



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**Desarrollo de un Sistema de Captación de Agua Pluvial para
uso Industrial**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Presenta
MANUEL ALBERTO ACOSTA VADILLO**

**Director de Tesis
Dr. en C. Huemantzin Balan Ortiz Oliveros**

NOVIEMBRE DEL 2013

INDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Planteamiento del Problema.....	6
1.3 Justificación	9
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo general.....	11
1.4.2 Objetivos particulares	11
CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL-CONCEPTOS BASICOS.....	13
2.1 Ciclo Hidrológico.....	13
2.2 Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia tradicional.	15
2.2.1 Superficie de captación	15
2.2.2 Conducción de agua.....	17
2.2.3 Almacenamiento	18
2.2.4 Tratamiento.....	24
2.2.5 Sistema de bombeo.....	28
2.3 Calidad del Agua	30
2.3.1 pH	30
2.3.2 Sólidos Disueltos Totales	31
2.3.3 Salinidad	31
2.3.4 Dureza total.....	31
CAPITULO 3. MARCO JURÍDICO.....	33
3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	33
3.2 Ley de Aguas Nacionales (LAN).....	33
3.3 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA)	37
3.4 Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEPA).....	37
3.5 Reglamento para el Uso Eficiente del Agua en las Poblaciones del Estado de Querétaro.	38
3.6 Reglamento para el Control de las Descargas de Aguas Residuales a los Sistemas de Alcantarillado del Estado de Querétaro.....	39
CAPITULO 4. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	41
4.1 Ubicación Geográfica	41
4.2 Localización del Área de Estudio.....	42
4.3 Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Zona Hidrológica.....	44
4.3.1 Acuíferos.....	44
4.3.2 Red de Agua Potable.....	44
4.4 Hidrología Superficial	44

4.5	Hidrología Subterránea	45
4.6	Precipitación e Información Climática	46
CAPITULO 5. METODOLOGÍA		50
5.1	Diagrama de Materiales y Métodos.....	50
5.2	Descripción de Materiales y Métodos	50
5.2.1	Obtener las normales climatológicas del área de estudio.....	50
5.2.2	Cálculo de la intensidad de lluvia a través de las Isoyetas establecidas	51
5.2.3	Obtener los consumos de agua de las diferentes áreas de la planta	52
5.2.4	Seleccionar el área de captación de agua de pluvial.	53
5.2.5	Calcular los metros cúbicos a captar por superficie y capacidad de almacenamiento	53
5.2.6	Establecer los componentes del sistema de captación para uso industrial	53
5.2.7	Seleccionar el sistema de captación	53
5.2.8	Desincorporar la descarga pluvial de la residual.....	53
5.2.9	Analizar la calidad del agua.....	54
CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		56
6.1	Normales Climatológicas	56
6.2	Cálculo de la intensidad de lluvia a través de las isoyetas establecidas para el área de estudio.....	57
6.3	Consumo de Agua	60
6.4	Calidad de Agua	62
6.5	Área de Captación de Agua Pluvial	65
6.6	Metros cúbicos a captar por superficie y capacidad de almacenamiento.....	66
6.7	Componentes del sistema de captación	67
6.7.1	Conducción de agua de lluvia.....	69
6.7.2	Filtración	72
6.7.1	Almacenamiento	79
6.8	Desincorporación interna de agua pluvial y residual.....	81
6.9	Costo por metro cubico tratado red municipal	82
6.10	Costo por metro cubico tratado	83
CONCLUSIONES.....		84

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ciclo hidrológico	13
Figura 2.2 Diagrama de flujo sistema de captación de agua de lluvia.....	15
Figura 2.3 Filtro en línea para canaleta	17
Figura 2.4 Tanques de fibra de vidrio	20
Figura 2.5 Tanques superficiales de polietileno	21
Figura 2.6 Tanque con refuerzo	22
Figura 2.7 Tanque de acero	22
Figura 2.8 Tanque de cemento.....	23
Figura 2.9 Tanque de cemento recubierto de polietileno	23
Figura 2.10 Construcción de tanque con polietileno	24
Figura 2.11 Bolsa de caucho.....	24
Figura 2.12 Diagrama de componentes isoterma de ozonización.....	27
Figura 4.1 Ubicación del área de estudio dentro del Municipio de Querétaro	42
Figura 4.2 Ubicación del área de estudio, parque Industrial Benito Juárez.....	43
Figura 4.3 Hidrología del estado de Querétaro.....	45
Figura 4.4 Isoyetas del Estado de Querétaro).....	46
Figura 4.5 Isotermas del Estado de Querétaro	48
Figura 5.1 Metodología para el desarrollo de un sistema de captación de agua pluvial (Elaboración propia).....	50
Figura 6.1 Diagrama de flujo alimentación de agua potable y salidas de agua residual de la organización de estudio (Elaboración Propia).....	60
Figura 6.2 Análisis de calidad de agua pluvial, techos, pavimento y caída natural	63
Figura 6.3 Estado de techos de uno de los techos de la empresa en estudio.....	66
Figura 6.4 Propuesta de sistema de captación de agua de lluvia.....	68
Figura 6.5 Izquierda drenaje pluvial convencional, Derecha drenaje sifónico	69
Figura 6.7 Funcionamiento de drenaje sinfónico	70
Figura 6.6 Izquierda, Infraestructura de Empresa en estudio. Derecha drenaje sifónico, instalación en obra de remodelación de Laboratorio México, DF.....	71
Figura 6.8 Conexión canaleta y tubería, diseño actual organización de estudio	72
Figura 6.9 Soportes y drenaje sifónico propuesta de sistema de captación, modificación Laboratorio en México DF	72
Figura 6.10 Equipo de filtración Graf vistó en la Feria internacional IFAT Entsorga Munich Alemania, Mayo 2012	73
Figura 6.11 Equipo de filtración Intewavisto en la Feria Internacional IFAT Entsorga, Munich Alemania, Mayo de 2012	74
Figura 6.12 Hydrosystem 1000.....	75
Figura 6.13 Parámetros de operación del equipo de filtración	76
Figura 6.14 Medio filtrante, Fuente vistó en la Fabrica de filtros 3pTechnik en Donzdorf Alemania.....	78
Figura 6.15 Repuesto de medio filtrante vistó en la Fábrica de filtros 3pTechnik en Donzdorf Alemania	78
Figura 6.16 Diseño de elemento de filtración HT.....	79
Figura 6.17 Estado de cisternas No.2.....	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ultravioleta rango de espectro electromagnético	26
Tabla 2.2 Calidad del agua para procesos.	30
Tabla 5.1 Coeficiente de rugosidad para diferentes superficies.....	51
Tabla 5.2 Parámetros, equipos y reactivos para análisis de calidad de agua.	54
Tabla 6.1 Precipitaciones máximas para la estación La Joya, Querétaro.	56
Tabla 6.2 Intensidad de lluvia para el estado de Querétaro.	57
Tabla 6.3 Captación de agua de lluvia en relación al método racional, m ³ por duración en minutos de la duración.	59
Tabla 6.4 Consumos de agua por área 2011.....	61
Tabla 6.5 Porcentaje de consumo planta y porcentaje de consumo áreas y servicios.....	61
Tabla 6.6 Procesos, calidad requerida contra calidad suministrada.....	62
Tabla 6.7 Parámetros de calidad de agua de lluvia filtrada.....	64
Tabla 6.8 Calidad de agua requerida y calidad de agua de lluvia	64
Tabla 6.9 Áreas techos zona de estudio.....	65
Tabla 6.10 Volumen de agua de lluvia con relación al área de captación en m ² y la precipitación pluvial en mm	66
Tabla 6.11 Accionamiento válvula de alivio de sistema	69
Tabla 6.12 Diferencia entre drenajes pluviales	72
Tabla 6.13 Ubicación y estado de las cisternas	79
Tabla 6.14 Distribución de descargas de agua residual.....	81
Tabla 6.15 Costos de agua por m ³	82
Tabla 6.16 Costos del proyecto de captación de agua de lluvia	83
Tabla 6.17 Retorno de inversión del proyecto	83

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4.6 Días con lluvia estaciones meteorológicas, La Joya, Juriquilla, Querétaro.....	47
Gráfico 6.1 Precipitación mensual Querétaro.	56
Gráfico 6.2 Curvas de intensidad-duración y frecuencia.....	58

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental mundial trae consigo escasez en los recursos naturales necesarios para el desarrollo humano, así como el detrimento de la calidad del medio abiótico: suelo, agua y el aire, siendo los países en vías de desarrollo los más afectados.

En este contexto, la calidad y cantidad del agua, recurso base para la sustentabilidad de muchos de los sistemas biológicos, se ha convertido en un punto crucial y crítico para el mundo entero, por lo que: ingenieros, investigadores y especialistas en el tema, se han dado a la tarea de encontrar nuevas formas de gestión de la calidad y cantidad del agua con el menor impacto ambiental posible. Por ejemplo, una forma de disminuir la explotación a los mantos acuíferos es la obtención de agua por diferentes medios, tales como el tratamiento de aguas residuales y la captación de agua de lluvia, esta última considerada como sencilla y económica según lo establecido en el IV Foro Mundial del Agua de 2005.

La conciencia sobre la escasez del vital líquido ha incentivado la búsqueda de nuevas formas de su obtención, ya sea empleando nuevas tecnologías o bien desarrollando proyectos de ingeniería, que han permitido la reducción de los costos energéticos por la extracción de agua y la disminución de la sobreexplotación de los acuíferos.

Estas nuevas tecnologías deben de proveer al usuario un método sencillo y eficiente para el rompimiento del caudal, filtración y remoción de contaminantes del agua, esto en conjunto con controles automáticos que reduzcan las horas hombre en el mantenimiento de cada uno de los componentes.

La implementación de sistemas de captación en el sector industrial permite aprovechar el agua para procesos que no requieren una mayor calidad del agua teniendo como beneficios principales la reducción en la extracción de agua de acuíferos y alcanzar los más altos estándares ambientales de las corporaciones.

Las nuevas regulaciones en materia ambiental y el empleo de nuevas tecnologías que se encuentran hoy en día son una herramienta que nos permite incorporar sistemas de

captación que incluso son aprobados por los organismos gubernamentales en diversos países.

En cuestiones tecnológicas las industrias en México no deben desaprovechar la inversión en equipos que les permita ahorrar, tratar y recircular el agua, puesto que estas inversiones tienen un retorno de inversión.

El presente trabajo contempla un sistema de captación de agua de lluvia para uso industrial empleando tecnología para la cosecha y el tratamiento del agua de lluvia en conjunto con sistemas de automatización que permitan hacer rentable y de bajo mantenimiento para las empresas.

1.1 Antecedentes

Los sistemas más antiguos de captación de agua de lluvia encontrados y estudiados datan de 5,000 años atrás en las tierras de Iraq. Estos eran utilizados como fuente de suministro durante sequias y para uso agrícola (Ibraimo, 2007)

En medio oriente la agricultura más temprana estaba basada en técnicas de captación de agua de lluvia, en el desierto de Negev (Pacey y Cullis, 1989), en Israel los sistemas de captación de agua de lluvia datan de 4,000 años a.C. (Habtamu, 1999).

La importancia de los sistemas de captación de agua África es reconocida por el uso de simples líneas en rocas en Burkina Faso así como el uso de terraplenes en el este de Sudán y Somalia (Critchley y Klaus, 1991).

Los estudios más recientes sobre la captación de agua de lluvia comenzaron en los años 50's por Geddes en Australia, éste proporciona la primera definición sobre los sistemas de captación:

“Captación de agua de lluvia es la colección y el almacenamiento de toda agua de explotación, ya sea esorrentía o flujo de arroyo para uso de riego” (Boers, 1994).

Como asegura Sivanappan (2006), el investigador Geddes, de la Universidad de Sidney en Australia, fue uno de los primeros en desarrollar el término de captación de agua de lluvia, seguido por Meyer en 1959 del Laboratorio de conservación del agua en Estados Unidos. Ellos retoman el concepto actualizándolo a lo que se tiene hoy en día como:

“La recolección y almacenaje de agua de esorrentía o flujo de arroyo como resultado de la lluvia sobre un perfil de suelo y embalses tanto sobre la superficie como debajo de ella”(Sivanappan, 2006).

De lo anterior se puede concluir:

“Un sistema de captación de agua pluvial es la colección y almacenamiento de agua de lluvia que cae sobre una superficie y que puede ser aprovechada para uso agrícola, doméstico e industrial”

Hoy en día los sistemas de captación de agua de lluvia han pasado de su diseño original para zonas áridas y semi áridas a zonas semi húmedas y húmedas donde se puede aprovechar una gran cantidad de agua.

Durante la época de Nezahualcóyotl diferentes obras de infraestructura hidráulica fueron diseñadas para contrarrestar los efectos de las precipitaciones intensas en temporada de lluvias, así como el empleo de la misma para hacer distinción entre agua dulce y salina, esta infraestructura durante la conquista fue bloqueada para poder entrar al territorio, lo que generó grandes problemas a los conquistadores para desaguar el excedente debido a la obstrucción de los acueductos por lo que se buscó después de las inundaciones de 1606 el desarrollo de nueva infraestructura (Peña, 2004).

Como lo menciona el Manual de Captación de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos (Anaya y Martínez, 2007) en México se han desarrollado diferentes obras de captación de agua de lluvia desde hace más de tres siglos, así mismo en la época colonial fue una práctica frecuentemente utilizada que aprovechaba las superficies de los techos y las cisternas de diferentes materiales como medio de almacenamiento.

1.2 Planteamiento del Problema

Las organizaciones industriales buscan satisfacer a sus clientes mediante el cumplimiento de los estándares de calidad y desempeño ambiental.

Para dar cumplimiento a los estándares ambientales la Organización de estudio tiene como objetivo desarrollar e implementar proyectos de mejora y con ello cumplir cabalmente las exigencias del cliente.

Para cumplir con estos objetivos es necesario que se invierta tiempo, dinero y capital humano para el desarrollo de los mismos.

El destinar recursos al desarrollo de un proyecto de mejora ambiental debe contemplar un estudio detallado de las alternativas para llevarlo a cabo y reducir los riesgos en la implementación.

Una vez que la organización ha decidido cumplir con los estándares del cliente, en éste caso: implementar un sistema de gestión ambiental bajo la norma ISO 14000, ha detectado que como primera etapa debe cumplir con las leyes y reglamentos del municipio.

La implementación de un sistema de gestión ambiental que sea auditable lleva a una organización a ver más allá de lo que se tiene y de lo que se hace buscando la mejora continua a través de lineamientos estandarizados.

Para ello la *International Organization of Standardization ISO* crea una norma que sea capaz de otorgar a las organizaciones los lineamientos para llevar a cabo un sistema de gestión ambiental que minimice el impacto de sus actividades

Como parte de la mejora continua y aplicación de los sistemas de gestión ambiental se busca cumplir con los requisitos que señala la norma, en la variante ISO 14004, el cual señala en el apartado 4.2 que la organización debe desarrollar una política ambiental considerando diferentes aspectos que generen un compromiso fuerte de la organización con el cumplimiento de metas y objetivos.

A continuación se listan parte de los requisitos que debe cumplir una política ambiental (ISO, 2008). Los puntos remarcados serán los que servirán de referencia para la elaboración del proyecto.

- a) Misión, visión, valores esenciales y creencias;
- b) La coordinación con otras políticas de la organización (por ejemplo: calidad, seguridad y salud ocupacional);
- c) Los requisitos de las partes interesadas y la comunicación con éstas;
- d) Los principios de orientación;
- e) Las condiciones locales o regionales específicas;
- f) Su compromiso de prevención de la contaminación y mejora continua;
- g) Su cumplimiento con requisitos legales y otros requisitos que la organización suscriba.

El desarrollo de este proyecto esta basado en tres puntos del enfoque de la política ambiental y en la visión, misión y objetivos de la empresa.

El punto 4.3.2 de la norma ISO 14004 nos establece que se deben cumplir con los requisitos legales, de los cuales se tomaran el inciso a) legislación, incluidos estatutos y reglamentos y el inciso c) permisos, licencias u otras formas de autorización. Los requisitos legales pueden tener varias formas, tales como (ISO, 2004).

- a) Legislación, incluidos estatutos y reglamentos;
- b) Decretos y directivas;
- c) Permisos, licencias u otras formas de autorización;
- d) Órdenes emitidas por entidades reguladoras;
- e) Dictámenes emitidos por cortes o tribunales administrativos;
- f) Leyes consuetudinarias o indígenas; y
- g) Tratados, convenciones y protocolos.

El tomar como base un sistema de gestión ambiental para el desarrollo de un proyecto ambiental tiene como finalidad que la organización esté comprometida al 100% y que se dé seguimiento al avance de los mismos.

La Organización de estudio se encuentra en la fase de cumplimiento normativo y derivado de ello el municipio da a conocer lineamientos que se deben cumplir para la obtención de permisos y licencias siendo uno de ellos el Permiso de Descarga de Agua Residual donde el municipio le solicita a la empresa desincorporar la descarga de agua pluvial de la descarga de agua residual, por lo que la Dirección y Gerencia de la Organización enfocan sus esfuerzos en dar cumplimiento a estos objetivos otorgando una inversión inicial de \$300,00 MXN en la evaluación e implementación de un sistema de captación de agua de lluvia

El presente trabajo plantea el desarrollo de un sistema de captación de agua pluvial para uso industrial en una primera etapa como parte del cumplimiento legal de la Organización.

