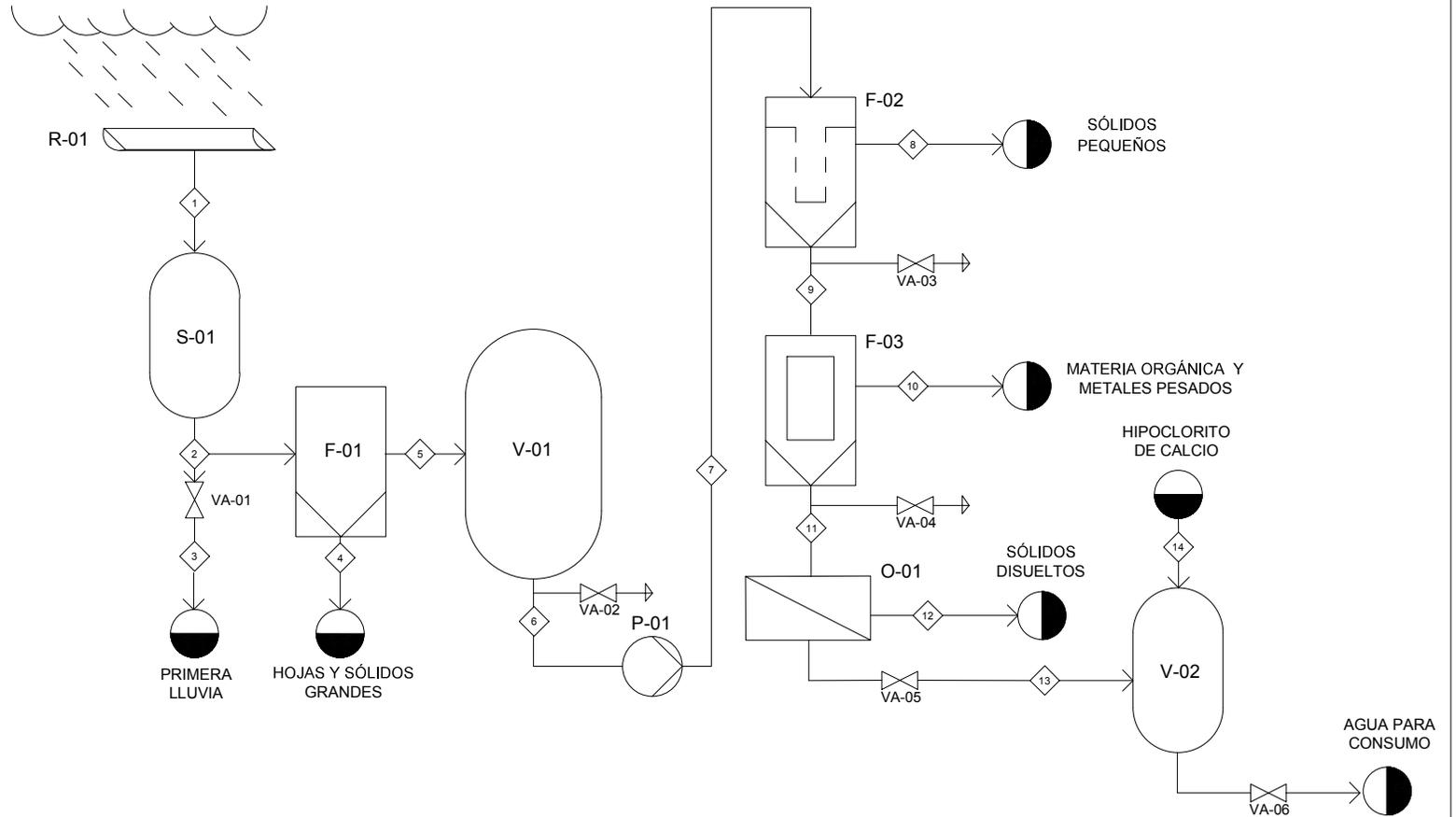
SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA PLUVIAL
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

