



Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán

Izcalli

Organismo Público Descentralizado del Estado de México

***SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL Y SU
APROVECHAMIENTO
TÉSIS***

Maestría en Ingeniería Administrativa

PRESENTA:

Ing. Armando Vázquez González

DIRECTOR DE TÉSIS:

Dra. Ana Luz Alejo Rodríguez

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, diciembre 2024



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



“2024. Año del Bicentenario de la Erección del Estado Libre y Soberano de México”.

Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

Dirección Académica
Subdirección de Apoyo y Desarrollo Académico
Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Cuautitlán Izcalli, Estado de México a 19 de junio de 2024
TESCI/DIDT/145/V/24

DIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
COORDINACIÓN DE POSGRADO

INGENIERO
ARMANDO VÁZQUEZ GONZÁLEZ
P R E S E N T E

Por este conducto me permito informarle que puede proceder a la digitalización del Trabajo de Tesis titulado:

“SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL Y SU APROVECHAMIENTO”

Ya que la comisión encargada de revisar el trabajo que se presenta para efectos de titulación, han dado su autorización conforme a lo estipulado en el Lineamiento para la operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos.

Sin nada más que agregar, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE



DEPTO. DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO

MTRA. ERIKA EMILIA CANTERA
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO
COORDINACIÓN DE POSGRADO



UNIDAD DE
POSGRADO

c.c.p. Archivo
Departamento de Titulación
Expediente del alumno



AGRADECIMIENTO

Desperté en el amanecer del día y en pensamiento, gracias padre dios espiritual por la vida, salud, recibo bendiciones de vida, pensar en actividades del día. Concluir la tesis ha sido un alto, mucho, mucho esfuerzo, comparto este logro con todas las personas que aportaron su conocimiento, tiempo, interés de ayudar con su palabra motivantes y alentando a seguir hasta lograr llegar y cruzar la meta con objetivo logrado. Gracias, queridos admirables hijos e hijas, su aportación tangible e intangible, su fuerza, fortaleza, motivación e inspiración me han hecho ser altamente resiliente. Familiares que aportaron aspectos positivos gracias, amistades que me fortalecieron con palabras de aliento, gracias. A personas que dios les toco el corazón para que me ayudaran, gracias por el apoyo a esta tesis de posgrado maestría a ustedes gracias.

Gracias vida, universo, dios padre espiritual todo poderoso creador de la inteligencia que poseo, de la sabiduría que tengo, de la salud física, mental y espiritual que soy, con ello existo en el todo lo que existe, en este espacio llamado tierra al final logre deducir que me mandaste para ser feliz y tener evolución con emociones como alegría, entusiasmo, motivación y adquirir sentimiento de rectificación y perdón, ser perdonado, con ello traspasar la línea del tiempo entrando al universo de mi mente como mejor persona sabiendo que existo y trascendiendo. Inteligente, capaz, feliz, brillante, fuerte saber quererme a mí mismo mi padre dios espiritual creador de todo lo que existe yo existo ... me quieres, sí, sé que me quieres y mucho. Me has ayudado, desde el universo del todo me ves terminar un grado más de estudios, a mis 60 años para hacer las cosas con maestría el grado estudiado, esto me hace sonreír.... Respirar mucho aire y volver a sonreír saber que las dimensiones de las acciones no se pueden medir y si se pueden sentir eso refleja lo que llamo felicidad de vida. El tiempo es adimensional, relativo hoy trascendiendo con agradecimiento a: Lic. Cinthia Alejandra Vázquez Rocha

Teniente militar: Joan Adriel Vázquez Valencia

Navid Alejandro Vázquez Valencia

Mtra. Úrsula Alejandra Navarro Alvarado

Alfredo Vázquez González

Ing. Franco Pérez

Ing. Enrique Osorio

Ing. Miguel Daza Merino

Mtro. Ramón Pinedo

Amistades que apoyaron gracias.

INDICE

Capítulo 1 Diseño de la investigación	20
1.1 Planteamiento del problema	20
1.2 Definición de planteamiento del problema	23
1.3 Justificación	26
1.4 Hipótesis.....	27
1.5 Variables.....	27
1.5.1 Variable independiente.....	27
1.5.2 Variable dependiente.....	27
1.5.3 Operacionalización de las variables	28
1.6 Objeto de la investigación	28
1.6.1 Objetivo general.....	28
1.6.2 Objetivos específicos.....	29
Capítulo 2 Estado del arte	30
2.1 Captación de agua pluvial.....	30
2.2 Investigación de Hernández Carvajal y Murillo Traslaviña	31
2.3 Investigación de Bejarano.....	33
2.4 Investigación sustentada de Ramírez	34
2.5 Investigación sustentada por Domínguez	35
2.6 Conceptualización de las investigaciones	36
Capítulo 3 Marco teórico.....	38
3.1 Concepto de sistema	38
3.2 Tipos de sistema	38
3.3 Parámetros del sistema	39
3.4 Hidrología	40
3.5 Sistema ciclo - hidrológico	44
3.6 Proceso del ciclo hidrológico.....	47
3.7 Precipitación pluvial	51
3.8 Medición de la precipitación.....	52
3.9 Metodología de la investigación	55
3.10 Elementos del sistema de captación pluvial.....	58
Capítulo 4 Metodología de cálculo del sistema	60
4.1 Análisis esquemático del sistema de captación de agua pluvial	60
4.2 Legislación en materia de agua pluvial	61

4.3	Indicadores nacionales de precipitación pluvial.....	65
4.4	Coefficiente de escurrimiento para el sistema de captación de agua pluvial	71
4.5	Metodología de cálculo normado del sistema en su formulación matemática	72
4.6	Metodología de cálculo matemático normado para captar agua pluvial.....	73
4.7	Metodología de cálculo captación de agua pluvial método empírico.....	78
4.8	Inversión del sistema.....	81
4.9	Metodología de captación y almacenamiento de agua pluvial método empírico	82
4.10	Cálculos financieros por consumo de agua con su unidad de Medida UMA.....	86
4.11	Análisis normativo de pago por consumo de agua	90
Capítulo 5 Resultados y conclusiones.....		96
5.1	Resultados de impacto económico.....	96
5.2	Resultados de impacto ambiental	97
5.3	Resultados de impacto social	98
5.4	Conclusión	99
6	Bibliografía	100

Índice de Figuras

1 PERSPECTIVA DE PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RELACIÓN A LA MEDIA POR ESTADO	25
2 MODELO GENERAL DEL SISTEMA ABIERTO	39
3 CICLO HIDROLÓGICO	45
4 SISTEMA HIDROLÓGICO	47
5 CICLO DE LA GESTIÓN DEL AGUA Y SANEAMIENTO SOSTENIBLE	49
6 PLUVIÓMETROS	54
7 INDICADORES PRECIPITACIÓN NACIONAL ANUAL DEL AÑO 2000-2020	65
8 BALANCE DE AGUA PLUVIAL NORMATIVO	77
9 EMPRESA QUE DESARROLLO SU SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL	79
10 PLANO ISOMÉTRICO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL	80
11 BALANCE DE AGUA PLUVIAL EN LA EMPRESA	86

Índice de tablas

1 DATOS TÉCNICOS DE POZOS PROFUNDOS AÑO 2022	21
2 <i>ÍNDICES DE AUMENTO DE POBLACIÓN</i>	24
3 INVENTARIO DE AGUA EN LA SUPERFICIE ¹ TERRESTRE.....	48
4 CICLO HIDROLÓGICO.....	50
5 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PROCESO CUANTITATIVO	55
6 ENFOQUE CUANTITATIVO.....	56
7 ESQUEMA SISTEMA DE CAPTACIÓN AGUA.....	60
8 PRECIPITACIÓN PLUVIAL NORMAL MENSUAL POR ENTIDAD FEDERATIVA 1971-2000.....	66
9 ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN ANUAL DEL ESTADO DE MÉXICO	67
10 ESTACIÓN METEOROLÓGICA SAN MARTIN OBISPO	68
11 ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL Y ANUAL DE 1990-2023.....	69
12 ÍNDICES ANUALES DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL ANUAL 1990-2023.....	70
13 COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO POR TIPO DE MATERIAL.....	71
14 ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL Y ANUAL.....	73
15 BALANCE DE AGUA PLUVIAL OFERTA Y DEMANDA	76
16 ANÁLISIS FINANCIERO DEL SISTEMA	81
17 PRECIPITACIÓN PLUVIAL ANUAL 2015-2023.....	83
18 BALANCE DE OFERTA Y DEMANDA DE AGUA REAL EN LA EMPRESA.....	85
19 UNIDAD DE MEDIDA Y ACTUALIZACIÓN UMA 2024.	87
20 TARIFA BIMESTRAL INDUSTRIAL.....	88
21 TARIFA MENSUAL.....	88
22 TARIFA BIMESTRAL	89
23 CONSUMO DE AGUA BIMESTRALMENTE NORMATIVO.....	90
24 CONSUMO DE AGUA PLUVIAL BIMESTRAL EMPÍRICO REAL.....	93
25 RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	94

RESUMEN

. La investigación se desarrolla con base en la situación real que se tiene en nuestro país de la escasez y agotamiento del agua dulce que es para consumo humano la cual está siendo agotada por su extracción desmedida de los mantos acuíferos, por la contaminación de acciones humanas, cambios climáticos, disminución de índices de precipitación, crecimiento poblacional, tala de árboles, desarrollos urbanos no planeados, ausencia de regulación de uso y optimización del agua potable con sustentabilidad. El presente estudio resalta tres puntos fundamentales de la problemática, crecimiento poblacional, cambio climático y índice de precipitación esto pone de manifiesto investigaciones que orientan a proponer la captación de agua de lluvia con la implementación de sistemas de captación.

En el desarrollo de la investigación se considera la materia de hidrología, análisis de registros históricos de índices de precipitación a nivel nacional, estatal y regional que conduce a disponer de elementos para desarrollar las metodologías de cálculo estableciendo que el diseño de las metodologías de cálculo es fuente propia del autor aquí establecidas que fue necesario diseñarlas. Esto permite generar la oferta y demanda de agua, los niveles de almacenamiento, balances de abasto y desabasto de acuerdo a precipitaciones pluviales. Así determinar el ahorro en agua captada aplicada a dejar de pagar agua potable equivalente a dejar de consumir la misma mientras hay lluvias.

Esto direcciona a un análisis de costo del sistema de captación que permite realizar el análisis del beneficio del sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia fijando el tiempo de recuperación de la inversión, factibilidad, evaluación de ventajas y desventajas, concluyendo la investigación con la evaluación de la factibilidad y viabilidad del sistema así como el impacto social, económico y ambiental siendo el agua vital para todo ser vivo y que ahora es considerada de seguridad nacional.

SUMMARY

This research is developed based on the real situation in our country regarding the scarcity and depletion of freshwater used for human consumption, which is being exhausted due to excessive extraction from aquifers, human-induced pollution, climate change, decreasing precipitation levels, population growth, deforestation, unplanned urban development, lack of regulation for water uses and absence of the optimization of potable water with sustainability. This study highlights three fundamental points of the problem climate changes, decrease in precipitation rates, population growth and presents research that aims to propose rainwater harvesting through the implementation of collection systems. The development of the research considers the subject of hydrology and the analysis of historical records of precipitation levels at the national, state and regional levels, which leads to the availability of elements for developing calculation methodologies. It's important to mention that the design of these calculation methodology was made by the author this is research and explained in this document. This allows for generating water supply and demand, storage levels, and supply- demand balances according rainfall. Thus determining the saving in collected water applied to stopping the payment for potable water, equivalent to ceasing consumption while it is raining. This directs attention to a cost analysis of the collection system, enabling the evaluation of the benefits of the rainwater collection and use systems, enabling the evaluation of the benefits of the rainwater collection and use systems, determining the payback period of feasibility, evaluation of advantages and disadvantages, completing the investigation with the evaluation of the feasibility and viability of the system as well as the social, economic and environmental impact being vital water for all living beings and that is now considered of national security.

INTRODUCCIÓN

Este tema de investigación nace del conocimiento real que observa el agotamiento del agua para consumo humano y necesidades básicas de la sociedad. Se observa, se escucha y se padece la falta de agua para cubrir necesidades básicas humanas y se proyecta un mensaje claro con señales de que el agua escaseará en lo futuro a nivel de crisis hídricas, que será un líquido que tendrá grandes costos para su obtención y fomentar la vida en todas sus formas.

Se define la problemática y se plantea una alternativa de solución: el captar agua pluvial y se enfoca en una pequeña empresa; al realizar la instalación del sistema, la investigación conduce a plantear las hipótesis, objetivos y la metodología para hacer los cálculos que llevan a obtener resultados y conclusiones.

Es necesario consultar el estado de conocimiento que existe a nivel nacional e internacional en el tema de captación pluvial de lo que se ha hecho en el tema a nivel empresarial y se ha encontrado que es mínima la información en este rubro y saber lo que las empresas han aportado en estas investigaciones y sus sistemas de captación pluvial y usos de esta. Solo se tiene como referencia lo que se ha hecho sobre el tema en instituciones educativas, en sectores domésticos y en áreas de construcción de vivienda con carácter social.

La investigación conduce a plantear los conceptos teóricos generales para conocer y saber cómo implantar sistemas de captación pluvial, ya que los mismos tienen la misma generalidad, aquí lo importante es combinar la ciencia, la técnica para implantar el sistema en una empresa apoyados en los conocimientos teóricos y en las metodologías de cálculo para lograr los objetivos planteados.

Se desarrolla la metodología de cálculo real y se construye el sistema de investigación básica considerando todas las variables dependientes e independientes, entre ellas, el sistema de costeo, índices de precipitación, áreas de captación, capacidad de los recipientes de almacenamiento, sistemas de aprovechamiento y frecuencia pluvial.

Este proyecto pretende presentar el beneficio de la metodología como alternativa viable, que involucre mejoras de economía, rentabilidad, eficiencia, distribución, calidad del agua, técnicas de conservación, sustentabilidad ambiental.

La presente investigación aporta análisis, tales como cobro de agua potable y la inversión de sistemas de captación.

El análisis también incluye el impacto económico, el impacto social y el impacto ambiental derivados de contar con estas soluciones para que beneficie tanto al sector empresarial, como al social.

Capítulo 1 Diseño de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad a nivel local, nacional y mundial existe la problemática real de escases de agua para consumo humano, que es tratada para hacerla potable. Esta agua se obtiene de mantos acuíferos subterráneos, de cuencas, de ríos que todo esto tiene su origen de forma natural en el ciclo hidrológico que permite contar con el vital líquido para consumo humano.

En México el poder ejecutivo y su institución administradora del agua, la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (2006) jerarquiza el tema del agua como un tema estratégico y de seguridad nacional lo que a través del fundamento legal en la Ley de Aguas Nacionales coordinadamente toman el control de la administración, regulación y aplicación de políticas para atender las necesidades básicas de la población, el de tener derecho al agua (p.10). En este contexto se integra gobierno y sociedad fundamentando la problemática y las alternativas de solución en un plan nacional hídrico del país. Las decisiones para soluciones de este tema consideran el estudio de las causas de origen como lo es:

- 1) Demanda de agua por el crecimiento poblacional y mayor desarrollo económico
- 2) Desigual distribución por agotamiento de agua en pozos profundos
- 3) Menor disponibilidad de agua causada por la contaminación
- 4) Consumo, uso inapropiado y bajo cobro de m³ de agua potable.
- 5) Consideraciones naturales como menor precipitación, cambios climáticos

La explotación de este recurso en zonas de alta demanda y su escasa disponibilidad ha causado la sobreexplotación de cuencas mantos acuíferos en consideración que las aguas superficiales actualmente son contaminadas con aguas de drenajes municipales e industriales esta situación causa que ya no se utilice el agua para uso ni consumo humanos siendo causa de envenenamiento de toda forma de vida.

El organismo de agua potable y alcantarillado y saneamiento (2022) tiene la situación de los mantos acuíferos cada vez se están agotando más y se ve reflejado en los pozos profundos en sus rehabilitaciones, la perforación es más profunda siendo los pozos profundos la forma de abastecerse de agua para hacerla potable, los pozos actualmente muestran que sus niveles dinámicos y estáticos descienden lo que prueba que el agua se está agotando siendo necesario perforar el pozo a mayor profundidad para encontrar estos niveles y extraer agua. Siendo de importancia la localización de mantos acuíferos subterráneos en función de la geografía y orografía de la zona y lo que determine el estudio geofísico que realizan los Organismos públicos municipales, la tabla 1 muestra la profundidad de extracción del agua en pozos en zona de estudio en esta investigación.

. Tabla 1

1 Datos técnicos de pozos profundos año 2022

SUBDIRECCION DE OPERACIÓN HIDRAULICA - DATOS TECNICOS DE POZOS								
LONGITUD DE EXCAVACION & NIVEL DINAMICO & LONG. DE SUCCION								
pozo #	PROFUNDIDAD MTS.	POTENCIA HP.	GASTO L.P.S	PRODUCCION ANUAL M3	NIV. ESTATICO MTS.	NIV. DINAMICO MTS.	LONG SUCCIÓN MTS.	FACTOR POTENCIA
1	243.58	110	35	1103760	102	135	154.50	82.6
2	260.49	175	45	1419120	124	153	185.60	90.06
3	215.70	80	25	788400	127.2	131	142.3	77.41
4	227.35	150	33	1040688	128	144	152.50	87.64
5	211.11	60	15	473040	126.5	146	170.7	90.02
6	189.02 N/C.	100	34	1072224	131	147	188	85.23
7	185.7	125	41.00	1292976	122.7	141	168.2	86.74
8	250	85	34.09	1075062.24	109	124	167	94.02
9	244.8	125	35	1103760	119.19	168	179.9	77.06
10	207.55	75	19.55	616528.8	121	168	176.9	86.8
11	183.00	85	30	946080	119	140	176.35	98
12	244	100	25	788400	109	143	156.60	86.51
13	368.30	75	20	630720	107.00	141	210.60	88.06
14	220.69	100	30	946080	115.56	120	160	96.4
15	230.8	125	35.00	1103760	128.85	152	175	76.42
16	290.3	60	17	536112	126	185	225.70	86.8
17	207	150	45	1419120	114	124	136.5	82.07
18	230.20	100	30	946080	128	135	150.90	88.98
19	214	75	22	693792	130	1451	161.6	88.69
20	238.77	125	30	946080	116.75	148	164.7	81.23

Fuente: Organismo público municipal región del estudio, año 2022.

Existe otra situación que es necesario mencionar, es que en la actualidad muchos mantos acuíferos se contaminan con el agua que conducen las redes de los drenajes de las zonas urbanas; de igual manera sucede cuando la minería dirige a los ríos y arroyos las aguas que involucran la extracción de minerales siendo elementos de contaminación.

Encontrar agua del subsuelo con calidad aceptable para consumo humano, así como en cantidad suficiente en gasto, está siendo un tema que adquiere importancia a nivel regional, nacional y global.

Los sistemas de administración de agua locales y nacionales tienen que buscar alternativas para mantener un aprovechamiento sustentable de agua dulce tanto en su captación, distribución, aprovechamiento y consumo, de la misma para hacer este recurso sustentable para nuestros tiempos actuales y de las generaciones futuras.

Sobre este contexto se presenta una problemática con varias facetas, una es la escasez de lluvia, otra es el agotamiento del de los mantos acuíferos (pozos ríos y lagos), la tercera es que no se cuenta con una red de captación pluvial independiente del drenaje que conduce los desechos domésticos e industriales; irracionalmente en la actualidad, el agua de lluvia se está dejando contaminar con las aguas de drenajes.

Esta mezcla de aguas es en potencia una condición incontrolable para su descontaminación y hacer un agua apta para uso y consumo humano. Es alta la inversión necesaria para dar tratamiento a las aguas residuales con el fin de descontaminarla y cumplir con las normas de calidad para consumo humano.

En análisis de la situación que se describe en esta tesis, busca alternativas que permitan la toma de decisiones óptimas que satisfagan la necesidad de contar con agua para uso y consumo humano y que no sea el único procedimiento de obtención del agua los pozos profundos; se deben tener opciones de solución que permitan el abastecimiento de agua por medio de otras formas, una es el aprovechamiento de agua de lluvia para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua dulce.

1.2 Definición de planteamiento del problema

La sociedad pide agua potable que ya se tiene en escases en las cuencas y mantos acuíferos y se refleja en los pozos profundos que se está agotando. Su explotación para abastecimiento está agotándose, de esta forma se tiene que la precipitación pluvial también está disminuyendo, con el paso de los años, el factor tiempo es importante para las generaciones futuras tengan este líquido y en el tiempo actual el agua de lluvia no se aprovecha ni se capta con sistemas que permitan su almacenamiento.

