



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas
“Estudio en la duda. Acción en la fe”



**“SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AGUA DE
LLUVIA PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN TABASCO”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis de Maestría

Para obtener el grado de:

Maestría en Ingeniería, Tecnología
Y Gestión Ambiental

Presenta:

María Concepción Domínguez Osorio

Director:

Dr. Gaspar López Ocaña

Villahermosa, Tabasco, México

Noviembre, 2022



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 08 de Junio de 2022

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. MARÍA CONCEPCIÓN DOMÍNGUEZ OSORIO** egresada de la Maestría en **INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN TABASCO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADEMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

C.c.p. - Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2022 Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

JUNIO 09 DE 2022

**C. MARÍA CONCEPCIÓN DOMÍNGUEZ OSORIO
PAS. DE LA MAESTRIA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y
GESTIÓN AMBIENTAL
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ingeniería, Tecnología y Gestión Ambiental titulado: **"SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN TABASCO"**, asesorado por el Dr. Gaspar López Ocaña, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por el M.I.P.A. Mario José Romellón Cerino, M. en C. Carlos Alberto Torres Balcázar, Dr. Gaspar López Ocaña, Dra. Rocío López Vidal y Dr. Arturo Valdés Manzanilla.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA PARA UNA COMUNIDAD RURAL EN TABASCO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 08 de junio del dos mil veintidós.

AUTORIZO



MARÍA CONCEPCIÓN DOMÍNGUEZ OSOSRIO



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ciencias
Biológicas

Jefatura de Posgrado



Villahermosa, Tabasco a 13 de septiembre de 2022.

C. MARÍA CONCEPCIÓN DOMÍNGUEZ OSORIO

EST. DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA,
TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el SNP-CONACyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento recepcional. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, el responsable del programa de maestría, realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: ***"Sistema de captación y tratamiento del agua de lluvia para una comunidad rural en Tabasco"***.

OBSERVACIONES:

1. El índice de similitud obtenido fue de 19%, el cual cumple con el estándar (15-20%) de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



Jefatura de Posgrado

**División
Académica
de Ciencias
Biológicas**



2. Se recomienda incrementar el esfuerzo en el análisis y síntesis de la información documental que se presenta en esta tesis, principalmente en los párrafos con marcas de coincidencia, para reducir el porcentaje de similitud.
3. Se adjunta, el reporte de revisión de la tesis a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
4. Finalmente, se le solicita a la C. María Concepción Domínguez Osorio, , integrar en la versión final de tesis, este oficio y el informe de originalidad, obtenido en el software Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ALLAN KEITH CRUZ RAMÍREZ
JEFATURA DE POSGRADO



**DIVISION ACADEMICA
CIENCIAS BIOLOGICAS
JEFATURA DE POSGRADO**

C.C.P. Dr. Gaspar López Ocaña. Director de tesis
Archivo



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios que es la plenitud misma en todo, que gracias a su bondad infinita soy un ser humano de bien, por darme la dicha de nacer rodeada de amor y vivir plenamente para poder llevar a cabo mis estudios, por no abandonarme en momentos de aflicción y siempre guiarme por el camino correcto que condujo a conocer a personas increíblemente maravillosas que hicieron de este viaje una aventura irreplicable pero que siempre guardare en mi corazón.

A mi Madre por darme la vida, las fuerzas, el apoyo, amor y la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, siempre le estaré eternamente agradecida por su lealtad, honestidad, certeza y confianza, gracias por nunca dejarme vencer a pesar de todo lo que estaba en contra, hacerme ver que lo que más cuesta en la vida no son las victorias sino las derrotas que de ellas se aprende para ser la mejor versión de nosotros mismos todos los días.

A mis Abuelitos Catalina Osorio Arias y Honorato Domínguez Pérez que ya no están conmigo, pero gracias a sus valores inculcados y amor puedo realizarme hoy como profesionista, a mis tías Lupita Domínguez Osorio hasta el cielo, Leoena Domínguez Osorio y Karina Jiménez Vázquez por siempre apoyarme con sus palabras de aliento las amo con todo mi corazón.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco que ya es mi casa por haberme arropado desde el inicio de mis estudios, por haber confiado en mis capacidades e integridad, quiero decirles que hoy acaba la lección de vida, pero empieza la lucha por lograr mis sueños, me voy con todos los consejos, me llevo el corazón abierto, de trascender con acción en la fe y en los conocimientos que cada uno de los maestros forjo en mi persona.

A mi director de Tesis el Dr. Gaspar López Ocaña porque me abrió las puertas del Laboratorio de Tecnología del Agua, por haber sido un amigo incondicional a lo largo de mi travesía en la universidad, por guiarme en el proceso de investigación y titulación, por su paciencia, gracias siempre lo recordare con mucho cariño.

A mis amigos de Laboratorio de Tecnología del Agua por haberme apoyado en el Trabajo Rudo de mi proyecto de investigación, por no dejarme sola ni un momento, no sé qué hubiera hecho sin ustedes, me mostraron que son una familia, mis hermanos y amistades que no se cambian por nada en la vida, de verdad chicos gracias a su alegría y entusiasmo es que hoy mi trabajo rinde frutos.

A mis sinodales el Dr. Mario José Romellón Cerino, la Dra. Roció Vidal Palma, el MC. Carlos Alberto Torres Balcázar y el Dr. Arturo Valdés Manzanilla por la paciencia, la dedicación de su valioso tiempo y consejos que me dieron para forjar la mejor versión de mí.



A mis amigos que me han acompañado a lo largo de este camino, en especial a Jazmín Bautista Velázquez mi mejor amiga y hermana de la preparatoria, gracias por tu amistad incondicional y tu apoyo a la distancia, a mis mejores amigas y hermanas de la Universidad Ana Úrsula Rodríguez Metelin, Filida Jiménez García, Sandy Jiménez Zamudio, Lili Bautista Méndez, Saira Briyit Barahona de la Cruz, Ana Margarita Gordillo Sierra, Yoli Lizbeth Jiménez Hernández, Jazmín Rivas Balan, Laura Leticia Juárez López y Lizbeth Garrido Arias, por siempre estar para mí en los mejores y peores momentos por brindarme una hermandad infinita, ustedes también son parte de este logro, a todos mis demás amigos y conocidos que son tantos que no los puedo mencionar, pero que saben que los quiero muchísimo, que gracias a su apoyo y amor he llegado hasta aquí los llevo en mi corazón y quiero que sepan que en mi tendrán una amiga para toda la vida.



INDICE

RESUMEN	6
CAPÍTULO I	7
1. Generalidades del proyecto.....	8
1.1. Introducción.....	8
1.2. Justificación.....	9
1.3. Antecedentes	10
1.3.1. La importancia del agua.....	10
1.3.2. Aplicaciones de sistemas de captación y tratamiento de agua de lluvia	10
1.4. Hipótesis	13
1.4.1. Hipótesis 1	13
1.4.2. Hipótesis 0	13
1.5. Objetivos	13
1.5.1. Objetivo General	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	13
1.6. Área de estudio	13
1.7. Metodología	14
1.8. Referencias	14
CAPÍTULO II	16
2. Diseño y construcción de un sistema experimental de captación y tratamiento de agua de lluvia.....	17
CAPITULO III.....	25
3. Evaluación de un sistema experimental para el tratamiento de agua de lluvia	26
CAPITULO IV.....	34
4. Propuesta del tratamiento de agua lluvia para un sistema rural en Cárdenas, Tabasco.	35
CAPITULO V.....	43
5. Conclusiones finales.	44
ANEXOS.....	45
6. Memoria Fotográfica.	46



RESUMEN

Uno de los recursos naturales vital para todos los seres vivos en la tierra es el agua, nuestra vida depende quizás no en su totalidad, pero si de su disponibilidad en pequeñas porciones adecuadas, no solamente para la supervivencia de especies sino también para su bienestar y confort. En la mayoría de las ciudades de México no existe una cultura generalizada de cuidado del agua y su empleo es bastante irracional, con una elevada perdida cotidiana, de manera que sin importar el costo del agua que se distribuye en la red municipal, la mayoría de las familias no le dan el uso correcto y se desperdicia. Tabasco no aprovecha el agua de lluvia y en su consecuencia no se han implementado alternativas de tratamiento para las mismas.

En este proyecto se ha planteado como objetivo principal desarrollar para la R/A Azucena 1ª Sección, Cárdenas, Tabasco, un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia familiar y comunitario. Dicha localidad cuenta con un área aproximada de 534.89 m² y con una población aproximada de 470 habitantes. Este sistema es una alternativa sustentable de solución al desabasto de agua que en los últimos años ha sufrido la localidad, debido a la escasez del líquido vital en la fuente de abastecimiento que es un pozo profundo.

En este documento el capítulo I presenta las generalidades de los sistemas de captación de agua empleados en diversos lugares conociendo las diversas alternativas que componen el sistema tratamiento, materiales, remoción de contaminantes, entre otros. El capítulo II establece el diseño y construcción de la unidad experimental de captación y tratamiento de agua de lluvia, incluyendo los costos de construcción para un sistema familiar. El capítulo III muestra las pruebas tratabilidad y de operación del sistema experimental, mostrando la eficiencia de remoción y cumplimiento de contaminantes básicos. El capítulo IV presenta el diseño del sistema de captación y tratamiento comunitario que se podría emplear en la Ranchería Azucena. El capítulo V presenta las conclusiones del proyecto y como evidencias un anexo fotográfico.

Este proyecto demuestra que estos sistemas son alternativas viables de aplicar en el trópico húmedo debido a la precipitación que se da en la región, son de fácil construcción, costos accesibles y permiten un aprovechamiento más racional y sustentable del agua.



CAPÍTULO I



1. Generalidades del proyecto

1.1. Introducción

En el mundo más de 2000 millones de personas viven con escasez de agua y en algunas regiones será más crítico por el cambio climático y el crecimiento poblacional. La falta de agua potable y la necesidad de obtener este líquido vital para el beneficio de los seres humanos y demás seres vivos se está convirtiendo en un problema mayor para muchas naciones (OMS, 2022). En muchos sitios cada vez es más difícil obtener este líquido vital por fuentes de abastecimientos superficiales y subterráneas, aunado al alto costo de tratamiento para convertirla en potable, por lo que por la alta demanda se ha propuesto desalinizar agua de mar para el abastecimiento, pero esta tecnología no está al alcance de todas las poblaciones (Aguilar, 2020). Por lo anterior expuesto una alternativa sustentable para el abastecimiento de comunidades es por medio de captación de agua de lluvia, este es un método muy fácil y usado ampliamente en lugares donde hay precipitación media y donde no se dispone de una buena cantidad de agua apta para el consumo humano. En este caso se analiza la factibilidad de implementar un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia para abastecer de agua a la R/A Azucena en Cárdenas, Tabasco, que actualmente no cuenta con este líquido vital para satisfacer las necesidades básicas establecidas por la Organización Mundial de la salud (OMS) (OMS, 2022).

La Ranchería Azucena al igual que muchas en Tabasco no cuentan con este líquido vital ya que los sistemas convencionales de abastecimiento están orientadas a abastecer núcleos poblacionales mayores por lo que los habitantes se han visto en la necesidad de exigir a autoridades lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Resolución A/RES/64/292), que es agua potable y saneamiento como derecho humano fundamental para la vida, pues según la OMS se requiere entre 50 y 100 L/ha/día de agua para garantizar que se cubren las necesidades básicas y que no surjan amenazas para la salud (ONU, 2015).

Por lo anterior expuesto este proyecto presenta una alternativa de abastecimiento de agua para uso y consumo humano minimizando costos de construcción y tratamiento de una fuente no explotada para este fin en Tabasco. El agua de lluvia tiene excelentes características físicas y químicas que la hacen óptima con pequeños tratamientos para el consumo humano entre otros usos, alternativa viable para comunidades rurales y con altos índices de pobreza, puesto que este sistema requiere de poca mano de obra y es fácil o accesible de mantenimiento. Estos proyectos pueden minimizar el impacto antropogénico en todos los componentes del ambiente y reflexionar sobre métodos o nuevas tecnologías que ayuden a hacer un uso racional, considerado y eficaz de los recursos que el planeta nos ofrece.