LOCALIZACIÓN: IXTAPALAPA, CDMX



Diagrama de Flujo de Procesos propuesto

LISTA DE EQUIPO		
CLAVE	EQUIPO	CARACTERISTICAS
R-01	CANALETA	CANALETA RECOLECCIÓN
F-01	FILTRO	FILTRO HOJAS
F-02	FILTRO	FILTRO PARA SEDIMENTOS
F-03	FILTRO	FILTRO CARBÓN ACTIVADO
O-01	OSMOSIS	OSMOSIS INVERSA
S-01	SEPARADOR	TANQUE SEPARADOR
V-01	TANQUE	TANQUE DE ALMACENAMIENTO
V-02	TANQUE	TANQUE PARA CLORACIÓN
P-01	BOMBA	CENTRIFUGA ½ HP
VA-01	VÁLVULA	DRENE
VA-02	VÁLVULA	1er. MUESTREO
VA-03	VÁLVULA	2do. MUESTREO
VA-04	VÁLVULA	3er. MUESTREO
VA-05	VÁLVULA	4to. MUESTREO
VA-06	VÁLVULA	AGUA PARA CONSUMO



CP	FECHA	REV.	REVISIONES			MIMERO	DIBUJOS DE REFERENCIA	APROBADO POR
			DESCRIPCIÓN	FECHA	POR			



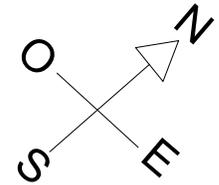
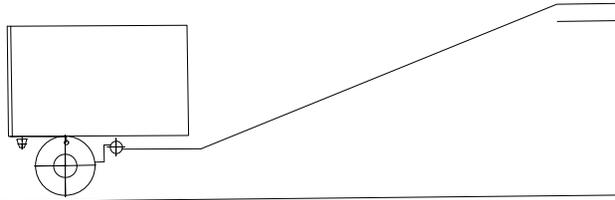
DIB.	J.E.D.R.	ENERO-20
PRY.	J.E.O.R.	ENERO-20
REV.	U.E.V.	ENERO-20
COORD.	U.E.V.	ENERO-20
APROB.	M.E.T.G.T.	ENERO-20

SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA LLUVIAL	
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	
LOCALIZACIÓN: IXTAPALAPA, CDMX.	A-102
	REV. 1



Plano de Localización General

PLANTA ALTA



PLANTA BAJA



CP	FECHA	REV	REVISIONES			NUMERO	DIBUJOS DE REFERENCIA	APROBADO POR
			DESCRIPCION	FECHA	POR			



DIBUJO ELABORADO EN: MÉXICO, CIUDAD DE MÉXICO

DB:	U.E.V.	NOV-19
PROY:	U.E.V.	NOV-19
REV:	J.E.O.R.	NOV-19
COORD:	J.E.O.R.	NOV-19
APROB:	ALMA	NOV-19
ESC: SN	ACOT: SN	NOV-19

SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

LOCALIZACIÓN: ETAPALAPA, CDMX

A-103

REV
1



Especificaciones técnicas

	PUESTA EN MARCHA Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL INSTALADO EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA EN EL CAMPUS II DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA ESPEIFICACIONES TÉCNICAS TANQUE SEPARADOR (S-01)	
Descripción	<p>Se encarga de separar las primeras lluvias de la temporada, así como también los primeros minutos de estas. Los primeros minutos de lluvia limpiarán el techo, dejándolo libre de contaminantes, estos quedarán atrapados en el tanque separador, que al llenarse formará un tapón hidráulico que hará que el agua limpia sea la que pase a nuestro tanque de almacenamiento.</p>	
Material	Poliétileno de Alta Densidad	
Largo	31 cm	
Alto	63 cm	
Ancho	37 cm	
Capacidad	40 L	
Válvula	Globo	