En la actualidad se tiene el problema de falta de abastecimiento de agua potable a la población en general, esto, debido al agotamiento del agua de mantos acuíferos y disminución de lluvias existiendo carencia de agua potable observada en agotamiento, escases, desabasto causas como el cambio climático, contaminación de aguas, extracción desmedida, crecimiento poblacional y ausencia de leyes reguladoras de un óptimo aprovechamiento del agua dulce conducen a investigar para aportar soluciones.

Crecimiento poblacional variable de escases hídrica

Un análisis que se señala la problemática de escases del agua en evaluación se visualiza que una variable de esta situación es el crecimiento poblacional que va consumiendo más agua en la línea de tiempo, áreas poblacionales son suelos de concreto y deforestación. Considerando la variable del crecimiento poblacional y el cambio climático se conduce a la necesidad de la evaluación de la optimización del agua dulce para definir un óptimo aprovechamiento. es básico evaluar brevemente el crecimiento poblacional aun no siendo tema de esta investigación. El crecimiento poblacional está inmerso en análisis de temas de consumo de agua lo que conduce a la necesidad de abastecer agua potable a la sociedad e industria, así que tomando como referencia los municipios a analizar se disponen datos en la tabla 2.

Tabla 2*2 Índices de Aumento de Población*

Crecimiento Poblacional año 2000-2020						
clave	Municipio	Entidad	Población año 2000	Población año 2020	Crecimiento	> Consumo de agua en m ³
15121	Cuautitlán Izcalli.	Edo México	453,298	555,163	101,865	25´466,250
15109	Tultitlán	Edo México.	432,141	516,341	84,200	21´050,000

Nota. Fuente INEGI (2020), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática.

En datos actuales proporcionados por la Comisión del Agua del Estado de México CAEM (2024) en oficio 0114000001/001651/2024, Naucalpan de Juárez estado de México 16-08-2024 y con su referencia del libro de datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado emitido por la Comisión Nacional del Agua en el año 2007, dicha dotación de agua por habitante depende del clima y el tipo de vivienda (nivel de vida) es:

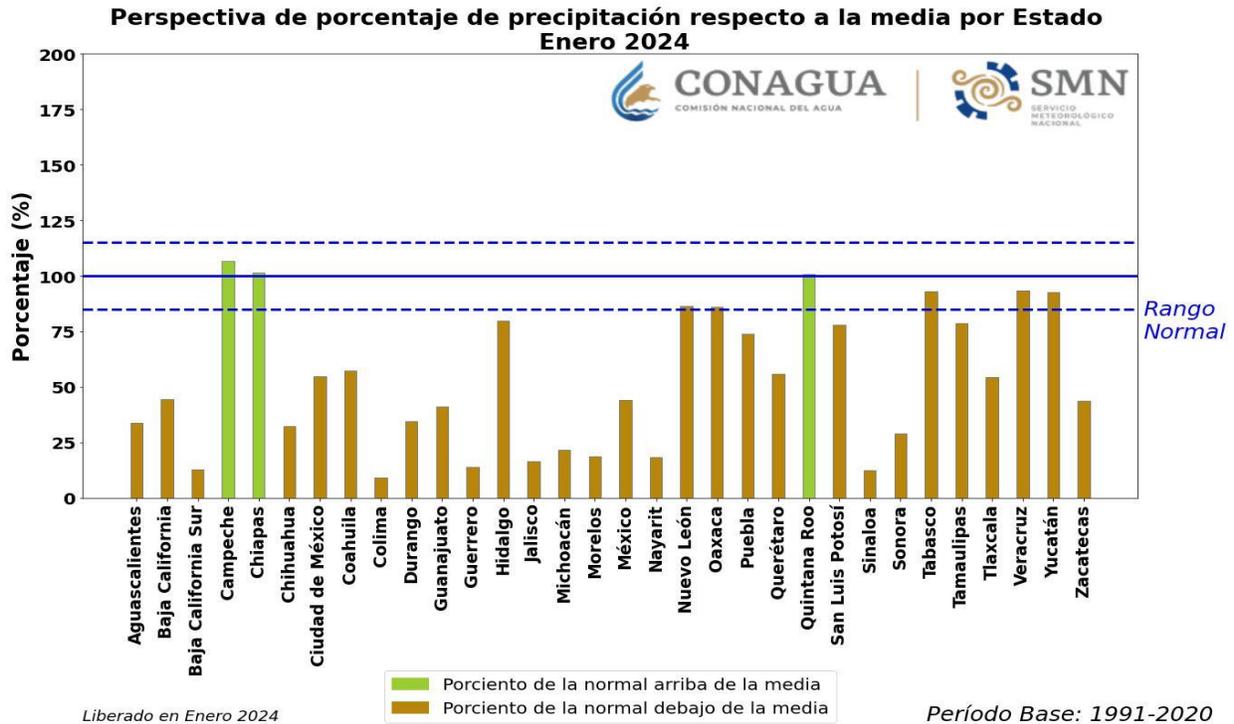
- a) 150 litros/habitante/día
- b) 200 litros/habitante/día
- c) 250 litros/habitante/día

El Municipio de Tultitlan creció poblacionalmente del año 2000-2020, 101,865 habitantes, considerando la dotación de 250 l/hab/día, se requiere de 9,295,181 m³ de agua en ese crecimiento poblacional. Evaluando que los índices de precipitación no aumentan su rango sigue siendo entre 600-700 mm anuales., Sometiendo a análisis variables y rubros como: crecimiento poblacional, índices de precipitación, cambio climático, explotación de mantos acuíferos direccionan a escases hídrica y agotamiento del agua siendo vital el estudio de esta problemática actual.

Precipitación pluvial variable de escasas hídrica

Figura 1

1 Perspectiva de Porcentaje de Precipitación con Relación a la Media por Estado



Nota-Fuente Conagua 2024. El servicio meteorológico nacional en su página <https://smn.conagua.gob.mx/es/contacto> de la comisión del agua, proyecta el periodo base de estudios de 1991 a 2020 y liberado en 2024 los datos de precipitación pluvial por estado que están por debajo de la media.

La variable importante de estudio es la precipitación pluvial su reducción y variación está causando estrés hídrico a nivel nacional de acuerdo con datos de la figura 1 CONAGUA (2024).

1.3 Justificación

Realizar investigación en el tema para tener conocimiento de la ciencia y tecnología de captación de agua pluvial que se aplica a nivel nacional e internacional conduce a evaluar los beneficios y aportar soluciones ante la problemática real que tiene este mundo, en este tema González (2014) manifiesta que es importante conocer lo siguiente:

- a) Sistemas de captación
- b) Tecnologías de captación, a nivel nacional o internacional
- c) Beneficios obtenidos
- d) La responsabilidad social
- e) Abastecimiento
- f) Consumo racional

CONAGUA (2006), plantea el tema del agua como un tema estratégico y de seguridad nacional y direcciona al poder ejecutivo en una política de administración de este recurso, fundamentando la problemática y las alternativas de solución con un plan nacional hídrico del país, considerando tanto en políticas y planes hídricos instrumentos Legales-regulatorios, económicos, tecnológicos y de corresponsabilidad de gobierno y sociedad (p. 7-10)

Es importante concientizar a la población sobre los beneficios derivados de la captación pluvial, sin dejar toda la responsabilidad a los organismos reguladores encargados de la obtención y distribución de agua potable, así como todas las soluciones derivadas de esta condición tan necesaria para la supervivencia.

El conocimiento de tecnologías aplicables para recuperación del agua pluvial ayuda a tomar decisiones que permiten generar el propio autoabastecimiento de agua, ante la necesidad de esta.

Las tecnologías y sistemas de recuperación del agua pluvial permitirán cubrir la necesidad básica de abastecimiento de agua en la sociedad ya que actualmente el sistema de abastecimiento es por extracción de pozos profundos y cuencas lo que permite la distribución en redes de tuberías subterráneas siendo este el único sistema de

captación, almacenamiento y distribución de agua que integrado al proceso de cloración se convierte en un agua potable de consumo humano.

Las plantas de tratamiento de aguas, no la potabilizan, pues sus características solo la hacen apta para jardinería, lavados industriales, uso en retretes y sanitarios similares; por tal motivo en esta tesis no se aborda dicho tema.

En base a lo anterior se plantea lo siguiente:

1. ¿Qué tecnología se pueden utilizar para el uso y aprovechamiento del agua pluvial en las empresas?
2. ¿Qué beneficios se podrán obtener al implementar una tecnología de captación de agua pluvial en la empresa?

1.4 Hipótesis

Ho = La pequeña y mediana empresa no instala sistemas de captación de agua pluvial porque el costo de inversión es alto, la recuperación es a largo plazo y la utilidad económica es intangible.

H1= La pequeña y mediana empresa instala sistemas de captación pluvial porque la inversión no es alta, la recuperación es en corto plazo y significa generación de utilidad económica tangible.

1.5 Variables

1.5.1 Variable independiente

La tecnología es la variable independiente del caso en estudio, ya que el sistema de captación sea grande, complejo o pequeño tiene el mismo fin captar agua pluvial esta es la variable independiente

1.5.2 Variable dependiente

La variable dependiente es la cantidad de precipitación pluvial, que está marcada por la región, la frecuencia de lluvia, la cantidad de área de captación del agua, el volumen

de almacenamientos y las estaciones del año. Esta es la variable dependiente puesto que se depende de condiciones de la naturaleza que no puede manipular el ser humano.

1.5.3 Operacionalización de las variables

En el caso de la variable independiente, que es la tecnología se podrá medir cuantitativamente como la capacidad del sistema de captación, almacenamiento, costo, eficiencia, capacidad, frecuencia de captación y utilización del agua captada.

En el caso de la variable dependiente son las precipitaciones anuales de lluvia en cada región, tal es el caso que podremos cuantificar en proyecciones anuales, mensuales, sus frecuencias, su filtración, así como el volumen de captación con consideración elemental del área proyectada para captar agua.

A mayor dimensión del área, mayor captación y en correlación con la frecuencia de precipitación se tendrá el dato de volúmenes de almacenamiento de agua. A mayor frecuencia de precipitaciones mayor cantidad de agua almacenada, también se debe considerar el consumo de agua para ir vaciando los niveles y generar un ciclo de uso consumo sin tener el agua estática almacenada.

1.6 Objeto de la investigación

La investigación se desarrolla para tener conocimiento de la tecnología, inversión y su beneficio de implementación evaluando los impactos sociales, ambientales y económicos al implementar un sistema de captación de agua pluvial como una alternativa de solución a escases de agua potable.

1.6.1 Objetivo general

Desarrollar la metodología de cálculo en la implementación de un sistema de captación y aprovechamiento de agua pluvial en una empresa con análisis de recuperación de la inversión y beneficio económico, social y ambiental.

1.6.2 Objetivos específicos

- Investigación y desarrollo de la metodología de cálculo de captación de agua.
- Diseño e instalación del sistema en la empresa sus consideraciones técnicas y económicas.
- Análisis de volumen de captación y almacenamiento de agua pluvial de acuerdo con la demanda en la empresa.
- Evaluación de aprovechamiento de agua de lluvia en sanitarios para trabajadores.
- Evaluación del tiempo de la recuperación de la inversión del sistema.

Capítulo 2 Estado del arte

2.1 Captación de agua pluvial

La captación de agua pluvial consiste en aprovechar el agua de las lluvias para recolectarla, limpiarla y usarla para servicios de limpieza adicional en casa o industria. Torres (2019) menciona, esta es una alternativa eficiente ante la escasez de agua potable, la lluvia es su sistema natural es agua limpia que tiene infinidad de aplicaciones que cubren necesidades elementales por ello la importancia de captarla, almacenarla y utilizarla. La implementación de sistemas captación es una vía de desarrollo sostenible. (p. 127)

Con el crecimiento de la población acelerada, la demanda de agua es mayor y la oferta no alcanza para abastecer a la población en zonas rurales y urbanas, de ahí que la escasez del agua hoy en día es un problema serio que debemos atender, llevando a cabo en casa y en empresas soluciones prácticas como recolectar el agua de lluvia, así podemos solucionar en gran medida el desabasto para diferentes actividades: limpieza de exteriores e interiores, servicio de sanitarios, mantener áreas verdes, preservar el medio ambiente, para uso agrícola, riego para el cultivo, abastecer de agua a la ganadería, etc.

Si aprovechamos la captación de agua pluvial, sobre todo en aquellos estados en donde las precipitaciones son frecuentes, se podría solucionar en parte el problema del agua que existe en algunas regiones.

SEDEMA (2020) Dispone las características generales que debe cumplir un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) para abastecimiento de agua a nivel vivienda, así como la metodología de cálculo y las especificaciones técnicas requeridas. (p. 17)

La adopción social de los sistemas de agua de lluvia SCALL, parte de que las respuestas meramente técnicas no garantizan la resolución de los problemas de acceso al agua potable, se requiere involucrar de manera activa a las comunidades y a la sociedad y empresas en todo el proceso de gestión de las alternativas.

Los beneficiarios deben participar aportando sus saberes en la identificación del problema y en el diseño de la tecnología para que ésta sea apropiada; además, de participar en la construcción, operación, mantenimiento y monitoreo de la obra. Las etapas que a continuación se mencionan tienen un enfoque integral que acompaña el proceso de implementación de opciones tecnológicas, activando procesos y fortaleciendo las capacidades de los actores involucrados.

La presentación de tecnologías de recuperación y aprovechamiento de agua implica una alternativa de solución presente para que en lo futuro la sociedad tenga la conciencia de aprovechar el agua pluvial para sus usos elementales y se tenga una proyección de la cultura del cuidado y aprovechamiento del agua.

La investigación sirve para un bien social que atenderá los escasos de agua de manera individual, social y empresarial. Por medio de que la sociedad tenga de tecnología para recuperación del agua pluvial, eligiendo e implementando sistemas, lo que ayuda a resolver el problema con conocimientos de esta necesidad actual.

Lo que a continuación se presenta; obedece al desarrollo de las investigaciones más recientes; contiene las referencias, textos, antecedentes e investigaciones relacionadas al tema de captación de agua pluvial y aprovechamientos en usos domésticos y humanos.

Las poblaciones y muestras corresponden según a lo que se estudia enfocada a personas que generan un consumo de agua por día y se enfocan a cuanto se les puede dotar de agua pluvial en consideración de la región, su precipitación pluvial y sistemas hidrológicos.

2.2 Investigación de Hernández Carvajal y Murillo Traslaviña

Los autores Hernández, K., Murillo, J. (2021) fijan como objetivo formular un estudio de pre factibilidad para el diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en la universidad que permita la disminución de uso de agua potable, dando un aporte al desarrollo sostenible de una Institución. (p. 20-24)

La metodología del proyecto tiene un enfoque metodológico mixto, basándose en estudios sistémicos de la problemática con alcance descriptivo y una vez determinados estos parámetros, se continuará con una valoración del volumen de agua lluvia aprovechable, una evaluación del consumo de agua potable y un análisis dimensional que permite determinar las dimensiones requeridas para el tanque de almacenamiento.

El diseño de la metodología lo basa en investigación de datos de precipitaciones pluviales, área de captación de agua pluvial y dimensionar el sistema de almacenamiento, el método utilizado para dimensionamiento del sistema es el balance de volúmenes de agua ofertada y demandada, obteniendo datos bibliográficos en fuentes. Se señala que la recolección de agua de lluvia es una alternativa más prometedora, ya que puede recolectarse y usar, sin un tratamiento para fines no potables y considerando que la viabilidad económica de estos sistemas no siempre está asegurada. En objetivos específicos se plantea estudios hidrológicos con puntos de captación para cálculo de volumen de captación identificando métodos más adecuados para realizar los cálculos e incluir las variables de investigación. Las variables que considera, el costo del diseño del sistema de captación y aprovechamiento del agua, confiabilidad del sistema y rendimiento del sistema.

Esta investigación analiza el volumen de agua de lluvia partiendo de un análisis pluviométrico de la región y del estudio hidrológico considerando áreas disponibles de captación de agua, precipitación pluvial, análisis de oferta de lluvia y demanda de agua en la unidad seleccionada, se considera una unidad donde acuden 1713 personas, realizando los cálculos lo obtiene un volumen de agua requiriendo un tanque de almacenamiento de 84.95 m³ para cubrir un 64.20 % de demanda de un edificio seleccionado que de acuerdo a la variabilidad de la precipitación mensual es lo que se puede captar en esa área, que requiere una demanda mensual de 128.47 m³.

La demanda del recurso hídrico se determinó, para un edificio y su demanda de agua mensual. Las dimensiones de captación de agua y demanda y factores técnicos de cálculo se establecieron el volumen de captación y geometría del tanque. Tomando en consideración la contextualización que describe el análisis teórico del fundamento del sistema; especifica en sus resultados que es factible la implementación del sistema de

aprovechamiento del agua lluvias para uso sanitario, y se considera el desarrollo de la investigación para futuros proyectos de soluciones alternativas de obtención de agua pluvial.

2.3 Investigación de Bejarano

Bejarano, C., (2023) señala en la Investigación de implementación de un sistema de captación de aguas lluvias en un conjunto residencial mostrando que el cambio climático afecta, proponiendo la sustentabilidad hídrica con prototipos para captar agua de lluvia. (p. 17-19)

El objetivo general es desarrollar análisis literario para la implementación de un sistema de captación y reutilización de aguas lluvias en un conjunto residencial. Sus objetivos específicos analizar, metodologías de captación y reutilización de agua de lluvias, mostrar prototipos y procedimientos que se han desarrollado y revisión de artículos relacionados para captar y reutilizar agua pluvial.

El autor señala que cambio climático ha intensificado las causas de la problemática hídrica, una de principales son los peligros relacionados con el agua, como las crecidas y las sequias, la posible escasez mundial del agua tiene preocupado a los países donde han optado por invertir en diseños y prototipos sostenibles que puedan ayudar a las empresas, industrias, agrícolas y a todas aquellas personas que pueda captar el agua lluvias y puedan reutilizarlas. (Organización Meteorológica Mundial, 2021, p.18)

Se describe el proyecto integrando su metodología investigativa de datos, hechos, libros, investigaciones e información para conocer prototipo, ideas que den conocimiento para captar y reutilizar el agua y destacar los beneficios. Generar conciencia ambiental del agua para las empresas, industrias agrícolas, personas naturales entre otras, dando a conocer múltiples opciones de cómo se puede captar, almacenar y distribuir el agua pluvial mediante prototipos ya diseñados y puesto a prueba, generando una opción de un proyecto de desarrollo sostenible. Considera los factores de área de captación, sistema de filtración, tanque de almacenamiento, y región hidrológica.

Lo que concluye la investigación que un sistema de captación de agua de lluvia es una solución sostenible para las edificaciones de viviendas y para ayudar al medio ambiente, recomendando que el agua de lluvia no es apta para consumo humano, en estos sistemas se debe tener muy en cuenta el sistema de filtración del agua estableciendo que el sistema de distribución de agua por gravedad es el más económico.

2.4 Investigación sustentada de Ramírez

Ramírez E., (2021) En su investigación define el Diseño de un sistema de captación, almacenamiento y tratamiento de aguas de lluvia como alternativa de ahorro de agua potable siendo alternativa de solución sustentable el agua pluvial (p.11)

La investigación puntualiza el objetivo de realizar un sistema de captación, almacenamiento y tratamiento de aguas de lluvias como alternativas de ahorro de agua potable en una institución educativa. Se basa en el método analítico descriptivo y la necesidad de aprovechar fuentes alternativas de los recursos hídricos.

En objetivos específicos considera calcular el área de captación de acuerdo con la infraestructura que dispone, calcular la oferta de agua de acuerdo a la estación pluviométrica del área y dimensionamiento del sistema en base a la oferta y demanda de agua para dimensionar el sistema.

La metodología utilizada es del tipo cuantitativa aplicada, es un proceso secuencial probatorio, la investigación se basa en un diseño documental y proponer el sistema, los resultados brindan alternativa de solución ante el problema de abastecimiento de agua. La población se considera las obras existentes de sistemas semejantes en instituciones educativas en el área y la muestra es la institución educativa en estudio destacando que es nivel primario, alumnos y personal acumulan un total de 35 personas reales y el agua utilizada de este sistema es para servicio de sanitarios. Se señala que esta institución tiene agua potable aun así se presentan problemas de escases de agua, se hace el cálculo del área de captación en los techos obteniendo 226.5 m² de área y en consideración de rugosidad del techo se designa el coeficiente de rugosidad, en la investigación se precisan los índices de precipitación pluvial y calcular los volúmenes de

agua de lluvia de oferta y en el proceso de calcular la demanda lo que permite diseñar el sistema de captación de agua en base a investigación documental y técnica se diseña la infraestructura del sistema. En datos de precipitación anual 815.8 mm el volumen de captación anual es de 147,82 m³. En base a la demanda mensual de agua en la institución se tiene de 13.82 m³ y la oferta es variable mensualmente por la variabilidad de la precipitación, los cálculos para el consumo diario por estudiante son de 14 l/d. conduciendo a calcular un tanque de almacenamiento, aunado a una cisterna de almacenamiento de agua, considerando que se tiene que considerar el sistema con la operación de la red de agua potable.