1.3 Justificación

El desarrollo del proyecto nace del interés como parte de la Filosofía de la empresa en reducir el impacto ambiental de las actividades que se desarrollan en ella, así como dar cumplimiento a los requerimientos ambientales de los clientes actuales; desarrollando proyectos de mejora en procesos productivos y áreas de servicio, siendo esta última la que beneficiada con la implementación de los sistemas de captación, esto a su vez ayuda en la métrica mensual para disminuir el indicador de metros cúbicos por tonelada procesada atrayendo el interés de nuevos clientes que quieren el desarrollo de sus proyectos en empresas Ambientalmente responsables y que buscan la mejora continua de sus procesos haciendo accesibles los costos de producción.

Para dar cumplimiento a la legislación ambiental es necesario obtener un permiso de descarga de agua residual al drenaje municipal y para ello se debe ejecutar un proyecto de desincorporación de agua pluvial de la red municipal y evitar la dilución del agua residual con agua pluvial.

La implementación del sistema de captación de agua pluvial forma parte de un proyecto integral que incluye tratamiento de aguas residuales y la desincorporación de agua pluvial del sistema de alcantarillado, dejando como opciones el adecuar las instalaciones para el aprovechamiento, infiltración superficial, almacenamiento y uso eficiente:

La organización en estudio cuenta con áreas de captación adecuadas que pueden ser utilizadas para el aprovechamiento y explotación de agua pluvial, en este sentido la captación del agua pluvial es una herramienta dentro de una organización que ayuda a reducir el impacto ambiental, por la sustitución de la extracción de agua de mantos acuíferos y presas al incluir una fuente de abastecimiento renovable.

El desarrollo e implementación de un Sistema de Captación de Agua de Pluvial ayudará a:

- a. Obtener el título de descarga de agua residual derivado de la desincorporación del agua pluvial de la residual.
- b. Disminuir el volumen de agua residual generada por dilución con agua pluvial,

- c. Reducir el consumo de la red municipal y por ende el costo del pago del servicio facturando una menor cantidad de metros cúbicos consumidos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de captación de agua pluvial para uso industrial en la zona de estudio.

1.4.2 Objetivos particulares

- Obtener las normales climatológicas del área de estudio
- Analizar las normales climatológicas
- Obtener isoyetas de intensidad de lluvia
- Establecer los componentes del Sistema de Captación de Agua Pluvial
- Seleccionar el Sistema de Captación
- Seleccionar el área de captación de lluvia
- Obtener los consumos de agua de las diferentes áreas de la Organización
- Calcular el agua pluvial a captar con el desarrollo del sistema de captación, consumo- captación
- Analizar la calidad de agua de lluvia.

CAPITULO 2.

MARCO CONCEPTUAL

CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL-CONCEPTOS BASICOS

2.1 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es uno de los conceptos fundamentales de la hidrología y se entiende mejor mediante su descripción gráfica, tal como se presenta en la Figura 2.1.

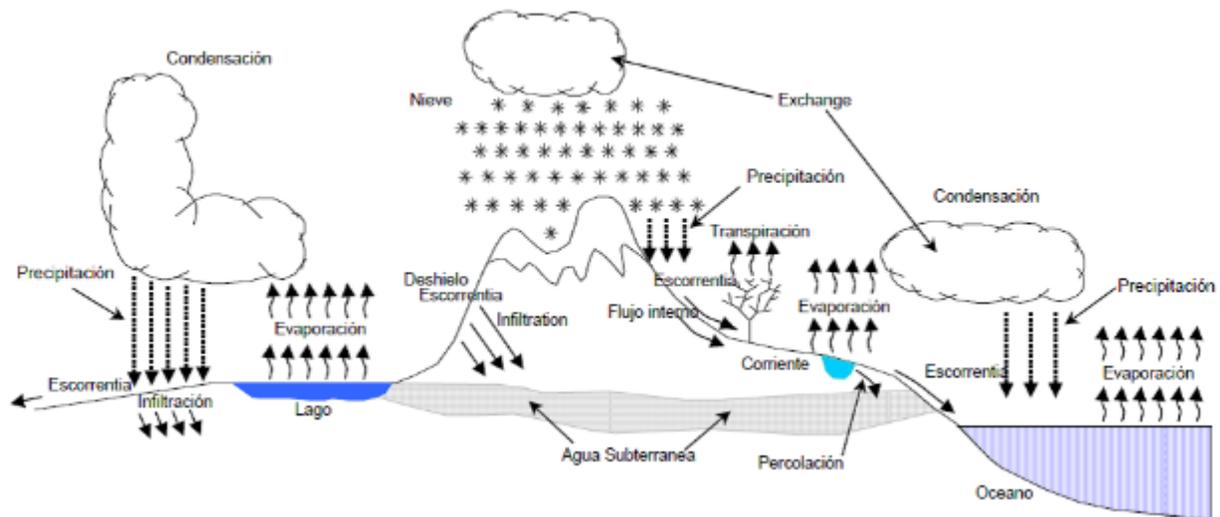


Figura 2.1 Ciclo hidrológico (McCuen, 2002)

En ésta Figura es posible observar que el ciclo hidrológico contempla los tres estados del agua: sólido, líquido y gaseoso.

El agua superficial que se encuentra en ríos, lagos, lagunas, mares y vegetación se evapora y condensa formando nubosidad, que al enfriarse comienza a precipitarse. Esta precipitación puede presentarse en forma de lluvia, granizo, nieve, agua nieve, rocío y helada. Cierta porcentajes se evapora durante su caída y otro llega a la superficie de las cuencas.

El escurrimiento del agua sobre las cuencas genera que se acumule cierto porcentaje en presas, lagos y otro porcentaje se descargue sobre el mar y el restante se infiltre a los mantos acuíferos, generando corrientes subterráneas que alimentaran a ríos superficiales posteriormente o que su agua será extraída mediante el uso de pozos (Aparicio, 2007; Stanley, 1969).

El agua que se infiltra se almacena en una estructura geológica porosa llamada acuífero, de esta estructura se puede extraer el agua o infiltrarse hasta ríos, lagos y mares para reiniciar el ciclo hidrológico. Durante esta infiltración se separarán los sólidos de un líquido por medio de una sustancia porosa donde solo el líquido pasa y así mantener la una buena calidad de agua dentro del acuífero (Aparicio, 2007).

La calidad del agua se establece mediante la necesidad que vaya a cubrir, por ejemplo uso humano o uso industrial, estos parámetros en la Norma 127 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (CNA, 2007) y en los parámetros establecidos para cada uno de los procesos.

2.2 Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia tradicional.

Como hace referencia (Palacio, 2010) los componentes de un sistema de captación de lluvia dependen del usuario final que use el agua. Tradicionalmente, los Sistemas de Captación están conformados por:

- 2.2.1. Superficie de captación
- 2.2.2. Conducción de agua (Canaletas y tuberías de bajada)
- 2.2.3. Almacenamiento,
- 2.2.4. Sistema de bombeo,
- 2.2.5. Filtración y
- 2.2.6. Potabilización

En la Figura 2.2 se muestra el diagrama de flujo de los componentes de un sistema de captación de agua pluvial, en el orden tradicional.

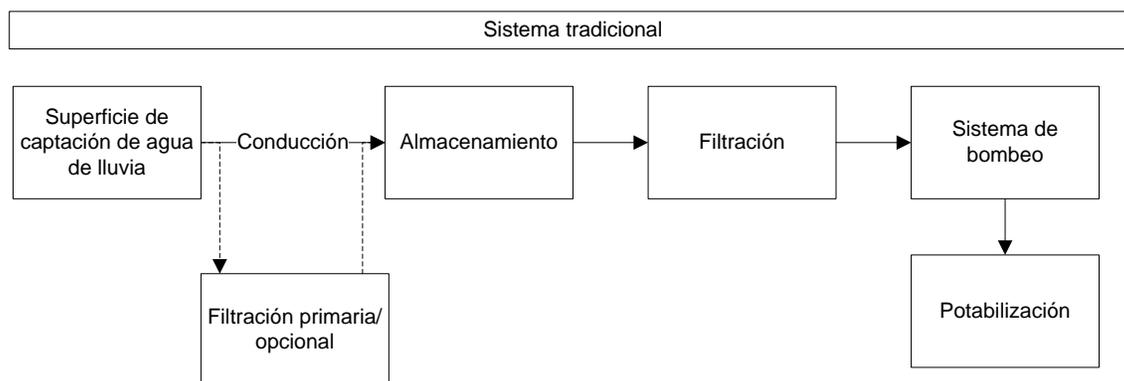


Figura 2.2 Diagrama de flujo sistema de captación de agua de lluvia (Elaboración de Autor)

2.2.1 Superficie de captación

La superficie de captación es uno de los componentes principales para los sistemas de aprovechamiento de agua pluvial, proporcionan flujo y una calidad de agua determinada, de ellos también se deriva que tipo de pre-tratamiento se le dará al agua captada.

Tradicionalmente las superficies empleadas son techos de casas, edificios y estructuras industriales, laderas y en otros casos estructuras llamadas techos cuenca (UNEP, 2009).

Como se mencionó la calidad del agua depende de dos factores, el material de fabricación de los techos y la deposición de contaminantes atmosféricos sobre ellos, por lo que durante la selección del tipo de superficie y en el caso de los techos deben ser fabricados con materiales que no afecten la calidad del agua y se deberá drenar los primeros minutos de lluvia para evitar que los contaminantes atmosféricos entren en el sistema.

Los materiales que comúnmente se utilizan son la madera, tejas de arcilla, cemento, paja, asfalto, aluminio, acero, fibra de vidrio entre otros. En el caso de los techos con compuestos de asfalto, no se puede utilizar para cosechar agua de consumo humano debido a los lixiviados tóxicos que generan (Palacio, 2010).

En el caso de los techos de cemento o tejas de arcilla, el agua puede ser usada para consumo humano, sin embargo para incrementar el porcentaje de aprovechamiento se deberán recubrir con pinturas impermeables y con ello incrementar la velocidad del flujo y el agua a captar (Krisha, 2005).

Los techos que menos se recomiendan para la captación de agua de lluvia son de asbesto y acero galvanizado que incrementan la conductividad y sólidos totales siendo los de asbesto los más críticos al incrementar considerablemente la dureza del agua (Eurola, 2010).

Como asegura König (1998) se ha demostrado la relación entre la alta dureza en agua potable y casos de enfermedades de corazón.

Así mismo la superficie de captación deberá ser lo más recta para evitar disminuir la velocidad del fluido y con ello evaporar mayor cantidad de agua. En zonas urbanas no se consideran las superficies pavimentadas y cementadas por los tipos de contaminantes que traen consigo como grasas y aceites.

2.2.2 Conducción de agua

La conducción de lluvia al igual que las superficies de recolección, deben contar con estándares de calidad para no contaminar el agua colectada, asimismo deben estar diseñadas para soportar el caudal total de la superficie de captación en relación a la precipitación máxima en el periodo de tiempo más corto y puede estar constituido por canaletas y tubería de bajada.

La función de las canaletas es captar el agua de los techos contando con una superficie amplia para regular el caudal y están construidas generalmente por aleaciones de aluminio y zinc, aluminio y plástico, y deben contar con una pendiente entre 0.3% y 0.5% (Hasse, 1989).

El agua recolectada en las canaletas se desplaza mediante las tuberías de bajada, las cuales incrementan la velocidad del agua que será almacenada. Las tuberías empleadas para captar agua de lluvia son principalmente de polietileno (PE), Polipropileno (PP), PVC, canaletas de aluminio y canaletas de acero inoxidable (White, 1999; Khoury, 2013).

Para evitar la obstrucción de las canaletas y tuberías, y con ello mejorar la calidad del agua, se han diseñado filtros en línea que impiden que objetos de mayor tamaño como las hojas, insectos, rocas, etc. obstruyan dichos conductos tal y como se observa en la Figura 2.3 (Waterfall, 2004).

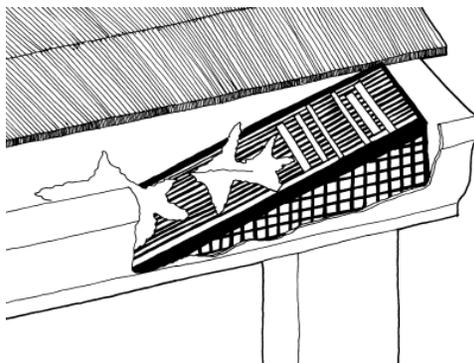


Figura 2.3 Filtro en línea para canaleta (Waterfall, 2004)

Existen proveedores que manufacturan estos sistemas de filtración en línea y que ofrecen una gran gama de productos sencillos y complejos. Éstos se detallaran en el punto 2.2.4.

2.2.3 Almacenamiento

El almacenamiento sirve para regular los escurrimientos durante las temporadas de lluvia para posteriormente usarlo en las épocas de sequía.

Tomando en cuenta el concepto de Aparicio (2007), se considera el vaso de almacenamiento como una herramienta que ayuda a recuperar el agua que escurre en exceso durante la temporada de lluvias permitiendo su aprovechamiento cuando el agua escasea. Un vaso de almacenamiento cuenta con diferentes componentes que son:

NAMINO: Nivel de aguas mínimas de operación

NAMO: Nivel máximo con el que puede operar

NAME: Nivel de aguas máximas extraordinarias

El almacenamiento de agua dependerá del presupuesto, espacio del proyecto, tipo de suelo y las características de la zona de estudio, tradicionalmente se utilizan cisternas debajo del suelo. Por lo tanto, el almacenamiento es de crucial importancia para la cosecha de agua de lluvia (Poushard, 2012).

En la cosecha *in situ* el suelo actúa como almacenamiento, mientras tanto para una recolección *ex situ* el almacenamiento puede ser natural o artificial, en donde el natural generalmente significa recarga de agua subterránea, mientras que la artificial significa de superficie o sub-superficie: en tanques o cisternas pequeñas. La diferencia entre los dos es a menudo menor como estructuras de recolección de agua, para un sistema abierto la infiltración en un sitio abierto puede significar una fuente de almacenamiento para una fuente *ex situ* y un almacenamiento natural en un sistema *ex situ* puede significar una fuente de infiltración en un sistema *in situ* si generalmente son situadas en con una relación sistemática una con la otra (Cortesi, 2009).

Para el diseño de un tanque de almacenamiento puede considerarse los siguientes elementos (Nega y Kimeu, 2002).

- a. **Filtración:** este punto debe considerarse para evitar la pérdida de agua captada por filtración, si se considera construir el tanque de almacenamiento materiales como cemento, yeso y revestimientos de plástico.
- b. **Evaporación:** si el tanque de almacenamiento está expuesto a radiación solar y ráfagas de viento existirá una pérdida por evaporación, por lo que deberá proveerse una cubierta o pensar en un tanque cerrado.
- c. **Longitud de la temporada de sequías:** los tanques de almacenamiento deben ser planeados para almacenar agua durante la temporada de sequía, por lo que esto podría regir el tamaño, sin embargo para periodos muy cortos de sequía, en zonas donde la frecuencia de lluvia es mayor, deberá considerarse uno de menor capacidad.
- d. **Consumo diario:** El tamaño también puede ser definido por el número de usuarios y consumo diario.
- e. **Costos de construcción:** Se considera que los tanques pueden ser ajustados a las características del área y contruidos con materiales locales.

Para disminuir los costos de refuerzo exterior en el tanque de almacenamiento se pueden considerar tanques subterráneos dado que el suelo brinda el soporte necesario, asimismo un tanque con estas características puede recolectar agua de superficies de suelos, a comparación de un tanque elevado o superficial (Nega y Kimeu, 2002).

En los años 80's y 90's la utilización de cisternas era muy frecuente, éstas se construían de diversos materiales entre ellos cemento mezclado con grava para reducir los costos de construcción. En otros casos, el almacenaje puede realizarse en tanques de acero o polietileno de alta densidad, estos son prediseñados y se debe tomar en cuenta la resistencia del material dependiendo de la ubicación del tanque a la intemperie o subterráneo (Levario, 2007).

Este componente de la captación de agua de lluvia representa una parte significativa por costo y espacio necesario para almacenar la demanda diaria puesto que la mayoría de los proyectos de captación son en edificaciones antiguas donde no se contempló el sistema.

Diversos autores (Poushard, 2012; Nega y Kimeu, 2002; Krishna, 2005) describen tanques de diferentes tipos de materiales empleados en la captación de agua de lluvia. A continuación se describen algunos de ellos.

- a. **Fibra de vidrio:** los tanques de fibra de vidrio se adaptan a los requerimientos de los usuarios. Pueden variar de tamaño y forma, cuadrados o cilíndricos, este tipo de tanque son ligeros, económicos y de larga duración. es recomendable invertir en un tanque de fibra de vidrio cuando este tenga un gran tamaño de lo contrario tanques pequeños pueden resultar con un costo muy similar a uno grande, en Estados Unidos la resina que se emplea debe ser aprobada por *United States Department of Agriculture USDA* debido a que es necesario garantizar que se evitara la contaminación del vital líquido cuando es requerido en consumo humano (Krishna, 2005).

A este tipo de estructuras se le pueden agregar diferentes accesorios como bridas, válvulas, flotadores entre otros.