	<p>PUESTA EN MARCHA Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL INSTALADO EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA EN EL CAMPUS II DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA</p> <p>ESPEIFICACIONES TÉCNICAS</p> <p>TANQUE ALMACENAMIENTO (V-01)</p>	
<p>Descripción</p>	<p>El almacenamiento es el paso previo al tratamiento, aquí se alojará el agua hasta que se utilice y empiece a circular por los filtros.</p>	
<p>Material</p>	<p>Polietileno de Baja Densidad</p>	
<p>Alto</p>	<p>99 cm</p>	
<p>Diámetro</p>	<p>85 cm</p>	
<p>Capacidad</p>	<p>450 L</p>	
<p>Accesorios: A la entrada cuenta con un filtro de malla, este retiene solidos mayores a 1mm evitando la contaminación del agua.</p>		

	<p>PUESTA EN MARCHA Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL INSTALADO EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA EN EL CAMPUS II DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA</p> <p>ESPEIFICACIONES TÉCNICAS</p> <p>DOSIFICADOR DE CLORO</p>	
<p>Descripción</p>	<p>Es el encargado de añadir la cantidad necesaria de cloro al tanque de almacenamiento. De acuerdo a las especificaciones del distribuidor, le agregaremos 3 g. (media pastilla) de cloro al dosificador.</p>	
<p>Cumplimiento</p>	<p>NOM-127-SSA1-1994</p>	
<p>Material</p>	<p>Policloruro de vinilo con una esfera de poliestireno expandido.</p>	
<p>Capacidad de la cisterna (L)</p>	<p>Número de pastillas de cloro (6 g)</p>	
<p>2500 5000 10000 15000</p>	<p>3 5 10 15</p>	



**PUESTA EN MARCHA Y
ACONDICIONAMIENTO DEL
SISTEMA DE CAPTACIÓN DE
AGUA PLUVIAL INSTALADO EN EL
LABORATORIO DE INGENIERÍA
QUÍMICA EN EL CAMPUS II DE LA
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**



ESPEIFICACIONES TÉCNICAS

BOMBA CENTRIFUGA (P-01)

Descripción	Se encarga de darle la presión necesaria al agua para poder pasar a través de los filtros y llegar al osmosis inversa.
Temperatura máxima	50 °C
Presión máxima	2.2 Kg/cm ²
Caudal máximo	105 LPM
Corriente máxima	5.5 A
Potencia	1/ HP
Frecuencia	60 Hz
Consumo energético	453.62 Wh
Velocidad del motor	3450 RPM
Conexión de Succión	1"
Conexión de descarga	1"



	<p style="text-align: center;">PUESTA EN MARCHA Y ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL INSTALADO EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA EN EL CAMPUS II DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA</p> <p style="text-align: center;">ESPEIFICACIONES TÉCNICAS</p> <p style="text-align: center;">FILTRO PARA SEDIMENTOS (F-02)</p>	
Descripción	Este filtro remueve partículas sólidas que arrastra el agua durante su trayecto.	
Material	Poliétileno de Alta Densidad	
Malla	Alambre de acero inoxidable	
Grado de filtración	50 micras	
Presión operativa	10 bar	
Caudal máximo	3 m ³ /h	
Diámetro de entrada y salida	¼"	



**PUESTA EN MARCHA Y
ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA
DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL
INSTALADO EN EL LABORATORIO
DE INGENIERÍA QUÍMICA EN EL
CAMPUS II DE LA FACULTAD DE
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

ESPEIFICACIONES TÉCNICAS

FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO (F-03)



Descripción	Este filtro remueve toda la materia orgánica y metales pesados que pudiera contener el agua.
Material	Policloruro de vinilo
Carbón activado	Bloque
Grado de filtración	15 micras
Presión operativa	10 bar
Caudal máximo	3 m ³ /h
Diámetro de entrada y salida	1/4"





Cotizaciones



Dentro de este trabajo de investigación se hicieron algunas cotizaciones para los arreglos futuros que se le pudieran hacer al proceso de tratamiento, tales como el tanque para cloración, el cambio de la lámina, la luz ultravioleta y la ozonificación. Se consultaron a tres proveedores, teniendo los siguientes resultados.