Se concluye que la instalación del sistema da un ahorro de agua potable al 100% operando en óptimas condiciones el sistema. El área de captación (techos) es viable para captar agua en base a la demanda, el volumen del tanque de almacenamiento es de 15m³ con un tanque elevado de capacidad de 750 litros. La implementación del sistema implica un ahorro económico a largo plazo, sin embargo, generará una inversión inicial considerable. Finalmente, se recomienda realizar una investigación del tipo experimental para determinar la vida útil del agua almacenada en los tanques de almacenamiento de los SCALL, y los posibles métodos de tratamiento para poder regenerar el agua almacenada.

2.5 Investigación sustentada por Domínguez

Domínguez, M., (2022) Expone en la investigación un Sistema de Captación y Tratamiento de Agua de lluvia para una Comunidad Rural en Tabasco, como una alternativa sustentable de solución al desabasto de agua. (p. 6)

En la Investigación se plantea como objetivo diseñar y construir un sistema de captación y aprovechamiento pluvial doméstico, 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 proceso de investigación se desarrolla el diseño de sistemas de filtrado del agua con diversos materiales y métodos para lograr determinar a través de análisis de laboratorio los resultados de la calidad del agua pluvial y determinar para qué

es apta y su uso considerando que cumpla con la norma de salud para alcanzar su potabilidad.

La metodología desarrollada es de tipo cualitativo y cuantitativo. Considerando toda la investigación relacionada al tema de fuentes literarias, artículos científicos, estudios relacionados al tema, sistemas de filtración de agua, pruebas normativas de laboratorio y normatividad aplicable.

En el resultado y relación a lo analizado se concluye que los resultados demuestran que con una filtración básica la hace factible para el aprovechamiento del agua pluvial, pues se logra cumplir con los criterios según lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021 esto es en fase experimental. Se estima que con un sistema de filtración post tratamiento se lograra una remoción de 97% de turbiedad lo que se lleva a fase experimental de analizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos considerando sistemas y método de filtración para alcanzar una calidad para uso y evaluar su consumo humano.

2.6 Conceptualización de las investigaciones

En los documentos de investigación se presentan los objetivos generales y específicos en algunos también se contemplan supuestos, así como en otros su análisis, literario y su método descriptivo y no utilizan hipótesis. Principalmente este tipo de investigaciones se desarrolla el método descriptivo, cualitativo y cuantitativo, investigando en bibliografía, instituciones administrativas del área, tesis, artículos científicos y especialistas en el tema. Todas las investigaciones concluyen con lo planteado con el objetivo de investigación y precisan la factibilidad de implementar sistemas de captación de agua pluvial resaltando que en instituciones en la que acuden miles de estudiantes el aprovechamiento del agua pluvial en sanitarios les de beneficio.

Las variables que fijan todos los estudios son la precipitación pluvial, el área de captación, el sistema de almacenamiento, los volúmenes de almacenamiento, la oferta pluvial y demanda de consumo, la trazabilidad, duración en buen estado, calidad,

beneficios y eficiencia del sistema, así como el ahorro de gasto en consumo de agua potable.

Otros factores importantes para considerar son la captación en zona urbana o rural, índices de precipitación en la región, área de captación que permite definir los volúmenes de agua, considerando que el agua captada requiere un tratamiento para mantener su durabilidad, así como continuar con investigaciones para soluciones hídricas actuales.

La consideración importante que el agua captada requiere un tratamiento para mantener la durabilidad de su buen estado.

Se considera el análisis de considerar la investigación en el sector industrial de una empresa que implemente un sistema de captación de agua pluvial.

Capítulo 3 Marco teórico

3.1 Concepto de sistema

La palabra sistema en términos de Chiavenato (2003). se define como: “conjunto de elementos interdependientes e interactuantes; grupo de unidades combinadas que forman un todo organizado “(p. 773). explica que sistema, es la idea de un conjunto de elementos interconectados para formar un todo que presenta propiedades y características propios que no se encuentran en ninguno de los elementos aislados. Por lo que considerando su concepto se sostiene que un sistema es un todo organizado entre elementos que aportan particularidades entre si formando el sistema.

Von Bertalanffy (1968), define como “sistema es el conjunto de elementos interrelacionados entre sí y con el medio circundante” (p.263) señalando esto como un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas que conducen dos conceptos:

Objetivo o propósito y totalidad o globalidad. define y se tiene uno o varios propósitos u objetivos. Las unidades o elementos definen que se trata de alcanzar un objetivo., globalismo o totalidad cualquier estímulo en cualquier unidad del sistema influirá en todas las demás unidades debido a la relación existente entre ellas. El efecto total de esos cambios o modificaciones se presentará como un ajuste de todo el sistema.

En conceptualización de estas definiciones se comprende como sistema a todos los elementos interdependientes e interactuantes que se integran en un todo que operan de un modo coordinado y eficaz para lograr un objetivo global.

3.2 Tipos de sistema

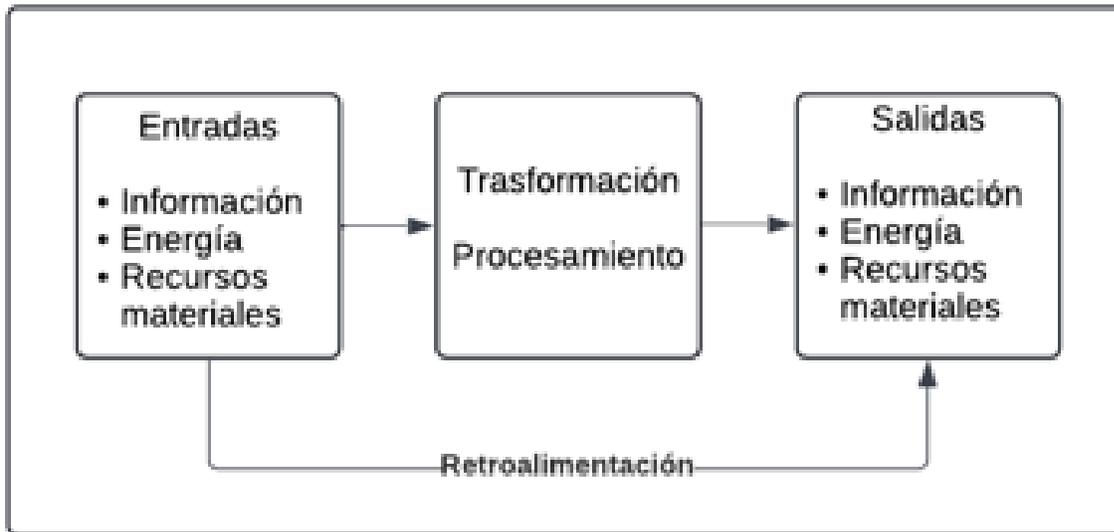
Los sistemas se pueden clasificar de acuerdo con su interacción con el ambiente como:

Sistemas cerrados, son aquellos sistemas que no presentan intercambios con el ambiente que los rodea, pues son herméticos a cualquier influencia ambiental, no reciben influencia del ambiente ni influyen en éste, un ejemplo de ellos son los sistemas mecánicos y equipos.

Los sistemas abiertos presentan relaciones de intercambio con el ambiente a través de entradas como son los insumos y las salidas como es el producto. Los sistemas abiertos intercambian materia y energía con el ambiente continuamente, figura 2.

Figura 2

2 Modelo General del Sistema Abierto



Fuente: Chivavenato,2003

3.3 Parámetros del sistema

La obra desarrollada en el tema de sistemas Chiavenato (2003)., Refuerza los parámetros del sistema como "Entradas o insumo; procesamiento o transformación; salida y retroalimentación" (p.773) se describe que los resultados de operación del sistema deben ser congruentes con el objetivo definido a obtener en el sistema.

El ambiente es un recurso para el sistema, así como una amenaza para su supervivencia siendo el ambiente, el medio que rodea al sistema ambos sistema y ambiente están interrelacionados.

3.1 Hidrología

En definición de Monsalve (1999) define: “La Hidrología versa sobre el agua de la tierra, su existencia, distribución, propiedades físicas-químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos”. Considerando el dominio de la hidrología integra la historia completa del agua sobre la tierra (p. 21).

Villodas (2008) En su definición de Hidrología “El agua es la sustancia más abundante en la tierra el principal constituyente de todos los seres vivos y una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre”. (p.3) Conviene que también es factor clave en la climatización de nuestro planeta para la existencia humana y en el progreso de la civilización.

Correctamente el ciclo hidrológico, analiza las faces o etapas del ciclo del agua desde su evaporación hasta la precipitación. El análisis estudia las formas de evaporación, la formación de nubes, la precipitación, la formación de mantos y caudales acuíferos hasta la infiltración en el subsuelo, de modo que es obtenible un agua dulce en la tierra, vital para todo tipo de vida en nuestro planeta.

Conduce a el análisis de hidrología y sus aplicaciones prácticas en las áreas de:

- Diseño y operación de obras hidráulicas, lo que es diques, presas, embalses, desagües y otros.
- Diseño de obtención (pozos profundos) almacenamiento, distribución y consumo en ciudades como sistemas hidráulicos de agua potable.
- Administración de sistemas de control meteorológico a través de observatorios, satélites y estadísticas, para saber la probabilidad de disponibilidad hídrica.
- Administración, protección, mantenimiento, cuidado de las redes, de equipos y demás facilidades involucradas para agua el óptimo abasto.

Considera que los estudios aplicados a los recursos hídricos se centran en la determinación de las disponibilidades futuras de agua (oferta) que se tendrán en una región determinada y en un período de tiempo dado para un aprovechamiento (demanda)

de beneficio social, desde punto de vista ecológico, hidrológico, legal, administrativo, técnico y económico que determinan su disponibilidad y aprovechamiento.

¿Cómo pueden usarse de mejor manera los recursos hídricos en beneficio de la sociedad? -En consideración a esto es necesario adecuar a las demandas una oferta de agua marcadamente variable tanto en el espacio y en el tiempo como en su estado natural y grado de pureza. Sabiendo que el agua es insuficiente, se debe garantizar su uso y aprovechamiento para los fines que se destina. Para lo anterior resulta necesario contar con instalaciones, obras y administración de ingeniería que hagan posible el aprovechamiento eficiente y óptimo del agua obtenida, para esto, es de importancia realizar balances hídricos y pronósticos de captación de agua.

¿Qué medidas deben adoptarse para protección y sustentabilidad de los recursos hídricos? -Los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos, deben ser permanente y estrictamente vigilados para protegerlos de su degradación y crear su sustentabilidad, lo que requiere un amplio espectro de medidas de orden jurídico-legal, técnico, económico y cultural.

Las capacidades hídricas de disponibilidad de agua dulce se presentan en agua superficial y agua subterránea, que es un componente del ciclo hidrológico de la atmósfera terrestre.

En consideraciones científicas se define una relación de agua dulce que brinda la naturaleza en un lugar determinado estableciéndose de esta forma la oferta de agua dulce que, por proceso de la naturaleza en si misma transforma, crea, proporciona y se define en la superficie terrestre.

En este análisis científico de abundancia o carencia se defiende la oferta de agua dulce en tres formas:

- 1) Oferta potencial
- 2) Oferta efectiva
- 3) Oferta regulada.

Entendiendo que:

Oferta potencial: Se define por la precipitación pluvial o lluvia torrencial y su evaporación, los valores medios de esto en sus tiempos y espacios.

Oferta efectiva del agua: Se respalda en la ocurrencia de la precipitación pluvial en oferta real de agua y los volúmenes de escurrimientos de agua que se proyectan en almacenamientos superficiales y subterráneos.

Oferta regulada de agua: corresponde al agua disponible contenida en forma natural y obras de ingeniería hidrológica con la toma de medidas que corresponden a la captación, almacenamiento, regulación y distribución del agua captada en dichos sistemas.

Las capacidades de potencial hídrico están determinadas en forma natural por si misma en relación con el tiempo, el lugar de interés y el beneficio que se espera obtener. Es de aplicación de las ciencias y de la ingeniería hidrológica obtener este recurso natural de vida para el ser humano.

Se considera en el desarrollo de este análisis, el término de Ingeniería Hidrológica que puntualiza conocimientos de ciencias que se aplican para generación de proyectos de obras integrando regulación, análisis, diseño, construcción, operación y administración de obras destinadas a captación, almacenamiento, distribución y aprovechamiento de este recurso natural.

La hidrología considera en forma amplia varias áreas y una de la principal es la recolección de datos y el método de análisis de la información, se requieren datos fundamentales por la misma característica debido a que las situaciones naturales son cambiantes en cualquier momento y situación imprevista, no controlables de ninguna forma científica, que hacen complicado el razonamiento deductivo riguroso, a lo que se tiene entre las soluciones.

Se debe seguir un patrón de probabilidad y estadísticas de datos históricos en el tiempo, de cambios en la naturaleza de precipitación y escorrentía superficial y subterránea del agua.

En el estudio de la hidrología en lo referente a la recolección y análisis de datos no siempre es posible partir de un principio que se cumpla el resultado hidrológico que se quiere obtener y se refleje en el comportamiento real en la naturaleza. En base a esto se analizan la información, hechos y sucesos en datos de registros históricos y se adoptan principios de eventos que rigen la naturaleza.

En estudios de hidrología se tiene que resolver un complejo sistema de obtención de datos del evento a estudiar. Es importante saber la forma de obtener información con datos fehacientes y reales, así como su precisión y confiabilidad para obtener los resultados que se espera lograr. Los problemas típicos en hidrología implican cálculos de valores extremos que cambian de una muestra a otra, desde obtenerlos en lugares donde no se han hecho estudios de hidrología de ningún tipo, hasta estudios e información desarrollada por investigaciones científicas realizadas y aplicadas en el área con sucesos de eventos reales.

Tal es que cada evento natural es único, puesto que cada relieve terrestre, cada cuenca hidrográfica, cada escorrentía, caudal y dirección son totalmente diferentes en cada momento y espacio. Así la resolución de problemas hidrológicos es única por lo que es conveniente mencionar que la hidrología tiene alto grado de complejidad en su ciencia, análisis y aplicación de estudio como su aplicación y resultados reales.

La administración en aspectos de aplicación de ingeniería hidrológica integra estudios de factibilidad, costeo, validación de sistemas, resultados de impacto, tiempos de utilidad del agua, capacidades, beneficios del abastecimiento y uso, impactos ambientales, impactos sociales e impacto económico., en lo relacionado a proyectos de desarrollo y obras de abastecimiento y suministro de agua dulce para usos y consumo humanos, integra la administración en todas sus formas y factores científicos, técnicos económicos, sociales, políticos, ambientales, comunidad y gobierno.

La Ingeniería Hidrológica utiliza ciencias afines como la meteorología, geología, oceanografía, entre otras para estudios de análisis, diseños, dimensionamientos y capacidades para operación de obras, que es necesario desarrollar en la administración

y aprovechamiento del agua dulce, con objetivo básico de distribución en agua potable de consumo humano y de animales.

Es sustento de estudios de una área y ciencia con otra no están definidos en el estudio de hidrología, la ingeniería hidrológica considera estudios climáticos, caudales hidrológicos, pluviometría, geología, topografía, y información que permita conocer cómo se encuentra un recurso hídrico considerando sus movimientos, capacidades de caudal y flujo.

La ingeniería hidrológica estudia, investiga, analiza la distribución, circulación, propiedades físicas de las aguas subterráneas y superficiales terrestres, así como la forma e intensidad de su precipitación, índices de infiltración el suelo, movimiento a través de la tierra y su retorno a la atmosfera, mares y océanos.

La ingeniería hidrológica no tiene certeza del comportamiento en periodos de tiempo de las precipitaciones pluviales en los ciclos hidrológicos, y la demanda de agua es incierta debido a crecimientos poblacionales y los errores en estimaciones de los parámetros previstos o esperados puede crear problemas en la oferta y demanda de agua y crear inestabilidad en las mismas.

En el análisis para estimar la probabilidad de eventos hidrológicos y la utilización de estas probabilidades en los cálculos de proyectos y obras hidráulicas con fines de abastecimiento de agua dulce constituye el fin de la hidrología aplicada en ingeniería hidrológica.

3.2 Sistema ciclo - hidrológico

Gamez (2009) define el ciclo hidrológico “Es la interminable circulación que siguen las partículas de agua en cualquiera de sus tres estados físicos, cuya circulación efectúa en forma natural teniendo transformaciones físicas.” (p. 14)

Afirma que el ciclo hidrológico es el cambio de estado del agua de solido a líquido, de líquido a gaseoso, estableciendo que el sistema hidrológico es un sistema dinámico.

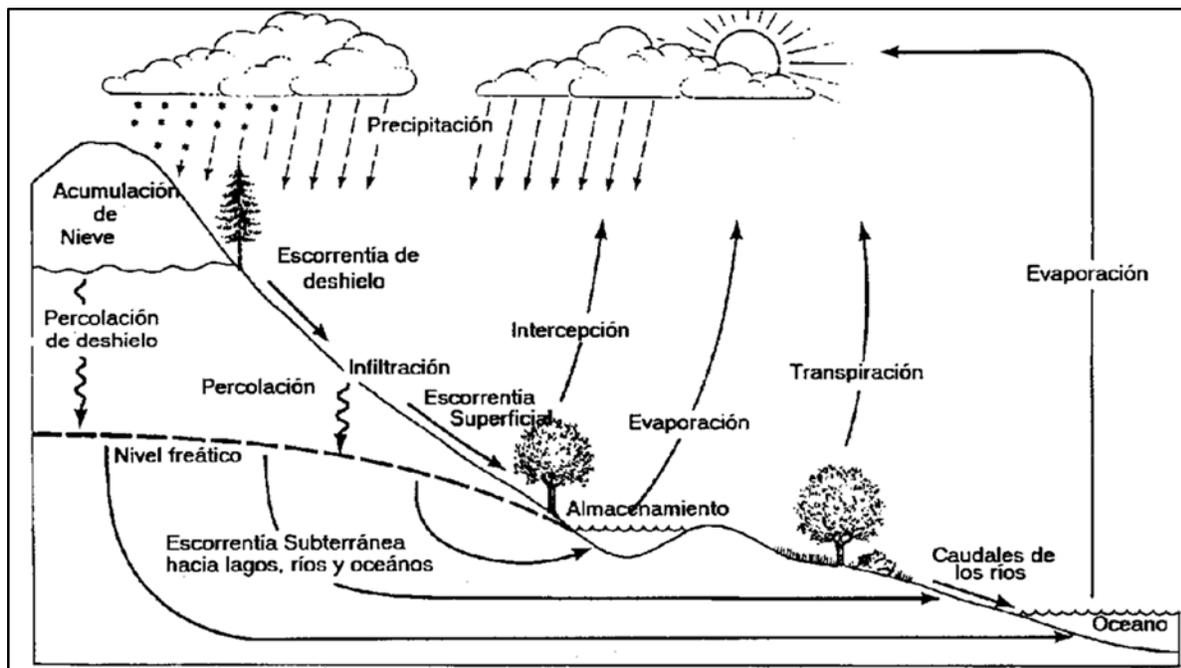
Iniciándose en los mares que es la mayor parte de evaporación del agua que después en sus moléculas se condensan y se efectúa la precipitación que es decantada en la superficie sólida de la tierra, el agua se infiltra y también es en la parte sólida de la tierra como se efectúa el proceso de evaporación para volver al ciclo hidrológico.

Dinámica del ciclo hidrológico que se lleva en tres estratos del sistema terrestre: la atmósfera es la capa gaseosa que envuelve al globo terráqueo, la litosfera que corresponde a la porción sólida de la superficie de la tierra y la hidrosfera está formada por los cuerpos de agua que cubren la parte de la superficie terrestre.

Villodas (2008) Explica el concepto de “Ciclo hidrológico lleva implícito el movimiento o transferencia de masas de agua en la atmosfera sus estados: sólido, líquido o gaseoso de un sitio a otro y de un estado a otro” (p. 8). Explica que el ciclo hidrológico tiene su transformación en la hidrosfera en formas interminables que permiten conocer lo que es el ciclo hidrológico representado en la Fig. 3.