Figura 2.4 Tanques de fibra de vidrio, (Poushard, 2009)

- b. **Polietileno:** los tanques de polietileno son los más comunes y vendidos hoy en día, son económicos, ligeros y de gran duración. Pueden ser instalados sobre el suelo y con un nivel de recubrimiento para resistir el tipo de clima del área. Estos tanques tienen diferentes capacidades que van desde 1m^3 hasta $40,000\text{m}^3$, a su vez cuentan con una gran gama de accesorios para realizar las instalaciones apropiadas (Krishna, 2005; Poushard, 2013).



Figura 2.5 Tanques superficiales de polietileno, (Poushard, 2009)

- c. **Polietileno con recubrimiento para uso subterráneo:** el uso de estos tanques es más costoso que los de polietileno para uso superficial debido al costo de excavación y del costo de un tanque con refuerzos para soportar la presión de la tierra y sus movimientos, el reforzamiento es requerido cuando el tanque es enterrado más de 60 cm y cuando el suelo es en su mayoría de arcilla (Krishna, 2005; Poushard, 2013).



Figura 2.6 Tanque con refuerzo, (GRAF, 2013)

- d. **Metal:** este tipo de tanque necesita de cuidados especiales para evitar la corrosión, por ejemplo, debe aplicarse una capa de pintura que permite alargar su duración, se debe evitar la conexión de accesorios de bronce y latón que incrementan la corrosión. Si el agua almacenada es potable deberá aplicarse un recubrimiento que no contenga sustancias tóxicas (Krishna, 2005; Poushard, 2013).



Figura 2.7 Tanque de acero, (Poushard, 2009)

- e. **Concreto:** los tanques de concreto pueden ser prefabricados o contruidos directamente en las instalaciones, es una opción económica si es construido internamente, disminuye la corrosión del agua de lluvia al mezclarse con los lixiviados del cemento y hormigón, si el agua almacenada en este tipo de tanque

es potable deberá ser enyesada con un material aprobado que no libere sustancias tóxicas (Krishna, 2005; Poushard, 2013).

La desventaja de usar un tanque de cemento enterrado son las fracturas que se pueden generar si es colocado en un suelo arcilloso.



Figura 2.8 Tanque de cemento, (Nega y Kimeu, 2002)

- f. **Tanque de cemento recubierto de polietileno:** este tipo de tanques previenen la contaminación del agua aplicando una delgada hoja de polietileno en un estructura rectangular o cilíndrica, como se observa en la Figura 2.9, del tanque de cemento recubierto de polietileno, (Nega y Kimeu, 2002)

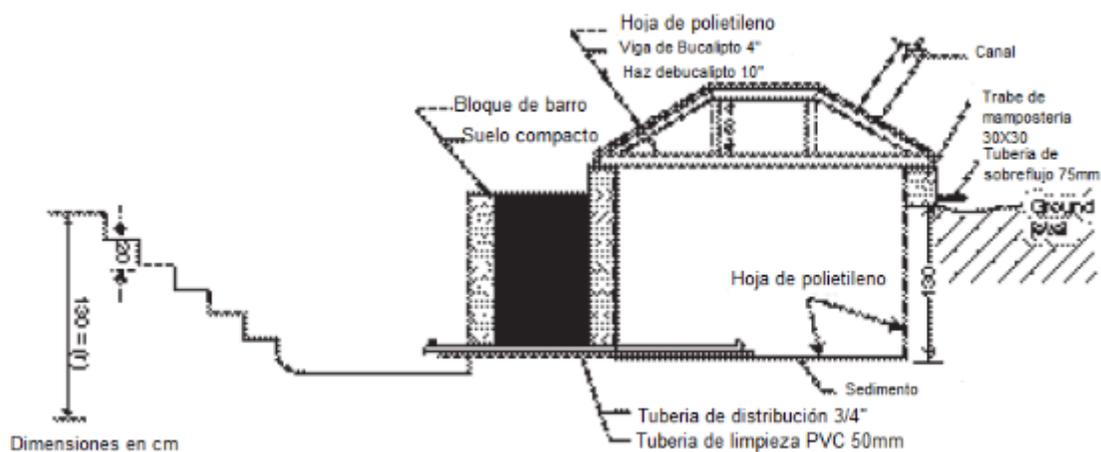


Figura 2.9 Tanque de cemento recubierto de polietileno, (Nega y Kimeu, 2002)



Figura 2.10 Construcción de tanque con polietileno (Nega y Kimeu 2012)

Otro tipo de almacenamiento es el que se realiza mediante el uso de bolsas o *pillow tank*, estas tienen tejidos recubiertos de elastómeros, nylon recubierto de neopreno o caucho de estireno butadieno *SBR Rubber* (Schober, 1989).



Figura 2.11 Bolsa de caucho, (RTD, 2013).

2.2.4 Tratamiento

Como se mencionó al inicio del capítulo el tratamiento dependerá del uso que el usuario final le dé al agua captada (consumo humano, riego, procesos entre otros)

2.2.4.1 Filtración

La filtración es un paso importante en el tratamiento y potabilización de agua de lluvia ya que remueve las partículas en suspensión empleando un medio filtrante (Crittenden,

2012). En el tratamiento de agua de lluvia existen diferentes medios filtrantes que ayudan a obtener una mejor calidad de agua como son:

- a. **En línea:** este tipo de tratamiento consiste en colocar rejillas y sistemas de filtración para eliminar los sólidos de mayor tamaño, en algunos casos se utilizan accesorios en tuberías para quitar hojas e insectos, estos sólidos podrían generar problemas en tuberías y bombas de no ser removidos. (UNEP. 2009).
- b. **De abastecimiento:** estos sistemas regularmente están compuestos de filtros de papel, carbón activado o filtros de arena, a su vez pueden ser acompañados de un tratamiento químico como cloración e intercambio iónico para eliminar minerales que se encuentren disueltos. Este tipo de tratamiento eliminará los sólidos que fueron almacenados en el colector. La desventaja de ocupar un tratamiento durante el abastecimiento son los mantenimientos por desazolve de los tanques y/o cisternas de almacenamiento (Garduño, 2007).

2.2.4.2 Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción parcial o inactivación de organismos patógenos, por exposición a agentes químicos (cloro) o procesos físicos (radiación UV) (Crittenden, 2012).

La desinfección o potabilización del agua dependerá si es para consumo humano o si se busca oxidar algún compuesto en el agua como fierro o manganeso y ser removidos mediante un filtro de arena, o simplemente para evitar el crecimiento de microorganismos que afecten los componentes del sistema.

Para seleccionar un equipo para la desinfección deberá considerarse el presupuesto del proyecto, así como la efectividad del mismo. A continuación se describen diferentes métodos de desinfección empleados para la industria y de uso comercial.

- a. **Desinfección ultravioleta:** la desinfección ultravioleta no inactiva los microorganismos por interacción química, ésta actúa por absorción de la luz que genera una reacción fotoquímica alterando los componentes moleculares y la función de las células modificando las diferentes proteínas y aminoácidos que

las componen. La luz ultravioleta ataca los ácidos nucleídos y otros componentes vitales de la célula, puesto que se dispersa rápidamente en el agua para ser absorbida y reflejada por los microorganismos.

La exposición a la radiación ultravioleta provoca un incremento en los grupos metilo que están asociados con lípidos, oxidación de lípidos y composición de lípidos. Este proceso no tiene un residual, sin embargo se recomienda tener un desinfectante secundario para mantener un residual a lo largo del sistema distribución que es susceptible de volver a contaminarse (Santos,2013).

En la Tabla 2.1 se describen las diferentes bandas del espectro de la radiación ultravioleta, tal como lo menciona el manual *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual* de la Environmental Protection Agency (EPA) (1999) el rango óptimo de operación es de 245nm-285nm entre UV-C y UV-B. Estos dos rangos, naturalmente son emitidos por el sol, son absorbidos por la capa de ozono por lo que es necesario utilizar fuentes artificiales de UV (Wright,1998).

Tabla 2.1 Ultravioleta rango de espectro electromagnético

Nombre	nm
UV Vacuum	100-200
UV-C	200-280
UV-B	280-315
UV-A	315-400

Como se observa en la tabla anterior en rojo se muestra el rango óptimo de operación del espectro ultravioleta.

- b. Ozonificación:** el ozono es usado en el tratamiento del agua para la desinfección y oxidación de contaminantes, es más poderoso que otros desinfectantes comúnmente usados como el cloro y dióxido de cloro, por lo que requiere de un

menor periodo de contacto y concentración (DeMers, 1992). Este tipo de tratamiento, antes de ser empleado en la desinfección de aguas residuales, era utilizado para la remoción de color y sabor (EPA, 1999)

Un sistema de tratamiento de agua con ozono tiene 4 componentes básicos

- Alimentación de gas
- Generador de ozono
- Contractor de ozono
- Sistema de destrucción de gas de escape

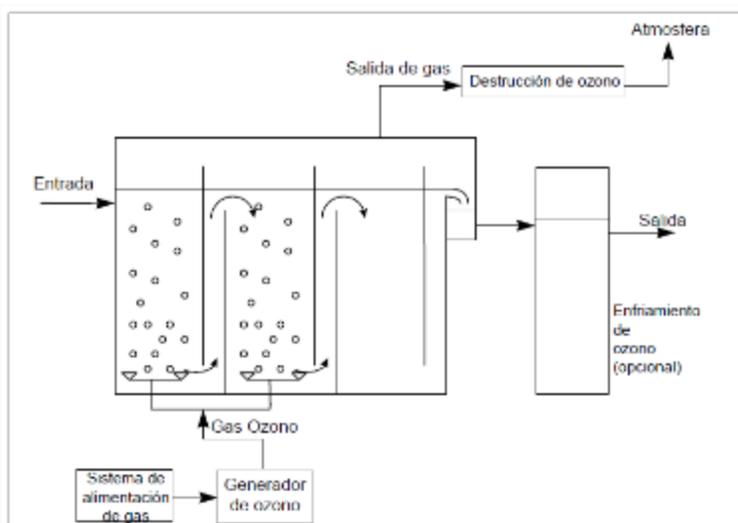


Figura 2.12 Diagrama de componentes isoterma de ozonización, (EPA, 2011)

En la Figura 2.12 se observa como es el flujo de agua entra por las diferentes cámaras donde es inyectado el ozono con difusores de burbuja fina, el ozono es generado por medio de un contractor de gas, el gas que resulta del procesos de desinfección es liberado a la atmosfera.

El ozono, además de ser capaz de oxidar la materia orgánica convencional, también es frecuentemente utilizado en la oxidación de contaminantes como inorgánicos como fierro, manganeso y sulfuro, oxidación de micro-contaminantes orgánicos (olor, sabor) contaminantes fenólicos y algunos pesticidas, remueve color e incrementa la biodegradabilidad de componentes orgánicos.

c. **Cloración:** la cloración ha sido empleada debido a que es un método económico y efectivo, las diversas aplicaciones son eliminar el sabor y aroma, prevención de crecimiento de algas, mantenimiento de un filtro limpio, remover fierro y manganeso, destrucción del sulfuro de hidrogeno, blanqueamiento de ciertos colores producidos por compuestos orgánicos, mantenimiento de la calidad del agua de distribución controlando el crecimiento de limo, restauración y preservación de la capacidad en tuberías, coagulación de sílice, entre otros.

El cloro también tiene desventajas en su empleo como el reaccionar con diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos produciendo subproductos de desinfección o DBP's por sus siglas en ingles, Desinfection by-products. Estos son contaminantes asociados al uso de cloro especialmente gases de cloro que requieren un tratamiento especial. Grandes cantidades de cloro pueden causar incremento en el sabor y problemas de olor.

La cloración en el agua afecta directamente en las membranas de las células y disminuye la demanda de oxígeno de *Escherichia Coli* y *Candidus parapsilosis* (EPA, 1999; Crittenden, 2012; Weinber, 2002).

2.2.5 Sistema de bombeo

Para seleccionar un sistema de bombeo se debe conocer cuál es la demanda de los diferentes usuarios para obtener un flujo, conocer a detalle la presión final a la que operan los diferentes accesorios de cada usuario, así como la altura a la que se va a distribuir el fluido, todo con la finalidad de lograr el correcto funcionamiento del sistema.

Existen diferentes tipos de bombas como son las bombas de desplazamiento positivo y las bombas dinámicas (Jones, 2006). Las bombas de desplazamiento positivo tienen una eficiencia mayor cuando el requerimiento es para altas presiones y poco caudal. A diferencia de las bombas dinámicas que su eficiencia es mayor cuando se requiere de baja presión y alto caudal.

En este caso por la cantidad de agua que entrara al sistema es recomendable tener una bomba dinámica que nos permita desplazar el agua hacia otro tanque de almacenamiento (Viejo, 2003).

2.3 Calidad del Agua

Los parámetros de calidad del agua para cada uno de los procesos son definidos por ingenieros de manufactura y producción en conjunto con los proveedores de materiales directos para producción y que no dañen la estabilidad de los productos empleados. En la siguiente Tabla 2.2 se detallan las diferentes calidades de agua requeridas en cada uno de los procesos.

Tabla 2.2 Calidad del agua para procesos.

Nombre	Calidad Requerida	
Agua para procesos 1 y 1.1	Dureza mg/LCaCOO3	53.4>106.8
	pH UpH	6.5>8.5
	Conductividad μ S/cm	<500
Agua para alimentación torres de enfriamiento, en relación a los ciclos de concentración deseados, en este caso se fijan al valor de la sílice 2.3 ciclos	Conductividad μ S/cm	<1500
	pH UpH	<9
	Dureza Total mg/L	250
	Sílice mg/L	160
	Fierro mg/L	1
Agua para preparación refrigerante	Dureza mg/LCaCOO3	53.4>106.8
	Conductividad μ S/cm	<350
	pH UpH	6.5-7.5
	Cloro libre mg/L	<1.5

El agua de lluvia es considerada como un agua suave, ligeramente ácida con pH entre 6.3 y 6.8, no contiene sodio, algunos agentes contaminantes y bacterias, completamente segura para uso no potable (LaBranche et al., 2007).

A continuación se describen los parámetros de calidad del agua para los procesos de lubricación, fluidos de corte y enfriamiento que emplean agua.

2.3.1 pH

Es uno de los parámetros más importantes para seleccionar el método de potabilización debido a que puede reaccionar con diferentes compuestos generando DBP's, no tiene un impacto directo en el consumo humano a comparación de un proceso industrial, el pH del agua puede afectar directamente a las tuberías

de los sistemas de enfriamiento y a la estabilidad de la emulsión del sistema de lubricación (Awadallah et al, 2011).

2.3.2 Sólidos Disueltos Totales

La medición de este parámetro da una idea al usuario final de la cantidad de dureza total, depósitos químicos, corrosión. si los parámetros de sólidos disueltos totales, este parámetro afecta directamente a proceso por la incrustaciones que pueda generar, si el parámetro esta sobre los 500 mg/L se deberá realizar análisis determinando dureza total, nitratos, sulfatos, cloruros, hierro, manganeso, alcalinidad (Awadallah et al, 2011).

2.3.3 Salinidad

La salinidad es la presencia de minerales soluble en agua, una alta salinidad afecta la fuerza iónica e influye en la solubilidad de CaCO_3 una alta concentración de sal generan riesgos para el medio ambiente además de afectar la agricultura y la infraestructura, los altos niveles de salinidad en el agua pueden provocar enfermedades en la vegetación nativa asimismo generar una distribución de especies resistentes a la sal(EPA,1999).

2.3.4 Dureza total

La solución en agua de iones polivalentes que están asociados con los aniones que abarcan la alcalinidad, estos iones comúnmente son de Ca^{2+} , Mg^{2+} independientemente de los aniones presentes..Se expresa como carbonatos de calcio CaCO_3 (NALCO, 1988; Crittenden, 2012).

CAPITULO 3
MARCO JURÍDICO

CAPITULO 3. MARCO JURÍDICO

3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Con base en los artículos 4 y 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la federación establecerá las medidas necesarias para proveer a las personas un ambiente adecuado para su desarrollo, por lo que los usos y reservas de tierras, aguas y bosques serán regulados para la conservación, mejoramiento y crecimiento de centros urbanos de población.

Artículo 4. “...Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.”

Artículo 27. “...se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población.”

3.2 Ley de Aguas Nacionales (LAN)

Derivado de las medias dictadas se abre el camino a la generación de una Ley específica para el recurso agua, en ella se consideran las facultades de la federación para propiciar la preservación de los recursos como lo establece el **artículo 5to** de la Ley en mención y siendo propiedad de la Nación esta delega a los estados y municipios la administración del recurso según sea de su competencia y que se tengan asignadas como lo establecen los artículos 7 y 8 de la LAN.

Artículo 5.- Son facultades de la Federación:

XI. La regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de las aguas nacionales, la biodiversidad, la fauna y los demás recursos naturales de su competencia.

Artículo 7.- Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

VIII.- La regulación del aprovechamiento sustentable y la prevención y control de la contaminación de las aguas de jurisdicción estatal; así como de las aguas nacionales que tengan asignadas;

Artículo 8.- Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

VII.- La aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación de las aguas que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población, así como de las aguas nacionales que tengan asignadas, con la participación que conforme a la legislación local en la materia corresponda a los gobiernos de los estados;

A continuación se enlistan los artículos relevantes en materia de preservación del recurso, competencias para otorgar los permisos de descarga.