- Lámina para el techo de captación.

Empresa: Láminas y policarbonatos

Dirección: Calzada de la Viga 991, Col. Santiago sur, C.P 08800, Iztacalco, Ciudad de México

Teléfono: 55 5598 2635

Lámina de policarbonato

Fecha	Medidas	Número de piezas necesarias	Precio por unidad	Total
Febrero 2020	1.83m x 3.05 m	3	\$3,936	\$ 3936

Empresa: Mafra

Dirección: Blvd. Adolfo López Mateos (Periférico Sur) 1889, Col. Alpes, C.P. 01010, Álvaro Obregon, Ciudad de México

Teléfono: 55 5593 7272

Lámina de policarbonato marca Lexan

Fecha	Medidas	Número de piezas necesarias	Precio por unidad	Total
Febrero 2020	1.22m x 12.20 m	1	\$4,200	\$ 4,200

Empresa: The Home Depot

Dirección: Periférico Oriente 2141. Col. Chinampac de Juarez . C. P. 09219. Iztapalapa, Ciudad de México.

Teléfono: 55 5804 1200



Lámina de policarbonato

Fecha	Medidas	Número de piezas necesarias	Precio por unidad	Total
Febrero 2020	2.44m x 1.22 m	4	\$999	\$ 3996

- Lámpara de luz ultravioleta

Fecha: Febrero 2020

Empresa: Todo agua

Dirección electrónica: <https://www.purificadoragua.tododeagua.mx/>

Características:

- Marca Viqua
- Modelo UV-4
- Potencia de lámpara: 20 watts
- Presión de operación máxima: 125 psi
- Vida útil : 9000 horas.
- Frecuencia: 60 hz
- Caudal: 4-7.5 GPM

Costo \$ 3751.44

Empresa: Sistemas y Equipos de Puebla

Dirección: Cerrada 4 A Sur # 10707 Col. Arboledas de Loma Bella

CP 72474 Puebla, Pue, México

Teléfono: 222 2433174



Manual de Operación



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES “ZARAGOZA”



Manual de Operación

SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA PLUVIAL FES- ZARAGOZA, INGENIERÍA QUÍMICA



CIUDAD DE MÉXICO, ENERO 2020



ELABORADO POR:

- ORTEGA ROBLES JUAN ESTEBAN
- ENRIQUEZ VEGA ULISES

DIRECTOR:

- DR. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO

ASESORAS:

- M. EN I. MARÍA ESTELA DE LA TORRE GÓMEZ TAGLE
- M. EN C. ANA LILIA MALDONADO ARELLANO



Contenido

Introducción	XXI
Pasos previos	XXII
Área de captación	XXIII
Tren de tratamiento	XXIV
Ósmosis Inversa.....	XXV
Operación	XXV
Área de captación	XXV
Tren de tratamiento	XXVI
Ósmosis Inversa.....	XXVI



Introducción

El sistema de captación y tratamiento instalado en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, tiene la finalidad de acercar a los estudiantes de Ingeniería Química al área ambiental.

Un sistema de captación y tratamiento de agua pluvial, es un proceso completo para la recolección, almacenamiento y tratamiento de agua en beneficio de una población, esta puede ser usada para las actividades cotidianas básicas de la sociedad, para riego o para actividades puedan o no incluir el consumo humano. La gran variante de los distintos tipos de sistemas es el tratamiento que se le dará al agua, este definirá el fin del producto final.

Este sistema instalado en la FES Zaragoza, tiene la finalidad de que los estudiantes vean en la práctica sus conocimientos adquiridos, así mismo el agua obtenida será utilizada en otras actividades de la carrera de Ingeniería Química.

Pasos previos

El sistema de captación y tratamiento recolecta y purifica el agua de lluvia, sin embargo, el correcto funcionamiento también está basado en las buenas prácticas del usuario.