Figura 3

3 Ciclo Hidrológico



Fuente: Villodas, 2008

Se describe que el movimiento permanente en el ciclo hidrológico se fundamenta en dos sistemas:

El primer sistema es el sol que crea la energía para elevar la temperatura del agua en cualquier lugar creándola en su estado de vapor y elevarla por la atmósfera en nubes.

El segundo sistema es la fuerza de gravedad que, al condensarse el agua, ésta se precipita y ya en la superficie terrestre se efectúa la escorrentía e infiltración.

El ciclo hidrológico se inicia cuando una parte de vapor de agua de la atmósfera que proviene de los océanos y superficie terrestre se condensa y da origen a las precipitaciones, no todas las precipitaciones alcanzan la superficie terrestre, en el proceso de precipitación parte de agua es vuelta a vapor y otra es interceptada por la vegetación y regresada en poco tiempo a la atmósfera en forma de vapor.

Una parte del agua que alcanza la superficie del suelo queda retenida en irregularidades del terreno en almacenamiento superficial y otra, circula en la superficie que corre en arroyos que se unen a los ríos y estos conducen el agua a lagos o al mar, que posteriormente se evaporará a la atmósfera o se infiltrará en la superficie terrestre.

En la precipitación una parte de esta no se infiltra al agua subterránea, ya que esta se queda en la zona de humedad del suelo en donde retorna a la atmósfera por evaporación o transpiración de las plantas, lo que se conoce en forma conjunta como evapotranspiración.

El movimiento del agua se efectúa por el movimiento de la tierra y la fuerza de la gravedad para la infiltración, otra parte de agua infiltrada se puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea otras veces, el agua subterránea pasa a formar parte del caudal de los ríos alimentando su cauce a través de manantiales.

Si la precipitación es en forma de nieve esta se fundirá por medio de radiación de calor a lo que corresponde a la equivalencia de lluvia como precipitación y también lo relacionado a la evaporación.

La mayor parte de escorrentía de agua superficial y subterránea terminan en el mar considerando que los mares y océanos, constituyen el punto del proceso del ciclo hidrológico.

3.3 Proceso del ciclo hidrológico

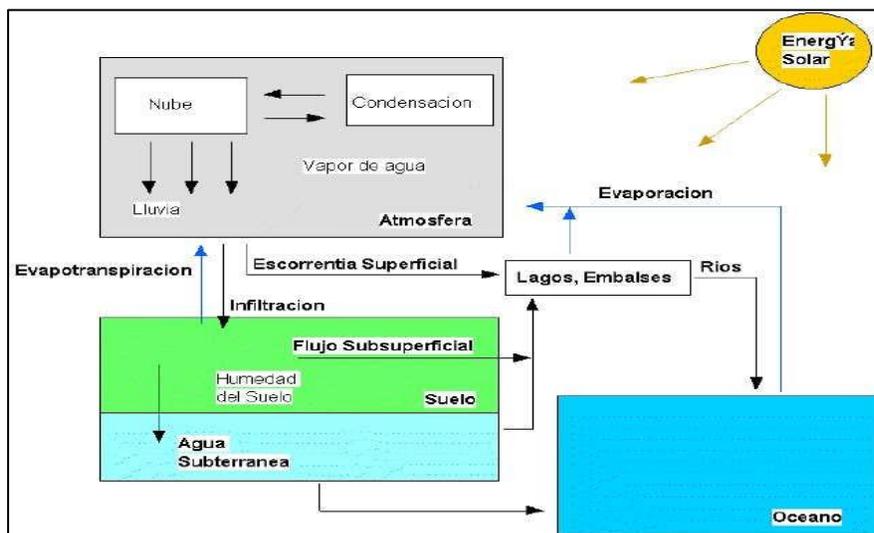
Se considera que el ciclo hidrológico es un proceso continuo que inicia desde la concepción de una partícula de agua evaporada del océano que va transformándose por las fases de dicho proceso, como su precipitación y escorrentía superficial y subterránea vuelve a crearse a sí misma en el océano.

El ciclo hidrológico se caracteriza por su irregularidad en tiempo, forma y espacio en el sistema de precipitaciones pluviales y escorrentía con fases como evaporación, condensación, precipitación, interceptación, infiltración, percolación, escorrentía. Esto se compone de variables como la temperatura, radiación solar, viento, precipitación, contaminación, explotación y aprovechamiento.

El ciclo hidrológico con sus fases se integra como sistema que viene a ser un conjunto de partes diferenciadas e interrelacionadas que actúan como un todo. El ciclo hidrológico es un sistema cuyos componentes se muestran en la figura 4.

Figura 4

4 Sistema Hidrológico



Fuente Silva.

Mosqueira (2020) señala ¿Cómo es posible que el agua, que es la más abundante en la superficie de la tierra, pueda ser tan escasa para el uso humano? – La respuesta es que el agua salada no es apta para el consumo humano.

Podemos señalar que los océanos tienen 4 km de profundidad en promedio y cubren el 72 % de la tierra, siendo un almacenamiento de 97.25% del agua del planeta. El agua dulce se tiene 2.75% que no contiene un alto nivel de sales disueltas, dentro de este último porcentaje el agua dulce continental representa menos del 1 % del volumen total y la mayoría está en depósitos subterráneos.

La recirculación de agua entre océanos, depósitos superficiales y subterráneos se conoce como ciclo hidrológico.

El agua se evapora de los océanos y de la superficie de la tierra y es transportada por masas de aire, el vapor de agua regresa a los océanos y continentes como nieve o lluvia la mayoría del agua de lluvia en los continentes pasa por sedimentos o rocas fragmentadas para formar los depósitos de agua subterránea.

El complemento del agua restante fluye en la superficie de los ríos o vuelve a evaporarse en la atmosfera teniendo así dos fuentes de agua dulce que se pueden utilizar, aguas superficiales y aguas subterráneas.

El agua subterránea se le conoce como mantos acuíferos y es extraída por medio de pozos profundos, la extracción desmedida de agua subterránea está ocasionando su agotamiento, volúmenes de agua dulce se muestran la tabla 3.

Tabla 3

3 Inventario de Agua en la Superficie Terrestre

Almacén	Volumen (10 ⁶ km ³)	Porcentaje del total
Océanos	1370	97.25
Casquetes polares y glaciares	29	2.05
Agua subterránea profunda (750 a 4000 m)	5.3	0.38
Agua subterránea poco profunda (< 750 m)	4.2	0.30

Almacén	Volumen (10 ⁶ km ³)	Porcentaje del total
Lagos	0.125	0.01
Humedad del suelo	0.065	0.005
Atmosfera ²	0.013	0.001
Ríos	0.0017	0.0001
Biosfera	0.0006	0.00004
Total	1408.7	100.00

¹ considerando la superficie hasta 4000 m bajo el nivel del suelo.

² como equivalente líquido del vapor de agua existente en la atmosfera.

Fuente:(Gámez Morales 2009).

Figura 5

5 Ciclo de la gestión del agua y saneamiento sostenible



Fuente: Conagua (2010).

En el ciclo de la gestión del agua la Comisión Nacional del Agua, (2016) declara "Agua renovable se le denomina así a la cantidad máxima de agua que es factible explotar anualmente en un país sin alterar el ecosistema, equivale a la que es renovada por la lluvia." Figura 5.

La administración de las aguas superficiales nacionales de México se divide en 731 cuencas hidrológicas y para aguas nacionales subterráneas se tienen 653 acuíferos.

Acuífero: El agua que se almacena en el subsuelo se guarda en formaciones geológicas denominadas acuíferos. La conservación del agua subterránea depende de que la recarga sea mayor que la extracción, cuando es mayor la extracción que la recarga se considera un acuífero sobreexplotado.

Al año 2015 de los 653 acuíferos en México, 32 tenían suelos salinos o aguas salobres, 18 tenían intrusión de agua salada marina y 105 estaban sobreexplotados, efectivos 498 acuíferos. Lo que infiere en el ciclo hidrológico de cada 100 l de agua de lluvia, 73 regresan a la atmósfera, 21 escurren por ríos y 6 se infiltran en acuíferos esta agua subterránea se extrae por medio de pozos y norias, el ciclo hidrológico base se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

4 Ciclo Hidrológico

Ciclo Hidrológico				
Base	73 l de agua regresan a la atmósfera	21 l corren por ríos y arroyos		6 l de agua se infiltran
100 l				
Consumo de agua del ciclo Hidrológico				
100 l	área de consumo	litros de agua que se obtienen de:		consumo
		aguas superficiales	aguas subterráneas	
	Agropecuario	49	27	76
	Industrial	2	2	4
	centrales térmicas	4	1	5
	uso publico	6	9	15
Total		61	39	100

Abastecimiento público: La disposición de agua potable en cantidad y calidad suficiente, es una condición para la salud y bienestar de la población. En México la provisión del servicio de agua potable está a cargo de los municipios, de cada 100 l de agua empleados en México, 15 litros son empleados en abastecimiento público de estos 15 l provienen de aguas superficiales 6 y 9 de aguas subterráneas visualizando que la

mayor cantidad de agua extraída corresponde a aguas subterráneas que es de pozos y muestra la razón del agotamiento de los mantos acuíferos.

3.4 Precipitación pluvial

Maderey (2005) conceptualiza que “Precipitación de agua caída libre de partículas líquidas o sólidas, fase del ciclo hidrológico que da origen a corrientes de agua superficiales y profundas, su evaluación y conocimiento, tanto en tiempo como en espacio son problemas básicos de hidrología.” (p. 17).

Mencionando el contexto que precipitación pluvial es toda aquella agua meteórica, que se precipita en forma líquida o sólida, provocando un cambio de temperatura o de presión.

Para la ocasionar la precipitación, se requiere la condensación del vapor de agua atmosférica.

Lo que se analiza es que, en la atmosfera, las nubes se forman por el enfriamiento del aire debajo de su punto de saturación, generando un proceso adiabático donde la energía calorífica no se pierde y no se gana, con esto la intensidad y cantidad de precipitación depende del contenido de humedad en el aire y de la velocidad vertical del mismo, así es como este fenómeno natural crea diferentes tipos de precipitación.

Precipitación convectiva: Es la subida rápida de las masas de aire caliente a la atmosfera, las masas de aire caliente suben rápidamente, se enfrían, condensan y precipitan, la precipitación que se genera es tempestuosa, de corta duración (menos de una hora), de intensidad fuerte, con chubascos o tormentas.

Precipitación orográfica.: Su nombre proviene de griego Oros = montaña, esta precipitación tiene relación con barreras topográficas como montañas, tiene su origen en el ascenso de una masa de aire forzado por una barrera montañosa. aquí la precipitación presenta una frecuencia e intensidad regular.

Precipitación ciclónica: Frentes de masas de aire frío que chocan con masas de aire de frentes cálidos, en estas condiciones se generan precipitaciones cortas e intensas. En los frentes fríos, el aire cálido es desplazado violentamente hacia arriba por el aire frío creando nubosidad de gran desarrollo vertical, dando lugar a chubascos que ocasionalmente son muy intensos, así como tormentas y granizo, con frentes cálidos se da lugar a lloviznas continuas y prolongadas.

Así la forma en que llega la precipitación pluvial a la superficie terrestre es en su concepto de precipitación normal y precipitación oculta (detalladas a continuación).

Precipitación normal

- a) El agua cae sobre la superficie terrestre en forma líquida (lluvia, llovizna y chubasco)
- b) Forma sólida amorfa (Granizo)
- c) Forma sólida cristalizada (nieve)
- d) Formas intermedias (nieve granulada, agua nieve, brizna, helada blanca)

Precipitación oculta

- Condensación(rocío)
- Sublimación(escarcha).

3.5 Medición de la precipitación

Maderey (2005) determina que “Las técnicas de valoración y medida de la precipitación se agrupan bajo el nombre de pluviometría, el objeto es obtener datos de gran valor en el balance de intercambio de agua entre la tierra y la atmósfera” (p.21).

Prueba en su análisis que la precipitación se mide por la altura de profundidad de agua que en milímetros alcanza sobre una superficie plana y horizontal de la tierra y donde no se pierde agua por infiltración o evaporación, tal profundidad se mide en milímetros.

Para esto se tiene que realizar la utilización del pluviómetro para la medición de la precipitación pluvial.

Un milímetro de precipitación de agua equivale a un litro de precipitación de agua por metro cuadrado.

Sistemas para medida y registro de cantidades de precipitaciones

Para medir cantidades de precipitación se utilizan:

- Pluviómetros para medir en forma líquida,
- Nivómetros para medir en forma de nieve.
- Totalizadores para sumar los datos anteriores.
- Fluviógrafos para medir precipitación a través del tiempo.
- Radar meteorológico. Para pronosticar fenómenos meteorológicos.

El Pluviómetro ordinario se integra por un recipiente cilíndrico vertical con una exposición de abertura en su parte superior por donde ingresa la precipitación. El cilindro termina en cono y en su parte inferior lleva un regulador o válvula, cuando este regulador se abre la lluvia recolectada cae a un colector graduado.

Los pluviómetros nos permiten medir el agua, la nieve, el granizo y la aguanieve. No es utilizable para rocío y neblina esto escapa de sus mediciones, las partículas de rocío son muy pequeña y no se logra una medición en la escala del colector. El pluviómetro está formado por un depósito cilíndrico terminado en su parte superior con un anillo de bronce y una superficie de 200 cm cuadrados en forma de embudo. En su interior hay otro cilindro más pequeño llamado vaso medidor, cuya boca tiene una superficie 10 veces más pequeña que la del embudo o boca del pluviómetro. Fig. 5. El agua de lluvia captada por la boca del pluviómetro y depositada en el vaso medidor, se mide con una delgada y angosta regla de madera; representando un milímetro de lluvia cada centímetro de la regla, por la relación que hay entre la boca del pluviómetro y la del vaso medidor. La precisión de este instrumento es de 0.1 mm, las lluvias inferiores se consideran inapreciables. Cuando haya llovido se mide a las 7:00 horas. Después de haber realizado la lectura se vacía el agua del vaso medidor, para que pueda medirse la lluvia acumulada del día siguiente.

Componentes del pluviómetro

Boca: consiste en un anillo biselado y cortante de bronce o latón por ser resistente a la corrosión, la finalidad es evitar salpicaduras y que la gota que cae en el borde del

anillo quede partida cayendo dentro del recipiente, esta parte interceptada.es importante en la captación de agua pluvial.

Colector: cilindro que tiene una cámara de aire alrededor para evitar que se caliente el agua captada y disminuir la evaporación.

Embudo es para conducir el agua captada hacia el colector y simultáneamente lo tapa evitando que el agua captada se evapore.

Probeta: en diferentes modelos de pluviómetros se hace la lectura de la precipitación vertiendo el agua recogida por el colector en un recipiente o tubo graduado llamado probeta, y leyendo directamente en ella las unidades de la altura de la precipitación por el nivel que alcanza de agua contenida en la probeta figura 6.

Figura 6

6 Pluviómetros



Fuente: observatorio meteorológico nacional

3.6 Metodología de la investigación

“La Investigación es un conjunto de procesos sistemáticos críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema” Hernández (2014, p. 4) señala en la investigación dos enfoques el cuantitativo y cualitativo. Considerando el enfoque cuantitativo como el proceso, sistemático y probatorio. Donde se genera la idea se acota se generan objetivos y preguntas de investigación, formulando el marco teórico, en el que se analizan las variables y se conduce a metodologías para determinar conclusiones.

En la investigación se contempla como científica cuando es rigurosa, ordenada y exacta. Implica la demostración de hechos, se hace la recolección y análisis de datos para someterlos a riguroso análisis y seguir un método exacto y preciso de investigaciones, generando conocimiento dando solución a problemas o direccionando para enfocarse en más investigación que permita lograr el objetivo de la realidad o visualización como se presenta en la Tabla 5-6.

Tabla 5

5 Metodología de Investigación Proceso Cuantitativo

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN DEL PROCESO CUANTITATIVO	
FASES	CONCEPTOS
1	Idea
2	Planteamiento del problema
3	Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico
4	Visualización del alcance del estudio
5	Elaboración de hipótesis y definición de variables
6	Desarrollo del diseño de investigación
7	Definición y selección de la muestra
8	Recolección de los resultados
9	Análisis de datos
10	Elaboración del reporte de resultados

Fuente: (Hernandez, 2014)

Tabla 6

6 Enfoque Cuantitativo

Enfoque Cuantitativo	Características	Planteamientos enfocados Mide fenómenos Prueba hipótesis y teorías Utiliza estadísticas
	Proceso	Deductivo Secuencial Probatorio Analiza la realidad objetivamente
	Bondades	Generalización de resultados Control sobre fenómenos Replica Predice

Fuente: Hernández, 2014

Analizando el enfoque cuantitativo que mide con precisión las variables de estudio, las características que presenta la investigación cuantitativa que se define como secuencial y probatoria, iniciando con la idea delimitada y acotada, se define objetivos y preguntas de investigación, revisando literatura y construyendo el marco teórico, con planteamiento de preguntas que formulan hipótesis y determinan variables con un plan para probarlas, aplicando en su contexto los métodos para recapitular en conclusiones y resultados.

La investigación exploratoria es base para la descriptiva, correlacional y explicativa que es en lo que consiste la investigación planteada en el tema considerado y en función del conocimiento del tema.

El inicio de la investigación exploratoria en consideración de indagar el tema y área desde nueva perspectiva de llevar una investigación más completa de alguna problemática trazando variables estableciendo bases para investigaciones futuras. En base de conceptos planteados se considera el estudio correlacional base de la investigación en el tema aquí planteado. Poniendo de relieve que se pretende responder preguntas de investigación conociendo el grado de asociación entre conceptos o variables del tema o contexto en particular. En la evaluación del grado de asociación

entre variables se miden, se cuantifican, analizan y se expone su correlación, estas correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a pruebas.

El objetivo del estudio correlacional es conocer el comportamiento de las variables que se miden y evalúan con grande exactitud y su correlación entre estas. El estudio correlacional integra cierta parte del descriptivo que es útil para mostrar con precisión el fenómeno, suceso, contexto o situación específica y estudio explicativo, el estudio explicativo analiza las causas de los hechos o eventos físicos o sociales y responde a estos eventos. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno, en qué condiciones se manifiesta y cómo se robustece la relación de las variables que proporciona un sentido y dirección para entender el área o evento que se estudia.

En el establecimiento de la hipótesis depende del alcance del estudio y muestran lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado que están sujetas a comprobación y verificación de su realidad.

En el contexto de variables es una propiedad de variación que puede medirse y observar, una variable adquiere el valor de investigación científica cuando, llega a relacionarse con otras variables formando parte de una hipótesis o teoría y son constructos o construcciones hipotéticas. Las variables muestran y comparan datos de la realidad de los eventos estudiados. Al operar variables se integra conjunto de procedimientos que conducen al desarrollo de actividades que conducirán a la medición de dichas variables.

La operacionalización de variables se realiza por la asignación al contexto del área estudiada, por la captación de los componentes de las variables, por su confiabilidad, su validación y objetividad.

En consideración la confiabilidad nos producirá datos consistentes y coherentes, la validez es el grado de veracidad que refleja el dominio específico del contenido de la variable que se mide, teniendo en cuenta variables dependientes e independientes y su contexto.

3.7 Elementos del sistema de captación pluvial

Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) son sistemas que integran la operatividad de elementos para captar, conducir, almacenar y distribuir el agua captada de las precipitaciones pluviales considerando uso o aprovechamiento que se le dé, industrial o doméstico.

La precipitación conceptualiza partículas acuosas, líquidas o sólidas cristalizadas que caen de las nubes para hacer contacto con el suelo.

Los sistemas cuentan con:

- Áreas de captación de agua de lluvia
- Sistemas de canalones y tuberías de conducción de agua
- Filtros percoladores para captación de sólidos
- Tanque captador de primeras aguas de lluvia
- Tanque de almacenamiento de agua de lluvia
- Bomba para re bombeo
- Sistemas de almacenamiento y tratamiento
- Servicios diversos
- Componentes adicionales de operación y mantenimiento.

En la edición bibliográfica emitida por la Comisión Nacional del Agua, abril (2016), "Lineamientos técnicos de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda" (p.4-42), formaliza un sustento técnico del SCALL, la metodología de cálculo y sus generalidades.

Área de Captación: Área de forma geométrica regular e irregular que capte agua de las precipitaciones pluviales.

Elemento de conducción: Canales y tubería que recolectan y conducen el agua captada.

Dispositivos de filtración: Elemento ubicado en puntos específicos de la conducción que filtre y evite la entrada de sólidos contaminantes a los sistemas de almacenamiento de agua.

Tanque captador de 1ª aguas: Recipiente o dispositivo captador de las primeras aguas que capta las primeras aguas de la lluvia que contiene sólidos y lluvias ácidas.