1.2. Justificación

La Ranchería Azucena 1ª sección, se ubica al Suroeste del Municipio de Cárdenas, Tabasco. La comunidad actualmente no cuenta con un abastecimiento con cobertura de 100% de agua potable por lo que es necesario implementar y desarrollar proyectos alternativos sustentables para abastecer el vital líquido.

La comunidad cuenta con red de agua potable instalada, que desde hace 10 años no tiene mantenimiento y dejó de funcionar, pues esta tiene una cobertura del 60% de la población y se abastece de un pozo profundo, este es poco eficiente ya que no cubren completamente con la necesidad de muchas familias. La población que no cuenta con el suministro de pozo profundo se abastece de pozos excavados manualmente pero el agua está contaminada por materia fecal principalmente, lo cual daña su salud y otro problema es el amarillamiento de los dientes debido a los iones Fe^+ presentes, por consiguiente, tiene costos económicos y ambientales muy altos (CEAS, 2020).

Bajo estas condiciones no se garantizan las actividades básicas como lo es la alimentación, la salud, la higiene o la vivienda pues no pueden ser cubiertas sin abastecimiento de agua potable de calidad y en cantidad suficiente. Estudios de viabilidad previos en la zona concluyen que una alternativa muy confortable es la captación de agua de lluvia, con ello se puede cubrir las necesidades básicas y generales de la comunidad que son importantes para mitigar la contaminación ambiental y cumplen con el criterio de sustentabilidad que requiere la zona (CONAGUA, 2017).

Por lo anterior expuesto se propone el aprovechamiento de agua de lluvia para la comunidad, ya que llueve 2098 mm anuales (CONAGUA, 2015) y la tecnología para aprovecharla implica una inversión baja, disminuyendo el impacto ambiental y económico de una localidad. Es importante considerar que una vivienda con 50 m² de techo puede captar más de 50,000 L de agua durante la temporada de lluvia. Por lo anterior, se realiza el diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de lluvia para beneficio de los pobladores de La Ranchería Azucena 1ª sección, el cual podrá ser instalado en casas habitaciones de la comunidad.



1.3. Antecedentes

1.3.1. La importancia del agua

El agua es un recurso renovable finito, del cual se evaporan aproximadamente 505,000 km³/año de los océanos, precipitándose sobre los mismos 76.24%, no siendo utilizada como recurso de agua dulce y sobre tierra firme se estima precipita el 23.76%. Ese movimiento masivo del agua, es causado por la energía del sol y se conoce como ciclo hidrológico, siendo un proceso complejo que incluye la precipitación, el escurrimiento, la evapotranspiración y la infiltración (Fernández, 2012).

En el ambiente el agua mantiene las funciones vitales en el crecimiento de las plantas, regula su temperatura y facilita la absorción de los nutrientes, interviniendo en el proceso de fotosíntesis. En los animales es vital para un desarrollo sano y forma parte de los alimentos e ingieren el agua, por lo cual “el agua es vida”. No obstante, que el agua tiene importancia para la vida en el planeta tierra, esta se encuentra seriamente en crisis global, de las cuales recientemente se atribuyen a fenómenos como el cambio climático, energía, seguridad alimentaria, recesión económica, etc. y su relación con el agua (ONU, 2010, 2016).

El agua también importante en el sector económico y es esencial en el desarrollo sostenible para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Dentro de los derechos fundamentales del ser humano está el derecho al agua, el derecho a la alimentación adecuada, el derecho a la salud, el derecho al trabajo, el derecho a la vida cultural, entre otros (ONU, 2015, 2016).

El derecho al agua requiere condiciones para su cumplimiento, pues para su disponibilidad el agua debe ser en cantidad adecuada y constante para satisfacer necesidades personales y generales de los individuos. El agua debe de ser de calidad potable libre de microorganismos y de sustancias químicas que pongan en riesgo la salud de los individuos. Y finalmente, debe de ser accesible física, económica, equitativa y de información (OMS, 2022).

1.3.2. Aplicaciones de sistemas de captación y tratamiento de agua de lluvia

Avelar et al., (2019), validaron un prototipo de sistema de captación de agua de lluvia desarrollado en el Laboratorio de Tecnologías Hídricas Innovadoras de la Universidad Autónoma Chapingo, la implementación se desarrolló en la localidad de Los Achotes, municipio de San Luis Acatlán Guerrero. La validación se enfocó en tres aspectos: el diseño del sistema, la utilización del ferrocemento como material de construcción de la cisterna y el esquema de trabajo coparticipativo entre la universidad y los usuarios. El sistema desarrollado consta de: Área de captación, filtro de arena, cisterna (bomba), tanque distribuidor y filtro purificador.



Basán et al., (2018), desarrollaron un sistema de captación de agua de lluvia para consumo humano, en el norte de la Provincia de Santa Fe, Argentina. Los sistemas buscan coadyuvar con la demanda de agua para consumo humano teniendo en cuenta la calidad fisicoquímica y microbiológica garantizando sea segura, libre de patógenos y que no contenga tóxicos. El sistema consta de: captación, sistema de canaletas y bajadas, prefiltrado (cucharas y cámaras de inspección), filtrado, depósito de almacenamiento (bombeo) y tratamiento microbiológico (exposición UV, a hipoclorito de sodio y hervir el agua de lluvia filtrada durante 3 a 5 minutos). Se concluyó que el sistema compacto de prefiltrado, decantación, filtración y desinfección garantizan almacenar agua limpia en los depósitos, pero deben aplicarse cualquiera de los tres métodos de desinfección para asegurar agua libre de patógenos para uso y consumo humano.

La Universidad Nacional Autónoma de México, cuenta con un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia instalado por Isla Urbana, al sur de la Ciudad Universitaria. Dicho sistema consta de superficie de captación de 193.22 m², Separador de primeras aguas (400 L), Cisterna (30,000 L), Filtro de malla de acero inoxidable, clorador, Tren de filtrado (3 filtros), generador de ozono y dispensador de agua potable. La correcta operación del sistema de captación de agua de lluvia remueve los iones de flúor, zinc, arsénico, plomo, hierro, cobre, cromo, aluminio, nitratos y los coliformes totales, de manera tal que se cumple con los estándares nacionales e internacionales para agua potable. Los sistemas de captación también contribuyen a aumentar la resiliencia urbana al cambio climático en la Ciudad de México (Imaz et al., 2018).

Solano, Gonzaga, Espinoza y Espinoza (2017), diseñaron un sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en Isla Jambelí, cantón Santa Rosa, Ecuador. En esta propuesta que considera un área de 56 m², se puede captar para abastecimiento de 8.41 a 34.76 m³ de agua al mes, variación que se presenta en el año como consecuencia de la precipitación variada. El sistema propuesto consta de tanque interceptor de agua de agua de lluvia y desinfección con cloro. Todo este sistema tendrá una capacidad de almacenamiento de 5000 Litros de agua en el tanque cisterna, volumen suficiente para 3.4 usuarios con dotación de 28 l/hab/día para un periodo de 30 días.

González, Vázquez y Contreras (2017), diseñaron un sistema de captación y tratamiento de agua pluvial para el proceso de cocción en la nixtamalización. La superficie del sistema de captación es 250.13 m², este se desarrolló para el molino de nombre “la Granja” que se localiza en el municipio de Epazoyucan, en el estado de Hidalgo. El agua de lluvia presentó en promedio 19 °C, pH de 7.3, CE de 140 µS/cm, 63.3 mg/L de SDT y 61.9 mg/L de Dureza (CaCO₃) y ≥ 2400 NMP /100 mL de coliformes. Los resultados determinan que con el área de captación del sistema se pueden captar 135.871 m³/año en temporada de lluvia y así abastecer el 78.6% del volumen de agua necesario para llevar a cabo el cocimiento del maíz. Por lo que la propuesta de tratamiento del agua de lluvia debe constar de una secuencia de operaciones para el tratamiento de agua tales como: Sedimentador, Filtración, Desinfección y Tratamiento térmico.



Rojas, Gallardo y Martínez (2012), implementaron un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, en un edificio escolar ubicado en la zona Sur del Distrito Federal, hoy ciudad de México. Para conocer la calidad del agua captada se realizaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos. Los resultados microbiológicos mostraron diversos tipos de bacterias como bacilos, cocos y coliformes, entre ellos *Escherichia coli* y *Enterobacter aerogenes*, mientras que los fisicoquímicos reportaron concentraciones bajas de SST (8.9 mg/L), DBO (2.7 mg/L), DQO (6.7 mg/L) y COT (1.9 mg/L). Por lo anterior expuesto se considera un tratamiento para su aprovechamiento a base de sistemas de filtración y desinfección con ozono, Por consiguiente, el agua de lluvia puede ser considerada como un recurso hídrico alternativo.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis 1

El sistema de captación diseñado y construido cumplirá con los límites máximos permisibles para abastecimiento y consumo de tipo humano.

1.4.2. Hipótesis 0

El sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia no cumple con las especificaciones establecidas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar y construir para la Zona Rural de la Ranchería Azucena 1ra sección, Cárdenas, Tabasco un sistema de captación y aprovechamiento pluvial doméstico.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los criterios de diseños para la selección de alternativas más viables para un tratamiento pluvial de una casa habitación descentralizada en una zona rural.
- Realizar las pruebas de tratabilidad para el cumplimiento del tren de tratamiento seleccionado.
- Realizar el análisis costo de construcción de la alternativa seleccionada.
- Realizar la propuesta de tratamiento para un sistema individual y comunitario.

1.6. Área de estudio

La R/A Azucena se encuentra situada en el municipio de Cárdenas (en el estado de Tabasco) bajo las siguientes coordenadas: $18^{\circ}15'31.40''$ N y $93^{\circ}37'59.27''$ O con 9 metros de altitud msnm. Cuenta con un área de 534.89 m^2 lugar donde se llevará a cabo la realización del Sistema de Captación de Agua Pluvial de uso comunitario.



Figura 1. Ubicación geográfica del área estudio SCAP en la R/a Azucena.
Fuente: Google Earth, 2022.

1.7. Metodología

Lo siguiente son los materiales y métodos en general de este trabajo.

1. Revisión del estado del arte. Indagación literaria, información de fuentes oficiales, artículos científicos, estudios relacionados, tesis, etc.
2. Diseño del sistema experimental SCAP. Se analizó una serie de alternativas, considerando materiales, tecnologías, dimensionamiento y costos de construcción.
3. Construcción de la unidad experimental. Se procedió a su construcción en el área de Prototipos del Laboratorio de Tecnología del Agua DACBiol-UJAT.
4. Diseño Experimental. Se Realizó la fase experimental midiendo variables de respuesta de calidad del agua en los tratamientos de agua.
5. Diseño del sistema comunitario. Una vez validados los criterios de diseño y el tren de tratamiento propuesto se desarrolló la ingeniería básica del sistema comunitario
6. Conclusiones y recomendaciones.

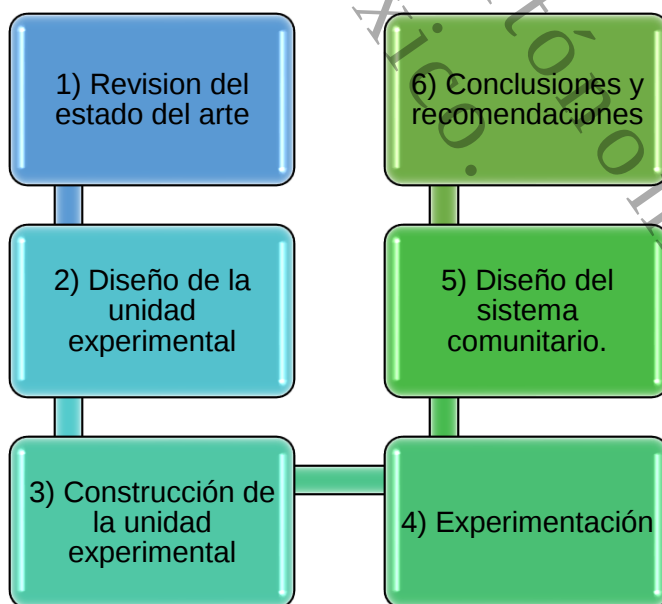


Figura 2. Diagrama de actividades.
Fuente: Elaboración propia.