Artículo 12.

“IX. Expedir los títulos de concesión, asignación, permisos de descarga, además de los permisos que establece la fracción IX del Artículo 9 de la Ley de Aguas Nacionales.”

ARTÍCULO 12 BIS 2.

“Cada Organismo de Cuenca estará a cargo de un Director General nombrado por el Consejo Técnico de "la Comisión" a propuesta del Director General de ésta.”

“V. Expedir los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga;”

Debido a que la inversión inicial de un sistema de captación de agua de lluvia de tamaño industrial sería bastante costoso, se considera como referencia el **artículo 22 Bis** de la LAN donde se considera prioritario la investigación, incorporación o utilización de tecnología que disminuyan la contaminación, así como el ahorro y aprovechamiento sustentable del agua. Para efectos del otorgamiento de estímulos fiscales que se establezcan en la ley en mención.

Artículo 22 Bis. Se consideran prioritarias, para efectos del otorgamiento de los estímulos fiscales que se establezcan conforme a la Ley de Ingresos de la Federación, las actividades relacionadas con:

I.- La investigación, incorporación o utilización de mecanismos, equipos y tecnologías que tengan por objeto evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental, así como el uso eficiente de recursos naturales y de energía;

III.- El ahorro y aprovechamiento sustentable y la prevención de la contaminación del agua;

El artículo 73 de la LAN pretende que las personas asuman beneficios y costos ambientales de sus actividades económicas mediante el empleo de instrumentos económicos como mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal.

Artículo 73. Para efectos de la presente Ley, se consideran instrumentos en materia económica, aquellos mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asuman los beneficios y costos ambientales que generen sus actividades económicas, incentivándolas a realizar acciones favorables al ambiente, definiéndose como:

a) Instrumentos fiscales: Aquellos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental y aquellos otros relativos al pago de derechos por el aprovechamiento de los servicios ambientales tales como la infiltración de agua a los acuíferos y la captura de carbono, con el fin de garantizar, que el destino de los fondos recabados se inviertan, en el mantenimiento de tales servicios ambientales para ser aprovechados sosteniblemente.

Artículo 74. Con base en la normatividad aplicable, se podrán otorgar estímulos fiscales a quienes:

- I. Adquieran, instalen y operen equipo para el control de emisiones contaminantes o tratamiento de aguas residuales;
 - II. Efectúen investigaciones de tecnología cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes;
 - V. Ejecuten auditorías ambientales o certifiquen productos, procesos, servicios, instalaciones y actividades, cumpliendo con sus determinaciones;
 - VI. Colaboren en la investigación y utilización de mecanismos para el ahorro de agua y energía o el empleo de fuentes energéticas menos contaminantes;
- y

Artículo 112. Para la preservación y el aprovechamiento sustentable del agua se considerarán los siguientes criterios:

- II. Para la protección e incremento de la calidad y la cantidad del agua, se requiere la protección de los suelos en general, de las áreas con cubierta vegetal y de las zonas de recarga; su uso eficiente en la industria, comercio, servicios, desarrollos habitacionales y la agricultura; el tratamiento y reuso de las aguas residuales; la adopción de prácticas y conductas sustentables de toda la población para evitar el desperdicio; y la captación y aprovechamiento de las aguas pluviales.

3.3 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA)

La ley General de Equilibrio Ecológico dentro de sus primeros artículos considera las responsabilidades y competencias de cada uno de los niveles de gobierno y con ello generar un manejo sustentable de los recursos.

Artículo 7.- Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

VIII.- La regulación del aprovechamiento sustentable y la prevención y control de la contaminación de las aguas de jurisdicción estatal; así como de las aguas nacionales que tengan asignadas;

Artículo 8.- Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

VII.- La aplicación de las disposiciones jurídicas en materia de prevención y control de la contaminación de las aguas que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población, así como de las aguas nacionales que tengan asignadas, con la participación que conforme a la legislación local en la materia corresponda a los gobiernos de los estados;

3.4 Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEEPA)

Esta ley permite identificar a los usuarios y las responsabilidades que tienen para preservar el recurso, a continuación se desglosan los artículos reelevantes

Artículo 4. Se considera de interés social y utilidad pública:

III. La prevención y el control de la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo en el territorio estatal, y la construcción de las obras necesarias para su restauración;

VI. Expedir las concesiones, licencias, permisos y autorizaciones que correspondan, para el uso y aprovechamiento de las aguas de jurisdicción estatal y de los recursos acuáticos asociados;

VII. Prevenir y controlar, en su ámbito de competencia:

b) La contaminación de las aguas de jurisdicción estatal y de las nacionales que el Estado tenga asignadas o concesionadas o se asignen o concesionen para la prestación de servicios públicos o que se descarguen en redes de alcantarillado de los centros de población, sin perjuicio de las facultades de la federación en materia de tratamiento, descarga, infiltración y reuso de aguas residuales.

Artículo 7. Corresponde al Poder Ejecutivo del Estado, a través de la Secretaría o la Procuraduría, según corresponda:

3.5 Reglamento para el Uso Eficiente del Agua en las Poblaciones del Estado de Querétaro.

Este reglamento permite orientar a los usuarios sobre sus responsabilidades al tener un predio con superficies impermeables

Artículo 13.- Los usuarios que cuentan con predios o áreas impermeables mayores de 150 m²., deberán realizar las instalaciones hidráulicas interiores como cajas receptoras o cisternas con la capacidad necesaria, siendo la mínima de 1000 lts, con el objeto de captar las aguas pluviales directamente o en combinación con aguas jabonosas, para que puedan ser utilizadas conforme a las especificaciones técnicas que al efecto determine el Organismo Operador, mediante publicación en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado, con el objeto de destinarlas para:

A) Su uso en los servicios internos como son el lavado de patios y banquetas de los predios.

B) El riego de jardines.

C) El lavado de vehículos automotores

D) Su uso en inodoros, previo tratamiento y remoción de los aspectos y olores desagradables.”

3.6 Reglamento para el Control de las Descargas de Aguas Residuales a los Sistemas de Alcantarillado del Estado de Querétaro.

Para dar cumplimiento a la desincorporación el Artículo 33 es el fundamento legal para llevar a cabo la modificación de las descargas el cual menciona lo siguiente:

ARTICULO 33. Queda estrictamente prohibido a las personas físicas o morales que descargan aguas residuales en el alcantarillado, utilizar el sistema de dilución para el cumplimiento de las condiciones de descarga, salvo en los casos que autorice previamente el organismo operador.

El no llevar a cabo estas actividades es motivo de adquirir una sanción por parte de la autoridad cuando esta realiza el monitoreo in situ, el artículo que fundamenta la sanción el el 40 el cual contempla lo siguiente:

TITULO QUINTO.CAPITULO PRIMERO. Sanciones.

ARTICULO 40. Los organismos operadores, conforme a lo previsto en el presente Reglamento, sancionarán las siguientes faltas:

V. Al que utilice el sistema de dilución para cumplir con las condiciones de descarga fijados...”

CAPITULO 4.
UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL
AREA DE ESTUDIO

CAPITULO 4. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación Geográfica

La zona de estudio está ubicada dentro del estado de Querétaro al norte 21° 40', al sur 20° 01' de latitud norte; al este 99° 03', al oeste 100° 36' de longitud oeste, el cual colinda al norte con Guanajuato y San Luis Potosí, al este con Hidalgo y San Luis Potosí, al sur con Hidalgo, México, Michoacán. La organización de estudio se encuentra en el municipio de Querétaro, en la zona industrial Parque Benito Juárez (INEGI,2000).

4.2 Localización del Área de Estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en el parque Industrial Benito Juárez al sur del municipio de Querétaro.

En la Figura 4.1 se muestra el polígono de la zona industrial Benito Juárez, tal como se puede observar, ésta colinda al oeste San Pedro Mártir y José Salvador, al norte El Salitre y al sur con Santa María Magdalena.

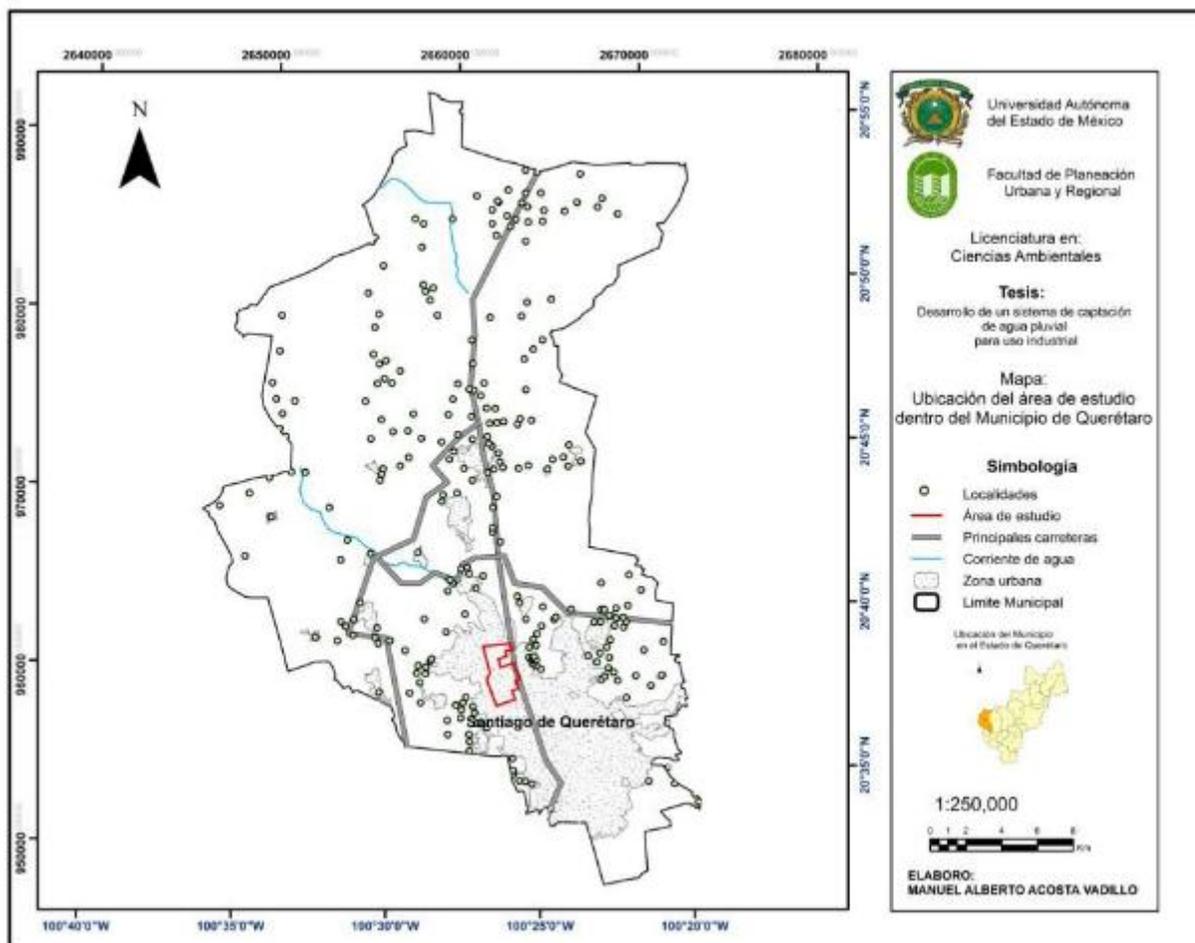


Figura 4.1 Ubicación del área de estudio dentro del Municipio de Querétaro, (INEGI, 2013)

En la Figura 4.2 se puede apreciar el polígono que representa la zona industrial Benito Juárez del municipio de Querétaro, al sur del polígono se ubica la Organización de estudio.

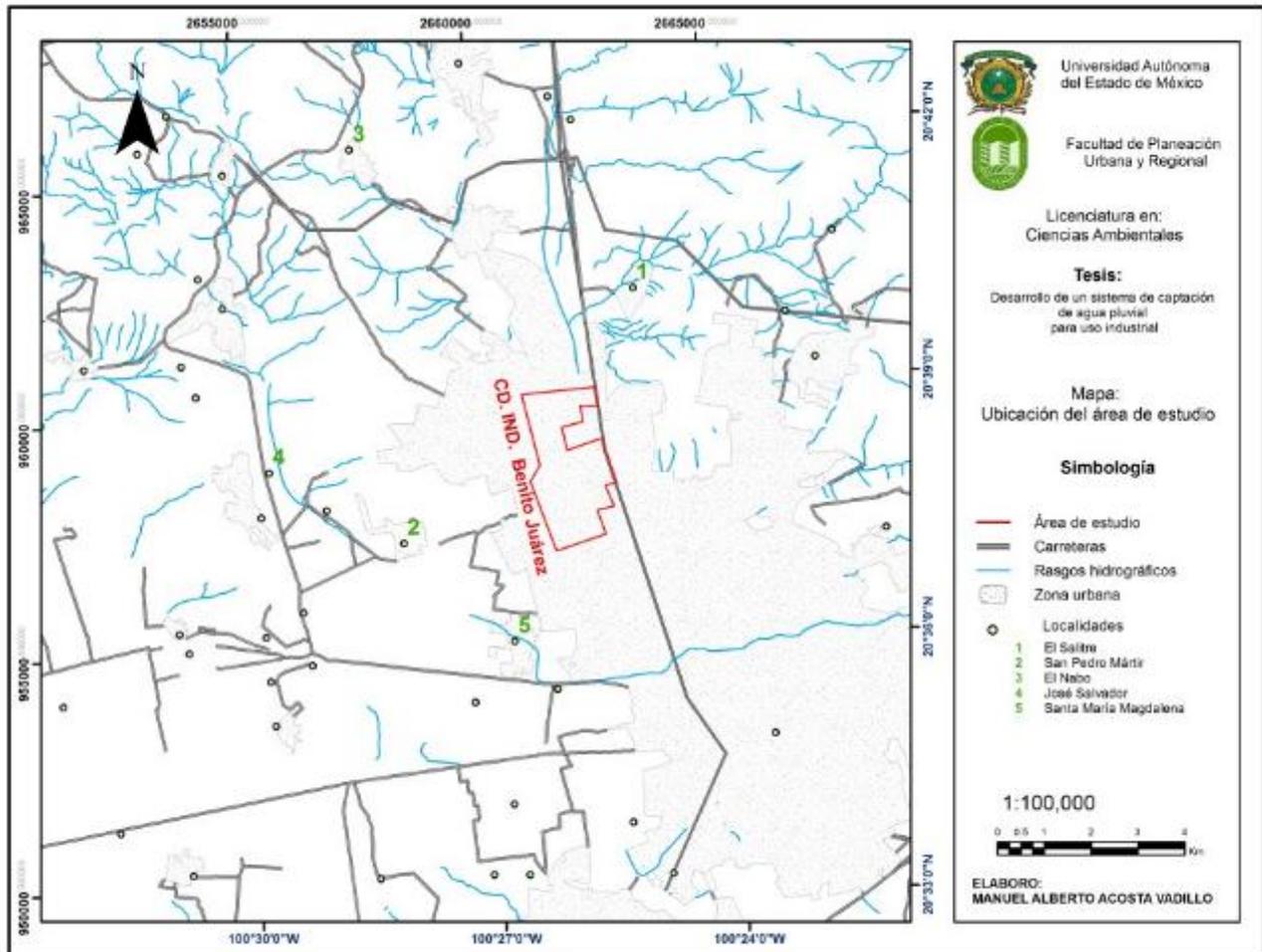


Figura 4.2 Ubicación del área de estudio, parque Industrial Benito Juárez, (INEGI, 2013)

4.3 Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Zona Hidrológica

4.3.1 Acuíferos

Con base a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 que establece el método para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, la CNA determina la capacidad en el acuífero que corresponde al Municipio Querétaro.

El Municipio de Querétaro se encuentra dentro del acuífero 2201 del Valle de Querétaro, el cual cuenta con un déficit de -74.76 millones de metros cúbicos debido al nivel concesionado que es de 140.76 millones de metros cúbicos por año y el nivel de recarga es de 70 millones de metros cúbicos por año y 4 millones de metros cúbicos de descarga (CNA, 2009).

Conforme a la ecuación que establece el déficit de recarga del acuífero siendo la siguiente:

$$DÉFICIT = Vol. de Recarga - Vol. de Descarga - Vol. Concesionado$$

$$DEFICIT = 70,000,000m^3 - 4,000,000m^3 - 140,760,000m^3$$

4.3.2 Red de Agua Potable

La zona metropolitana de Querétaro es abastecida mediante la planta potabilizadora Planta Norte No. 2 la cual tiene una capacidad de entrada de 130 L/s y 81.0 L/s de salida, mediante un tratamiento de filtración directa, esta planta entro en operaciones en el año 2005 a la fecha (CNA,2009).

4.4 Hidrología Superficial

El estado de Querétaro se encuentra dentro de las regiones hidrológicas de Lerma-Santiago RH21 y Pánuco RH26 , siendo 21% para la RH12 y 78.7% para RH26 En la primera de ella los escurrimientos son equivalentes al 160 millones de m³ anuales y la segunda aporta 1142 millones de m³(SDS, 2009).