Tanque de Almacenamiento: Tanque o cisterna que contiene y almacena el agua de

lluvia captada en el periodo.

Bomba: Dispositivo para bombear el agua del tanque de almacenamiento a un nivel elevado.

Componentes: Partes auxiliares del sistema como válvulas, filtros, etc.

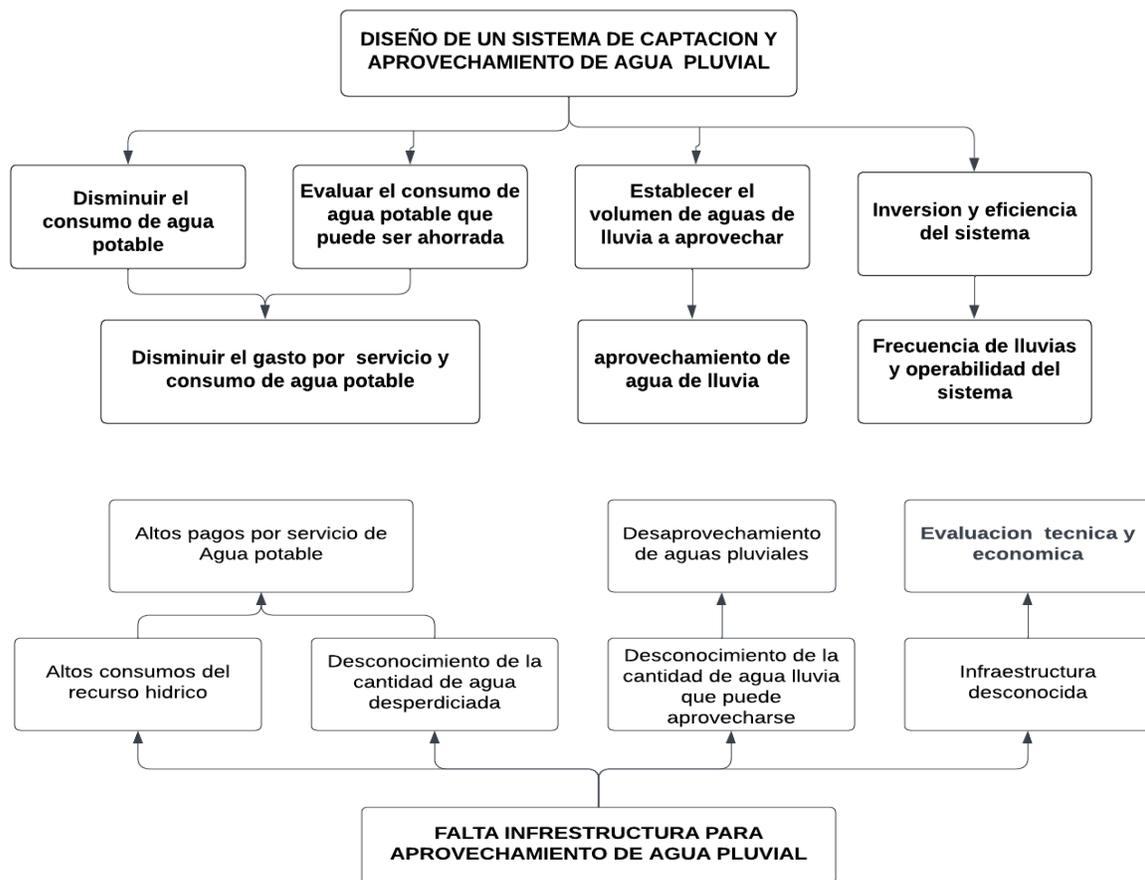
Capítulo 4 Metodología de cálculo del sistema

4.1 Análisis esquemático del sistema de captación de agua pluvial

En este contexto el desarrollo de la investigación conduce a vincular aspectos teóricos, metodológicos, técnicos y científicos presentando un análisis esquemático de elementos a evaluar en materia de captación del agua pluvial para comprender y estudiar los sistemas de captación y hacer el agua aprovechable en uso de sanitarios de una empresa del sector industrial presentando la tabla 7.

Tabla 7

7 Esquema sistema de captación Agua



Hernández & translaviña (2021)

Este análisis permite evaluar el por qué la implementación de un sistema para captar la lluvia.

4.2 Legislación en materia de agua pluvial

La gestión jurídica del agua está establecida en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), publicada en el diario oficial de la federación el 17 de febrero de 1917, Con su última reforma publicada en D.O.F. el 06-06-2023. Título Primero, Capítulo 1, En el artículo 4, párrafo 6 se enlaza el derecho humano al agua:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

En el artículo 27 se manifiesta: son propiedad de la Nación las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fije el Derecho Internacional; las aguas marinas interiores; las de las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar; las de los lagos interiores de formación natural que estén ligados directamente a corrientes constantes; las de los ríos y sus afluentes directos o indirectos, desde el punto del cauce en que se inicien las primeras aguas permanentes, intermitentes o torrenciales, hasta su desembocadura en el mar, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional; las de las corrientes constantes o intermitentes y sus afluentes directos o indirectos, cuando el cauce de aquéllas en toda su extensión o en parte de ellas, sirva de límite al territorio nacional o a dos entidades federativas, o cuando pase de una entidad federativa a otra o cruce la línea divisoria de la República.

Se ha de considerar también la de los lagos, lagunas o esteros cuyos vasos, zonas o riberas, estén cruzadas por líneas divisorias de dos o más entidades o entre la República y un país vecino, o cuando el límite de las riberas sirva de lindero entre dos entidades federativas o a la República con un país vecino; las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, vasos o riberas de los lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional, y las que se extraigan de las minas; y los cauces, lechos

o riberas de los lagos y corrientes interiores en la extensión que fija la ley. Las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando lo exija el interés público o se afecten otros aprovechamientos, el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y definir zonas vedadas, al igual que para las demás aguas de propiedad nacional. Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten las entidades federativas.

El artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos define. Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes, agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales; Es principio fundamental lo establecido en la Constitución y al margen rige la Ley Federal de Aguas Nacionales.

Ley de Aguas Nacionales

En el nivel jerárquico jurídico tenemos la Ley de Aguas Nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 01-12-1999, con última reforma 08-05-2023, que señala puntos relevantes para el caso en estudio en Artículo 3. Para los efectos de esta ley se entiende:

Aguas Nacionales: Son aquellas referidas en el Párrafo Quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Desarrollo Sustentable: En materia de recursos hídricos, es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se fundamenta en las medidas necesarias para la preservación del equilibrio hidrológico, el aprovechamiento y protección de los recursos hídricos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de agua de las generaciones futuras.

Gestión del Agua: Proceso sustentado en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos, derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan para lograr el desarrollo sustentable en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental lo siguiente: (1) el control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende su distribución y administración, (2) la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, y (3) la preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente. La gestión del agua comprende en su totalidad a la administración gubernamental del agua.

Uso Industrial: Es la aplicación de aguas nacionales en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como el agua que se utiliza en parques industriales, calderas, dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aun en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación.

El organismo regulador del agua a nivel nacional es la Comisión Nacional del Agua es un organismo administrativo desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), cuya función es administrar, regular, controlar y proteger las aguas nacionales de México. La secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), tiene como propósito fundamental constituir una política de Estado de protección ambiental, que revierta las tendencias del deterioro ecológico y sienta las bases para un desarrollo sustentable en el país.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), estipula en su capítulo III lo siguiente:

Artículo 9, inciso XXVI. Promover en el ámbito nacional el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, e impulsar el desarrollo de una

cultura del agua que considere a este elemento como recurso vital, escaso y de alto valor económico, social y ambiental, y que contribuya a lograr la gestión integrada de los recursos hídricos;

XLVI. Mejorar y difundir permanentemente en el ámbito nacional el conocimiento sobre la ocurrencia del agua en el ciclo hidrológico, la oferta y demanda de agua, los inventarios de agua, suelo, usos y usuarios y de información pertinente vinculada con el agua y su gestión, con el apoyo que considere necesario, por parte de otras instancias del orden federal, de gobiernos estatales y municipales, así como de usuarios del agua, de organizaciones de la sociedad y de particulares.

La Ley de Aguas del Distrito Federal aprobada en mayo de 2003, señala la captación de agua de lluvia en nuevas edificaciones y promueve la implementación de estos sistemas en todas las construcciones. En su Título Noveno se señala regular, promover, organizar e incentivar la cosecha de agua de lluvia y sus usos en actividades industriales, comerciales y de servicios en congruencia con lo establecido en la ley señalada, así como la planeación de políticas, estrategias y programas en materia de cosecha de agua de lluvias con una política de gestión integral de los recursos hídricos.

En cuanto al sustento de la normatividad relacionada aplicable en la materia de agua pluvial se tiene la siguiente norma oficial de acondicionamiento NOM-127-SSA1-2021 Agua para uso y consumo humano, límites permisibles de la calidad del agua.

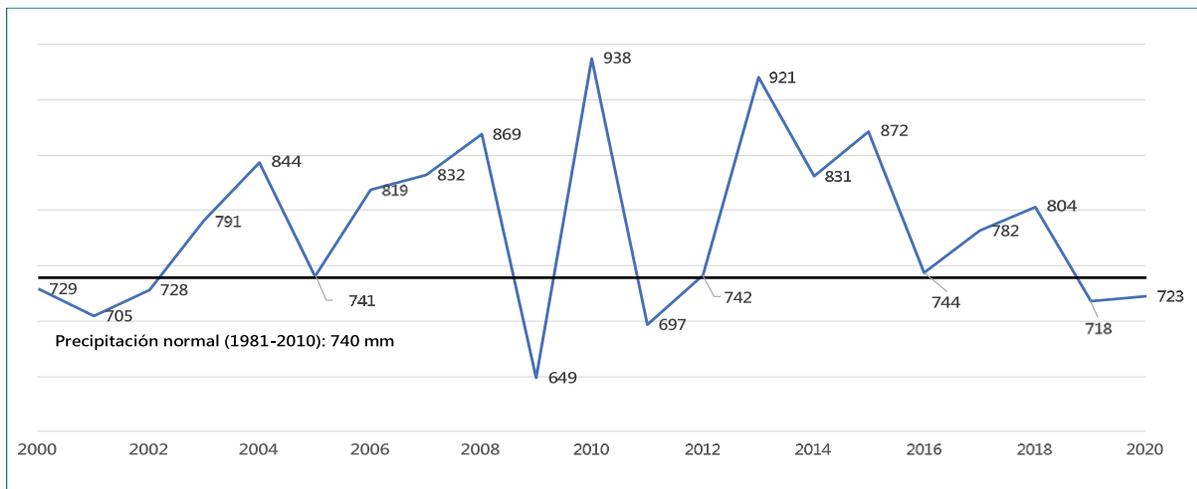
Concluyendo en lo relacionado a el tema legal en materia de captación de agua de lluvia es un tema que está en proceso de legislación a nivel político gubernamental y se carece de legislación específica en la materia. La Ciudad de México presenta el mayor avance en el tema en lo técnico, legal y social, en la legislación a nivel federal en el tema de agua solo se considera el agua de manera general que existe en nivel de superficie terrestre y nivel del subsuelo, esto citado en el artículo 127 de la CPEUM y que ha sido referenciado en este capítulo y es tema de investigación.

4.3 Indicadores nacionales de precipitación pluvial

El indicador es el parámetro o valor que es el patrón de referencia para medir controlar y administrar el agua obtenida en cualquier tiempo y lugar que se dé la precipitación pluvial. En México a nivel Nacional se tiene el indicador actual de precipitaciones del año 2000 a 2020 como se muestran en la figura 7, la precipitación anual en el año 2020 es del valor de 723 mm, dato histórico generado por (Conagua, 2022).

Figura 7

7 Indicadores Precipitación Nacional Anual del año 2000-2020



Nota-Fuente Conagua 2024.

En la edición de estadísticas del agua en México, edición 2008 editado por la secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Comisión Nacional del Agua muestra que la precipitación normal del país en el periodo de 1971-2000 fue de 759.6 milímetros. En la evaluación de indicadores se tiene los valores promedios calculados para un periodo uniforme relativamente largo el cual se considera una muestra de 30 años estos datos aplican a una muestra representativa normal. Evaluando la distribución de precipitación mensual se observa que en los meses de junio a septiembre integran el 68% del total anual de la lluvia concentrándose la curva normal en estos puntos. Direccionando el tema de estudio, el Estado de México capta de precipitación pluvial de 800 a 900 mm anualmente y la región noreste que es la parte más seca y se ubica

municipios de Cuautitlán y Tultitlan captan de 600 a 700 mm de precipitación pluvial anual (sma.edomex.gob.mx). La tabla 8 es recopilación de datos de la precipitación por entidad federativa, categorizando que la distribución normal requiere 30 datos como mínimo para generar un intervalo de confiabilidad aceptable y ver el comportamiento de los datos en la distribución normal.

Tabla 8

8 Precipitación Pluvial Normal Mensual por Entidad Federativa 1971-2000.

Entidad Federativa	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Aguascalientes	18.1	5.7	2.8	7.2	21.1	75.9	130.2	114.7	78.8	35.8	10.8	11.3	512.5
Baja California	30.8	34.6	30.6	7.8	1.7	0.6	3.9	8.0	9.0	10.9	13.5	24.2	175.7
Baja California Sur	15.6	9.1	3.8	0.6	0.6	0.5	14.2	37.0	41.5	12.1	8.9	17.2	161.0
Campeche	48.2	32.3	26.2	33.6	79.3	190.3	174.5	204.3	240.4	166.9	86.4	54.5	1336.8
Coahuila de Zaragoza	14.4	10.2	8.3	16.9	33.4	48.7	54.7	61.4	69.7	33.0	14.1	14.2	379.0
Colima	29.1	3.3	1.5	0.8	13.6	130.7	206.7	217.0	217.2	88.8	27.2	10.5	946.4
Chiapas	40.6	37.5	31.9	51.7	148.1	287.5	229.1	275.3	333.3	191.3	84.9	52.6	1763.9
Chihuahua	17.1	13.7	7.4	7.5	12.3	39.0	113.2	109.0	75.4	30.6	15.9	20.9	462.0
Distrito Federal	9.6	6.6	12.3	29.6	69.2	168.6	194.0	192.3	161.4	73.6	12.9	7.2	937.4
Durango	20.1	7.1	4.7	6.2	13.9	67.4	138.3	136.7	99.5	38.2	18.8	19.7	570.6
Guanajuato	13.0	5.8	5.7	13.7	36.1	101.6	142.4	121.8	96.8	41.2	10.2	8.5	596.8
Guerrero	13.3	4.2	3.7	6.8	45.2	237.7	234.4	245.4	262.5	117.7	16.8	7.3	1195.0
Hidalgo	20.0	17.5	22.2	39.3	67.7	124.5	131.3	119.5	155.7	82.2	32.3	19.6	831.8
Jalisco	22.9	6.4	3.4	4.5	20.6	150.2	224.1	201.0	162.7	64.7	20.5	12.2	893.1
México	13.3	8.1	10.2	23.0	61.9	155.7	176.5	165.7	145.1	66.9	15.5	8.8	850.6
Ocampo	21.8	4.3	4.0	6.9	30.8	157.2	208.6	197.6	175.4	77.7	18.2	8.7	911.1
Morelos	10.8	4.0	5.7	14.8	62.1	211.0	193.8	199.9	187.2	72.5	14.0	5.5	981.4
Nayarit	28.8	8.8	2.2	1.8	9.7	138.1	311.2	315.5	252.5	74.5	23.6	19.2	1185.8
Nuevo León	24.0	16.0	18.4	35.5	64.8	78.1	56.8	79.5	118.7	53.1	20.1	19.5	584.5
Oaxaca	14.3	13.8	12.9	27.8	90.2	225.3	205.9	214.1	223.7	101.6	33.1	19.2	1181.8
Puebla	19.1	17.0	21.4	39.5	83.3	183.6	166.9	160.3	190.6	95.9	35.7	20.7	1034.1
Querétaro Arteaga	15.4	10.2	15.6	27.3	52.6	120.4	133.9	117.7	133.4	60.8	22.4	14.8	724.4
Quintana Roo	53.9	35.2	32.9	44.7	96.8	167.8	155.6	160.4	204.0	144.5	79.5	59.2	1234.4
San Luis Potosí	20.5	10.7	13.0	29.7	59.8	110.8	126.5	98.8	127.0	56.5	19.8	19.3	692.5
Sinaloa	25.3	12.2	6.5	4.2	4.5	43.3	184.0	194.4	136.2	57.7	32.8	29.0	730.1
Sonora	24.5	22.3	13.0	5.2	4.0	14.7	105.4	101.0	53.4	27.2	18.9	31.7	421.2
Tabasco	114.6	101.0	57.4	55.3	107.6	241.2	191.4	242.3	332.3	315.1	194.5	149.3	2102.0

Entidad Federativa	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Tamaulipas	26.1	15.3	19.1	40.0	75.9	116.1	99.4	107.7	145.9	67.2	24.0	26.9	763.6
Tlaxcala	8.0	8.9	15.7	38.5	75.3	130.9	120.8	116.9	107.9	55.1	14.6	7.5	700.0
Veracruz Ignacio de la Llave	53.1	40.1	33.6	43.1	84.2	217.8	250.7	246.4	293.5	178.7	97.9	71.4	1610.6
Yucatán	38.8	29.4	28.1	37.3	80.1	148.3	148.6	152.6	184.5	120.1	54.3	44.5	1066.6
Zacatecas	17.9	6.2	3.2	7.4	21.4	69.4	103.7	99.5	71.8	33.9	12.9	13.7	460.8
Nacional	25.0	17.2	13.6	18.4	41.4	104.4	136.9	139.8	136.4	69.3	30.6	26.5	759.6

Nota. Fuente Conagua, Subdirección General Técnica, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (Estado de México 850.6mm precipitación anual).

En la tabla 9 se muestra la precipitación anual para el estado de México de los años 2010 al 2022, teniendo un indicador de 821.6mm dato emitido por la Comisión Nacional del Agua.

Tabla 9

9 Índices de Precipitación Anual del Estado de México

AÑO	CONAGUA ESTADO DE MEXICO PRECIPITACIÓN PLUVIAL (MM)												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2010	35.1	124.3	0.4	12.3	22.8	89.7	243.7	161.5	114.3	3.8	1.8	0.0	809.7
2011	0.7	0.3	2.2	20.8	24.7	131.9	221.0	116.9	63.5	59.1	16.2	0.3	657.6
2012	3.6	33.6	14.4	9.0	20.1	130.1	180.7	130.9	78.2	14.8	12.5	0.6	628.5
2013	4.1	0.9	7.7	11.9	56.9	124.2	161.1	133.0	221.9	71.7	42.1	7.6	843.0
2014	3.1	2.9	6.1	17.9	111.2	183.5	142.5	134.1	148.2	104.1	11.1	20.0	884.7
2015	1.8	11.4	61.5	15.9	128.7	128.1	141.0	117.0	168.2	57.3	17.5	10.2	858.5
2016	6.7	0.8	27.8	19.0	51.8	113.0	131.9	128.4	113.7	14.6	45.5	2.7	655.9
2017	0.1	1.1	17.0	14.3	86.6	119.7	174.5	209.5	186.3	53.0	3.3	0.1	865.4
2018	11.5	17.5	6.8	41.7	89.5	241.2	112.6	223.9	172.2	112.6	64.5	4.8	1,098.7
2019	4.1	5.8	6.7	7.3	33.3	152.0	181.9	138.5	140.1	133.4	33.5	1.0	837.6
2020	7.8	8.0	16.2	29.3	26.6	115.6	184.2	184.5	150.6	29.2	3.5	3.3	758.9
2021	4.1	0.5	9.9	18.3	78.7	190.3	164.1	179.8	213.6	68.5	4.5	1.5	933.8
2022	11.6	3.3	5.0	36.1	39.0	154.1	178.2	173.7	150.5	69.0	23.2	5.6	849.3
												PROM	821.6

Nota: Conagua 2024, Comportamiento de la lluvia mensual a nivel estatal medida a través de estaciones convencionales y automáticas del año 2010 al 2022.

El índice de precipitación en la presente investigación se obtiene del compendio de agua de la región administrativa XIII, edición 2010, SEMARNAT - Gobierno Federal – CONAGUA, (p. 61). esta zona se conforma por 105 municipios de tres entidades federativas, México, Hidalgo y Tlaxcala y 16 delegaciones de la ciudad de México.