1.8. Referencias

Aguilar Benítez, I. (2020). Gestión del agua en México. Sustentabilidad y gobernanza. El Colegio de la Frontera Norte. Pág. 270. Recuperado de:



- https://www.academia.edu/45441887/Gesti%C3%B3n_del_agua_en_M%C3%A9xico_Sustentabilidad_y_gobernanza
- Avelar Roblero, J. U., Sánchez Bravo, J. R., Domínguez Acevedo, A., Lobato de La Cruz, L., Mancilla Villa, O. R. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. IDESIA (Chile) Volumen 37, N° 1. Páginas 53-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000302>.
- Basán, M. N.; Sánchez, L.; Tosolini, R.; Tejerina F. D.; Jordan, P. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. Aqua-LAC - Vol. 10 - N° 1 - Mar. 2018. pp. 15 - 25
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento [CEAS]. (2020). Inventario de Aguas y Aguas Residuales en el Estado de Tabasco. Delegación Cárdenas.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2015). Estadísticas del agua en Tabasco.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2017). Sistemas captación de agua en México. Ed. Porrúa, México. Pag.12-21.
- Fernández Cirelli, Alicia. (2012). El agua: un recurso esencial. Química Viva, Vol. 11, Núm. 3, pp. 147-170 Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina.
- González Castil A., Vázquez Lozano P., Contreras Contreras R. (2017). Diseño de un sistema de captación y tratamiento de agua pluvial para su utilización en la etapa de cocción en la nixtamalización. Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química. Año 3. No. 3. UAM-Azcapotzalco.
- Ímaz Gispert M., Armienta Hernández M.A., Lomnitz Climent E. and Torregrosa Flores M. F. (2018). Captación de Agua de Lluvia como una opción de agua potable en la Ciudad de México. Sustainability 2018, 10, 3890; doi: [10.3390/su10113890](https://doi.org/10.3390/su10113890) www.mdpi.com/journal/sustainability
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2022). Agua para consumo humano. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2010). Alternativas viables para el consumo de agua. [Fecha de consulta 07 de febrero de 2021]. Disponible en: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio y Consejo de Colaboración para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento. El derecho humano al agua y al saneamiento. Recuperado de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_spa.pdf
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2016). Agua y saneamiento. [Fecha de consulta 07 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Rojas-Valencia, M. N., Gallardo-Bolaños, J. R. y Martínez-Coto, A. 2012. Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 15(1):16-23, 2012
- Solano, C.; Gonzaga, F.; Espinoza, F.; Espinoza, J. 2017. Revista CUMBRES. 3(1) 2017: pp. 151 – 159.



CAPÍTULO II



2. Diseño y construcción de un sistema experimental de captación y tratamiento de agua de lluvia

Resumen

Los sistemas de captación del agua pluvial son alternativas sustentables y seguras para reducir la explotación de acuíferos mediante pozos y abastecer a comunidades que requieren este líquido vital. En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia mediante filtración rápida, para atribuir el agua a uso doméstico y consumo humano en comunidades del sureste de México. El sistema fue instalado en Centro, Tabasco. Se realizaron pruebas de tratabilidad mediante un filtro multicapas (grava fina, arena sílice y carbón activado) con agua sintética (suelo-agua) para identificar el número de lavados que se requieren. La utilización esta unidad con materiales reciclados y el uso de áreas superficiales de infraestructura existente pueden ser económicamente viable y factible para el abastecimiento de hogares de cuatro a ocho personas, además representa una gran aportación al desarrollo de la comunidad.

Palabras clave

Alternativa sustentable, aprovechamiento del agua de lluvia, viabilidad económica factible y agua subterránea.

Introducción

La falta de agua potable y la necesidad por obtener agua para el fin común, plantea una alternativa para abastecer a la comunidad por medio del agua lluvia, este es un método fácil de emplear en lugares donde hay precipitación media y donde no se dispone de una buena cantidad de agua apta para el consumo humano (Anaya Garduño, 2011). Para el 2017 el planeta superó los 7,200 millones de habitantes, de estos el 27.78% vive en países con “estrés hídrico, alrededor 16.67% de habitantes de dicha población, adolecen de agua para su supervivencia diaria y unos 12.5% de esta población no tienen servicios de agua y saneamiento (García Velázquez, 2017).

El diseño hidráulico del sistema de captación pluvial sigue una serie de etapas para su ejecución y funcionamiento, entre las cuales encontramos la captación que está relacionada con los techos (su material, superficie y pendientes) procurando la mayor captación; la recolección y conducción que es la tubería por la cual se conduce el agua que será enviada a donde se quiera distribuir y por último el tanque de almacenamiento, que está relacionado con la demanda y oferta hídrica (Adler, Carmona y Bojalil, 2008; de la Fuente, 2004).

Este tipo de proyectos sustentables pueden que sean costosos al momento de ser implementados, cabe mencionar que los beneficios que trae consigo al ambiente son muchos, debido a que este minimiza el mal uso del agua potable necesaria para vivir; el agua pluvial tiene buenas características físicas y químicas la cual con una serie de tratamientos específicos puede llegar a ser apta para el consumo humano, lo cual es un factor de mucha importancia si se quiere ayudar a comunidades alejadas y con altos



índices de pobreza ya que este tipo de poblaciones serían los más beneficiados con estas iniciativas (Anaya, 2011; Anaya, 2017), puesto que este sistema requiere de muy poca mano de obra, se pueden reutilizar materiales en óptimas condiciones y es fácil de dar mantenimiento periódicamente.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Esta investigación e instalación de unidad experimental se llevó a cabo en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), en el área de Planta Piloto de Humedales Experimentales del Laboratorio de Tecnología del Agua, (N 17° 59' 26"; W 92° 58' 16"). Para la captación del agua pluvial se utilizó la techumbre que cubre el cárcamo-cisterna de la DACBIOL UJAT, que es de policarbonato verde transparente con 6.5 m ancho x 7.5 m de largo con espesor de 0.01 m.

Dotación

De acuerdo a la OMS (2018), la demanda de agua se puede clasificar de acuerdo a su requerimiento mínimo: agua mínima para asegurar la hidratación y preparación de los alimentos, agua para garantizar la salud o agua para cubrir las necesidades restantes en el hogar. (Tabla 1).

Tabla 1. Nivel de servicio de agua para promover la salud.

Nivel de servicio	Medida de acceso	Necesidades satisfechas	Nivel para la salud
No hay acceso (<5 L/hab/día)	Más de 1000 m o 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – no puede asegurarse Higiene – no es posible (a menudo que se practica en la fuente)	Muy alta
Acceso básico (<20 L/hab/día)	Entre 100 y 1000 m o de 5 a 30 minutos de tiempo total de recolección.	Higiene – lavado de manos, alimentos básicos; lavadero/baño	Alta
Acceso intermedio (50 L/hab/día)	El agua suministrada a través de un grifo o dentro de 100 m o 5 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – seguro Higiene – toda la higiene personal y alimentación básica asegurada, lavadero y baño	Baja
Acceso óptimo (100-200 L/hab/día)	El agua suministrada a través de varias líneas de retardo de forma continua	Consumo – todas las necesidades cubiertas Higiene – todas las necesidades se pueden cumplir	Muy baja

Fuente: Organización Mundial de la salud, 2018.

Volumen de captación

Para este apartado se optó por utilizar los criterios de Anaya-Garduño (2011), referentes al volumen del agua de lluvia captado en litros, con relación al área de captación y precipitación pluvial promedio del sitio que corresponde a la ciudad de Villahermosa (Weather Atlas, México, 2021).

Filtro experimental

Se realizó una prueba de tratabilidad con tres repeticiones en un sistema de filtración experimental donde se evaluó el tipo de materiales filtrantes a utilizar (filtro de lecho múltiple grava fina- arena sílice y carbón activado), el diseño y eficiencia de remoción de turbiedad del agua sintética para después aplicarse en el agua de lluvia. El filtro se construyó con las siguientes consideraciones: Se lavaron los medios filtrantes (carbón activado, arena, gravilla) hasta conseguir que no tuviese partículas que afectaran la eficiencia del filtro (polvo). Se utilizó un recipiente cilíndrico con orificios al fondo del recipiente de 2 mm para el paso del agua filtrada. Se cortaron 8 moldes de la malla galvanizada con diámetro igual al del contenedor para separar los materiales filtrantes. El primer material fue la gravilla (fondo del recipiente), colocando 5 cm de espesor, separado por las mallas. El segundo medio fue arena con un espesor de 10 cm, se utilizaron dos tamaños de arena, 6 cm de arena fina $\varnothing$ 0.8 mm y 4 cm de $\varnothing$ 1.5 mm, separadas por la malla galvanizada. El tercer y último medio filtrante fue el carbón activado granular con 8 cm de espesor.



Figura 3. Preparación de los filtros experimentales para las pruebas de tratabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de tratabilidad

Para comenzar con la operación del filtro de lecho múltiple, se captó agua de lluvia se utilizó con 50 gr de suelo (soluto) y 8 litros de agua (solvente). La muestra de suelo previamente se tamizó y se mezcló hasta que la solución quedo homogénea, tomando una muestra para su posterior análisis con el turbidímetro (SM 2130 B) y conocer el valor inicial. Una vez conocido el valor de la turbidez, se realizó una primera filtración. El agua que resulto de la primera filtración, se pasó a otro recipiente para después volver a realizar una segunda filtración (valores de filtración se encuentran en resultados), Para este caso solo se realizaron dos repeticiones de filtrado. La turbiedad se midió con un turbidímetro marca LaMotteMR con precisión 0.01 NTU-turbiedad (TC-300e, ISO7027; TC-300).

Eficiencia de remoción

La remoción del color aparente y la turbiedad de cada tratamiento, se calculó con base a la Ecuación 1 (Torres Balcázar, et al., 2020).

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \frac{c_e - c_s}{c_e} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde: C_e = Concentración de entrada (afluente); C_s = Concentración de salida (efluente).

Diseño del sistema

El sistema de conducción se construyó con tuberías de PVC de 4" de Ø, este conduce el agua de lluvia de la captación al sistema de almacenamiento a través de tubo de PVC. Para el pretratamiento y tratamiento del agua de lluvia propuesto se tomaron los criterios de diseño de CEPIS (2004) y Anaya (2017).

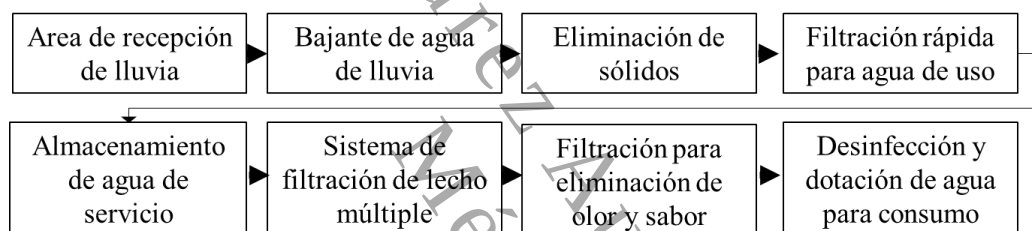


Figura 4. Propuesta de sistema experimental de captación y agua de lluvia para la DACBIOL-UJAT.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Volumen de captación

Con los datos recopilados del promedio de precipitación mensual y para nuestra área de captación (6.5 m x 7.5 m) observamos que el mes con mayor captación es octubre con 8.4 m³ (281 L/día), mientras que el mes con menor precipitación es abril con 1.5 m³ (49 L/día) (figura 9), lo que se traduce a que en el mes octubre podríamos abastecer a 10 personas con una dotación de 5 L/hab/día por lo que la OMS plantea que no puede asegurarse la higiene básica en estas personas cayendo en el nivel de servicio de **no hay acceso** (nivel 1) al agua. Sin embargo, para el mes de octubre, se puede abastecer a tres personas con 100 L/hab/día por lo que la OMS plantea que puede asegurarse la higiene básica en estas personas cayendo en el nivel de servicio de **acceso óptimo** (nivel 5) al agua. Por lo anterior expuesto podemos establecer que esta superficie puede ser funcional para abastecer hasta cuatro personas completando con el agua de lluvia sus necesidades básicas para la higiene. Actualmente los organismos reguladores del agua potable CONAGUA, CEAS, SAS (Estrada et al., 2019) establecen que, para el municipio de Centro en Tabasco, debe darse a la población urbana una dotación de 220 a 240 L/hab/día y para poblaciones rurales hasta 180 L/hab/día. Bajo esta perspectiva el abastecimiento de agua lluvia en la región es favorable para satisfacer la demanda donde estos organismos no pueden brindar el servicio del líquido vital, pues, aunque existe en operación un gasto suficiente por la potabilización convencional para la demanda de la

población, no a llega el agua a todas las localidades y en el caso de las comunidades rurales llega de mala calidad por diversos problemas operativos.