Como se observa en la Figura 4.3 los ríos perenes que pasan por el estado de Querétaro son al norte río Tampamón, río Jalpan, río Moctezuma, al centro río Extoraz y al sur río San Juan

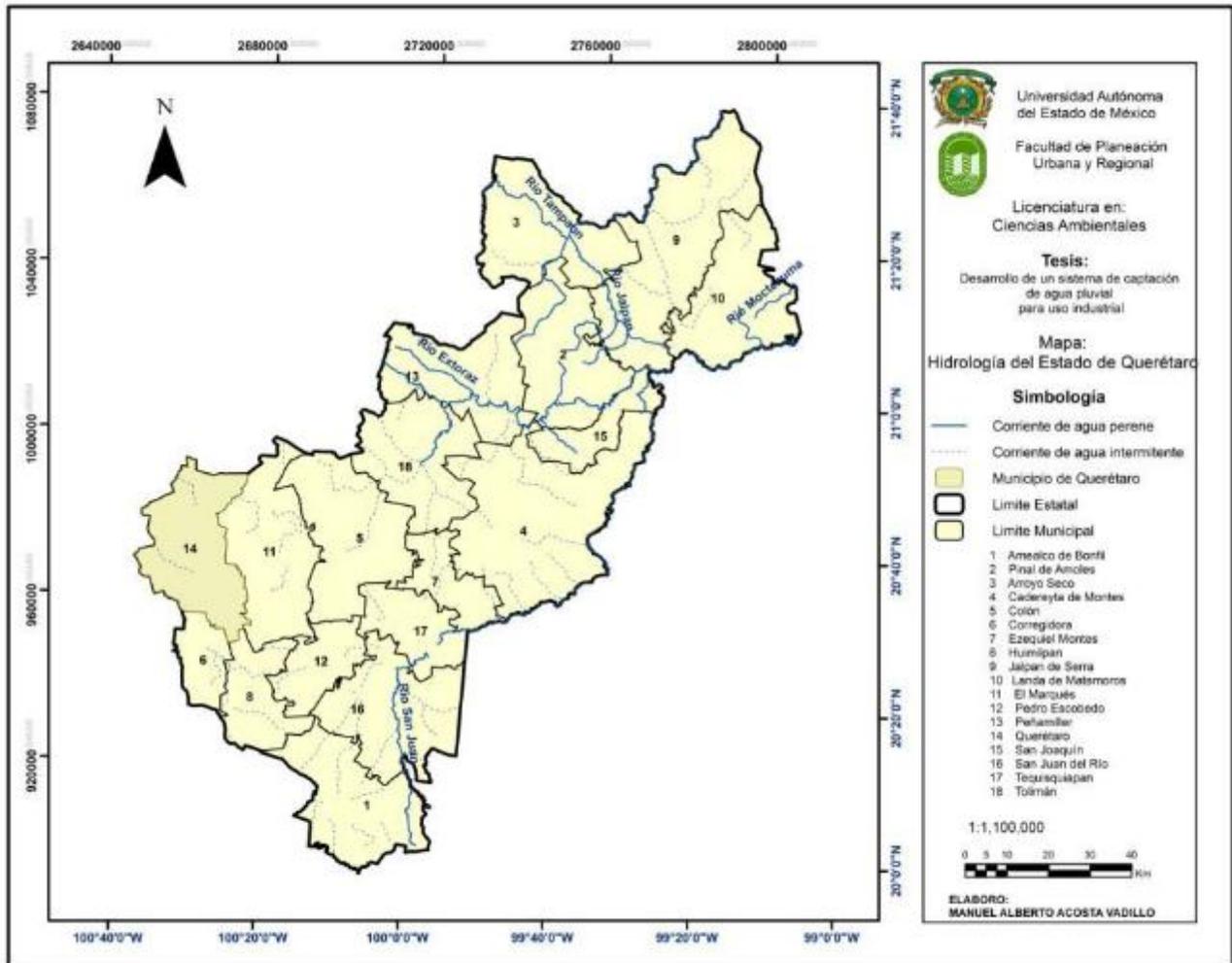


Figura 4.3 Hidrología del estado de Querétaro (INEGI, 2013).

4.5 Hidrología Subterránea

La hidrología subterránea es la fuente principal de abastecimiento representando el 72% distribuida en 9 acuíferos intercomunicados.

También cuenta con 47 norias, 134 manantiales y 1658 pozos activos (804 en la RH12 y 854 en la región RH26)(Querétaro,2009; SDS, 2009)

4.6 Precipitación e Información Climática

Conforme a las normales climatológicas de la zona de estudio y con base a la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio No. 22041 La Joya se obtienen las diferentes temperaturas siendo la máxima 29°C, media 15 °C y mínima 8.9°C. Estos datos han sido compilados desde 1979 hasta el 2000 como lo proporciona el Servicio meteorológico Nacional siendo un total de 21 años.

En la Figura 4.4 se puede apreciar que el municipio de Querétaro se encuentra dentro de los 600 mm de lluvia anual.

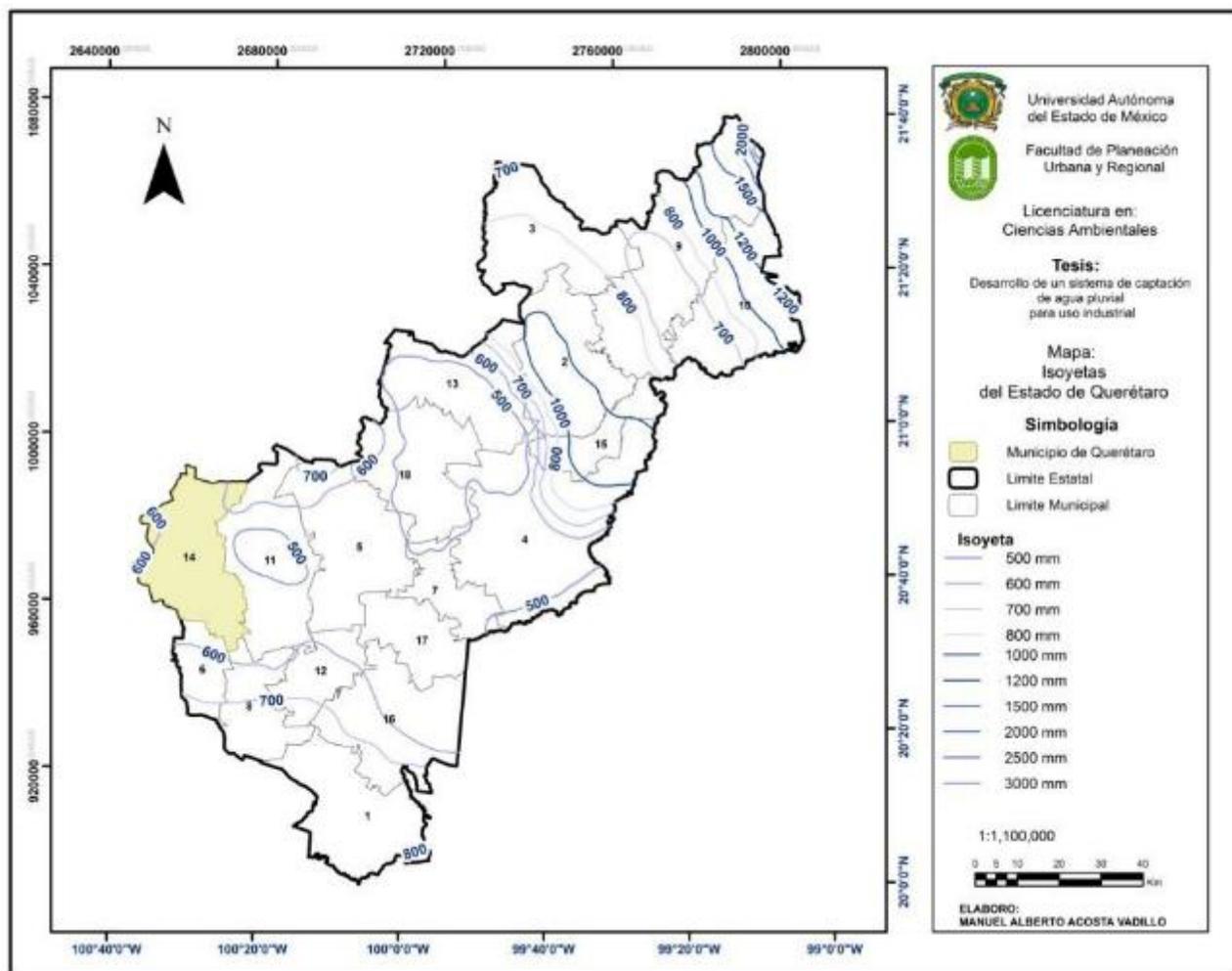


Figura 4.4 Isoyetas del Estado de Querétaro, (INEGI, 2013).

La temperatura máxima registrada es de 32 °C en el 30 de abril de 1983, la mínima registrada es de -2°C el 23 de febrero de 1976 y el 30 de septiembre de 1992.

La precipitación anual es de 602mm con 71 días de lluvia durante todo el año, siendo el mes julio el de mayor precipitación y con una máxima diaria de 80.3mm registrada el 11 de Julio de 1991 con un rango de años de datos entre 14 y 17 años.

De estos se encontró que se cuenta con un mínimo de 1.5 días de lluvias por mes registrados en marzo y noviembre y un máximo de 13.5 en julio, de los datos anteriores se registró en el 4.1 los meses de mayo a septiembre cuentan con más de 4 días de lluvia en para las tres estaciones meteorológicas.

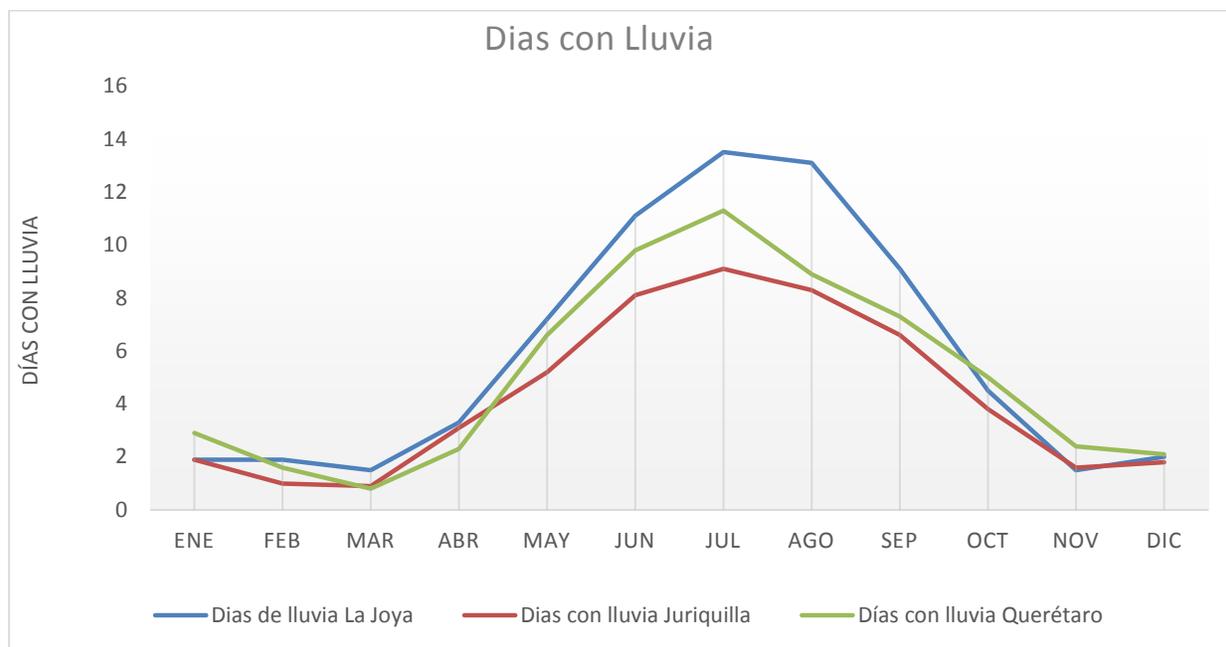


Gráfico 4.1 Días con lluvia estaciones meteorológicas, La Joya, Juriquilla, Querétaro.

El Estado de Querétaro tiene una variedad de 5 microclimas, siendo seco y semiseco el de mayor predominancia con el 51% del territorio de la zona centro del estado; seguido del templado subhúmedo con el 23% del territorio de la zona sur del estado; cálido subhúmedo en el 24.3%; cálido húmedo 1% y templado húmedo en el 0.7% del territorio. Estos últimos tres, localizados al norte del estado, el área de estudio se

encuentra en la zona centro siendo el clima seco y semiseco, tal como se detalla en la Figura 4.5 (INEGI 2013).

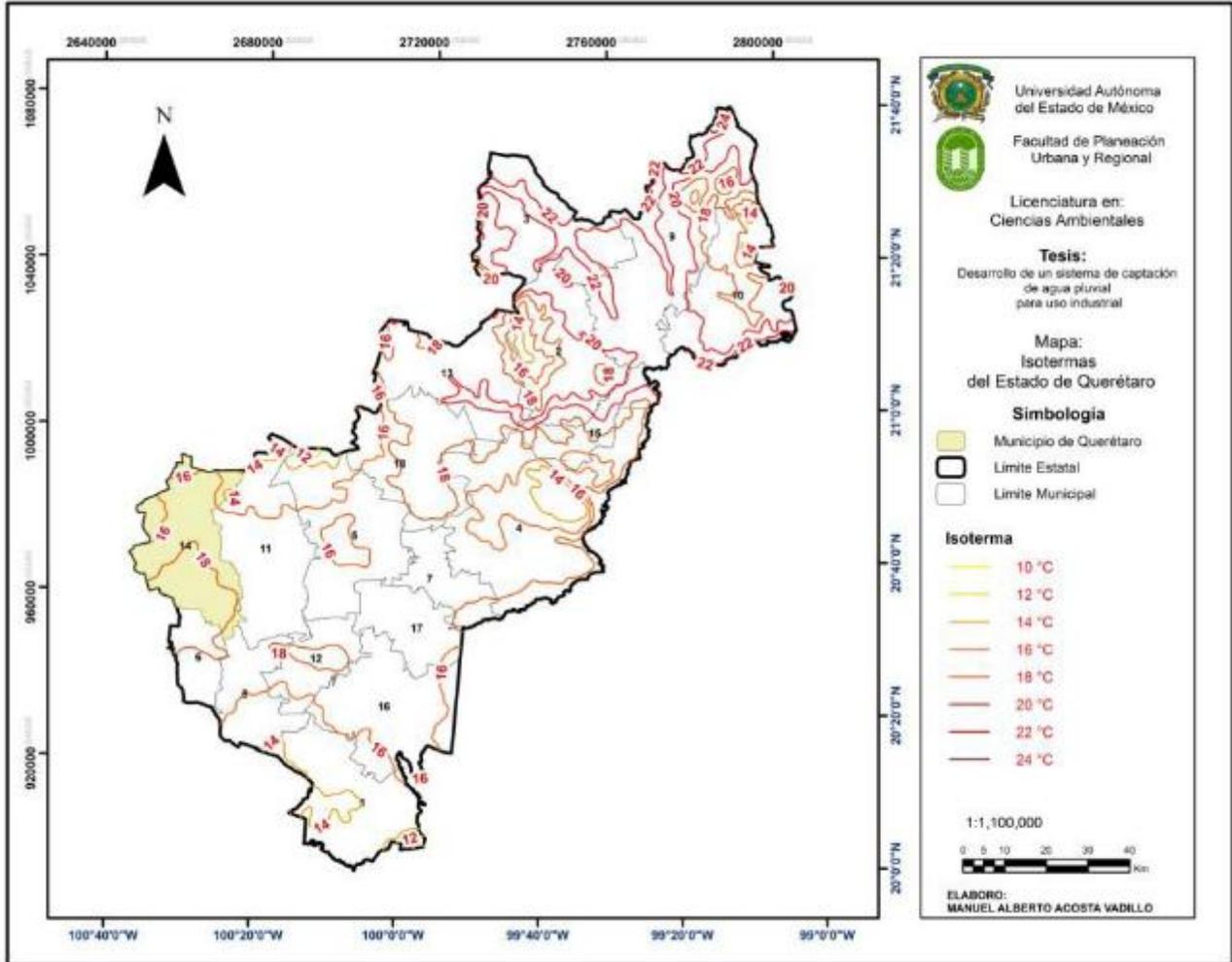


Figura 4.5 Isotermas del Estado de Querétaro (INEGI, 2013)

CAPITULO 5. METODOLOGÍA

CAPITULO 5. METODOLOGÍA

5.1 Diagrama de flujo

Para obtener los resultados deseados de la investigación se llevaran a cabo diferentes actividades descritas en la Figura 5.1 en la cual se incluye la investigación de la información climatológica del área de estudio, análisis, cálculo y selección de los componentes de un sistema de captación de agua de lluvia.