La región XIII se subdivide en dos subregiones; la del valle de México y tula. La subregión del valle de México se compone de 50 municipios del estado de México, 15 de Hidalgo, 4 de Tlaxcala y 16 delegaciones de la CDMX., a nivel nacional la región XIII es la más poblada y de menor extensión territorial y la que mayor enfrenta el problema de sustentabilidad del recurso hídrico. En esta región está integrado el área de estudio los municipios de Tultitlan y Cuautitlán Izcalli estado de México. El registro de precipitación media anual en la región se registra en 640 milímetros a nivel general el recurso hídrico se sostiene porque aprovecha la cuenca alta del rio Cutzamala es de las presas de este sistema que proviene el recurso hídrico para esta región del Estado de México.

Los datos siguientes son proporcionados por el Sistema Meteorológico nacional de la ciudad de México y específicamente aplican para la zona de la región de los municipios de Cuautitlán Izcalli y Tultitlan Estado de México, que es línea de investigación en este estudio y los índices de precipitación pluvial para realizar los cálculos son fundamentales para determinar la cantidad de agua que se podrá captar en la frecuencia de lluvia. La estación meteorológica que genera los datos y aplica, es San Martin Obispo clave 15098, long-ote-99,1928 y lat-norte 19,6217, ubicación en Cuautitlán Izcalli Estado de México, datos verídicos y resguardados por el Sistema Meteorológico Nacional en atencionusuarios.smn@conagua.gob.mx y ventanillaunica.smn@conagua.gob.mx folio de registro de solicitud de datos CGSMN-B00.8-24-000174, Febrero 2024, aquí editados.

Tabla 10

10 Estación Meteorológica San Martin Obispo

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	ESTADO	LONG-OTE	LAT-NTE
15098	SAN MARTIN OBISPO	Cuautitlán	México	-99,1928	19.6217

Nota. Fuente 2023, Observatorio Meteorológico Nacional.

En los datos emitidos por el sistema meteorológico nacional de la estación san Martín obispo que está en la zona de investigación se presentan 33 años (1990-2023), que aporta el índice de precipitación mensual y anual.

La tabla 11 muestra los datos de precipitación de lluvia de 1990-2023., datos con amplitud y confiabilidad de una distribución normal emitidos por el Sistema Meteorológico Nacional y obtenidos de la Estación clave 15098 contigua a esta estación esta la empresa en estudio ubicada en Tultitlan colindando con Cuautitlán Izcalli donde pertenece esta estación meteorológica generadora de datos que son elementales para cálculos matemáticos en esta investigación.

Tabla 11

11 Índices de Precipitación Mensual y Anual de 1990-2023.

Año/mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	2.9	9.3	5.2	26.8	50.6	76.7	199.9	150.5	136.9	89.4	0.0	1.9
1991	6.8	2.0	0.0	3.2	91.3	229.5	203.8	37.0	67.0	92.6	4.4	4.1
1992	31.5	24.8	12.9	10.3	81.7	33.8	100.0	104.3	85.7	147.3	0.0	3.6
1993	5.9	17.4	6.2	9.8	10.9	93.6	137.7	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
1994	0.3	0.0	6.3	18.9	19.3	155.6	204.1	103.6	140.6	77.4	0.0	15.9
1995	14.1	21.0	24.6	5.3	96.5	102.5	93.3	242.5	96.6	23.7	18.2	21.5
1996	0.0	0.0	6.4	19.0	81.1	17.3	143.2	90.5	171.9	150.3	5.8	13.0
1997	0.0	0.0	22.1	58.2	60.3	136.7	91.9	86.8	28.7	38.6	11.5	5.3
1998	7.5	0.0	0.0	0.1	0.0	117.6	71.2	84.2	290.8	127.1	2.1	0.0
1999	0.0	2.0	5.2	11.7	1.8	90.7	134.6	224.8	60.8	37.3	2.3	0.0
2000	0.0	1.3	13.1	10.5	68.3	132.1	59.0	190.4	109.0	27.6	1.6	1.7
2002	11.2	15.2	1.8	24.8	17.4	122.8	139.8	47.5	299.8	101.8	50.3	0.0
2003	0.0	0.0	4.7	16.8	17.8	131.1	152.4	149.5	105.2	92.9	22.3	1.0
2004	16.4	0.0	31.1	312.5	71.8	238.4	100.9	149.5	111.4	20.8	9.5	2.0
2005	8.4	5.2	0.0	2.4	42.6	39.6	138.4	244.7	48.1	76.7	17.7	0.3
2006	6.2	0.0	35.8	22.8	80.6	56.5	157.1	171.8	114.9	93.7	44.5	1.8
2007	6.5	18.4	14.7	34.4	51.8	89.4	224.5	132.5	115.5	67.3	7.4	0.0
2008	0.0	2.0	0.0	50.4	9.7	153.3	102.2	173.8	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
2009	14.4	0.0	2.7	0.0	78.3	94.5	96.4	149.8	210.2	112.1	0.0	0.0
2010	26.0	69.1	0.0	31.1	9.4	93.6	170.9	75.8	112.2	#N/A	#N/A	#N/A
2011	0.0	5.0	0.1	56.1	8.4	144.6	233.4	147.5	43.4	42.5	15.9	0.0
2012	15.5	35.6	9.8	43.5	23.4	130.5	279.9	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
2013	0.8	0.2	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
2014	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	71.4	247.1	114.8	86.7	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
2015	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	89.4	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
2016	9.6	1.5	5.5	16.7	#N/A	140.7	208.0	125.5	143.2	14.9	55.6	0.0
2017	#N/A	6.3	29.5	138.7	46.2	107.3	175.0	182.8	114.3	15.7	0.4	0.0
2018	4.5	15.1	51.9	56.8	93.7	172.4	108.5	214.8	147.3	95.6	63.3	8.2
2019	0.0	4.5	20.2	8.6	#N/A	#N/A	131.7	90.1	40.1	147.2	7.9	0.0
2020	4.8	0.2	#N/A	#N/A	#N/A	57.2	93.5	140.3	54.3	6.9	0.0	11.7
2021	12.8	0.1	5.0	5.9	62.7	161.8	129.2	136.7	122.5	40.9	#N/A	#N/A
2022	7.0	1.7	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
2023	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PROMEDIO	7.3	8.0	10.6	31.8	46.0	117.2	133.4	125.8	106.0	57.7	10.7	3.6

Nota. Valores en milímetros

En la tabla 12 se muestra los índices de precipitación anual que tiene registrado el observatorio del Sistema Meteorológico Nacional estación 15098, que son base para determinar el valor de precipitación promedio y desarrollar la metodología de cálculo, el dato reflejado promedio de precipitación anual de 1990-2023 es de 671.0mm

Tabla 12

12 Índices Anuales de Precipitación Pluvial Anual 1990-2023.

Año	Precipitación anual						
1990	750.2	1999	571.4	2008	491.4	2017	816.6
1991	741.8	2000	614.7	2009	758.4	2018	1032.1
1992	636.0	2001	# N/A	2010	588.1	2019	450.3
1993	281.6	2002	832.5	2011	696.9	2020	368.9
1994	742.1	2003	693.7	2012	538.2	2021	677.6
1995	760.0	2004	1064.3	2013	# N/A	2022	# N/A
1996	698.6	2005	624.1	2014	520.0	2023	# N/A
1997	540.2	2006	785.7	2015	# N/A		
1998	700.8	2007	762.5	2016	721.2		

Nota. Datos del Sistema Meteorológico Nacional, precipitación en milímetros.

4.4 Coeficiente de escurrimiento para el sistema de captación de agua pluvial

El procedimiento está basado en el análisis cuantitativo considerando en su análisis descriptivo y normativo es básico referenciar el parámetro adimensional denominado coeficiente de escurrimiento y este aplica para el escurrimiento del agua a través del techo o área de captación que se elija y en función de la superficie sea lisa o rugosa se selecciona el valor de escurrimiento del agua. Es importante considerar que en cálculos de más exactitud se calcula la pendiente del escurrimiento para saber la velocidad de caída del agua y calcular los canales de escurrimiento y diámetros de la tubería en relación al gasto del agua y flujo hacia el depósito de almacenamiento evitar desbordamiento o rompimiento de tubería del sistema a causa del alto gasto. El coeficiente de escurrimiento, adimensional se elige por el tipo de material del techo, para la empresa estudiada el techo es de cubierta metálica siendo su coeficiente (C_e) de 0.95. Los valores de este coeficiente se citan en la norma NMX-AA164-SCFI-2013, (Norma de Secretaría de Economía, 2013) Presentados en la tabla número 13.

Tabla 13

13 Coeficientes de escurrimiento por tipo de material

Material o tipo de construcción	Coeficiente (C_e)
Cubiertas metálicas o plásticas	0.95
Techos impermeabilizados o cubiertos con material duro (p. ej. Tejas)	0.9
Concretó hidráulico	0.9
Calles asfaltadas	0.85
Lámina corrugada	0.8
Adoquinado o empedrado con cemento	0.75
Terrazas	0.6
Adoquín sin juntear	0.6
Terracerías	0.4

Nota. Coeficientes para cálculo de volúmenes tanque

4.5 Metodología de cálculo normado del sistema en su formulación matemática

El procedimiento por seguir está basado en el documento Guía Técnica para el Diseño de un Sistema de Captación de Agua Pluvial a Nivel Vivienda, versión 3.1 enero 2024, emitido por la Comisión Nacional del Agua. En aplicación del procedimiento señalado en la guía técnica y la metodología que se desarrolla en esta investigación se conviene lo siguiente:

- 1) Declarar la cantidad de agua que tiene derecho de dotación un trabajador en una industria establecido por la Comisión del Agua del estado de México (CAEM) con consideración de variabilidad.

Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (100 litros/trabajador/día, 30 litros/trabajador/día)

Libro datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado emitido por la (CONAGUA) año 2007 (100litros/trabajador/día, 40 litros/trabajador/día)

- 2) Disponer de los registros de precipitaciones pluviales de la zona en investigación generados por la (CONAGUA) y el Sistema Meteorológico Nacional, efectuar el análisis.
- 3) Definir el coeficiente de escurrimiento en base a la norma NMX-AA-164-SCFI-2013.
- 4) Desarrollar el análisis de diseño de operación del sistema y depósitos de almacenamiento de agua pluvial.
- 5) Aplicación de fórmulas de cálculo en base a la metodología establecida en las normas técnicas.

Guía técnica para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial a nivel vivienda, versión 3.1, enero 2024.

Lineamientos técnicos: sistemas de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda, abril 2016 versión 1.0

Norma técnica complementaria para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas, punto 2.6, IV, tabla 2-13, p. 37.

4.6 Metodología de cálculo matemático normado para captar agua pluvial

Se realiza la investigación respecto a los datos hidrológicos de la zona de interés, por lo que se obtuvieron los datos de la estación de San Martín Obispo del municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, la cual se encuentra en las coordenadas longitud-oriental -99.1928, latitud-norte 19.6217, los datos obtenidos son los siguientes el valor mensual corresponde de la tabla 11 y anual de tabla 12, proyectados en la tabla 14.

Tabla 14

14 Índices de Precipitación Mensual y anual.

Año/mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PROMEDIO (1990-2023)	7.3	8.0	10.6	31.8	46.0	117.2	133.4	125.8	106.0	57.7	10.7	3.6

Año	Lluvia $\overline{h_p}_{\text{anual}}$
1990-2023	671.0 mm

Nota: Índice de precipitación anual obtenido de la tabla 10.

La empresa es de área metalmeccánica, no utiliza agua en sus procesos de producción, integra 20 trabajadores, el coeficiente de escurrimiento es de 0.95 para techo de lámina metálica, se selecciona la utilización de 100 litros/trabajador/día de consumo de agua considerando baños de regaderas esta es la cantidad de agua normado por la CAEM para el caso de la empresa industria.

En la guía técnica referenciada señala las aplicaciones de las siguientes fórmulas de cálculo matemáticos para determinar los volúmenes de lluvia mensual, anual y al final determinar la capacidad del tanque de almacenamiento. El dato base es el promedio de lluvia y para el caso es de 671.0 mm de lluvia anual, que direcciona a obtener el dimensionamiento del tanque por lo que se utilizan las siguientes formulas:

$$V_t = \frac{C_e \overline{h_p}_{\text{anual}} A}{1000} \quad (1)$$

Donde:

V_t = Volumen inicial del tanque, en m^3

C_e = Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

$\overline{hp}_{\text{anual}}$ = Altura de precipitación anual, en mm

A = Área de captación, en m².

Los valores aplicables son los siguientes:

Ce = 0.95, Coeficiente de escurrimiento por ser lámina metálica.

$\overline{hp}_{\text{anual}}$ = 671.0 mm precipitación anual.

A = 800 m²

Para el área de captación se tomará el techo de captación, sus dimensiones son 20.00 m de ancho x 40.00 m de largo, por lo que tenemos un área total de 800 m².

Sustituyendo los valores en la formula (1), nos queda:

$$V_t = \frac{0.95 \cdot 671.0 \cdot 800}{1000} = 510.0 \text{ m}^3$$

Este es el volumen de captación anual para el diseño del tanque de almacenamiento.

Cálculo del comportamiento del almacenamiento a lo largo del tiempo, ya que, durante el año, la precipitación es variante, a partir de ello se obtendrá un balance de líquido a lo largo de los meses. Tomando los datos de la precipitación del mes con mayor precipitación este es julio con un indicador de 133.4 mm mensual promedio. Por lo que se aplica la siguiente formula:

$$V_{c_n} = \frac{C_e \overline{hp}_n A}{1000} \quad (2)$$

Donde:

V_{c_n} = Volumen de captación del mes n, en m³.

Ce = Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

\overline{hp}_n = Altura de precipitación del mes n, en mm.

A = Área de captación en m².

Los valores a sustituir en la formula son los siguientes:

Ce = 0.95

\overline{hp}_n = 133.4 mm precipitación mensual, mes de Julio.

A = 800 m² área de captación

Sustituyendo los valores

$$Vc_n = \frac{0.95 * 133.4 * 800}{1000} = 101.3 \text{ m}^3$$

Este es el volumen mensual captado para su almacenamiento u de otra forma oferta de lluvia.

A continuación, se calcula la cantidad de agua que requiere una persona que trabaja en la empresa para satisfacer en un mes.

$$V_{Dn} = \frac{C_a \cdot O_v \cdot D_{m_n}}{1000} \quad (3)$$

Donde:

V_{Dn} = Volumen de demanda del mes n, en m^3

C_a = Consumo de agua, en litros/trabajador/día.

O_v = Ocupación en la empresa o lugar en número de trabajadores.

D_{m_n} = Días laborables del mes n.

Valores de cálculo:

C_a = 100 litros/trabajador/día.

O_v = 20 trabajadores.

D_{m_n} = 25 Días laborables.

Los valores referenciados en el cálculo son:

La dotación de agua para una persona en la industria es de 100 l/trabajador/día según tabla 2-13 de la Norma técnica complementaria de instalaciones hidráulicas, equivalente a lo establecido por CONAGUA y CAEM.

O_v : La ocupación es servicio a la industria.

D_{m_n} : el mes de julio cuenta con 31 días (selección de días laborables).

Sustituyendo los valores en la formula

$$V_{Dn} = \frac{100 * 20 * 25}{1000} = 50.0 \text{ m}^3$$

El agua que consumen en la empresa 20 trabajadores en el mes de julio son 50.0 m³, que equivalente a la demanda de agua para sanitarios.

Calculando el volumen de almacenamiento del mes anterior.

$$V_{C_{n-1}} = \frac{C_e \overline{hp_{n-1}} A}{1000}$$

$$V_{C_{n-1}} = \frac{0.95 * 117.2 * 800}{1000} = 89.7 \text{ m}^3 \text{ mes de junio}$$

Comparativa de oferta y demanda de agua pluvial en los dos meses de > precipitación.

$$V_{C_{n-1}} + V_{C_n} - V_{D_n}$$

Oferta Junio + Oferta Julio – Demanda en el mes

Volumen real para la mayor precipitación en el año, considerando los datos de rango en años 1990-2023, permite saber el volumen del tanque que se captara el agua pluvial sin rebosamiento, cubriendo la demanda.

$$89.7 + 101.3 - 50.00 = 141.0 \text{ m}^3 \text{ comparación } V_t = 510 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque debe ser mayor a 141.0 m³

$$141.0 \text{ m}^3 < V_t = 509.9 \text{ m}^3$$

Al almacenar 141.0 m³ las dimensiones de la cisterna son 7.5 m x 7.5 m x 2.5 m que cubre este volumen. Con este análisis se concluye en calculo normativo de aplicación de fórmulas en sustento a lo normado por la CAEM Y CONAGUA., de asignación de litros de agua a un trabajador en la industria siendo concentrados los cálculos en la tabla 15.

Tabla 15

15 Balance de agua pluvial oferta y demanda

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Índice ¹	7.3	8.0	10.6	31.8	46.0	117.2	133.4	125.8	106	57.7	10.7	3.6
Oferta ²	5.5	6.0	8.0	24.1	34.9	89.0	101.3	95.6	80.5	43.8	8.1	2.7
Demanda ³	48	44	46	48	48	44	50	48	44	50	46	46
Días/labor ⁴	24	22	23	24	24	22	25	24	22	25	23	23
Balance ⁵	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
	42.5	38	38	23.9	13.1	45.0	51.3	47.6	36.5	6.2	47.9	43.3

Nota. Índice en mm, oferta y demanda en m3, (días laborables/mes).

¹ Índice de precipitación promedio del año 1990-2023.

² aplicación de la fórmula 2

³ aplicación de la fórmula 3

⁴ días laborables en la empresa

⁵ diferencia entre oferta y demanda (–desabasto / +abastecimiento).

Calculando la oferta y demanda mensual se genera la tabla 15 en correlación figura 8.

Oferta = coeficiente de escurrimiento x índice de precipitación x área de captación/1000.

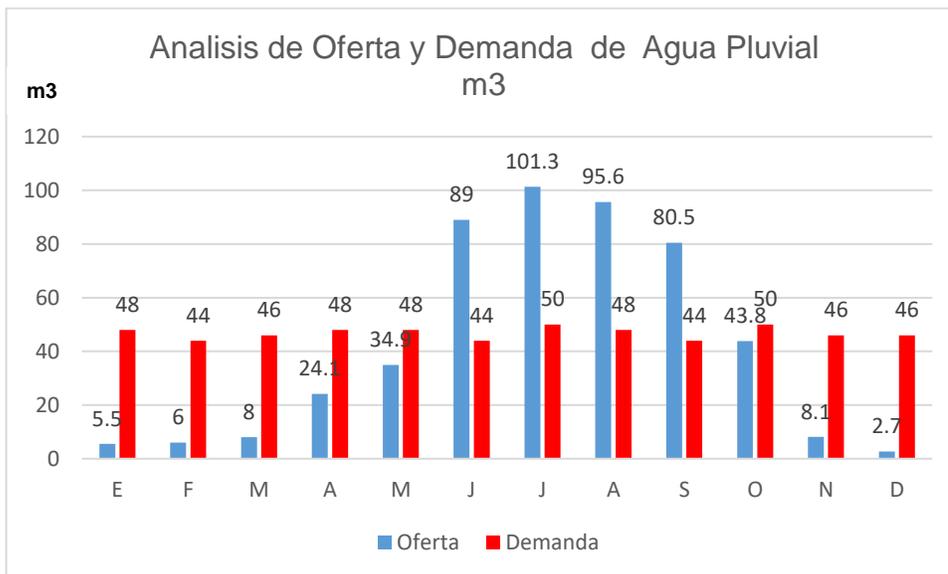
Demanda = litros de agua normativos x # de trabajadores x días laborables/1000

Balance = diferencia entre oferta y demanda

Resultado proyectado la oferta de agua pluvial no cubre la demanda en la empresa por lo que se tendrá que considerar la investigación del tiempo de conservación del agua y su dosificación.

Figura 8

8 Balance de Agua Pluvial Normativo



4.7 Metodología de cálculo captación de agua pluvial método empírico

El método empírico es un modelo de investigación que se basa en la observación, medición, experimentación de la realidad para obtener conocimiento de hechos reales de su interacción con el entorno, responde a aspectos prácticos y teóricos fundamentales para el conocimiento científico en la investigación el procedimiento está basado en el análisis cuantitativo considerando el análisis descriptivo y normativo.

El estudio se efectúa en una empresa del área metalmecánica de corte y dobles de placa y lamina se desarrolló el sistema de captación de agua pluvial considerando la carencia de agua y en esta necesidad se decidió implementar el sistema de captación.

Datos generales

Tipo de empresa; metalmecánica corte y dobles de lámina.

Ubicación: Tultitlan estado de México

Número de trabajadores: 20 personas

Horario de trabajo; diurno, 5.5 días por semana

Área del techo de captacion:800 m² (20m x 40m)

Altura del techo 10.20 m (vértice central a la base del triángulo 1.20 m)

Techo de dos aguas en lámina acanalada pintor.