Antes de poner en marcha el sistema, el usuario deberá revisar que todo esté en orden con el equipo y esto no afecte el debido funcionamiento de éste, así mismo leer el Manual de Mantenimiento.

Cada que un usuario opere el equipo deberá registrar en la bitácora los siguientes datos:

- Fecha
- Nombre del operador
- Condiciones del sistema
- Hora de inicio de operación
- Hora de termino de operación
- Tiempo exacto de operación
- Profesor responsable
- Observaciones

Ejemplo:

FECHA	NOMBRE	CONDICIONES	HORA DE INICIO	HORA DE TERMINO	TIEMPO DE OPERACIÓN	PROFESOR RESPONSABLE	OBSERVACIONES
07/ENE/2020	Ulises Enriquez	Área de captación sucia, área de tratamiento limpia.	14:02	15:02	1 hora	M. en I. M. Estela De la Torre y M. en C. Ana Lilia Maldonado	Se deja el equipo totalmente limpio y en orden

Área de captación

El usuario deberá familiarizarse con el área de captación, esta se compone por el techo con la membrana de polietileno de alta densidad, la canaleta, la tubería que conduce el agua, el tanque separador, el filtro de malla y el tanque de almacenamiento. (Fotografía 1)



Fotografía 1. Área de captación

La canaleta deberá de verificarse, antes de cada temporada de lluvia, que esté libre de basura y sólidos que obstruyan el paso del agua por la tubería hacia los tanques, deberá de dejarse libre el paso, después de quitar los sólidos se agregará una cubeta de agua en la canaleta para que esta arrastre la basura que quedó en las tuberías, teniendo la válvula de desfogue del tanque separador abierta esto ayudará al mismo tiempo a limpiarlo.

Después de dejar libre la canaleta, deberá asegurarse de cerrar bien la válvula del tanque separador, si es necesario agregar una cubeta de agua para verificar que no tenga fugas, únicamente para no reducir la capacidad de este.

De igual manera, quitar los sólidos que estén postrados sobre el filtro de malla a la entrada del tanque de almacenamiento. El tanque de almacenamiento (Fotografía 2) se encuentra cubierto por una capa de polietileno de alta densidad negra, esto con la finalidad de evitar el crecimiento de larvas en el agua, verificar que este bien colocada y al igual cerciorarse que la válvula de desfogue se encuentre perfectamente cerrada.



Fotografía 2. Tanque de almacenamiento

Tren de tratamiento

El tren de tratamiento consta de dos filtros; el filtro para sedimentos y el filtro block de carbón activado. El usuario certificará que los filtros se encuentren perfectamente cerrados.

El filtro para sedimentos se hará manualmente, la tapa deberá sellarse correctamente. Para el filtro block de carbón activado se usará la llave para filtros (Fotografía 3) , colocándola y apretándola hasta el tope de éste, ejercer un poco de presión, véase la Fotografía 4.

Esto evitará fugas del agua, pero sobre todo la caída de presión en la tubería, lo que podría afectar en la filtración y por consecuente en la ósmosis inversa.



Fotografía 3. Llave para abrir y cerrar filtros.



Fotografía 4. Cierre de filtro.

Ósmosis Inversa

La ósmosis inversa es el paso final antes de obtener el agua libre de contaminantes, la que fue instalada es de 5 pasos, consta con 3 filtros, como lo muestra la Fotografía 5.



Fotografía 5. Ósmosis inversa

De igual manera se usará la llave para verificar su sellado y perfecto funcionamiento. Por último, se deberá conectar el sistema de ósmosis a una corriente eléctrica.

Operación

El usuario deberá seguir correctamente las siguientes indicaciones para asegurar que el agua será obtenida a las condiciones adecuadas para su posterior uso.