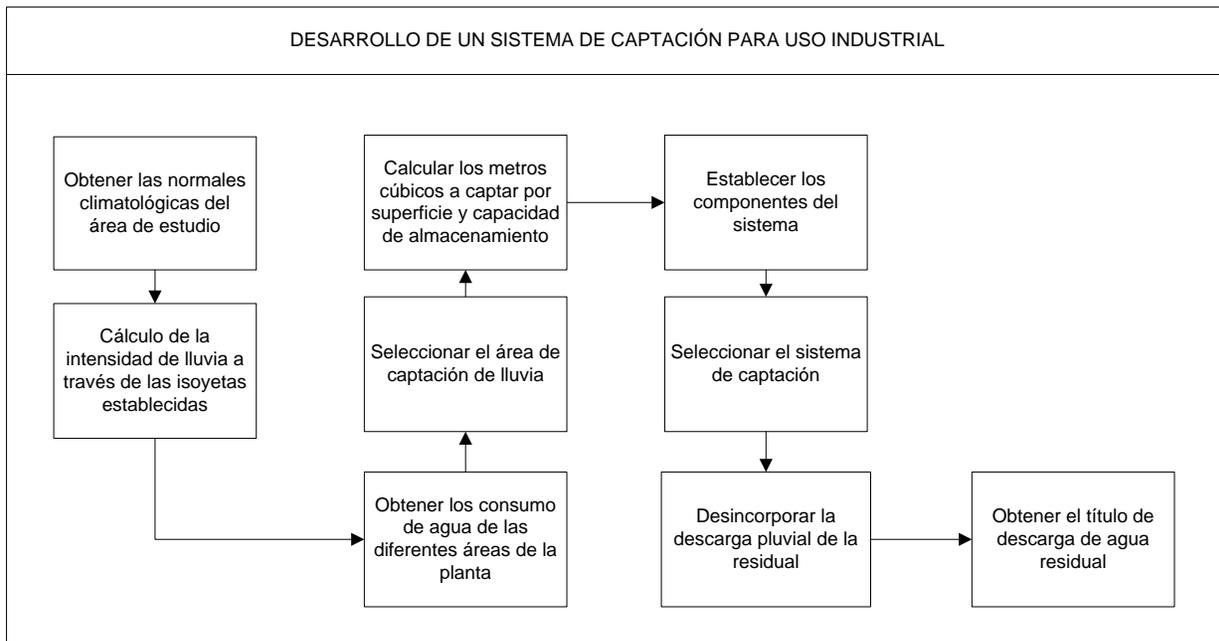


Figura 5.1 Metodología para el desarrollo de un sistema de captación de agua pluvial (Elaboración propia).

5.2 Descripción de Materiales y Métodos

5.2.1 Obtener las normales climatológicas del área de estudio

Para llevar a cabo los cálculos será necesario obtener las normales climatológicas de más de 10 años del área de estudio, para ello se tomarán en cuenta los datos de la estación meteorológica más cercana La Joya en el municipio de Querétaro.

5.2.2 Cálculo de la intensidad de lluvia a través de las Isoyetas establecidas

El cálculo de la intensidad de lluvia, se llevará a cabo con el método racional, el cual es un método simple comúnmente usado para calcular el total de descarga de una superficie sobre un cuerpo, fue diseñada por Kuichling en 1889 (Roma, 2006).

El método racional contempla el área total de captación de agua en este caso serán los techos de la organización en estudio), las máximas y mínimas de precipitación anual, coeficientes de escurrimiento establecidos para techos y otras superficies, el periodo de retorno (frecuencia de lluvias máximas) y un coeficiente de conversión de la ecuación.

Utilizando la ecuación racional para el cálculo de la escorrentía potencial producida por determinada superficie y los milímetros de lluvias se tiene lo siguiente.

$$Q = \frac{1}{\alpha} CIA$$

Donde:

Q= Flujo de agua

I= Intensidad de lluvia

A=Superficie de captación

C=Coeficiente de rugosidad (ver Tabla 5.1)

α = Unidad de conversión

Se considerará el coeficiente de rugosidad para techos que tiene un rango de 0.75-0.95 como se observa en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Coeficiente de rugosidad para diferentes superficies (Fronois, 2009).

SUPERFICIE	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO
Pavimento de concreto o de asfalto	0.70-0.95
Pavimento de ladrillo	0.70-0.85
Techo	0.75-0.95
Área cubierta de grama, suelo arenoso	
Plano (pendiente < 2%)	0.05-0.10
Pendiente promedio (2% a 7%)	0.10-0.15
Pendiente fuerte (> 7%)	0.15-0.20

Área cubierta de grama, suelo denso plano (pendiente<2%)	0.13-0.17
pendiente promedio(2% a 7%)	0.18-0.22
pendiente fuerte (>7%)	0.25-0.35
Entrada de garaje con grava	0.15-0.30

Para determinar la intensidad de lluvia se considerará el uso de la fórmula de intensidad de lluvia como lo muestra la siguiente ecuación.

$$I = \frac{\textit{lamina diaria maxima}}{\textit{tiempo}}$$

Donde:

- **Lamina diaria** es el valor que proporciona la estación meteorológica La Joya mediante métodos pluviométricos, y
- **Tiempo** Se considerará el valor en 5 minutos como la tormenta máxima

5.2.3 Obtener los consumos de agua de las diferentes áreas de la planta

Los consumos de agua de las diferentes áreas de la organización, se obtuvieron de la lectura semanal de cada uno de los medidores ubicados en:

- Servicios 1
- Servicios2
- Servicios 3
- Proceso 1
- Proceso 2
- Enfriamiento
- Pila1
- Municipal1
- Municipal 2
- Comedor

5.2.4 Seleccionar el área de captación de agua de pluvial.

Las áreas de captación del área de estudio abarcan las superficies en techos, pavimento y aceras con las que cuenta la organización en estudio dando un total de más de 5000 m²; por lo tanto se seleccionarán superficies en m² de utilización para colocar el sistema de captación piloto (comedor y bungalow) para presentar propuesta la eficiencia del desarrollo de un sistema de captación

5.2.5 Calcular los metros cúbicos a captar por superficie y capacidad de almacenamiento

De las superficies de captación seleccionadas y con base en al método racional se llevará a cabo el cálculo de los metros cúbicos por captar y la capacidad de almacenamiento.

5.2.6 Establecer los componentes del sistema de captación para uso industrial

Se revisarán diferentes alternativas para seleccionar los componentes del sistema de captación industrial (captación, conducción, filtración, almacenaje y bombeo), se analizaran diferentes tecnologías vistas en la Feria Internacional IFAT Entsorga 2012 Celebrada en Munich Alemania.

5.2.7 Seleccionar el sistema de captación

Con base a la información encontrada en la Feria Internacional IFAT Entsorga 2012, se seleccionará la tecnología a emplear y los equipos periféricos para dar tratamiento al agua de lluvia.

5.2.8 Desincorporar la descarga pluvial de la residual

Se reubicarán los puntos de salida de agua residual para descargar por un solo registro sin contaminar las aguas pluviales y evitar la dilución de las mismas.

5.2.9 Analizar la calidad del agua

Se utilizarán diferentes métodos y equipos para determinar los parámetros de calidad de agua que requieren cada uno de los procesos, estos incluyen pruebas rápidas y confiables aprobadas por la EPA en la siguiente Tabla se muestran los parámetros de calidad de agua que se deben analizar para suministrar en los procesos.

Tabla 5.2 Parámetros, equipos y reactivos para análisis de calidad de agua.

Parámetro	Equipo
Conductividad $\mu\text{s/cm}$	ULTRAMETER II MYRON
pH UpH	
Dureza mg/LCaCO_3	Kit HACH con titrador Digital 2270900 rango 0-450ppm
Sólidos totales g/L	Matraz kitasato, Filtro de 45 micras, bomba de vacío y balanza con insinerador
DQO mg/L	Reactivo HACH 2125915 rango 0-1500mg/L y colorímetro HACH DR890
Sílice mg/L	Reactivo HACH 2429600 rango 0-100mg/L y colorímetro HACH DR890

CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUCIONES

CAPITULO 6. RESULTADOS Y DISCUCIONES

6.1 Normales Climatológicas

La estación meteorológica que comprende los datos de la zona de estudio es la 22041, La Joya, Querétaro, de la cual se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 6.1. Estos datos comprenden un periodo de 29 años desde 1971 hasta el año 2000.

Tabla 6.1 Precipitaciones máximas para la estación La Joya, Querétaro, (SMN, 2012).

Precipitación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
Normal	12.2	10.2	8.5	19.2	44.1	125.4	134.4	108.6	78.3	41.4	7.9	12.2	602.4
Máx. mensual	96.8	48.5	34.4	53	84.3	284.8	351.3	181.9	161.7	138.2	34	43.1	
Año de máx.	1980	1984	1983	1985	1986	1986	1991	1988	1976	1978	1976	1979	
Máx. diaria	40.3	20.5	30.4	40	36	67	80.3	60.5	57	57	16	20.1	
Años con datos	14	18	16	17	16	17	17	17	17	16	15	15	

Como se observa en el Gráfico 6.1 en los meses de junio, julio y agosto es cuando se presenta una mayor precipitación en la zona de estudio por arriba de los 150 mm y desde mayo hasta octubre una precipitación superior a los 100 mm, siendo el pico máximo en el mes de julio.

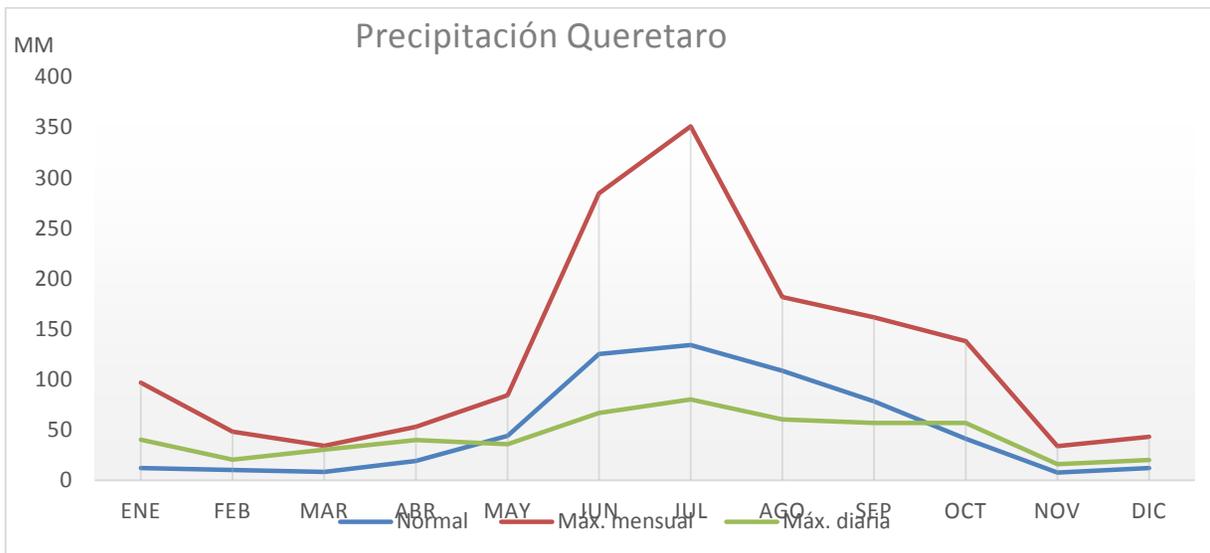


Gráfico 6.1 Precipitación mensual Querétaro.

Lo anterior indica que los meses en los que se puede cosechar una mayor cantidad de agua son de mayo a octubre, es en estos meses cuando incrementa el consumo de agua

de los sistemas de enfriamiento por lo que será un beneficio doble para el sistema. Asimismo la precipitación mínima registrada oscila entre los 50 y 100 mm de lluvia por lo que también es una ganancia para el sistema para limpieza de los techos. Los meses de enero a mayo y noviembre y diciembre registran la menor precipitación sin embargo esta agua puede ser aprovechada para el lavado de techos.

6.2 Cálculo de la intensidad de lluvia a través de las isoyetas establecidas para el área de estudio.

En la Tabla 6.2 se detallan las intensidades de lluvia con duraciones de 5 a 240 minutos, así como el periodo de retorno de 10 a 100 años conforme a la ecuación del método racional.

Tabla 6.2 Intensidad de lluvia para el estado de Querétaro (SCT, 2012).

Duración minutos	Años				
	10	20	25	50	100
5	137	151	155	166	176
10	99	107	109	116	122
20	76	82	84	90	94
30	61	66	68	72	76
60	40	44	45	48	50
120	23	24	25	27	28
240	13	14	14	15	16

Derivado de la información anterior se observa en el Gráfico 6.2 que la intensidad de lluvia con una duración entre 5 y 15 minutos tiene la mayor cantidad de lluvia, por lo que es este el valor que se debe considerar como referencia para el diseño del proyecto debido a que la ocurrencia en los diferentes periodos de retorno (10 a 100 años) se comportan de igual manera y se deben tomar las precauciones para evitar incidentes de inundaciones o sobrellenado de cisternas.

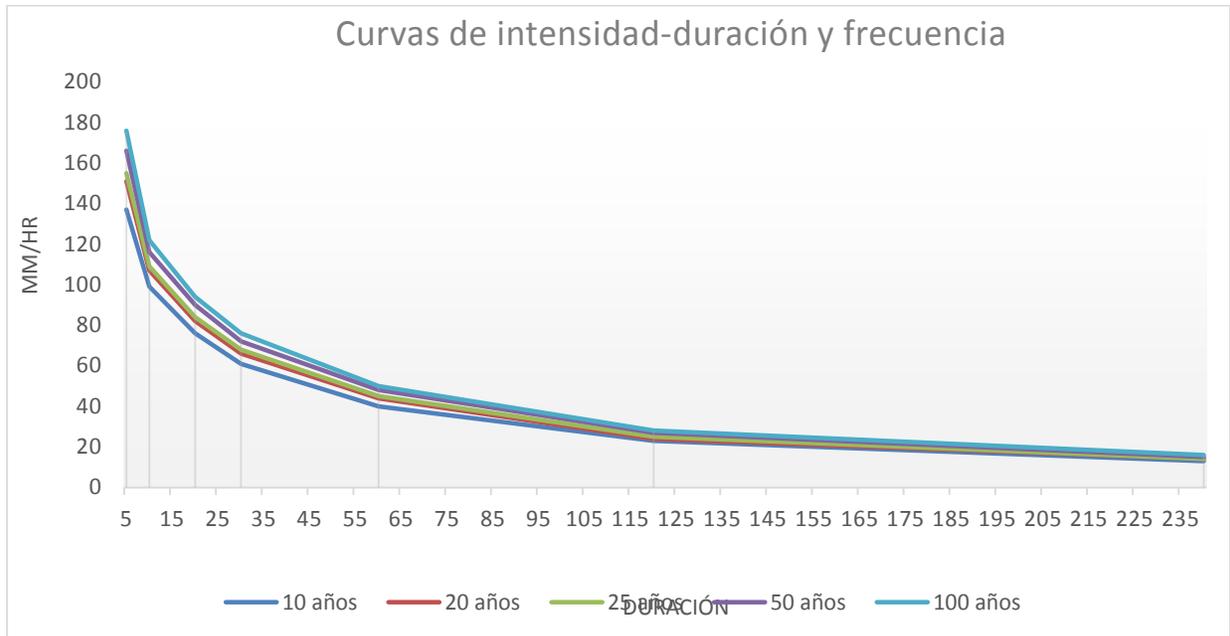


Gráfico 6.2 Curvas de intensidad-duración y frecuencia

En la Tabla 6.3 se muestran los resultados obtenidos del flujo de agua a captar para las diferentes duraciones de tormenta y perdidos de retorno en el para el área del comedor. Como se puede apreciar en un periodo de retorno de 100 años y una duración de 5 minutos el agua almacenada representa el 128% de una precipitación a 10 años, este valor es crucial dependiendo el tiempo de vida del proyecto que se puede estimar en 20 años como parte de mantenimientos y reemplazo de tuberías. Obteniendo un total de 80.3 m³ en 5 minutos igual a 16.6 m³/minuto el caso de una tormenta intensa.

Este dato también permite obtener el tamaño de la bomba que se debe tener para mover el agua de un lado a otro en relación al tamaño de la cisterna por lo que deberá tener una capacidad mínima de 40 m³/h y máxima de 80m³/h.

**Tabla 6.3 Captación de agua de lluvia en relación al método racional, m³
por duración en minutos de la duración.**

Minutos	Periodo de retorno Comedor				
	10	20	25	50	100
5	57.6	63.5	65.2	69.8	74.1
10	41.7	45.0	45.9	48.8	51.3
20	32.0	34.5	35.3	37.9	39.6
30	25.7	27.8	28.6	30.3	32.0
60	16.8	18.5	18.9	20.2	21.0
120	9.7	10.1	10.5	11.4	11.8
240	5.5	5.9	5.9	6.3	6.7

6.3 Consumo de Agua

En la Figura 6.1 se identificó con círculos los medidores de cada uno de los procesos y áreas de servicios que cuentan con un medidor, los círculos amarillos representan medidores que deben ser instalados para tener un control preciso del consumo de agua.