Empresa que aporta colaboración para el tema fig. 9-10.

Figura 9

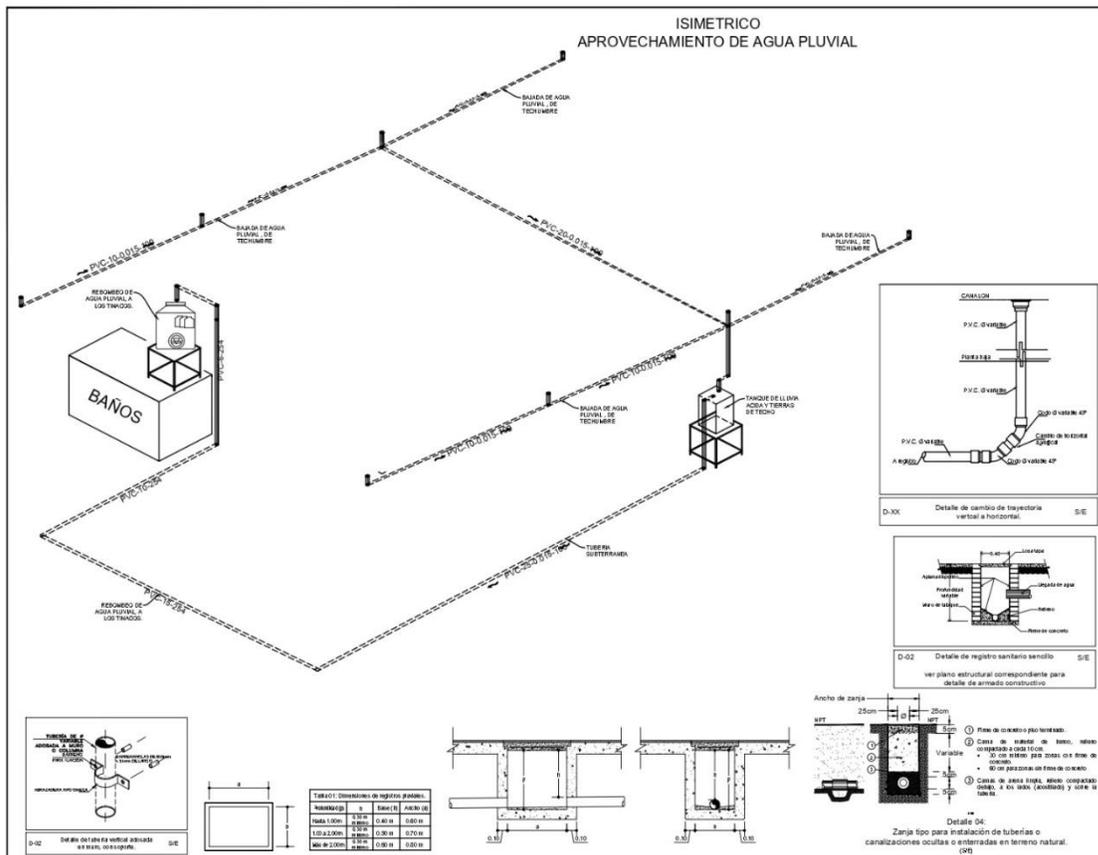
9 Empresa que desarrollo su sistema de captación de agua pluvial



En la figura 10 se muestra el isométrico de instalación de toda la red de tubería de conducción y descarga de agua pluvial, muestra el sistema de almacenamiento y distribución de la captación de agua pluvial y su aprovechamiento.

Figura 10

10 Plano Isométrico del Sistema de Captación de Agua Pluvial



Nota. Fuente propia

Descripción específica del sistema de captación de agua pluvial

El sistema inicia en el techo metálico de lámina pinto en área de 800 m², con dos canalones metálicos que están colocados lateralmente en la longitud de 40 m c/u. Estos canalones tienen insertado tres descargas de agua que suman seis descargas en total de 4" ø. La descarga de agua se conduce por medio de una red de tubería de 4" y 8" ø, en la unión de la tubería al canalón se tiene malla-filtros para contener e interceptar sólidos contaminantes del agua. El agua de lluvia es conducida por la tubería hacia un tanque de almacenamiento de las primeras aguas de lluvia que son canalizadas a un registro de drenaje abriendo una válvula manualmente y cerrándola de la misma forma para conducir el agua limpia al tanque de almacenamiento lo que de este tanque se

procede a bombear el agua a otro tanque de almacenamiento que está en el techo del área de oficinas y por medio de tubería conducir el agua por gravedad a las cajas de abastecimiento de sanitarios.

Inversión financiera de la empresa en el sistema de captación

4.8 Inversión del sistema

Diseñando el sistema, su costo de fabricación e implementación se genera el costo total que la empresa debe invertir en su sistema de captación de agua pluvial, mostrado en la tabla 16.

Tabla 16

16 Análisis Financiero del Sistema

ANALISIS FINANCIERO DEL COSTO DEL SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA PLUVIAL	
DISCRIPCIÓN	COSTOS (\$)
Canalón metálico	21,692.00
Tubería de PVC	18,474.00
Accesorios	1,200.00
Bomba	6,500.00
Tanque Rotoplas (2 piezas 5000 l c/u)	43,042.92
Mano de obra (50% de costo de materiales)	42,676.98
Costo del sistema	89,353.96
IVA	14,296.63
Total	103,650.59

El costo total del sistema de captación de agua de lluvia es de \$103,650.59 M. N.

4.9 Metodología de captación y almacenamiento de agua pluvial método empírico

De acuerdo con el material del techo de las instalaciones de captación, adimensional. Los valores del coeficiente que se mostraron anteriormente en la tabla según la NMX-AA-164-SCFI-2013., se toma el coeficiente de escurrimiento de 0.95 por ser el techo metálico.

El dimensionamiento de los sistemas está en función de las áreas con que se cuenta para iniciar los cálculos, se fija el volumen inicial del tanque (captación) mediante las fórmulas siguientes, se toma el indicador o valor inicial de 640 mm de precipitación establecido en la región hidrológica XIII, por la Comisión Nacional del agua en su documento de estadísticas del agua edición 2009, (www.gob.mx) en su página 29 y que aplica para los municipios de Tultitlán y Cuautitlán contiguos pertenecientes al estado de México. Este mismo indicador se obtiene de páginas de datos históricos desde el año 2015 al 2021, indicador generado por la estación meteorológica, San Martín Obispo ubicado en Cuautitlán Izcalli y que para obtener el dato de precipitación pluvial se toman los datos de páginas localizadas en Internet en la página de Conagua que tiene en su sistema (<http://smn.cna.gob.mx>). Se obtuvo el indicador de estos años en registro de día por día, mes por mes y año por año, para hacer sumatorias y lograr obtener el dato de interés, el indicador de precipitación pluvial que es de 640.6 milímetros. Aplicando la metodología se toma el muestreo para fijar cuantas veces en promedio acuden los trabajadores en día de jornada de trabajo al servicio de sanitario bajando la palanca de descarga de la taza del baño determinando que acuden 3 veces en promedio al día. Siendo 12 litros/descarga lo que genera 36 litros de descarga de agua. Esto se correlaciona con la dotación de litros normativo y su variabilidad para un trabajador en la empresa que cita la Comisión Nacional del Agua, en el Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, año 2007., que la dotación de agua es variable según el tipo de Industria, con parámetros de 100 litros/trabajador/día, a 30 litros/trabajador/día.

En la consulta de información de las estaciones meteorológicas a nivel nacional SMN (<http://smn.cna.gob.mx>) se genera la información del año 2015 al año 2023, registrada en las páginas digitales de la estación Meteorológica de San Martín Obispo,

clave 15098. Obteniendo el índice de precipitación de interés con la muestra reducida en años en comparación con el caso normativo anterior, determinando que ambos índices quedan en el rango de 600 a 700 mm de precipitación para la zona hidrológica XIII que aplica para estos municipios. En la tabla 17 se muestra datos del año 2015-2023 de precipitación anual para continuar con la metodología de cálculo.

Tabla 17

17 Precipitación Pluvial anual 2015-2023.

Índice de Precipitación Pluvial	
Año	Precipitación Pluvial (mm)
2015	680.5
2016	768.4
2017	717.4
2018	651.4
2019	544.4
2020	459.3
2021	663.6
2022	N/A
2023	N/A
Total	640.6

Nota. Fuente Comisión Nacional del Agua

Aplicando las fórmulas matemáticas del método normado (1), para determinar el volumen de captación de agua anual y proyectar el cálculo final del tanque de almacenamiento de agua por lo que se desarrolla las operaciones:

$$V_t = \frac{C_e \overline{hp} \text{ anual } A}{1000}$$

Donde:

V_t : Volumen inicial del tanque, en m³.

C_e : Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

\overline{hp} anual: Altura de precipitación anual, en mm

A : Área de captación, en m².

Entonces:

$$V_t = (0.95) (640.62\text{mm}) (800\text{m}^2) / 1000$$

$$V_t = 486.85 \text{ m}^3.$$

En el área de estudio se capta esta cantidad de 486.85 m³ de agua pluvial al año, esta es la oferta de agua pluvial teniendo una diferencia anual de 23 m³ entre caso normativo y caso empírico.

Una vez obtenido el volumen de captación o volumen de tanque, se procede a determinar el comportamiento de este a lo largo del tiempo, es decir, a realizar un balance hídrico mensual, fijando la cantidad de agua que se precipitará en el área de captación y que será para almacenamiento (volumen de captación mensual)

$$V_{c_n} = \frac{C_e \overline{hp}_n A}{1000}$$

Donde:

V_{c_n} = volumen de captación mes n, en m³

C_e = coeficiente de escurrimiento, adimensional

\overline{hp}_n = índice de precipitación en mes n, en mm

A = Área de captación, en m²

Entonces:

En el mes de julio de mayor precipitación dato de año 1990-2023.

$$V_{c_n} = (0.95) (133.4\text{mm}) (800\text{m}^2) / 1000$$

$$V_{c_n} = (0.95) (133.4\text{mm}) (800\text{m}^2) / 1000$$

$$V_{c_n} = 101.8 \text{ m}^3$$

Captaciones Junio = 89 m³, Julio=101.8 m³, Agosto=95 m³, Sep.=81 m³.

La demanda de agua únicamente para uso de sanitarios se tiene:

Jornada laboral de 48 horas

Número de trabajadores = 20

Turno = diurno

Número promedio que van al sanitario y bajan la descarga de agua= 3 veces/día

Días laborables 5.5 por semana.

Capacidad de carga de agua de cada caja de sanitario=12 l

Cd=capacidad de descarga

Cd=descargas x cap. descarga x trabajadores x días-semana

Cd=3 veces/ día x 12 l x 20 trab x 5.5 días

Cd=3960 l/semana. Equivalente a Cd = 3.96 m³, en un mes conduce a:

3960 l x 4 semanas= 15,840 l/mes=15.84 m³/mes.

En metros cúbicos se demandan o consumen 15.84 m³ por mes y en julio el de mayor precipitación tenemos 101.8 m³ de oferta de lluvia analizando el agua captada tiene flujo semanal de aproximadamente 4 m³ a lo que se considera 2 tanques de 5000 l c/u. Realizando el cálculo empírico igual que el cálculo normativo desarrollado se sigue la misma metodología, estableciendo que el valor relevante de agua es de 36 litros/trabajador/día esto es la descarga de agua por jornada laboral por trabajador por día. Siguiendo la metodología igual al método normado se obtiene la tabla 18 y la figura 11.

Tabla 18

18 Balance de Oferta y Demanda de Agua Real en la Empresa

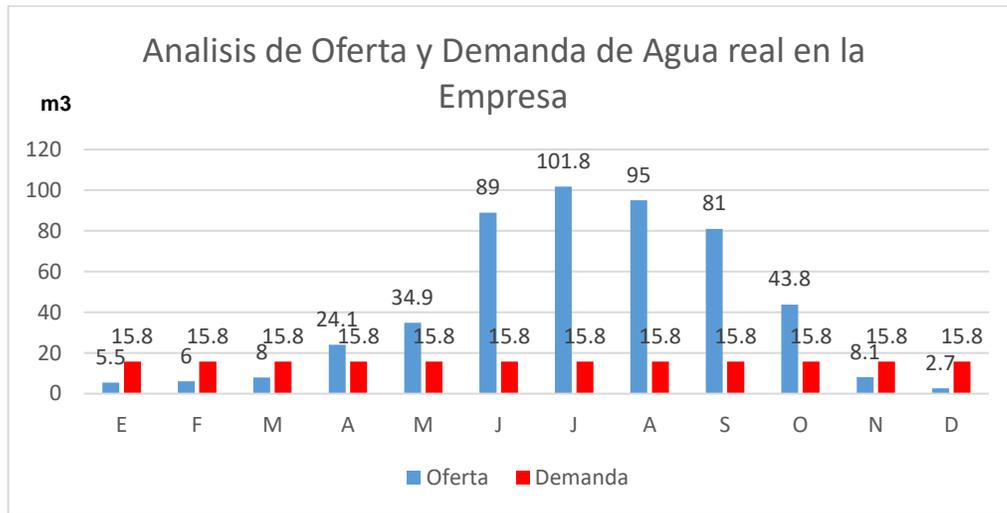
Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Índice	7.3	8.0	10.6	31.8	46.0	117.2	133.4	125.8	106	57.7	10.7	3.6
Oferta	5.5	6.0	8.0	24.1	34.9	89.0	101.8	95.0	81.0	43.8	8.1	2.7
Demanda	17.2	15.8	16.5	17.2	17.2	15.8	15.8	17.2	15.8	18.0	16.5	16.5
Días/lab	24	22	23	24	24	22	25	24	22	25	23	23
Balance	-11.7	-9.7	-8.5	+6.9	+17.7	+73.2	+86.0	+77.8	+65.2	+25.8	-8.4	-13.0

Nota. El índice está en milímetros, demanda en m³.

+ abasto de agua / -desabasto de agua.

Figura 11

11 Balance de Agua Pluvial en la Empresa



4.10 Cálculos financieros por consumo de agua con su unidad de Medida UMA

INEGI: Comunicado de prensa 10/24 de 8 enero 2024. Página 1/1, Comunicación Social. Valores que entran en vigor a partir del 1 de febrero de 2024.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) da a conocer la actualización del valor de la Unidad de Medida y Actualización (UMA). La UMA es la unidad de cuenta, índice, base, medida o referencia económica en pesos para determinar la cuantía del pago de las obligaciones y supuestos previstos en las leyes federales y estatales, así como en las disposiciones jurídicas que emanen de todas las anteriores. La unidad de medida y actualización de este año 2024 entro en vigor a través de su comunicado de prensa 10/24, el valor de la UMA se publica en los primeros días de cada inicio de año en el diario oficial de la federación, sirve para hacer el cálculo de los montos a pagar de obligaciones fiscales como impuestos.

Es el caso en esta investigación hacer el cálculo del pago de servicios de agua potable para comparar el ahorro de captar y aprovechar el agua de lluvia haciendo equivalente esto para proyectarlo en recuperación de la inversión del sistema este parámetro de cálculo se ve en la tabla 19.

Tabla 19

19 Unidad de Medida y Actualización UMA 2024.

AÑO	DIARIO	MENSUAL	ANUAL
2024	108.57	3300.53	39606.36

Nota. Fuente INEGI 8 de enero 2024, comunicado de prensa 10/24.

El cálculo del pago de servicio de agua potable se correlaciona en la investigación con la captación y aprovechamiento de agua pluvial en base a metros cúbicos de agua, por lo que se considera lo establecido en la gaceta del estado de México el 28 de diciembre del año 2023, sección IV, Tomo CCXVI-118 titulado: pagos del servicio de agua, decreto número 227, estado de México, (dirección. gaceta.edomex@gmail.com). Decreto por el que se aprueban las tarifas aplicables al pago de los derechos por los servicios públicos municipales de agua potable, drenaje, alcantarillado y recepción de los caudales de aguas residuales para su tratamiento, diferentes a las establecidas en el código financiero del estado de México y municipios, para el ejercicio fiscal 2024.

Artículo 130.- Los derechos por el servicio de Suministro de Agua Potable, se pagarán mensualmente, bimestralmente o de manera anticipada, según la opción que elija el contribuyente, de entre aquellas modalidades que cada municipio tenga habilitadas, según su capacidad administrativa, y de acuerdo con los medios de pago autorizados en términos del artículo 26 de este Código, en los establecimientos que el propio Ayuntamiento designe o en sus oficinas, siempre y cuando, los municipios por sí o por conducto de los organismos operadores de agua de que se trate, cuente con lo requerido al efecto.

Tablas 20-22 rangos de m³ de agua y factores de pagos que se localizan en la gaceta del estado de México, que marca rangos y factores de pago de agua potable y alcantarillado, para el municipio analizado en la investigación.

Tabla 20

20 Tarifa Bimestral Industrial

TARIFA BIMESTRAL			
NÚMERO DE VECES EL VALOR DIARIO DE LA UNIDAD DE MEDIDA Y ACTUALIZACIÓN VIGENTE			
INDUSTRIAL			
CONSUMO BIMESTRAL EN M3		CUOTA MÍNIMA PARA EL RANGO INFERIOR	POR M3 ADICIONAL AL RANGO INFERIOR
0	15	5.6943	0
15.01	30	5.6943	0.383
30.01	45	11.4391	0.3958
45.01	60	17.375	0.4182
60.01	75	23.647	0.6324
75.01	100	33.1327	0.8582
100.01	125	54.7196	1.0746
125.01	150	81.4507	1.1271
150.01	300	109.6299	1.1888
300.01	500	287.9574	1.2441
500.01	700	536.783	1.274
700.01	1200	791.5758	1.3032
1200.01	1800	1443.2009	1.3619
Más de 1800		2260.295	1.4095

Nota. Fuente Legislación. edomex.gob.mx Gaceta del gobierno del Estado de México.

Cuota fija: Si no existe aparato medidor o se encuentra en desuso, se pagarán los derechos dentro de los primeros diez días siguientes al mes o bimestre que corresponda de acuerdo con la tabla 21-22.

Tabla 21

21 Tarifa Mensual

TARIFA MENSUAL	
DIÁMETRO DE LA TOMA EN MM	NÚMERO DE VECES EL VALOR DIARIO DE LA UNIDAD DE MEDIDA Y ACTUALIZACIÓN VIGENTE
COMERCIAL DE 13	30.0774
INDUSTRIAL DE 13	45.7177
19	271.6548
26	443.6204
32	728.6470
39	911.4523
51	1547.4503
64	2337.8275
75	3435.2609
102	4837.0513

Nota. Fuente Legislación. edomex.gob.mx, Gaceta del Gobierno del Estado de México

Tabla 22

22 Tarifa Bimestral

TARIFA BIMESTRAL	
DIÁMETRO DE LA TOMA EN MM	NÚMERO DE VECES EL VALOR DIARIO DE LA UNIDAD DE MEDIDA Y ACTUALIZACIÓN VIGENTE
COMERCIAL DE 13	60.1547
INDUSTRIAL DE 13	91.4355
19	543.3097
26	887.2408
32	1457.2940
39	1822.9046
51	3094.9006
64	4675.6550
75	6870.5217
102	9674.1026

Nota. Fuente, Legislación.edomex.gob.mx

Artículo 130 Bis.- Por el servicio de drenaje y alcantarillado, los usuarios conectados a la red municipal de agua, pagarán de forma mensual o bimestral o de manera anticipada, según la opción que elijan, siempre y cuando, los municipios por sí o por conducto de los organismos operadores de agua de que se trate, cuenten con los dispositivos y modalidades que para tal fin establezcan o con cargo a tarjeta de crédito otorgada por instituciones bancarias, en las oficinas o establecimientos que el propio Ayuntamiento u organismo operador que designe, conforme a lo siguiente:

II. Para uso no doméstico:

B). Cuota fija: Si no existe aparato medidor se pagarán los derechos dentro de los primeros diez días siguientes al mes o bimestre que corresponda pagando el 15% del monto determinado por el servicio de Suministro de Agua Potable.

4.11 Análisis normativo de pago por consumo de agua

El análisis para determinar la parte económica que esta correlacionada con la parte financiera de inversión del sistema de captación se proyecta desde el sistema de que opera a nivel nacional por medio de pagos de consumo de agua potable a los organismos operadores que administran, regulan, distribuyen dotan de agua potable. Este sistema de regulación de pagos para la investigación presentada es realizado directamente con la consulta e investigación documental y practica de lo relacionado al tema con lo que se presenta la siguiente metodología:

- a) Elección de m³ de agua a calcular a pago.
- b) Elección de rango en tablas y factores de pago
- c) Calculo de ajuste con la UMA
- d) Calculo con factores de rangos y m³ adicionales
- e) Calculo de porcentajes de pago del servicio
- f) Determinación de costo de pago

Considerando las tablas señaladas de tarifas bimestrales para el pago de tipo industrial se tiene definido los rangos de consumo de m³ de agua y su cuota mínima, así como su cuota por consumo de cada metro adicional.