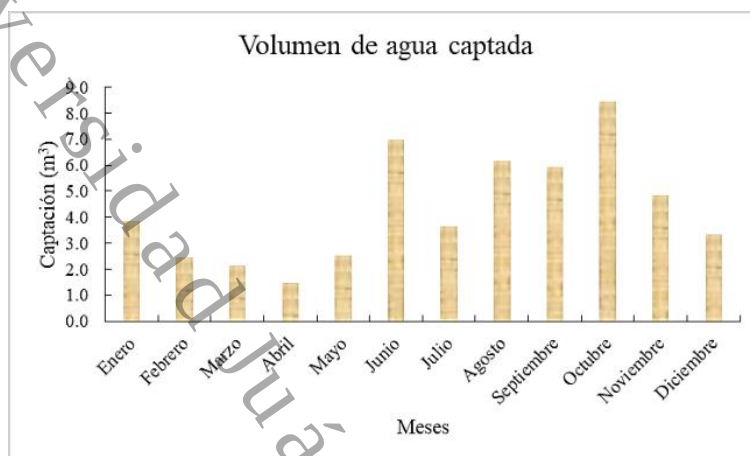


Figura 5. Volumen estimado de captación de agua de lluvia para los meses del año en la DACBiología-UJAT.
 Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de filtración

Las pruebas de filtración muestran que en la primera filtración se logra remover el 88.9% de turbiedad ($X \pm DE$) (24.3 ± 4.2 UNT), y al pasar el agua nuevamente a la segunda unidad de filtración en serie se puede alcanzar el 97% de remoción que 6.7 ± 2.5 UNT. Con estos resultados podemos apreciar que sólo con 2 sistemas de filtración nos acercamos a 3 UNT que el LMP establecido para el parámetro turbiedad por la NOM-127-SSA1-2021, con este resultado se establece la propuesta de someter el agua del proceso a tres sistemas de filtración de lecho múltiple (gravilla-arena-carbón) y un cuarto para la eliminación de olor y sabor sólo de carbón activado para dar cumplimiento a los criterios de diseño establecidos para estas unidades por Arboleda (2000) y de la Fuente (2004).

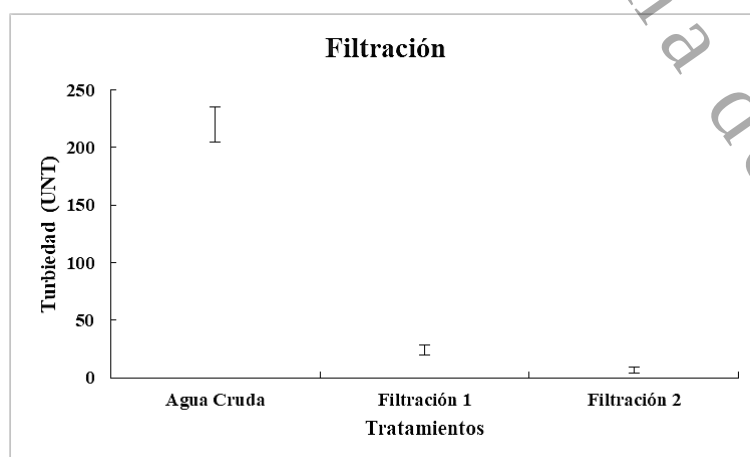


Figura 6. Valores promedio ($\pm DE$) de los resultados de turbiedad en las pruebas de filtración ($N=3$).
 Fuente: Elaboración propia.

Instalación de la unidad experimental

Para la instalación se preparó el área de captación el cual consta de una techumbre de polycarbonato (6.5 m x 7.5 m), con un bajante de 6 m con 6" de Ø con interconexión a 4". El bajante llega a un tanque de 200 L en el cual hay una malla de 0.5 cm x 0.5 cm para la retención de sólidos en el arrastre. Posteriormente el agua pasa por un segundo tanque de 200 L con 0.3 m de arena sílice de 2 mm de Ø y 0.3 m de gravilla de 0.5-0.8 cm de Ø, este tanque de filtración brinda agua para uso humano (lavado, sanitarios, etc.) y posteriormente se almacena en un tanque de marca Rotoplas de 1100 L.

El agua para consumo humano lleva un pos tratamiento, el agua almacenada es llevada mediante una bomba de 1 HP a una batería de filtración que consiste en cuatro filtros en serie de 6" de Ø con una altura de 1.2 m, los primeros tres filtros cuentan con tres secciones con 30 cm de gravilla (0.5 cm de Ø), 30 cm de arena sílice (0.8 mm de Ø) y carbón activado.

El último filtro cuenta con una altura de 1 m de carbón activado. Finalmente, el agua filtrada para consumo humano es recepcionada en un recipiente de 60 L donde entra en contacto con hipoclorito de sodio de fase sólida dosificando aproximadamente 3 mg/L asegurando la eliminación de patógenos que pudiesen pasar el sistema de filtración.



Figura 7. Sistema experimental de captación y tratamiento de agua de lluvia DACBiol-UJAT.

Fuente: Elaboración propia.

El costo de materiales y de construcción en esta instalación es de \$24, 406.42 M.N. excluyendo la mano de obra y algunos materiales reciclados y durante el primer año se captará aproximadamente 51,724 litros al año de lluvia, por lo que se estima en un análisis básico que el costo por litro de agua tratada será de \$2.12 M.N.

Es importante hacer mención que en operación y mantenimiento anual se estima puede haber una inversión de \$3,500.00 a \$5,000.00 M. N. A continuación, en la tabla 2 se presenta la lista de materiales utilizados y el costo de inversión.



Tabla 2. Materiales y costos de inversión del sistema de captación y tratamiento.

Nombre y especificación del material	Costo
Materiales de construcción	
2 sacos de Cemento, 12 latas de Grava y 12 latas de arena	\$564.00
Materiales de limpieza y Pintado	
6 litros de Tiner, 4 litro de aceite quemado de carro, Anticorrosivo Blanco 2 L, 1 L de pintura acrílica blanca, 1 L de recubrimiento blanco primario, 1 Brocha, 2 Pegamento PVC, 1 Lata de cemento plástico 500 ml.	\$1,259.43
Materiales para conexiones y adaptaciones	
1 tubo de PVC de 6', 12 Codos de 6', 12 Coples de 4', 2 T de PVC de 4', 1 Cople antiretorno de 4' de ABS, 8 Tubos de PVC de 4', 4 Tubos de PVC de 1', 1 Interconexión de 6x4, 25 coples de 1', 25 codos de 1', 12 tapas de 4', 1 Tapón de inserción de 6' para tubo PVC, 4 Cople de 6' para tubo PVC, 20 Juegos de hembra y macho, 10 m de cable duplex de 12, 2 Bolsas de Abrazaderas de 4', 2 Bolsas de Tornillos de 3', 250 gr de Grapa, 250 gr de Clavo, 4 Válvulas, 1 Cinta aislante, Un Tablón de madera.	\$9,031.18
Materiales para Captación de Agua	
1 tinaco de 1100 L, 3 Tambos de 250 L, 1 Bomba cde 1/2 HP Truper, 2 metros de malla criba acero, 2 metros de malla plástica, 1/2 kilo de alambre recocido, Tuerca de unión, Clavija, Pichancha.	\$5,551.15
Material de aseguramiento	
2 m de cadena de 4.1 MM, 1 Candado	\$144.17
Material de soporte para captación	
2 bultos de Carbón Activado, 3 Bultos de Arena Sílice de 0.8, 150 Kg de grava de 1/8 y 1 Bulto de Zeolita	\$7,256.69
Flete de materiales	
3 Fletes	\$600.00
Total del Costo	\$ 24,406.62

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados demuestran que con una filtración básica se reduce un 88.9% de turbiedad lo cual la hace factible para el aprovechamiento humano. Así mismo estimamos que con un sistema de filtración en el pos tratamiento se logrará una eficiencia de remoción superior al 97% de turbiedad lo que permitirá cumplir con los criterios de 3 UNT en agua potable según lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021. Este sistema experimental podrá brindar una alternativa sustentable para abastecer del líquido vital agua a una familia de cuatro a ocho individuos, considerando que en algunos meses no hay suficiente lluvia para abastecer conforme lo establece la OMS.

Recomendaciones

Aunque los resultados de turbiedad son viables en estas condiciones de filtración del agua de lluvia, es importante evaluar otros parámetros (físicos, químicos y microbiológicos) de la NOM-127-SSA1-2021 para asegurar que el agua puede ser de consumo humano. Del mismo modo se requiere que aunado a este sistema de captación se instale o construya una cisterna con capacidad de almacenamiento de 6 m³ para almacenar agua suficiente para los meses con menor precipitación. Es importante considerar que estos sistemas alternativos son para coadyuvar a abastecer a aquellas comunidades que no cuentan con un sistema de abastecimiento de agua potable convencional para la satisfacción de sus necesidades básicas.



Referencias

- Adler I., Carmona G., Bojalil J. A. (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. PNUMA. International Renewable Resources Institute México. 47 págs.
https://www.academia.edu/6712743/MANUAL_DE_CAPTACION_DE_AGUAS_DE_LLUVIA_PARA_CENTROS_URBANOS
- Anaya, G. M. (2011). Captación del agua de lluvia: Solución caída del cielo. Biblioteca básica de agricultura. 1ra. edición. Texcoco, Estado de México, México. 133 p.
- Anaya, G. M. (2017). Aprovechamiento de agua de lluvia, Calidad, cantidad y abastecimiento continuo para diversos usos. Colegio de Postgraduados. 274 p.
- Aparicio, M. F. J. (2016). Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. 1ra. edición. México. 304 p.
- Arboleda Valencia J. (2000). Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Tomo 1 y Tomo 2. Tercera Edición. 793 páginas. Santafé de Bogotá Colombia.
- De la Fuente Severino José Luis. (2004). Planeación y Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable. Instituto Politécnico Nacional. Impresos Alcántara Hermanos. México D.F. 178 páginas.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, [CEPIS]. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. OPS/CEPIS/PUB/04.109. <http://www.cepis.ops-oms.org>
- Estrada Pérez N., Vázquez de la Cruz N.A., García Ocaña J.A., Romellón Cerino M.J., López Ocaña G. (2019). Operación del sistema de potabilización Isla I en Centro, Tabasco. Congreso Internacional Academia Journals Chiapas. 11 (5):341-347.
- García Velázquez, J. H. (2012). Sistema de Captación y Aprovechamiento Pluvial para un Ecobarrio de la Cd. de México. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Ortiz, S. C. A. (2019). Elementos de captación lluvia con aplicaciones domésticas. Edición del autor. México. 327 p.
- Torres Balcázar, C.A., López Ocaña, G., Romellón Cerino, M.J., Vázquez González, M.B., Comparán Sánchez, L. E. (2020). Biomasa de origen vacuno en la remoción de contaminantes básicos en un reactor discontinuo secuencial. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Vol. 9, Núm. 18. 1-32. <https://doi.org/10.23913/ciba.v9i18.98>
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021. (2022). Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. DOF. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=22/11/2000
- Wheather Atlas, México. (2021). <https://www.weather-atlas.com/es/mexico/villahermosa-clima>



CAPITULO III.