Área de captación

Después de haber terminado la lluvia y tener una cantidad suficiente de agua (300 L o más) en el tanque de almacenamiento, se agregará una pastilla de 6 g de cloro al dosificador, ese se encuentra fijo en el tanque, se encargará de evitar que crezcan microorganismos en el agua. El usuario se cerciorará que la tapa del tanque de almacenamiento quede perfectamente sellada.

El tanque separador se deberá vaciar completamente y se volverá a cerrar la válvula para que así quede listo para la siguiente recolección de agua de lluvia.

Tren de tratamiento

El proceso en el tren de tratamiento es automático, el usuario solo se encargará de prender la bomba y así el agua comience su ciclo en el sistema.

Se cuenta con cuatro puntos para tomas de agua, el primero es a la salida del tanque de almacenamiento, para obtener el agua sin tratamiento. Las siguientes dos se encuentran en el tren de tratamiento, después de cada filtro y la última es a la salida del osmosis inversa.

Se abrirá a un cuarto las dos válvulas de los filtros antes de encender la bomba, de esta manera evitaremos el aumento de presión en el sistema, sin embargo, esta cuenta con un control que apagará automáticamente la bomba si la presión inicia a elevarse.

Ósmosis Inversa

Después de haber aplicado mantenimiento al equipo de ósmosis inversa (ver manual de mantenimiento), se deberán seguir los siguientes pasos para asegurar su perfecto funcionamiento.

- Conectar el equipo a la toma de corriente eléctrica.
- Abrir la llave de la última toma, el agua saldrá negra (polvo de carbón activado) o puede que no pase.
- Esperar a que el agua empiece a salir incolora.
- Se dejará trabajar el equipo por 4 horas consecutivas, veremos como el medidor de sólidos suspendidos inicia a bajar.

Después de esto el equipo está listo para usarse.



Para el uso normal del equipo se deberán seguir los siguientes pasos:

- Conectar el equipo a la toma de corriente eléctrica.
- Tiene una manguera para desfogar, la cual se introducirá a una cubeta para evitar el escurrimiento del agua.
- El medidor de sólidos disueltos iniciará una cuenta regresiva, cuando esta llegue a ceros se abrirá la válvula de la toma de agua.

El agua estará lista para su uso.



Manual de Mantenimiento



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
“ZARAGOZA”**



Manual de Mantenimiento

**SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA PLUVIAL FES-
ZARAGOZA, INGENIERÍA QUÍMICA**



CIUDAD DE MÉXICO, ENERO 2020



ELABORADO POR:

- ORTEGA ROBLES JUAN ESTEBAN
- ENRIQUEZ VEGA ULISES

DIRECTOR:

- DR. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO

ASESORAS:

- M. EN I. MARÍA ESTELA DE LA TORRE GÓMEZ TAGLE
- M. EN C. ANA LILIA MALDONADO ARELLANO



Contenido

Manual de Mantenimiento	XXVIII
Introducción	XXXII
Área de captación	XXXIII
Techo y canaleta	XXXIII
Tanque separador	XXXIII
Tanque de almacenamiento	XXXIV
Filtro de malla	XXXV
Dosificador de cloro	XXXV
Reductor de turbulencia	XXXVI
Tren de tratamiento	XXXVI
Filtro para sedimentos	XXXVI
Filtro de carbón activado	XXXVII
Ósmosis Inversa	XXXVIII



Introducción

El mantenimiento es el conjunto de actividades desarrolladas para un bien determinado de manera que el paso del tiempo, el uso o el cambio de circunstancias externas no lo afecten, asegurando que este bien continúe desempeñando la funciones para las que fue diseñado.

En la industria, todo proceso tiene un plan de mantenimiento, llamado mantenimiento preventivo: este evitará la ocurrencia de fallas en el equipo o proceso, se basa en un programa de actividades previamente establecido, con el fin de anticiparse a anomalías.

El mantenimiento correctivo se enfoca a reparar fallas que se presenten en un momento determinado, aquí el equipo será el que determine las actividades a llevarse a cabo, sin embargo, la mayoría de veces se llega a este punto cuando no se aplica de manera correcta o no se lleva a cabo un mantenimiento preventivo.