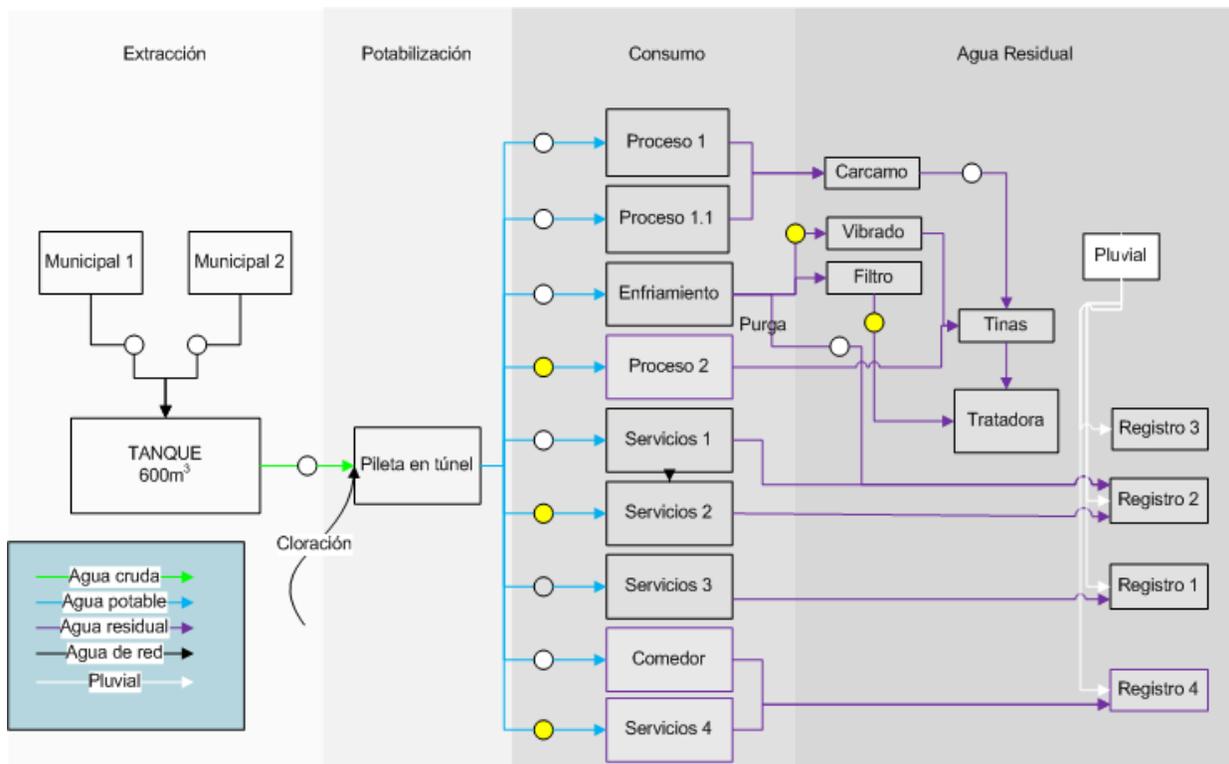


Figura 6.1 Diagrama de flujo alimentación de agua potable y salidas de agua residual de la organización de estudio (Elaboración Propia).

A continuación en la Tabla 6.4 se presentan los consumos de agua de la empresa en estudio, los datos fueron tomados de los totalizadores de metros cúbicos que se encuentran instalados en las diferentes áreas.

Tabla 6.4 Consumos de agua por área 2011

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Σ
Servicios 1	88	90	103	113	117	120	117	114	93	143	169	166	1433
Servicios 3	42	37	47	46	49	66	61	59	50	56	57	66	636
Enfriamiento	0	127	272	916	428	354	269	471	301	133	170	191	3632
Proceso 1	183	94	51	32	34	55	45	508	277	197	202	297	1975
Proceso 2	11	9	16	14	12	14	16	19	11	15	15	13	165
Servicios 2	41	43	54	38	44	51	40	49	19	20	19	25	443
Comedor	212	57	117	138	183	177	165	181	153	181	137	115	1816
Pila 1	847	659	839	916	940	1053	1019	1110	821	782	78	393	9457
Miunicipal 1	369	304	353	521	413	449	433	417	353	362	355	98	4427
Municipal 2	454	358	455	352	475	537	434	424	272	355	453	783	5352
TOTAL	823	662	808	873	888	986	867	841	625	717	808	881	9780

Tal como se observa en la Tabla 6.4 el promedio de consumo para estos meses fue de 857m³ resultando promedio diario de 35.7m³ al día, estos son distribuidos en proceso y consumo humano de los cuales 609 son para proceso y 248m³ para consumo humano al mes y tendrían que estar bajo la especificación de la *NOM-127-SSA-1 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*.

El alcance de la investigación es abastecer a los procesos únicamente y se puede observar en la Tabla 6.5 con el fin informativo el cálculo del agua de lluvia que puede ser aprovechada con la superficie de los techos de bungalow, casita y comedor (ver apartado 6.5) y la demanda de agua promedio del 2011.

El ahorro que representa abastecer procesos es del 10.2% del consumo total promedio por mes.

Tabla 6.5 Porcentaje de consumo planta y porcentaje de consumo áreas y servicios

Minutos	Periodo de retorno 10 años	% vs Total	Servicios (Baños aluminio, Baños TM, Oficinas)		Enfriamiento	
			uso	%	uso	%
5	80.2	10.2	129.1	38.3	222	27
10	58.0	7.4	151.3	27.7	245	19
20	44.5	5.6	164.8	21.3	258	15
30	35.7	4.5	173.6	17.1	267	12

60	23.4	3.0	185.9	11.2	279	8
120	13.5	1.7	195.9	6.4	289	4
240	7.6	1.0	201.7	3.6	295	3

6.4 Calidad de Agua

De los diferentes procesos que se llevan a cabo en la organización se describe en la Tabla 6.6 la calidad de agua requerida y la calidad de agua suministrada, los valores son registrados diariamente y analizados por el departamento de mantenimiento como parte del control interno de la planta para el control de los procesos.

Tabla 6.6 Procesos, calidad requerida contra calidad suministrada

Nombre	Calidad Requerida		Calidad Suministrada
Agua potable para bebederos y comedor	Conductividad eléctrica (μS/cm)	NA	607
		500	72
	Dureza total (mg/L CaCO ₃)	0.3	130
	Fierro (mg/L)	1000	ND
	Sólidos disueltos totales (mg/L)	8.5	7.5
Agua para procesos 1 y 1.1	Dureza (mg/L CaCO ₃)	53.4>106.8	130
	(pH UpH)	6.5>8.5	7.5
	Conductividad (μS/cm)	<500	607
Agua para alimentación torres de enfriamiento, en relación a los ciclos de concentración deseados, en este caso se fijan al valor de la sílice 2.3 ciclos	Conductividad (μS/cm)	<1500	200
	pH UpH)	<9	7.5
	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	250	130
	Sílice (mg/L)	160	56.7
	Fierro (mg/L)	1	0.02
Agua para preparación refrigerante	Dureza (mg/L CaCO ₃)	53.4>106.8	130
	Conductividad (μS/cm)	<350	607
	pH (UpH)	6.5-7.5	7.5
	Cloro libre (mg/L)	<1.5	0.4
Vibrado	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	142.4-178	>250

La Tabla anterior representa la calidad de agua requerida para cada uno de los procesos y servicios, las especificaciones de procesos son establecidas por los proveedores de

maquinaria y la jefatura de producción conforme a los resultados obtenidos en piso. Así mismo se incluyó la calidad de agua de la red municipal.

En la Figura 6.2 se observa en un tono oscuro el agua que proviene de pavimentos, en un tono amarillo el agua que se capta en techos y el vaso más claro contiene el agua pluvial de caída natural.

I

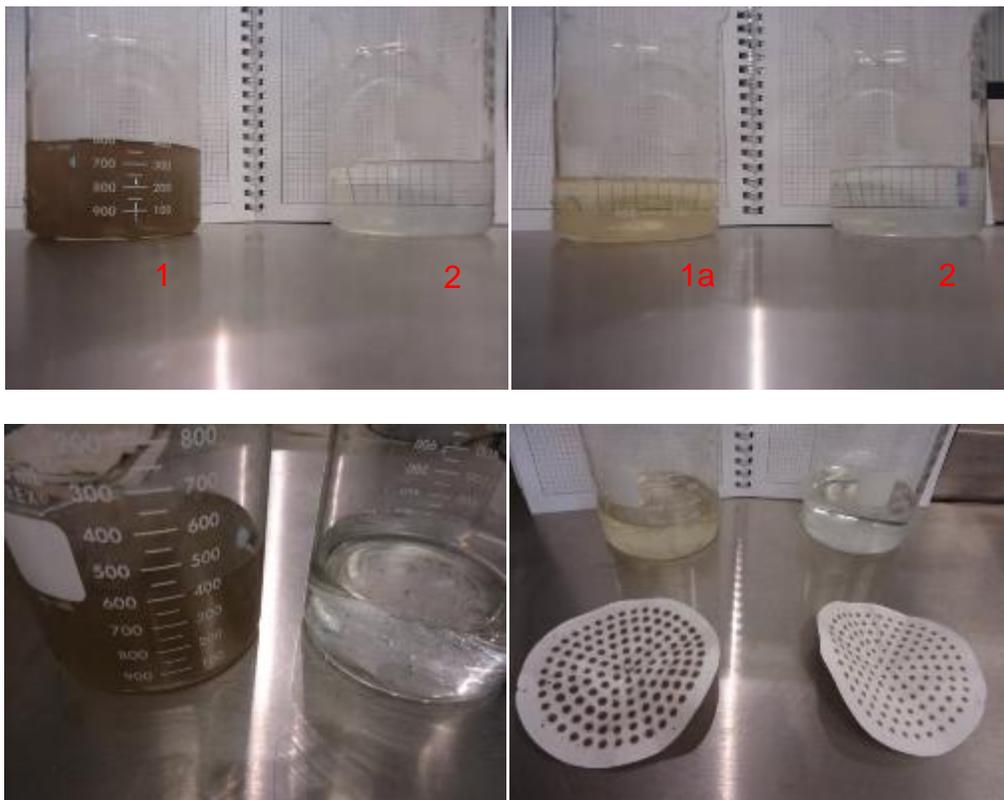


Figura 6.2 Análisis de calidad de agua pluvial, techos, pavimento y caída natural. (Elaboración Propia)

Se analizó el agua de lluvia para ver la composición química y su concentración de sólidos obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6.7 Parámetros de calidad de agua de lluvia filtrada.

Parámetro	Agua pluvial Techos	Agua pluvial pavimento	Agua pluvial
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	35.4	278.7	0
pH UpH	3.90	3.90	6.3
Dureza mg/LCaCO_3	17.8	106.8	0
Sólidos totales g/L	1.05	0.45	0
DQO mg/L	95	196	0
Sílice mg/L	1.3	10.4	0

En la Tabla 6.8 se muestra la calidad de agua requerida por proceso con una comparación de la calidad que proporciona el agua de lluvia. Como se observa el agua de lluvia tiene mejor calidad de agua que la de la red municipal, sin embargo se debe someter a un pretratamiento para reducir el impacto por agentes contaminantes.

Tabla 6.8 Calidad de agua requerida y calidad de agua de lluvia

Nombre	Calidad Requerida		Agua pluvial techos
Agua potable para bebederos y comedor	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	NA	35.4
	Dureza total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	500	17.8
	Fierro (mg/L)	0.3	ND
	Sólidos disueltos totales (mg/L)	1000	1.05
	pH (UpH)	8.5	3.9
Agua para procesos 1 y 1.1	Dureza (mg/LCaCO_3)	53.4>106.8	17.8
	(pH UpH)	6.5>8.5	3.9
	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<500	35.4
Agua para alimentación torres de enfriamiento, en relación a los ciclos de concentración deseados, en este caso se fijan al valor de la sílice 2.3 ciclos	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<1500	35.4
	pH UpH)	<9	3.9
	Dureza Total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	250	17.8
	Sílice (mg/L)	160	1.3
	Fierro (mg/L)	1	ND
Agua para preparación refrigerante	Dureza (mg/LCaCO_3)	53.4>106.8	17.8
	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<350	35.4
	pH (UpH)	6.5-7.5	3.9
	Cloro libre(mg/L)	<1.5	ND

6.5 Área de Captación de Agua Pluvial

El área de captación está constituida por todos los techos que se encuentran en la planta, estos están compuestos de aluminio y cuentan con un tratamiento o pintura plástica para impedir su corrosión. En la Tabla 6.9 se detalla la dimensión de cada uno de los techos con los que cuenta la planta en mención.

Tabla 6.9 Áreas techos zona de estudio

Techo	Ai m ²
Aluminio/Zamak	2208
Rebabeo	1222
Maquinado	1125
Subtotal Productivo	4555
Oficinas	214
Comedor	561
Bungalo	162
Casita	64
Subtotal no productivo	1001
Total	5556

Las superficies de los techos de la planta abarcan un total de 5,556 m² los cuales se dividen en áreas productivas y no productivas.

En los techos de las áreas productivas cuentan con una deposición en seco de partículas de los hornos de fundición, así como de la extracción de partículas finas de granalla de acero y aluminio; estos contaminantes generan que se descarte como área de cosecha el techo de rebabeo.

Para aprovechar la infraestructura (techumbre) actual de la organización será necesario dar mantenimientos básicos, como eliminación de óxidos, aplicación de pintura plástica y limpieza de canaletas. Tal como se observa en la Figura 6.3 los techos presentan un desgaste por el tiempo de vida de los mismos por lo que antes de ser utilizados deberán ser corregidos.

De lo anterior se consideran los techos de Comedor, cas y bungaló como los idóneos para llevar a cabo la prueba piloto.



Figura 6.3 Estado de techos de uno de los techos de la empresa en estudio (Elaboración Propia)

6.6 Metros cúbicos a captar por superficie y capacidad de almacenamiento

Tal y como lo muestra la Tabla 6.10 se hace obtiene una validación a los datos arriba mencionados considerando un intervalo de litros a captar entre 700,000 y 900,000 por año. Conforme al área de captación.

Tabla 6.10 Volumen de agua de lluvia con relación al área de captación en m² y la precipitación pluvial en mm (Anaya, 2011)

AREA DE CAPTACIÓN	Precipitación pluvial					
	1	10	100	1000	2000	3000
	Volumen captado en litros					
1	1	10	100	1,000	2,000	3,000
10	10	100	1,000	10,000	20,000	30,000
100	100	1,000	10,000	100,000	200,000	300,000
300	300	3,000	30,000	300,000	600,000	900,000
500	500	5,000	50,000	500,000	1,000,000	1,500,000
700	700	7,000	70,000	700,000	1,400,000	2,100,000
900	900	9,000	90,000	900,000	1,800,000	2,700,000
1000	1,000	10,000	100,000	1,000,000	2,000,000	3,000,000
2000	2,000	20,000	200,000	2,000,000	4,000,000	6,000,000
3000	3,000	30,000	300,000	3,000,000	6,000,000	9,000,000

4000	4,000	40,000	400,000	4,000,000	8,000,000	12,000,000
5000	5,000	50,000	500,000	5,000,000	10,000,000	15,000,000
6000	6,000	60,000	600,000	6,000,000	12,000,000	18,000,000
7000	7,000	70,000	700,000	7,000,000	14,000,000	21,000,000
8000	8,000	80,000	800,000	8,000,000	16,000,000	24,000,000
9000	9,000	90,000	900,000	9,000,000	18,000,000	27,000,000
10000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	20,000,000	30,000,000

Considerando las superficies de captación del apartado anterior se pretende captar filtrar y almacenar en la cisterna de 57 m³ que a su vez a alimentará el tanque de almacenamiento de 600 m³ conforme a la demanda de la planta.

Los metros cúbicos excedentes del sistema se direccionaran al drenaje pluvial que se encuentra detrás de Bungaló, esta condición se llevara a cabo siempre y cuando el tanque de almacenamiento y las cisterna estén llenos.