3. Evaluación de un sistema experimental para el tratamiento de agua de lluvia

Resumen

En este apartado se presentan las pruebas de operación del sistema experimental de tratamiento de agua pluvial, verificando la calidad misma tratada para ver el cumplimiento de la normatividad vigente. La implementación de estas unidades son una alternativa para prevenir o mitigar los riesgos que se presentan ante la falta del desabasto de agua a los que están expuestas las comunidades. Los resultados demuestran que el sistema de tratamiento es eficiente y económico con respecto a los sistemas convencionales ya este sistema reduce un 68.9% de CE, 97.85% de SDT, 98.90 % de turbiedad y 88.68% de color, lo cual la hace factible para el aprovechamiento humano, pues se logra cumplir con los criterios de 3 UNT y 15 UC en agua potable según lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021.

Palabras clave

Filtración con gravilla-arena, agua pluvial, Filtración con carbón activado, Turbiedad y Color.

Introducción

La expansión acelerada que han tenido los asentamientos humanos en los últimos años a nivel mundial ha provocado terribles consecuencias que han traído temas de suma importancia como lo es la escasez de agua potable, el cambio climático global, las fuentes renovables, la huella hídrica y el desarrollo sostenible, entre otros; por estas razones es que se busca mitigar en la medida de lo posible el impacto que se ha generado al planeta y desacelerar el deterioro del mismo. El agua es un recurso importante para el crecimiento poblacional y que todos los seres vivos lo necesitan para diversas actividades y necesidades (Salinas, Cavazos y Vera, 2016).

Cada día hay una progresiva reducción de la dotación de las principales fuentes de agua dulce que son utilizadas para abastecer a las ciudades y no podemos esperar a que las autoridades resuelvan el problema de abastecimiento, pues éste es un problema que rebasa a todos (Adler, et al., 2008). En el ciclo hidrológico; la precipitación, en cualquiera de sus formas (agua o nieve), es la principal fuente para los usos humanos y los ecosistemas. La lluvia es acumulada por las plantas y el suelo, un porcentaje se evapora a la atmósfera (evapotranspiración), otro porcentaje se acumula en capas de hielo y en los glaciares y el otro va hacia escurrimientos superficiales, lagos o humedales (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2018).

El ciclo hidrológico no ofrece garantía, ya que dos tercios de la población mundial viven en zonas que reciben una cuarta parte de la precipitación anual del mundo. Actualmente, en África, Asia, América Latina y el Caribe, la escasez del agua dulce con adecuada calidad y cantidad es un problema crítico (Anaya Garduño, 2017). La sequía es un evento que está tomando peso en el ámbito técnico- científico, debido a los estragos que ha causado en diferentes partes del mundo. Este fenómeno impacta en diversos sectores de la sociedad, genera “sequías” en un carácter local y regional (Estévez, Herrera y



Tiribocchi, 2019). El estado de Tabasco, México, sufre de sequía en los últimos años, se tiene registrado el 48.71% del área del estado como “anormalmente seco”, el 10.52% como “moderado” y solamente un 40.76% del territorio esta sin afectación por este fenómeno (CONAGUA, 2015).

Diversos estudios indican que el agua de lluvia constituye una solución para el abastecimiento de agua y es una medida amigable, económica y ecológicamente factible para suministro urbano; implementándose también en instalaciones de infiltración para la recarga de aguas subterráneas y para en la restauración del ciclo hidrológico en las zonas urbanas (Puerto, 2015). El sistema de captación de Agua Pluvial (SCAP) inicia con la captación del escurrimiento de lluvia sobre una superficie para propósitos de aprovechamiento; existiendo una gran variedad de técnicas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia (García Velázquez, 2012), donde la clasificación de los SCAP está en función de la escala con la que cuente el sistema.

Materiales y Métodos

El área de estudio

La unidad experimental se encuentra en Villahermosa, Tabasco, en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), en el área de Planta Piloto de Humedales Experimentales del Laboratorio de Tecnología del Agua, (N 17° 59'26"; W 92 58'16").

Sistema de captación de agua pluvial

Para la captación del agua de lluvia se utilizó la techumbre que cubre el cárcamo-cisterna de la DACBiol UJAT, que es de policarbonato verde transparente con 6.5 m ancho x 7.5 m de largo con espesor de 0.01 m. siendo que el criterio utilizado para determinar la demanda es que en todas las viviendas de la zona urbana se puede implementar un SCAP. La conducción y captación del agua de la superficie se realiza mediante una tubería de 8" de Ø, con codos y accesorios de este mismo diámetro de PVC hidráulico. La unidad experimental consta de un tanque receptor de agua pluvial y uno con medios filtrantes, con capacidad de 200 L, con grava (0.3 m de altura con 0.5-0.8 cm de Ø), arena (0.3 m de altura con 2 mm de Ø), carbón activado (0.2 m de altura con 0.8 mm de Ø) y zeolita (0.2 m de altura con 0.8 cm de Ø), posteriormente el agua es recepcionada en un tanque con capacidad de 1200 L.

En esta primera etapa el agua puede ser utilizada como agua para uso doméstico en aseo general y demás usos del hogar (Domínguez Osorio, et al., 2021). Posteriormente el agua almacenada para hacerla potable de consumo humano es llevada mediante una bomba de 1 HP a una batería de filtración que consiste en cuatro filtros en serie de 4" de Ø con una altura de 1.2 m, los primeros tres filtros cuentan con tres secciones con 30 cm de gravilla (0.5 cm de Ø), 30 cm de arena sílice (0.8 mm de Ø) y 30 cm de carbón activado. El último filtro cuenta con una altura de 1 m de carbón activado. Finalmente, el agua filtrada para consumo humano es recepcionada en un recipiente de 60 L donde entra en contacto con hipoclorito de sodio de fase sólida dosificando aproximadamente 3 mg/L.

asegurando la eliminación de patógenos que pudiesen pasar el sistema de filtración, para todo este proceso se tomaron los criterios de diseño de CEPIS (2004) y Anaya (2017).

Evaluación de la Calidad del Agua de Lluvia

La evaluación se enfocó en el análisis de la calidad del agua de lluvia captada con respecto a los límites máximos permisibles señalados en la NOM-127-SSA1-2021 mediante el análisis del agua que se captó. Para ello se requirió de un muestreo y una evaluación de la calidad del agua captada. Con los resultados obtenidos se propuso el uso del Agua tratada.

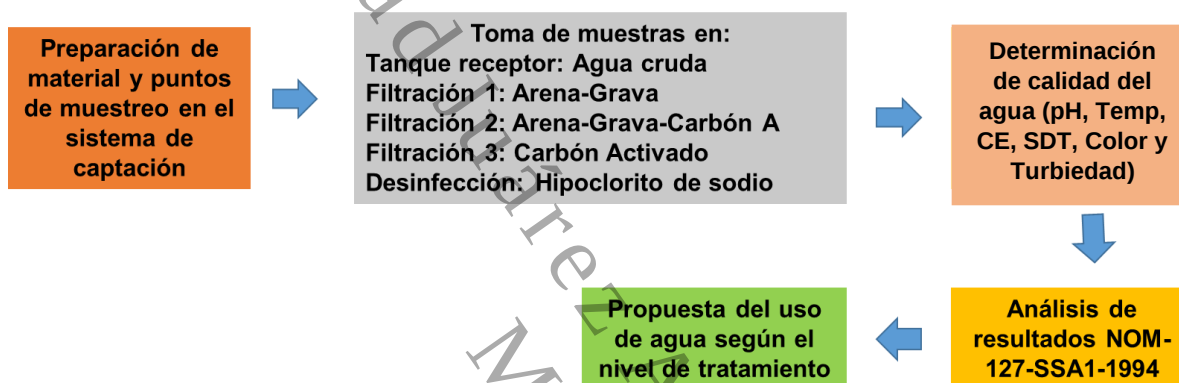


Figura 8. Evaluación de la calidad del agua de lluvia.
Fuente: Elaboración propia.

Muestreo y caracterización del agua de lluvia

Se tomaron tres muestras simples en intervalos de tres horas continuas durante las 24 horas del día para formar una muestra compuesta. Los horarios de muestreos que se propusieron fueron: 8:00 am a 11:00 am, 11:00 am a 2:00 pm y de 3:00 pm a 6:00 pm. Se muestrearon dos días de la semana de dos meses diferentes (septiembre 2021-octubre 2021) y (diciembre 2021-enero 2022). Para la determinación de los parámetros se utilizaron 4 equipos, La turbidez se midió con un turbidímetro Hanna HI98703 con precisión de 0.01 NTU (SM 2130B), el color con el equipo LaMotteMR TC-3000 (SM 2120B), la temperatura (SM 2550), los SDT (SM 2540), CE (SM 2510B) y pH (SM 9040b) fueron medidos con el equipo Hanna combo HI98129.

Diseño Experimental

Para este diseño experimental se realizó un análisis de varianza de un nivel, para los 5 niveles de tratamiento (Agua cruda, filtración 1, filtración 2, filtración 3 y desinfección), cada tratamiento se corrió por triplicado. Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos se utilizó el paquete estadístico STARGHAPIC 7.0 MR. Los datos no se comportaron normales y homocedásticos por lo que se les realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis comparando el contraste de medianas con Mann-Whitney para evaluar diferencias significativas entre los tratamientos para los parámetros evaluados (pH, temperatura, CE, SDT, turbiedad y color).

Resultados

En este apartado se presentan los resultados de las pruebas de tratabilidad evaluando parámetros fisicoquímicos.

Temperatura

La prueba de Kruskal-Wallis para temperatura reportó que el valor-P es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El tratamiento con el valor de mediana más bajo se encuentra en el tratamiento Desinfección con 24.2 °C ($Q_1= 24.02$, $Q_3= 24.3$), seguido de Filtración 3 con 25.2 °C ($Q_1= 25.1$, $Q_3= 25.4$) y el valor mediano más alto se encuentra en el tratamiento Agua cruda 28.0 °C ($Q_1= 28.0$, $Q_3= 28.3$) (Figura 9).

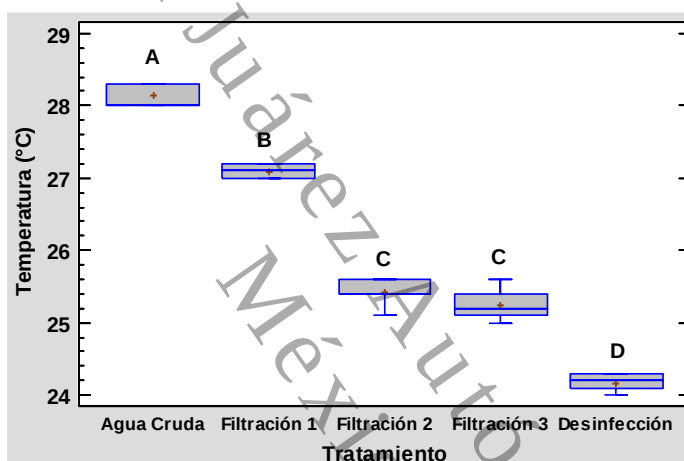


Figura 9. Valores de la variable Temperatura (°C) ($N=30$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza.

Fuente: Elaboración propia.

Potencial de hidrógeno

La prueba de Kruskal-Wallis para pH reportó que el valor-P es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. El tratamiento con el valor de mediana más bajo se encuentra en el tratamiento Filtración 2 con 7.4 UpH ($Q_1=6.7$, $Q_3= 6.8$), seguido del tratamiento Desinfección con 6.8 UpH ($Q_1=6.8$, $Q_3= 6.8$) y el valor de mediana más alto se encuentra en tratamiento Agua Cruda con 7.4 UpH ($Q_1=7.4$, $Q_3= 7.5$).