Para el cálculo consideramos la tabla de oferta y demanda de captación de agua pluvial de acuerdo con la base normativa y en esta consideración de 100 litros/trabajador/día. Se genera la tabla 23 de consumo (captación) de agua pluvial.

Tabla 23

23 Consumo de Agua Bimestralmente Normativo

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Índice ¹	7.3	8.0	10.6	31.8	46.0	117.2	133.4	125.8	106	57.7	10.7	3.6
Oferta	5.5	6.0	8.0	24.1	34.9	89.0	101.3	95.6	80.5	43.8	8.1	2.7
Demanda	48	44	46	48	48	44	50	48	44	50	46	46
Captación	11.5		32.1		92		98		94		10.8	
Pago	\$871.66		\$1876.60		\$7375.35		\$8094.26		\$7568.20		\$871.69	

Realizando el cálculo para el tercer bimestre como referencia en esta tabla 23 para todos los bimestres y calcular el pago de agua al organismo que es considerado como un ahorro en la empresa por captación de agua de lluvia para cubrir la demanda de agua potable. Se toma la tabla de tarifa bimestral para pago industrial tabla 18 y en su primera columna está en el rango de m³ que se tiene registrados como consumo. En su segunda columna está el pago por m³ se coloca el dato de registro en el índice inferior, si después de ese índice inferior (cuota mínima para el rango mínimo inferior) se tiene el valor que queda en ese rango esos son los metros adicionales que se tiene que pagar y se toma el valor para pagar cada metro adicional que queda en ese rango dicho valor. Posteriormente se calcula el porcentaje de pagos por uso de la red y contempla el servicio de drenaje, saneamiento y el impuesto al valor agregado lo que dará el costo del pago.

Calculando:

Tercer bimestre 92m³ de demanda de agua.

Rango está en consumo bimestral en 75.01-100 m³.

Rango mínimo inferior = 75 m³

Factor Cuota = 33.1327

Factor Adicional m³ = 0.8582

Costo rango inferior = Factor de cuota mínima para el rango inferior x el valor de la UMA.

Costo rango inferior = 33.1327 x 108.57 = \$3597.21

Los metros m³ adicionales son 17, (92-75=17)

Costo m³ adicional = valor de m³ adicional x UMA.

Costo de m³ adicional = 0.8582 x 108.57 = 93.17 x 17m³ = 1583.89

Sumando costo rango mínimo inferior +costo de m³ adicional = \$5181.18

15% de drenaje = 777.17

10% saneamiento = 518.11

16% de IVA = 898.28

Costo total = \$7375.35

Este es un pago, la metodología es aplicable bimestral con el fin anual.

Puesto que el valor de la UMA cambia anualmente para el ajuste de estos pagos. Realizando el comparativo de recuperación de la inversión del sistema se tiene que el total anual de pago es \$26,660.00, el sistema su inversión es de \$103,650.659. Entonces se recupera la inversión en 3.8 años.

Análisis del caso cuando no se tiene medidor o no se consume agua potable se paga una cuota fija. Se toma el diámetro de la toma, en el caso es 19 mm de diámetro se enfoca en tabla de cuota fija y se obtiene el valor bimestral de 543.30 UMA. Esta es la base 543.30×6 bimestres equivalente a \$3259.8, considerando 15% de drenaje, 10% saneamiento, así como impuesto al valor agregado se tiene \$4596.16 pago anuales, es la situación considerada cuando no se tiene la red de drenaje en el área. Es importante resaltar que si se tiene red y no se utiliza es el caso de captar agua pluvial sin consumir ningún m^3 de agua potable de la red municipal, se tiene que pagar una cuota fija de $10m^3$ establecido por el organismo regulador del agua potable. Que queda ubicado en el rango de $0-15 m^3$.

Valor en la tabla x valor señalado por el organismo de $10m^3$.

Valor en tablas x UMA

$5.6943 \times UMA = \$ 613.4$

Saneamiento 10% = 61.63

Drenaje 15% = 92.17

IVA 16% = 122.74

Total = \$889.79 bimestral

$6 \text{ bimestres} \times \$ 889.79 = \$ 5338.68$ anual, pago de agua por la red instalada.

Análisis de pago de consumo de agua para el caso de método empírico real (es título)

Para el cálculo empírico - práctico consideramos la tabla de oferta y demanda de captación de agua pluvial de acuerdo con el estudio de muestreo y obtención del dato promedio de veces que se baja la palanca a la caja del baño y en esta consideración es de 3 veces/jornada/día, equivalente a 36 litros/trabajador/jornada de consumo de agua. Lo que genera la tabla 24 de consumo de agua pluvial.

Tabla 24*24 Consumo de Agua Pluvial Bimestral empírico real*

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Índice ¹	7.3	8.0	10.6	31.8	46.0	117.2	133.4	125.8	106	57.7	10.7	3.6
Oferta	5.5	6.0	8.0	24.1	34.9	89.0	101.3	95.6	80.5	43.8	8.1	2.7
Demanda	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7
Captación	11.5		32		32		32		32		11	
Pago	\$871.6		\$1872.2		\$1872.3		\$1872.3		\$1872.3		\$871.6	

Nota. La captación, Oferta, Demanda están en m³, pago \$.

Realizando el cálculo para el 3er bimestre que es equivalente a bimestres para calcular el pago de agua al organismo que es invertido como un ahorro por captación de m³ de agua de lluvia para cubrir la demanda. Se toma la tabla 20 de tarifa bimestral para pago industrial y en su primera columna está el rango de m³ que se tiene registrados como consumo. En su segunda columna está el pago por m³ se coloca el dato de registro del índice inferior, si después de ese índice inferior (cuota mínima para el rango mínimo inferior) se tiene el valor que queda en ese rango esos son los metros cúbicos adicionales que se tiene que pagar y se toma el valor para pagar cada metro adicional que queda en ese rango dicho valor. Posteriormente se calcula el porcentaje de pagos por uso de la red y contempla el servicio de drenaje, saneamiento y el impuesto al valor agregado lo que dará el costo del pago.

Tercer bimestre 32 m³ de demanda de agua.

Rango está en consumo bimestral en m³ en 30.01-45 m³.

Rango mínimo inferior = 30

factor = 11.4391

Factor adicional m³ = 0.3958

Costo rango inferior = cuota mínima para el rango mínimo inferior x el valor de la UMA.

Costo rango inferior = 11.4391 x 108.57 = 1241.94

Los metros m³ adicionales 2

Costo m³ adicional = valor de m³ adicional x UMA.

Costo de m³ adicional = 0.3958 x 108.57 = 42.97 x 2 m³ = 85.94

Sumando costo rango mínimo inferior + costo de m³ adicional = 1327.88

15% de drenaje = 199.18

10% saneamiento = 132.78

16% de IVA = 212.46

Costo total = \$1872.30.

Este es pago y la metodología es aplicable bimestral proyectándolo anual. Puesto que el valor de la UMA cambia anualmente para el ajuste de estos pagos.

Realizando el comparativo de recuperación de la inversión del sistema se tiene que el total anual de pago es \$ 9232.4, el sistema su inversión es de \$103650.659 se recupera la inversión en 11.2 años. Que se muestra los dos resultados normativos teórico y empírico real en la tabla 25.

Tabla 25

25 Recuperación de la Inversión

Análisis de la recuperación de la inversión del sistema de captación de agua pluvial		
Concepto	Ahorro/año	Recuperación inversión
Normativo - teórico	\$26660.0	3.8 años
Empírico - real	\$ 9232.4	11.2 años

Se presenta el alcance de lo establecido en la investigación con resultado en el caso normativo se consume mayor cantidad de litros por trabajador en la empresa en el uso de servicios la recuperación de la inversión es en corto tiempo, en evaluación del caso empírico real el consumo de litros por trabajador en la empresa es menor, la recuperación de la inversión es a largo plazo. La grande empresa y en función de sus áreas de captación y volúmenes de almacenamiento, la recuperación de la inversión del sistema es a corto plazo en el tiempo, a lo contrario en la pequeña empresa el tiempo de recuperación de la inversión es largo a largo plazo. Visualizando que la lluvia sucede cuatro meses al año en su ocurrencia con índices de precipitación variables relativamente altos y escasas de las mismas en el año con índices bajos a razón de que la naturaleza de lluvias no es controlable más aun es impredecible en sus eventos en tiempo, estado y volumen de precipitación.

Proyección de ventajas y desventajas de aprovechar agua pluvial

Ventajas:

- Solución de problemática de abastecimiento de agua dulce.
- Es de alta calidad fisicoquímica.
- Los sistemas son versátiles en su diseño, construcción y operación.
- Esta agua no entra en contacto con sales y minerales de la tierra.
- Puede ser conducida a pozos de infiltración natural
- Disminuye los volúmenes de contaminación de agua residual
- Aminora el gasto económico por consumo de agua potable.
- Es una solución de sustentabilidad para las generaciones futuras.
- El uso del agua está en función de su beneficio social o económico.
- La cantidad de agua almacenada depende del área de captación y precipitación.

Desventajas:

- La recuperación de la inversión es a largo plazo en pequeña empresa.
- El recipiente de almacenamiento es el de mayor costo en el sistema.
- La calidad del agua depende del lugar de captación y calidad del aire.
- Los índices de precipitación son significativos en la región.
- La investigación y desarrollo requiere inversión financiera.
- Para consumo humano necesita estudios de laboratorio y normatividad.

Capítulo 5 Resultados y conclusiones

5.1 Resultados de impacto económico

El impacto económico en la inversión de sistemas de captación de agua pluvial es significativo cuando se captan grandes cantidades de agua de lluvia y se deja de pagar agua potable a los organismos que administran la red del agua. El mayor impacto económico al implementar un sistema aplica en el recipiente o tanque en que se almacene el agua es el mayor costo ya sea tanque o cisterna es la parte es lo que eleva la inversión. El impacto económico benéfico es al estar operando el sistema en función del tiempo se recupera la inversión y pasando ese punto de recuperación será ahorros en pagos de agua potable. Los ahorros se reflejarán cuando se consumen altas cantidades de m³ de agua que se deja de pagar a los organismos públicos, cuando se capta agua pluvial y esta se inserta en algún servicio o proceso de producción de la empresa o institución se genera beneficios económicos en instituciones educativas se tiene miles de estudiantes que hacen uso de sanitarios el alto el consumo de agua.

El almacenamiento del agua pluvial requiere tratamiento para conservarla en buen estado en función del tiempo, lo que integra costos adicionales y mantenimiento de los sistemas y su operación

La problemática actual de escases de agua y falta de suministro a la población se resuelve con el abastecimiento de pipas lo que es un costo para la sociedad y en el caso de empresas que requieren agua es un costo para los empresarios el empresario lo que generara un beneficio económico el implementar el sistema pluvial con sustentabilidad del recurso hídrico.

Captar agua de lluvia genera ahorro económico para las instituciones públicas y privadas lo que les permite ser instituciones socialmente responsables

5.2 Resultados de impacto ambiental

En el aspecto de implementar sistemas para captar agua pluvial es una solución real para la situación de la crisis hídrica obteniendo agua de lluvia limpia que permite crear alternativas sustentables para el ambiente como es la infiltración del agua pluvial a el subsuelo, si el agua de lluvia es aprovechada en forma óptima en uso doméstico, industrial y agrícola se extraerá menos agua de los mantos acuíferos que se están agotando por extracción desmedida.

El sector agrícola que es el que capta mayor cantidad de agua de lluvia aquí se contempla la contaminación por usos de plaguicidas insecticidas y químicos que actualmente se usan en la agricultura y pasa a contaminar agua lo que en tiempos actuales ya no es consumible por la especie de animales que se refleja en extinción. Captar el agua de lluvia evita mezclar agua limpia con agua contaminada (agua de drenajes) lo que ayuda a utilizar un agua limpia para darle uso y después disponerla protegiendo al medio ambiente

El cambio climático muestra la alteración en los ciclos de las lluvias en las tablas de datos históricos presentadas, en esta investigación se muestra que las lluvias estaban en siete meses a lo que actualmente llueve cuatro meses por año, se ha perdido la regularidad de las lluvias y esto se ve afectado aún más por el calentamiento global que genera problemas en el medio ambiente necesitando más el consumo de agua en vegetación, animales y seres humanos estos últimos con la sumatoria de infinidad de necesidades que hacen uso medido y desmedido del agua subterránea siendo esta el agua potable.

5.3 Resultados de impacto social

La investigación presentada servirá de guía para investigadores de este tema para crear alternativas de solución de la escases y agotamiento del agua dulce a lo que conducirá a proponer soluciones de participación social como lo es la implementación de una cultura del cuidado del agua y su sustentabilidad, la población establecida en el centro del país de México es la que consume más agua y tiene escases hídrica.

El análisis de la investigación presenta lo que sucede con la precipitación promedio anual, el crecimiento poblacional, decrecimiento de precipitación pluvial y aumento en consumo de agua, esto es una desproporcionalidad real.

La cultura de cuidado del agua con responsabilidades sociales es importante crearla para el correcto uso y aprovechamiento de agua potable y agua dulce, la captación de lluvia es una solución a la problemática de desabasto, considerando la reforestación de árboles para atraer la lluvia y almacenar agua en presas, lagunas, mantos subterráneos y cuidar el agua y su abastecimiento.

El agua pluvial es un recurso natural que ahí está disponible para todos, en todo momento de época de lluvias y en todo lugar en el caso industrial su uso debe ser optimo y regulado, se debe de invertir en sistemas de captación de agua pluvial, así como su descarga sin contaminantes, la industria refresquera es una de las que consume mayor cantidad de agua de los mantos acuíferos sin retorno de esta.

5.4 Conclusión

La investigación define la importancia de instalar un sistema de captación de agua de lluvia en el sector empresarial considerando el almacenamiento y su aprovechamiento evaluando la recuperación de la inversión y los beneficios que aporta implementar el sistema.

En la investigación del tema se observó que no existe formulación de metodología de cálculo matemático para la captación de agua pluvial por lo que se diseñó metodologías de cálculo elementales estableciéndose como base en esta tesis, para lograr los objetivos planteados y la información sea aportación a futuras investigaciones en este tema.

El objetivo del desarrollo de las metodologías de cálculo para captación de agua pluvial, así como los balances hídricos y ahorros por pagos de agua, se llegó al resultado de la definición del tiempo de recuperación de la inversión, logrando así el objetivo planteado.

La hipótesis H_0 nula planteada se cumplió, la empresa pequeña no invierte en sistemas de captación de agua pluvial por la alta inversión y recuperación a largo plazo. esto permite tener un área de oportunidad para continuar investigando puntos más específicos tal es el elemento de sistema de almacenamiento de que sea de menor costo y versatilidad. Finalizando el sistema de captación es factible y redituable para el sector empresarial, en lo que concierne en la recuperación de la inversión es a largo plazo, en el contexto descrito es importante el análisis de todas las variables como lo es la zona geográfica, índices de precipitación, áreas de captación, cisternas de almacenamiento, flujos de agua y el aprovechamiento de los volúmenes captados de lluvia. El aprovechamiento de agua es importante donde existe mucho personal laborando y es aún más importante si el agua captada entra en el proceso de fabricación en la industria. Para el caso de la pequeña y mediana empresa la inversión es alta y la recuperación de la inversión es el largo plazo, aunque el empresario cuando decide instalar un sistema es que este le genera beneficio financiero reflejado en utilidades el caso contrario social o ambiental no le es relevante.

6 Bibliografía

Bejarano, C., (2021) Investigación para la implementación de un sistema de captación de aguas de lluvia en el conjunto residencial campo alegre el dorado Ricaurte-Universidad piloto de Colombia. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de Colombia. <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/12399>

Centro Nacional de Desastres [CENAPRED(2024)], Captación de agua de lluvia en el Cenapred Sequia un reto en la reducción de desastres, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/910495/Dia_1_Tema_4.pdf

Chiavenato, I., (2000) Introducción a la teoría general de la administración. <http://bibliotecadigital.fce.unam.edu.ar/handle/bhp/566>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2006), El agua en México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259368/2006_EAM2006.pdf

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2007), Libro de datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado, <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2008), Estadísticas del agua en México. https://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/eam_2008.pdf

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2016), Numera gua. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2016), Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento, <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA] (2016), lineamientos técnicos sistemas de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_PLUVIAL.pdf
<https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>

Comisión Nacional del Agua [Conagua] (2022), Compendio básico del agua en México, https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html

Comisión Nacional del agua [CONAGUA] (2024), Guía técnica para el diseño: Sistema de captación de agua pluvial am nivel vivienda, versión 3.1, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/894606/GUIA_T_1.PDF

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (1917) Reformada (2023) Editorial Legislativa. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum.htm>

Domínguez M., (2022) Sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia para una comunidad rural en Tabasco, Tesis de Maestría en Ingeniería, Tecnología y gestión Ambiental, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://ri.ujat.mx/handle/200.500.12107/4524>

Gaceta Oficial del Distrito Federal(6 octubre 2004, tomo II,103-bis), Norma técnica complementaria para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas, https://paot.org.mx/centro/gaceta/2004/octubre04/06octubre04_ter.pdf

Gámez, W., (2009) Texto básico de hidrología, Universidad Nacional Agraria, Managua Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/2464/1/np10q192.pdf>

González, F., (2014) *Sistemas de captación de agua de lluvia*. Periódico digital de divulgación de la red del agua UNAM. Universidad Autónoma de México, <https://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>

Hernández, F., (2014) Metodología de la investigación. Mc Graw-Hill, https://www.academia.edu/32697156/Hern%C3%A1ndez_R_2014_Metodologia_de_la_Investigacion

Hernández, K., Murillo, J. (2021) Estudio, análisis y diseño de un sistema sostenible para la captación y aprovechamiento de agua lluvias en el Campus Bucaramanga-Universidad de Santander. Tesis Ingeniería Civil, Universidad de Santander. <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/4a9113ce-fe0b-4847-b1d3-6f1d73567d59>

Ley de Aguas Nacionales, [DOF-01-12-1992 (DOF-08.05-2023)], Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>

Legislación Estado de México (2024), Periódico oficial gaceta de gobierno: Tarifas aplicables de los derechos al pago por los servicios públicos municipales de agua potable, drenaje y alcantarillado, establecidos en el código financiero, <https://legislacion.edomex.gob.mx/node/35537>

Maderey, L., (2005). *Principios de Hidrogeografía*. Instituto UNAM Geografía, <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/27/27/80-1>

Monsalve. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Colombia : Grupo editor Alfaomega . https://www.academia.edu/106216882/Germ%C3%A1n_Monsalve_Hidrología_en_la_Ingeniería

Montesillo, J. L. (2011). Scielo, Economía Sociedad y Territorio. *Scielo*, Vol. II , No 37. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_serial&pid=1405-8421

Mosqueira (2020). *Ingenieros de profesión, arquitectos de vocación*. Mexico : UNAM . <https://repositorio.fu.unam.mx/handle/123456789/19064>

Normas técnicas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas, <https://www.isc.cdmx.gob.mx/dependencia/marco-normativo>, <https://www.isc.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/590/149/b41/590149b4136ac989807135.pdf>

Neri L. I., Flores E., María R. V., (2022) Captación, calidad y uso de agua de lluvia. Revista tendencias en docencia e investigación en química. Universidad Autónoma Metropolitana. Año 8 numero 8 diciembre 2002 <http://revistatediq.azc.uam.mx>

Ramírez, E. (2021) Diseño de un sistema de captación, almacenamiento y tratamiento de aguas de lluvia como alternativa de ahorro de agua potable, Tesis de licenciatura, Universidad privada del norte de Perú, <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4726734>

Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales [SEMARNAT] (2016) Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento, <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro20.pdf>

SEDEMA, (2020). Manual para instalar un sistema de captación pluvial en tu vivienda. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México., <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/ManualCosecharLaLluvia>

[ia.pdf](#), https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/910495/Dia_1_Tema_4.pdf,
www.sedema.cdmx.gob.mx

Torres R., (2019) La captación del agua de lluvia como una solución en pasado y el presente. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental Vol. 40 No. 2, mayo 2019, <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/485/388>

Villodas. (2008). *Hidrologia*. Mendoza Argentina: Facultad de Ingenieria.
https://www.academia.edu/36851515/Hidrologia_I_y_II_Ruben_Villodas