En el sistema de captación y tratamiento de agua pluvial instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química (Área de profundización) es necesario llevar acabo tal cual los pasos de este manual, para asegurar la calidad del agua para la que fue diseñado el equipo y cumplir con la NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".

Área de captación

Techo y canaleta

El techo y la canaleta (Fotografía 1) son las principales fuentes de contaminación del agua de lluvia, como ya se mencionó en los pasos previos del Manual de Operación, estos dos siempre deberán de mantenerse limpios antes de cada lluvia, verificar que la canaleta no se encuentre obstruida por hojas u otros



Fotografía 4. Techo y canaleta

sólidos que eviten la conducción del agua por todo el sistema por lo menos cada semana y/o cuando se ponga en operación el sistema.

Tanque separador

Este tanque (Fotografía 2) ayuda a separar los primeros minutos de cada lluvia, con esto eliminamos la contaminación ambiental que pueda arrastrar, así como también la suciedad del techo y la canaleta.

Debido a esto, dos vez al año se llenará el tanque con una solución de 5 litros de agua y 10 mL hipoclorito de sodio (CLORALEX) para lavarlo por dentro, se dejará reposar una hora y después se vaciará abriendo el desfogue del mismo, esto evitará el crecimiento de bacterias dentro del tanque y así se puede usar esta agua para riego de plantas o



Fotografía 5.
Tanque
separador

actividades que no tengan que ver con el uso humano.

Tanque de almacenamiento

Este tanque siempre deberá estar cerrado por completo evitando la entrada de polvo, insectos o animales. Así como también se verificará que la membrana de polietileno de alta densidad (Fotografía 3) se encuentre bien colocada, protegiendo el agua de la luz del sol y del crecimiento de microorganismos.



Fotografía 6. Tanque de almacenamiento

Antes de cada inicio de la temporada de lluvia y al finalizar, el usuario se encargará de limpiar y desinfectar el tanque. Cuando se encuentre totalmente vacío, se retirará el flotador con la pichanca y el reductor de turbulencia, así mismo se cerrará la válvula de dren y la válvula de alimentación de la tubería; se agregará a una cubeta 5 litros de agua y aproximadamente 10 mL de solución de hipoclorito de sodio (CLORALEX), se deberá tallar con una escoba (cepillo) totalmente limpia todo el interior quitando el polvo, lodo o la suciedad que este pudiera tener.



Fotografía 7. Tanque de almacenamiento limpio

Se retirará esa agua sucia con sus sedimentos, se le agregará una cubeta de agua arrojándola sobre las paredes del tanque y nuevamente se tallará para desprender la solución de hipoclorito de sodio que pudiera llegar a quedar, se vaciará el tanque.

Se enjuagará el tanque agregándole nuevamente una cubeta de agua sobre las paredes, se vaciará y se le volverá a colocar el flotador con la pichancha y el reductor de turbulencia, deberá quedar totalmente limpio como se presenta en la Fotografía 4, se cerciorará de cerrar perfectamente el tanque y quedará listo para la captación.

Filtro de malla

A la entrada del tanque de almacenamiento podemos encontrar el filtro de malla (Fotografía 5), este evita la entrada de hojas y demás basura que se encuentre en el ambiente al tanque de almacenamiento. Después de cada lluvia se verificará que se encuentre limpio y despejado. Cuando el usuario empiece a notar el desgaste de esta, que se empiece a romper o muy sucia deberá ser reemplazada.



Fotografía 5. Filtro de malla

Dosificador de cloro

Este dispositivo (Fotografía 6) es el encargado de clorar el agua, el usuario deberá verificar que el tanque cuente con cloro dependiendo la cantidad de agua que tengamos.