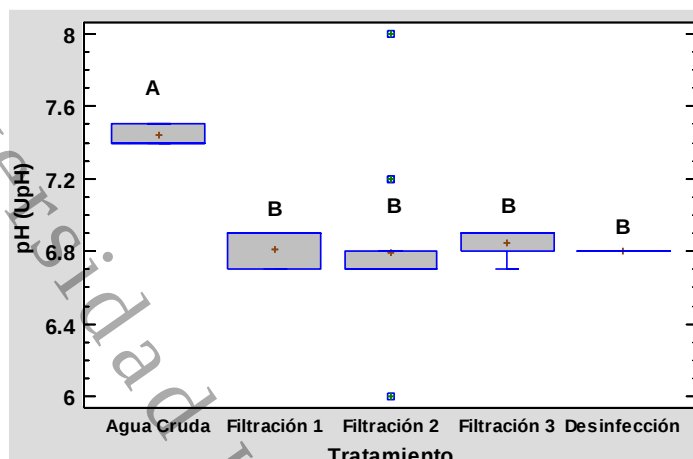


Figura 10. Valores de la variable pH (UpH) ($N=30$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza.

Fuente: Elaboración propia.

Conductividad Eléctrica

La prueba de Kruskal-Wallis para CE reportó que el valor-P es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. La Figura 10, muestra las tendencias la variable CE en los tratamientos. El tratamiento con el valor de mediana más bajo se encuentra en el tratamiento Desinfección con $12.0 \mu\text{S/cm}$ ($Q_1=12.0$, $Q_3=12.0$), seguido del tratamiento Filtración 3 con $19.5 \mu\text{S/cm}$ ($Q_1= 17.5$, $Q_3= 21.0$) y el valor de mediana más alto se encuentra en tratamiento Agua Cruda con $38.7 \mu\text{S/cm}$ ($Q_1=37.5$, $Q_3= 38.7$).

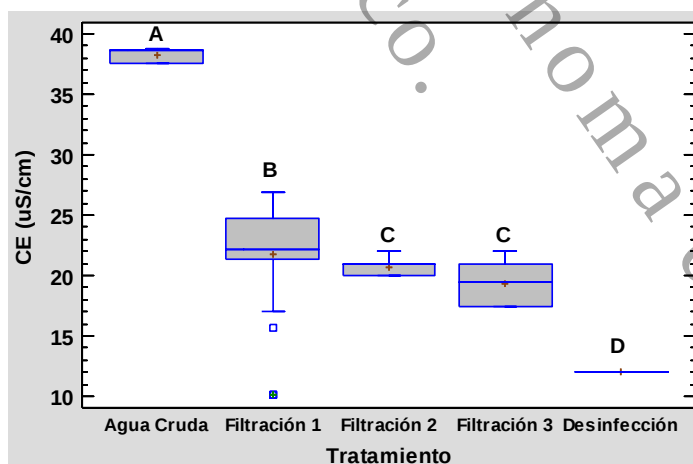


Figura 11. Valores de la variable CE ($\mu\text{S/cm}$) ($N=30$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza.

Fuente: Elaboración propia.

Sólidos Disueltos Totales

La prueba de Kruskal-Wallis para SDT reportó que el valor-P es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. La Figura 12, muestra las tendencias la variable SDT en los

tratamientos. El tratamiento con el valor de mediana más bajo se encuentra en el tratamiento Desinfección con 7.3 mg/L ($Q_1=7.2$, $Q_3=7.5$), seguido del tratamiento Filtración 3 con 9.15 mg/L ($Q_1=8.7$, $Q_3=9.6$) y el valor de mediana más alto se encuentra en tratamiento Agua Cruda con 341.1 mg/L ($Q_1=341.1$, $Q_3=341.2$).

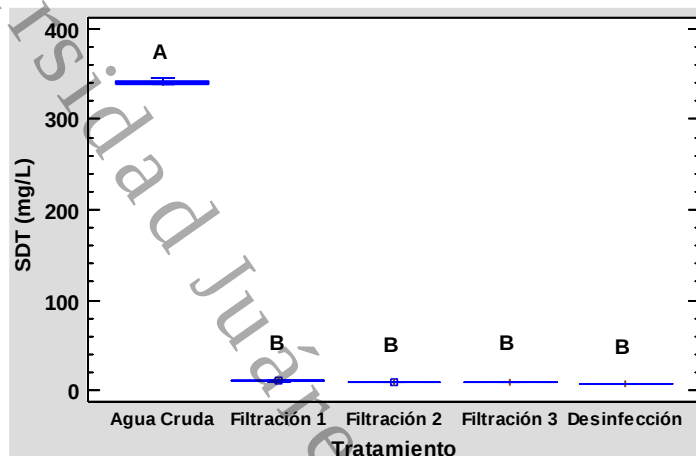


Figura 12. Valores de la variable SDT (mg/L) ($N=30$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza.
Fuente: Elaboración propia.

Turbiedad

La prueba de Kruskal-Wallis para turbiedad reportó que el valor-P es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. La Figura 13, muestra las tendencias la variable Turbiedad en los tratamientos. El tratamiento con el valor de mediana más bajo se encuentra en los tratamientos Desinfección, Filtración 2 y Filtración 3 con 0.1 UNT ($Q_1=0.1$, $Q_3=0.1$) y el valor de mediana más alto se encuentra en tratamiento Agua Cruda con 9.1 UNT ($Q_1=9.0$, $Q_3=9.19$).

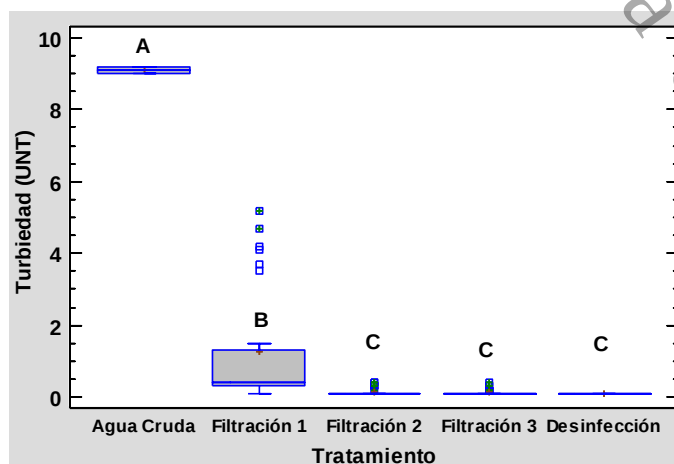


Figura 13. Valores de la variable Turbiedad (UNT) ($N=30$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza.
Fuente: Elaboración propia.

Color

La prueba de Kruskal-Wallis para color reportó que el valor-P es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. La Figura 14, muestra las tendencias la variable Color en los tratamientos. El tratamiento con el valor de mediana más bajo se encuentra en el tratamiento Desinfección con 3 UC ($Q_1=2.9$, $Q_3=3.1$), seguido del tratamiento Filtración 1 con 5.0 UC ($Q_1= 5.0$, $Q_3= 7.9$) y el valor de mediana más alto se encuentra en tratamiento Agua Cruda con 26.5 UC ($Q_1= 26.4$, $Q_3= 26.6$).

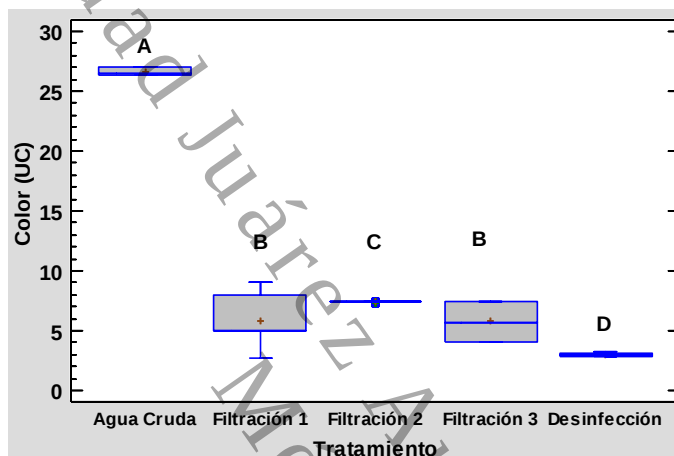


Figura 14. Valores de la variable Turbiedad (UNT) ($N=30$). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento ($p<0.05$), al 95 % nivel de confianza.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados demuestran que con una filtración básica se reduce un 68.9% de CE, 97.85% de SDT, 98.90 % de turbiedad y 88.68% de color, lo cual la hace factible para el aprovechamiento humano, pues se logra cumplir con los criterios de 3 UNT y 15 UC en agua potable según lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021. Este sistema experimental podrá brindar una alternativa sustentable para abastecer del líquido vital agua a una familia de cuatro a doce individuos, considerando que en algunos meses no hay suficiente lluvia para abastecer conforme lo establece la OMS.

Recomendaciones

Aunque los resultados de turbiedad son viables en estas condiciones de filtración del agua de lluvia, es importante evaluar otros parámetros (físicos, químicos y microbiológicos) de la NOM-127-SSA1-2021 para asegurar que el agua puede ser de consumo humano. Del mismo modo se requiere que aunado a este sistema de captación se instale o construya una cisterna con capacidad de almacenamiento de 6 m³ para almacenar agua suficiente para los meses con menor precipitación. Es importante considerar que estos sistemas alternativos son para coadyuvar el abastecimiento de agua a aquellas comunidades que no cuentan con un sistema de abastecimiento de agua potable convencional para satisfacer sus necesidades básicas.



Referencias

- Adler, I., Carmona, G. & Bojalil, J. A., 2008. Manual de Captación de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos. https://www.academia.edu/6712743/MANUAL_DE_CAPTACION_DE_AGUAS_DE_LLUVIA_PARA_CENTROS_URBANOS
- Anaya, G. M. 2017. Aprovechamiento de agua de lluvia, Calidad, cantidad y abastecimiento continuo para diversos usos. Colegio de Postgraduados. 274 p.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, (CEPIS). 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. OPS/CEPIS/PUB/04.109. <http://www.cepis.ops-oms.org>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2015). Estadísticas del agua en Tabasco.
- Domínguez Osorio M. C., Romellón Cerino M. J., Torres Balcázar C.A., López Vidal R., López Ocaña G. (2021). Diseño y Construcción de un Sistema Experimental de Captación y Tratamiento de Agua Lluvia. Memoria del congreso internacional de investigación, Academia Journals, Vol.13 No.8, 515-518. 150-155. ISSN 1946-5351.
- Estévez Valencia, C., Herrera Ascencio, P. y Tiribocchi, A. (2019). Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Implementación de políticas públicas en América Latina y el Caribe. UNESCO y CODIA. <http://humanright2water.org/wp-content/uploads/2020/03/19-Garantizar-la-disponibilidad-de-agua.pdf>
- García Velázquez, J. H. (2012). Sistema de Captación y Aprovechamiento Pluvial para un Ecobarrio de la Cd. de México. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. <https://islaurbana.org/wp-content/uploads/2021/03/pluvioteca-sistema-captacion-aprovechamiento-pluvial-ecobarrio-mexico-garcia-hiram-unam-2012.pdf>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Puerto Piedra, Z. Y. (2015). Diseño de un pozo de infiltración para captación de agua pluvial en San Luis Tlaxiátemalco, Xochimilco. Tesis de Ingeniera Geóloga. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8235/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salinas López, J. C., Cavazos González, R. A., Vera Herrera, J. A. (2016). Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la zona metropolitana de Monterrey, para su aprovechamiento como medio alternativo. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 20-1, pp. 1-12.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2018. Collection and treatment of rainwater. Retrieved on May 16, 2021.



CAPITULO IV.



4. Propuesta del tratamiento de agua lluvia para un sistema rural en Cárdenas, Tabasco.

Resumen

En esta sección se presenta una alternativa propuesta de tratamiento de agua de lluvia para un sistema comunitario, cuya población de proyecto es de 551 habitantes a 15 años, que demandará un gasto nominal de 3 l/s. Los elementos importantes en el sistema de captación de agua de lluvia son el sistema de filtrado descendente que constará de 1.75 m de $\emptyset$ y una altura de 4.1 m y el tanque de almacenamiento constará de 2 m de tirante, 0.25 m de bordo libre, 10 m de ancho y 15 m de largo. Finalmente, la desinfección será a base hipoclorito de sodio en una concentración de 3 ppm. Con este sistema se podrá cumplir con la NOM-127-SSA-2021, que establece las características físicas, químicas y biológicas para el agua uso y consumo humano.

Palabras clave

Filtro descendente, Lecho múltiple, Tanque de almacenamiento, Desinfección, Agua potable.

Introducción

Para satisfacer la demanda de agua potable de la localidad La Azucena 1^a sección en el Municipio de Cárdenas, Tabasco, es necesario en primera instancia conocer la población de proyecto, ya que esta nos define el volumen del sistema de tratamiento de agua lluvia para volverla potable. Generalmente este tipo de tratamientos consta en primera instancia de preparar las áreas de captación pluvial que en ese sentido se aprovechará comunitariamente el techado de la cancha y de la escuela primaria de la Localidad. Para el 2020 se reportó que la localidad presentó una población 470 habitantes. Sin embargo, por los sondeos de campo y actividades registradas en las visitas prospectivas se estimó que esta localidad requiere de una dotación de 200 L/hab/día, aunque típicamente la CONAGUA Tabasco sólo considera para este tipo de localidades una dotación de 180 L/hab/día (CONAGUA, 2019).

La diferencia entre este tratamiento y los convencionales, radica en que la fuente de abastecimiento no cuenta con una cantidad d sólidos en suspensión lo que genera altas cargas de turbiedad y color como parámetros principales en el control de procesos, estableciendo la necesidad de tratamientos como coagulación floculación, sedimentación de alta tasa y filtración, provocando un consumo considerable de productos químicos para potabilizar el agua (Arboleda, 2000; CEPIS, 2004). Por tal diferencia en la fuente de abastecimiento en la captación y aprovechamiento de agua de lluvia el tratamiento típicamente consiste en aplicar un buen sistema de filtrado si se cuenta con un adecuado pretratamiento y mantenimiento en el área de recepción, eliminando sólidos y excretas de aves entre otro tipo de contaminantes atípicos que pueden arrastrar este tipo de fuente.

Por lo anterior expuesto el tratamiento para comunidad se plantea con el área de captación y conducción mediante tuberías de 12" de $\emptyset$ de PVC hidráulico, donde se



instalará en la línea de captación conducción mallas de 0.5 cm a 1 mm de diámetro para evitar la presencia y arrastre de sólidos atípicos hacia el sistema. El agua entrará a dos filtros descendentes con capacidad de tratamiento de 3 L/s y finalmente la cisterna de almacenamiento será de 300 m³ recepcionará el agua filtrada. Posteriormente el agua será almacenada y podrá ser servida por bombeo a la localidad.

Materiales y Métodos

Población de proyecto

Para el análisis de la población se utilizaron datos de población reportados por el INEGI, posteriormente se utilizaron los métodos de proyección de población recomendados para este tipo de localidades como son el método Aritmético, Malthus y el del INEGI (Valencia-Valencia, 2007). Los gastos de diseño fueron estimados según las recomendaciones de la CONAGUA (2019).

Diseño de las unidades de tratamiento

En esta etapa se realizó una selección de alternativas de tratamiento de acuerdo a los criterios de diseño de CEPIS (2004); Anaya (2017) y CONAGUA (2019), analizando diversos sistemas de filtración y almacenamiento de agua para consumo humano, que nos permita cumplir con límites permisibles por la NOM-127-SSA1-2021, donde se consideró la eficiencia de cada sistema, el costo, la operación, la funcionalidad y la factibilidad, requerida para el establecimiento de la Planta, que garantice la calidad del agua, para la población beneficiada. Una vez planteado el diseño se desarrolló una memoria de cálculo en Excel para integrar la ingeniería básica del sistema de tratamiento.

Ingeniería de detalle

La ingeniería de detalle se integró en planos donde se plasmaron los elementos funcionales e hidráulicos del filtro descendente de lecho múltiple y la cisterna o tanque de almacenamiento de agua tratada, los cuales fueron elaborados con el software AutoCAD 2020.

Resultados

Población de proyecto

La comunidad La Azucena, aunque ha reportado población de 470 habitantes para el 2020, tendrá una población estimada para el 2035 de 551 habitantes, lo cual se traduce en mayor demanda de recursos y mayor demanda de agua potable (Tabla 3).



Tabla 3. Población de proyecto de la Comunidad La Azucena 1ª Sección (15 años).

Años	Aritmético	Malthus	INEGI	Promedio
2005	429	429	429	429
2010	455	455	455	455
2015	480	457	481	473
2020	505	460	509	491
2025	530	462	539	511
2030	555	465	571	530
2035	581	468	605	551

Fuente: Elaboración propia.

Gasto nominal de diseño

Para la estimación de los gastos de diseño se consideró una dotación para esta localidad de 200 L/hab/día, una capacidad hidráulica de 20%, por lo que en promedio el gasto nominal de diseño fue de 3 L/s. a continuación en la tabla 4 se presentan los gastos con los diversos métodos. Como el modelo de referencia para las autoridades es el del INEGI y plantea que el gasto total de diseño es de 3 l/s, los módulos de diseño serán 2 de 1.5 l/s, quedando la posibilidad de ampliar a cuatro módulos por la demanda potencial de la zona y el espacio suficiente del predio.

Tabla 4. Gastos de diseño para la Comunidad La Azucena 1ª Sección (15 años).

Datos	Aritmético	Malthus	INEGI	Promedio
Pob. Proyecto	581	468	605	551
Qmed (L/s)	1.34	1.08	1.40	1.28
Qnom (L/s)	1.61	1.30	1.68	1.53
QmaxDiario (L/s)	1.88	1.52	1.96	1.79
QmaxHorario (L/s)	2.92	2.35	3.04	2.77

Fuente: Elaboración propia.

Diseño conceptual

El tratamiento propuesto para comunidad inicia con el área de captación y conducción mediante tuberías de 12" de Ø de PVC hidráulico, donde se instalará en la línea de captación conducción mallas de 0.5 cm a 1 mm de diámetro para evitar la presencia y arrastre de sólidos y residuos hacia el sistema. El agua entrará a dos filtros descendentes con capacidad de tratamiento de 3 L/s y finalmente el efluente filtrado será almacenado en la cisterna que será de 300 m³. Posteriormente el agua podrá ser servida por bombeo a la localidad, en el mismo bombeo se integrará la inyección de hipoclorito de sodio con una concentración de 3 mg/L.

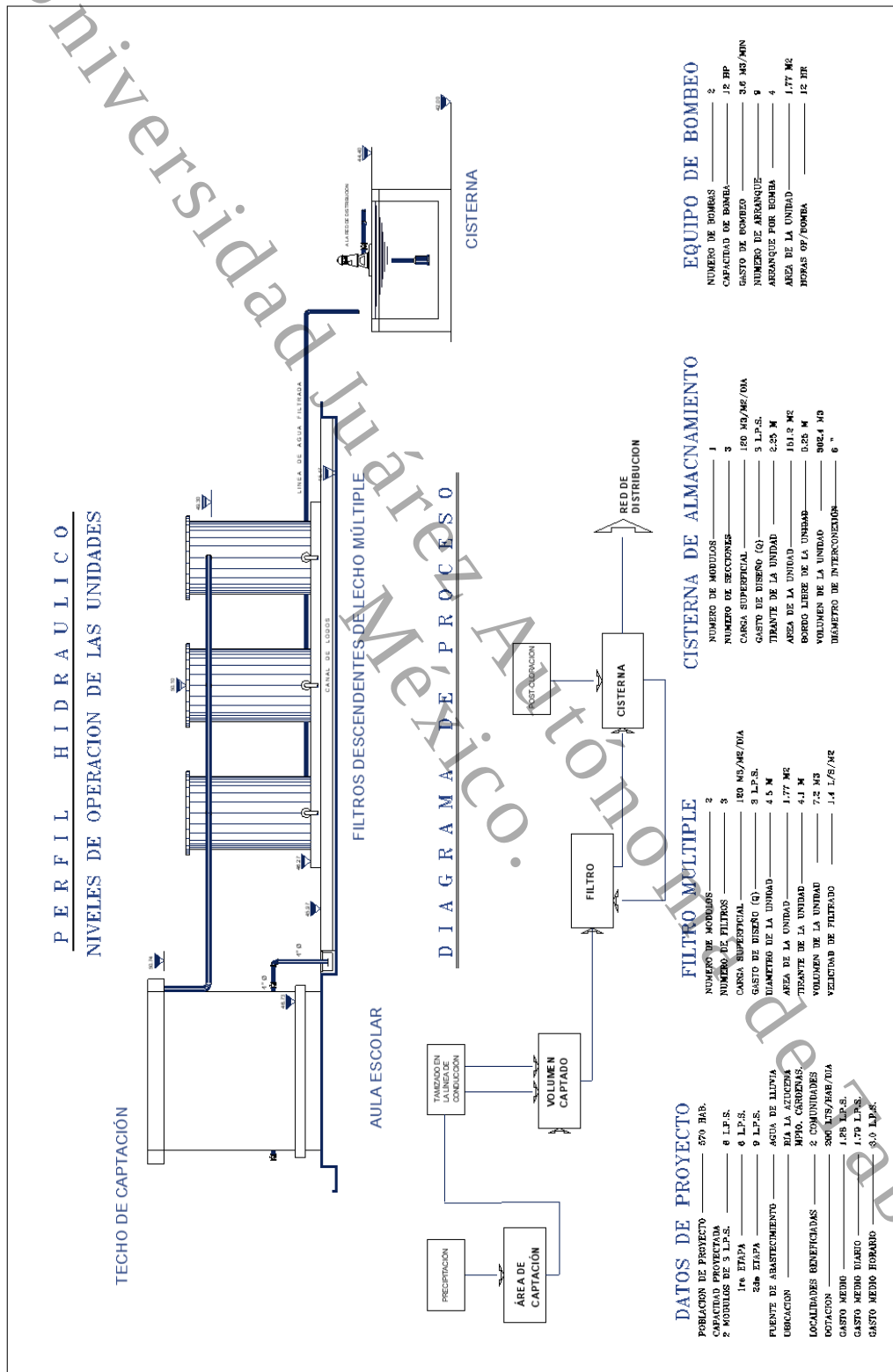


Figura 15. Arreglo funcional y perfil hidráulico del sistema de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.



Filtro de lecho múltiple descendente

En la tabla 5 podemos observar las características de los medios filtrantes y los principales criterios de diseño de un filtro descendente, para el cual se inicia con una velocidad de filtrado de 3 l/s/m². En la tabla 6 se presenta el dimensionamiento del filtro.

Tabla 5. Características de los medios filtrantes y criterios de diseño del filtro.

Medio Filtrante	Dens. (g/cm ³)	Porosidad	Vol 1F (m ³)	Masa 1F (kg)
Arena	2.65	0.45	0.0005	1.20
Antracita	1.6	0.58	0.0115	18.41
CAG	1.4	0.52	0.0085	11.86
Vel Lavado=	60-80	m/hr=	0.01 a 0.02	m/s
Tasa Filtración=	5 a 25	m ³ /m ² /hr=	1.38 a 6.9	l/s/m ²
Vel Filtrado=	3	l/s/m ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Dimensionamiento del filtro descendente para 3 LPS

	Valor	Unidad
Q módulo=	3.0	l/s
No = 1.38 (Q) ^{1/2}	0.08	
No. Filtros	1.0	
Carga superficial=	120	m ³ /m ² /día
Qmed=	3.00	l/s=
Area filtrado=	2.2	m ²
C Vel Filtrado=	1.4	l/s/m ²
Area de Filtro Individual=	2.2	m ²
Diámetro de Tanque Filtro=	1.66	m
Diámetro Nuevo de Tanque Filtro=	1.75	M
Area Nuevo filtro=	2.41	m ²
Nueva velocidad de filtrado	1.2	l/s/m ²
Tirante de agua=	4.1	M
Volumen=	9.9	m ³
Ti del medio de soporte=	1.5	M
Vol Total tanque=	13.47	m ³
Vol medio filtrante=	3.61	m ³
Vol real med filtrante=	1.9	m ³
Vol total agua=	11.61	m ³

Fuente: Elaboración propia.