Dependiendo de la cantidad de lluvia y el agua colectada, es suficiente con agregar una pastilla al dosificador cada quince días. Basta con enjuagar y quitar el polvo y sedimentos que queden postrados sobre los bordes del dispositivo para poderlo usar en el tanque.



Fotografía 6. Dosificador de cloro

Reductor de turbulencia

El reductor de turbulencia (Fotografía 7) es un tubo que impide que a la entrada del agua al tanque, esta choque con el fondo levantando los sedimentos acumulados.

Este dispositivo también retendrá sedimentos en su

interior, por ende, cuando se retire para lavar el tanque, se agregará en una cubeta medio litro de agua

y aproximadamente 2 mL de solución de hipoclorito de sodio (CLORALEX) y se tallará el interior de este. Por último, se enjuagará con agua, retirando la suciedad y los residuos de cloro que hayan quedado. Así estará listo para volverse a colocar en el tanque e iniciar con el ciclo. Se recomienda que se realice el lavado de este por lo menos 4 veces durante la temporada de lluvia.



Fotografía 7. Reductor de turbulencia

Tren de tratamiento

Filtro para sedimentos

Debido a que este filtro (Fotografía 8) es el encargado de retener polvo, tierra y basura, deberá limpiarse cada semana o quince días si el equipo se utilizó al menos tres veces en una semana; de lo contrario si el equipo se deja sin uso (2 semanas o más), este deberá limpiarse antes del arranque del sistema.



Fotografía 8. Filtro para sedimentos

Se retirará la tapa girándola en sentido contrario a las manecillas del reloj, se retirará la malla, y con un cepillo dental y agua se le quitará toda la suciedad que quedo postrada sobre ella, véase la Fotografía 9.

Se volverá a colocar en su lugar y cerraremos perfectamente el filtro para evitar fugas.



Fotografía 9. Limpieza del filtro de sedimentos.

Filtro de carbón activado

El filtro de carbón activado (Fotografía 11) deberá cambiarse cada seis meses, de no hacerlo este se puede saturar y tapar evitando el paso del agua hacia el sistema de ósmosis inversa.

Para ello, se abrirá el filtro utilizando la llave para filtros (Fotografía 10), retirar el cartucho utilizado, el vaso se enjuagará con agua y un cepillo. Se le quitará la cubierta al nuevo cartucho y asegurándose de que el empaque del nuevo

filtro este en su lugar y ajustado bien en el fondo, se enroscará el filtro apretándolo y sellándolo con la llave.



Fotografía 10. Llave para abrir y cerrar filtros



Fotografía 11. Filtro de carbón activado

Ósmosis Inversa

Para el mantenimiento del equipo de ósmosis inversa se deben seguir los siguientes pasos cada seis meses:

1. Cerrar la llave de alimentación de agua al equipo y abrir el grifo de agua osmotizada para vaciar toda el agua contenida en el equipo.
2. Desenroscar los tres vasos de los cartuchos con la llave suministrada con el equipo.
3. Retirar los cartuchos de los vasos (no hace falta sacar el postfiltro), vaciar el agua restante de los vasos.
4. Enjuagar los vasos y limpiarlos con un cepillo.
5. Colocar el filtro de sedimentos y filtros de carbón
6. Abrir de nuevo la llave de agua y dejar abierto el grifo de agua osmotizada para enjuagar el sistema. Dejar que se enjuague la instalación de 15 a 20 minutos.
7. Cerrar el grifo de agua osmotizada

El postfiltro deberá de cambiarse cada dos años y los cartuchos de los filtros verticales cada año.



Fotografía 12. Filtros del sistema de Ósmosis Inversa

Notas:

- A. Antes de colocar cartuchos de carbón activado nuevos, es imprescindible enjuagarlos para eliminar el polvo del carbón. Si no se enjuagan se corre el riesgo de taponar la membrana de ósmosis inversa.
- B. Después de haber hecho el mantenimiento al equipo o de cambiar los cartuchos de los filtros es necesario seguir los pasos indicados en el Manual de operación.