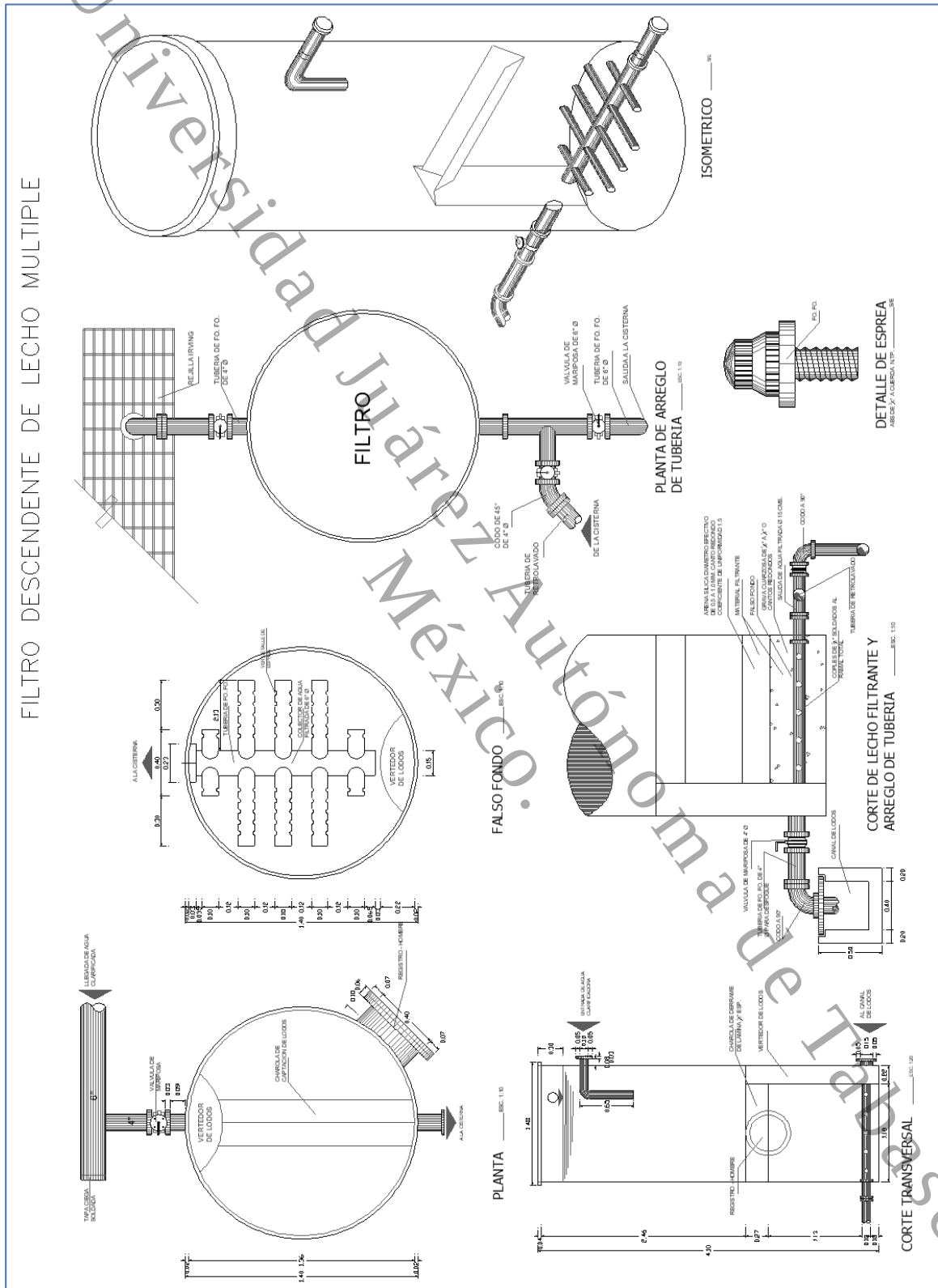


Figura 16. Arreglo funcional e hidráulico del filtro descendente de 3 l/s.
Fuente: Elaboración propia.

Tanque de almacenamiento

La unidad de almacenamiento constará de 2 m de tirante con 10 m de ancho y 15 m de longitud. Se requerirán dos bombas de 11 HP con tubería de succión de 6 in de Ø.

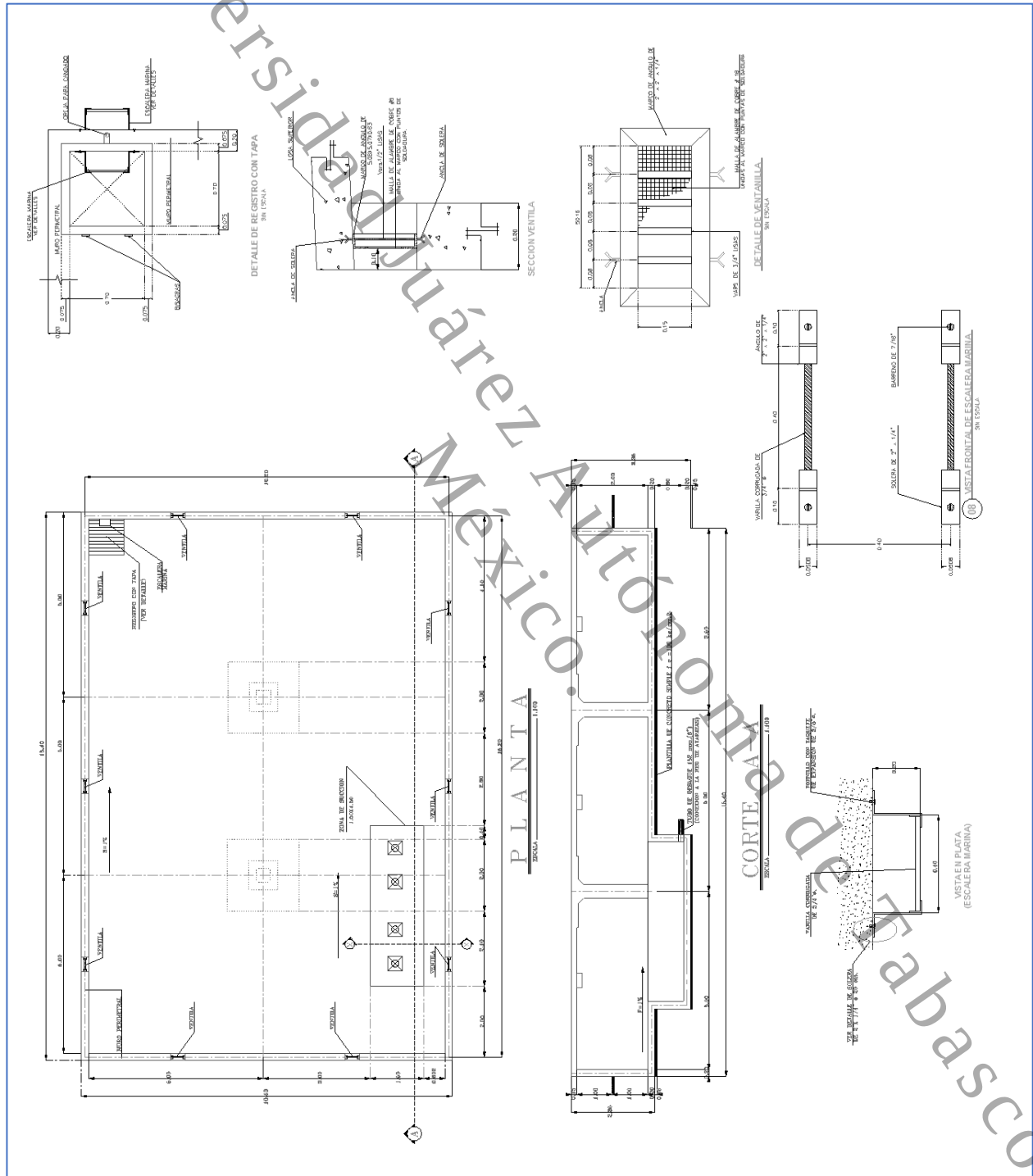


Figura 17. Arreglo funcional e hidráulico del tanque de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia.



Conclusiones

El sistema de captación de agua pluvial prevé un abastecimiento de 3 l/s para la comunidad la Azucena 1ª Sección en el Municipio de Cárdenas, Tabasco. Este gasto será variable durante el año, estará en función a la precipitación beneficiando a 551 habitantes en los próximos 15 años. El sistema podrá operar con dos filtros descendentes de lecho múltiple (arena, antracita y carbón activado granular) y con dos equipos de bombeo en caso de ser necesario para las condiciones críticas.

Recomendaciones

- Los tiempos de operación para cada bomba no deben ser mayor a 12 horas para no forzarlas.
- Operar con gastos de 3 l/s, para cumplir con los tiempos de retención hidráulicos de los filtros.
- Los operadores deben ser capacitados en el manejo del sistema para evitar descontroles y realizar una dosificación correcta del hipoclorito (dosis de 3 a 5 ppm) para cuando el agua se almacene por más de 24 horas.
- Examinar por lo menos cada mes los demás parámetros de la norma NOM-127-SSA1-2021 en el agua que sea suministrada a la población beneficiada.
- Llevar un control de proceso determinando por lo menos los parámetros de control como turbiedad, color, temperatura, pH, SDT y CE.
- El mantenimiento preventivo es útil, por lo que se recomienda que cada 3 a 5 meses se cambie el soporte de filtro y los medios filtrantes, evitando la corrosión del material, el almacenamiento de microorganismos y así prolongar la vida útil del sistema de tratamiento.

Referencias

- Anaya, G. M. 2017. Aprovechamiento de agua de lluvia, Calidad, cantidad y abastecimiento continuo para diversos usos. Colegio de Postgraduados. 274 p.
- Arboleda Valencia J. 2000. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 793 páginas. Santafé de Bogotá Colombia. ISBN 958-41-0012-2 obra completa.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, (CEPIS). 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. OPS/CEPIS/PUB/04.109. <http://www.cepis.ops-oms.org>
- Comisión Nacional de Agua [CONAGUA]. 2019. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada. Libro 24. Recuperado de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro24.pdf>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Valencia-Valencia J. 2007. Optimización de una planta potabilizadora de tipo convencional en Centla, Tabasco. Tesis de Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



CAPITULO V.



5. Conclusiones finales.

Los resultados demuestran que con una filtración básica se reduce un 68.9% de CE, 97.85% de SDT, 98.90 % de turbiedad y 88.68% de color, lo cual la hace factible para el aprovechamiento humano, pues se logra cumplir con los criterios de 3 UNT y 15 UC en agua potable según lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021.

Este sistema experimental demuestra ser una alternativa sustentable para abastecer del líquido vital agua a una familia de cuatro a doce individuos, considerando que en algunos meses no hay suficiente lluvia para abastecer conforme lo establece la OMS.

El sistema de captación comunitario propuesto de agua de lluvia, prevé un abastecimiento de 3 l/s para la comunidad la Azucena 1ª Sección en el Municipio de Cárdenas, Tabasco. Este gasto será variable durante el año pues estará en función a la precipitación y se podrá beneficiar a 551 habitantes por lo menos en los próximos 15 años.

El sistema, por la calidad del agua de abastecimiento, podrá operar con dos filtros descendentes de lecho múltiple (arena, antracita y carbón activado granular) y con dos equipos de bombeo en caso de ser necesario para las condiciones críticas. La dosificación del hipoclorito para la desinfección se recomienda sea de 3 a 5 ppm.



ANEXOS.

6. Memoria Fotográfica.



Figura 18. Limpieza y lavado del techo.



Figura 19. Techo limpio para la captación del agua de lluvia.



Figura 20. Mantenimiento de la techumbre.



Figura 21. Colocación de tanques receptores y tanque de almacenamiento de agua.



Figura 22. Lavado de los materiales filtrantes.



Figura 23. Colocación de malla para retención de sólidos suspendidos.



Figura 24. Colocación de pailería interna del tanque receptor.



Figura 25. Colocación de material filtrante de gravilla, zeolita y arena para el primer sistema de filtración.



Figura 26. Arreglo de la batería de filtros.



Figura 27. Toma de muestras en la batería de filtros.



Figura 28. Determinación analítica de la calidad del agua del efluente.



Figura 29. Equipo Lamotte para determinar turbiedad y color.