Como se mencionó en el apartado de agua pluvial a captar es necesario integrar un cuerpo de bombas que permita mover el agua de la cisterna hacia el tanque de almacenamiento de 600m³, considerando que la cisterna se llenara cada 4 ½ minutos la bomba deberá tener una capacidad de mover el excedente de 6 m³ de agua en el mismo tiempo con una bomba de 60m³/h para retirar el excedente de en 2 minutos

6.7 Componentes del sistema de captación

En el siguiente diagrama se hace referencia al flujo de los componentes del sistema de captación de agua de lluvia y la dirección que tomará el agua antes de ser vertida en el tanque de almacenamiento. (Ver Figura 22)

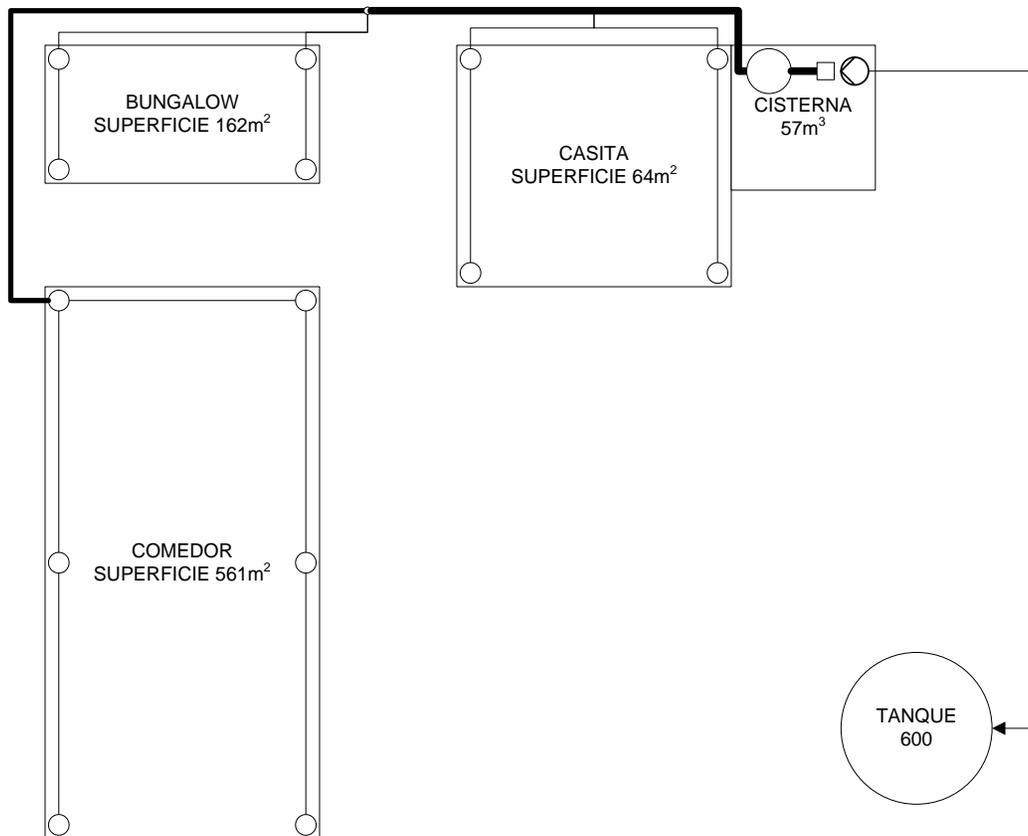


Figura 6.4 Propuesta de sistema de captación de agua de lluvia (Elaboración propia).

Como se observa en el diagrama anterior el agua de comedor bungaló y casita se conectarán en unas tuberías que alimentarán al sistema de filtración previo al almacenaje de agua en la cisterna de 57 m³, una vez alcanzado el nivel máximo de agua en la cisterna se activará una bomba para enviar el agua al tanque de almacenamiento de 600 m³.

En la Tabla 6.11 se hace referencia a la lógica de operación para la apertura de válvulas y accionamiento de la bomba, cuando el tanque se encuentra lleno y la cisterna llena se abrirá la válvula para el desfogue de agua a sistema de drenaje pluvial municipal.

Tabla 6.11 Accionamiento válvula de alivio de sistema

Válvula	Tanque 600m ³	Cisterna
0	0	0
0	0	1
0	1	0
1	1	1

Donde:

- Válvula cerrada V=0
- Válvula abierta V=1
- Nivel lleno T,C=1
- Nivel vacío T,C=0

6.7.1 Conducción de agua de lluvia

Tal y como se aprecia en la Figura 6.5 la conducción de agua de lluvia está constituida por los primeros colectores (canaletas), conexiones y tuberías, en esa figura se hace referencia a un drenaje convencional del lado izquierdo y uno sifónico del lado derecho, este último permite reducir el número de tuberías a comparación del convencional.

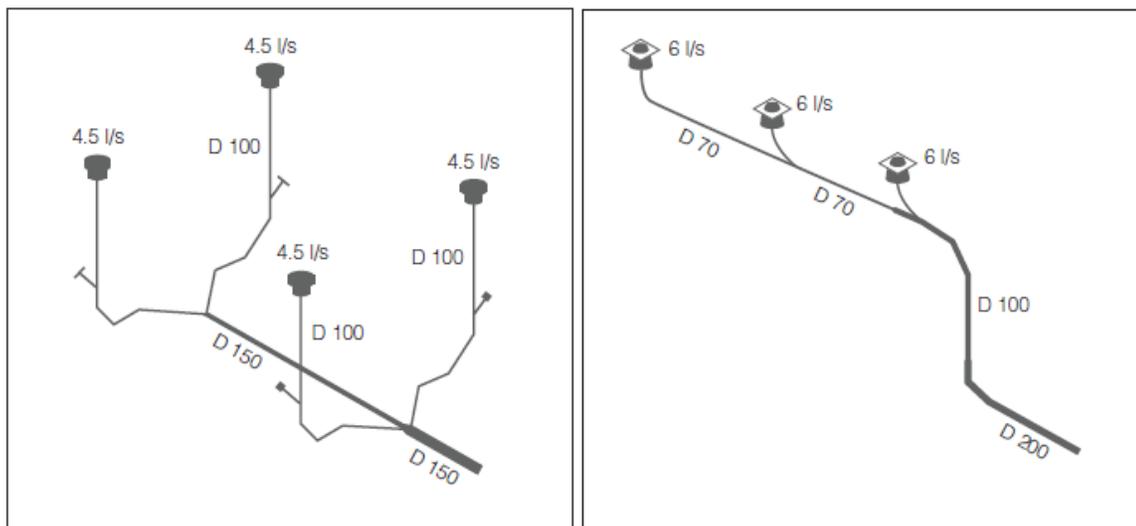


Figura 6.5 Izquierda drenaje pluvial convencional, Derecha drenaje sifónico (Geberit et al., 2012).

Las canaletas instaladas en la planta tienen un grosor de 40 cm, estas canaletas actualmente se encuentran llenas de lodo y partículas pequeñas y es en ellas donde se pretende instalar el drenaje sifónico que cuenta con una placa metálica de 60cm.

Este sistema de tubería llena suprime cualquier entrada de aire gracias a la tecnología patentada (Geberit 2012) que permite el paso únicamente del agua en la tubería, a su vez la tubería llena genera un pistón hidráulico que comprime la entrada al sistema ofreciendo presión en la tubería.

Este sistema se selecciona debido a que reduce el espacio de las instalaciones actuales y además garantiza una tubería llena para la entrada del equipo de Filtración *Hydrosystem* el cual se describe en el punto 6.7.2.

En la Figura 6.7 se observa el funcionamiento de la tubería sifónica la cual funciona con el llenado total de la tubería para generar presión en el sistema, la cubierta en el techo permite que se genere una lámina de agua más gruesa y que entre en el ducto llenándolo.

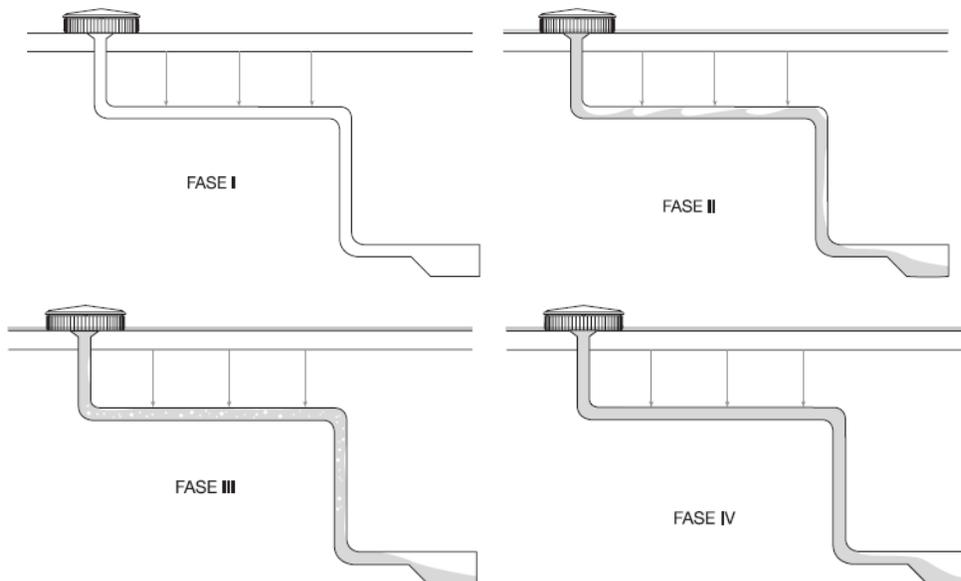


Figura 6.6 Funcionamiento de drenaje sifónico (Geberit et al. 2012).

El empleo de un drenaje sifónico reducirá el espacio que ocupa actualmente el colector de agua pluvial que tiene un diámetro de 4" y el de todas las bajadas que se interconectan con él.

El drenaje sifónico permite que la tubería por donde se conducirá el agua siempre se encuentre llena, evitando respiraderos en tubería, diámetros de tubería excesivos, además de reducir el número de bajadas de un sistema. Como se observa en la Figura 6.6.

Como se observa en la Figura 6.7 la canaleta de la empresa en estudio cuenta con el espacio suficiente para colocar el drenaje sifónico, en la imagen de la derecha se observa la instalación que realizó 3Ptechnik México en un edificio de la Ciudad de México.



Figura 6.7 Izquierda, Infraestructura de Empresa en estudio. Derecha drenaje sifónico, instalación en obra de remodelación de Laboratorio México, DF (Elaboración propia).

En el desarrollo del sistema de captación se contemplarán tuberías independientes para cada una de las superficies de captación, estas se interconectaran a una tubería central que canalizará el agua al sistema de filtración y almacenamiento.



Figura 6.8 Conexión canaleta y tubería, diseño actual organización de estudio (Elaboración Propia).

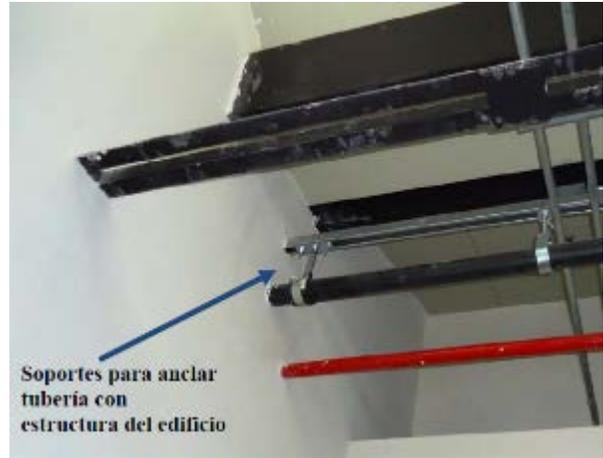


Figura 6.9 Soportes y drenaje sifónico propuesto de sistema de captación, modificación Laboratorio en México DF (Elaboración Propia)

A continuación se hace una diferencia entre el uso de drenajes convencionales y drenajes sifónicos:

Tabla 6.12 Diferencia entre drenajes pluviales (Elaboración propia)

Convencional	Propuesto
<ul style="list-style-type: none"> • Líneas conectadas a los sumideros con pendiente • Numerosas bajantes • Bastante obra civil en el suelo (canales pluviales) 	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente la mitad de sumideros ya que su eficiencia es muy alta • Reducción de bajantes a uno solo. • Un solo colector horizontal bajo cubierta (sin pendiente) que recolecta el agua de todos los sumideros • Un mínimo de obra civil en el suelo

6.7.2 Filtración

Para el caso de estudio el medio filtrante es un filtro genérico que se puede emplear directamente en la tubería antes del almacenamiento o posterior al almacenamiento siempre y cuando se cumpla con el flujo de operación del equipo.

Se revisaron diferentes equipos de filtración durante la feria de tecnología ambiental Celebrada en Múnich Alemania, con marcas como Graf, 3pTechnik e INTEWA, se seleccionó el filtro de la marca 3pTechnik por el diseño y tecnología que ofrece.

GRAF

Los equipos de Graf ofrecen un tratamiento físico, los equipos son accesibles, automatizados y de fácil instalación



Figura 6.10 Equipo de filtración Graf visto en la Feria internacional IFAT Entsorga Munich Alemania, Mayo 2012 (Elaboración Propia).

INTEWA

En la Figura 6.11 Se puede observar el equipo de filtración de la marca INTEWA, este equipo filtra los objetos de mayor tamaño contenidos en el agua generados por el arrastre y limpieza de las superficies de captación de agua de lluvia.



Figura 6.11 Equipo de filtración Intewavisto en la Feria Internacional IFAT Entsorga, Munich Alemania, Mayo de 2012 (Elaboración Propia).

3PTECHNIK

En la Figura 6.12 se muestra una breve descripción de los componentes del filtro Hydrosystem de la marca 3pTechnik, equipo seleccionado como componente del sistema de captación de agua de lluvia.



Figura 6.12 Hydrosystem 1000 (3pTechnik, 2012).

La función de este filtro es captar el agua desde la tubería de canalización hasta la entrada del filtro donde el codo interior convierte los flujos turbulentos en flujos radiales generando una sedimentación particularmente de arenas colectadas en una cámara para arenas.

El flujo asciende hacia un elemento filtrante seccionado en cuatro partes donde se remueven las partículas finas y las sustancias disueltas son precipitadas y absorbidas. Los insertos del filtro *Hydrosystem* consisten esencialmente en capas dentro del mismo con componentes de zeolita y carbón activado.

En la Figura 6.13 se muestra la información sobre los parámetros de operación del equipo de captación de agua de lluvia. 3PTechnik clasifica los contaminantes en color azul como no críticos, verde tratamiento quizás no tan necesario y rosa como parámetro crítico.

En la última columna se indica el objetivo del *Hydrosystem 1000* como promedio de entradas anuales.

Parameter	Unit	non metal roof		Copper roof		Zinc roof		Parking lot, residential street		main road distributor		① aims of LAWA	② drinking water	③ See-page	④ Hydro-system	
		from	to	from	to	from	to	from	to	from	to	permissible limit	permissible limit	control value	Aim	
Phisco-chemical parameters												90-Perzentil				
electrical conductivity	[uS/cm]	25	270	25	270	25	270	50	2400	110	2400	-	2500	-	-	< 1500
pH value	[-]	4.7	6.8	4.7	6.8	4.7	6.8	6.4	7.9	6.4	7.9	-	6.5 - 9.5	-	-	7.0 - 9.5
Nutrients																
phosphorous (P ges)	[mg/l]	0.06	0.50	0.06	0.50	0.06	0.50	0.09	0.30	0.23	0.34	-	-	-	-	0.20
ammonium (NH ₄)	[mg/l]	0.1	6.2	0.1	6.2	0.1	6.2	0.0	0.9	0.5	2.3	-	0.5	-	-	0.3
nitrate (NO ₃)	[mg/l]	0.1	4.7	0.1	4.7	0.1	4.7	0.0	16.0	0.0	16.0	-	50.0	-	-	⑤
heavy metals																
cadmium (Cd)	[µg/l]	0.2	2.5	0.2	1.0	0.5	2.0	0.2	1.7	0.3	13.0	1.0	5.0	5.0	-	< 1.0
zinc (Zn)	[µg/l]	24	4.880	24	877	1.731	43.674	15	1.420	120	2.000	500	-	500	-	< 500
copper (Cu)	[µg/l]	6	3.416	2.200	8.500	11	950	21	140	97	104	20	2000	50	-	< 50
lead (Pb)	[µg/l]	2	493	2	493	4	302	98	170	11	525	50	10	25	-	< 25
nickel (Ni)	[µg/l]	2	7	2	7	2	7	4	70	4	70	50	20	50	-	< 20
chromium (Cr)	[µg/l]	2	6	2	6	2	6	6	50	6	50	50	50	50	-	< 50
organic substances																
polynuclear aromatic hydrocarbons (PAK)	[ug/l]	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.2	17.1	0.2	17.1	-	0.1 (6 compounds)	0.2	-	< 0.2
mineral oil type hydrocarbons (MOTH)	[mg/l]	0.1	3.1	0.1	3.1	0.1	3.1	0.1	6.5	0.1	6.5	-	-	0.2	-	< 0.2
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: #f8d7da; padding: 2px 5px; border: 1px solid #f5c6cb;">critical parameter, treatment necessary</div> <div style="background-color: #d4edda; padding: 2px 5px; border: 1px solid #c3e6cb;">treatment maybe necessary not generally</div> <div style="background-color: #d1ecf1; padding: 2px 5px; border: 1px solid #bee5eb;">no critical parameter</div> </div>																
<p>① Aims of the German working group on water issues of the Federal States and the Federal Government (LAWA) for surface water, usage as potable water (1998) ② Permissible of the German Drinking Water Ordinance (2001)</p> <p>③ Control value for seepage of the German Federal Soil Protection Act an Ordinance (1999) according to § 8 1.2 ④ The aims of the system refer to average annual loads</p> <p>⑤ Nitrat cannot be reduced significant with this filter</p>																

Figura 6.13 Parámetros de operación del equipo de filtración (3PTechnik, 2012)

El Instituto Alemán de Tecnología de Construcción en 2010 emite el documento con las especificaciones técnicas de construcción y mantenimiento del equipo en el cual propone la siguiente rutina de mantenimiento:

12 meses

- Verificar la permeabilidad de los insertos del filtro, limpiar y reemplazar si se requiere.
- Medición de la posición de nivel de sólidos, vaciado si se requiere
- Relleno de la planta tratadora con agua

3 años

- Reemplazo del inserto del filtro

5 años

- Inspección de la instalación en condiciones adecuadas y en una operación apropiada, después de la limpieza completa de un drenaje y limpieza por un experto.

Los siguientes puntos deben ser verificados al mismo tiempo en el que se realizan los mantenimientos.

- Información acerca de la muestra y el análisis con un proveedor externo para la calidad del agua
- Prueba de la adecuada instalación de los insertos del filtro.
- Documentación y aprobaciones requeridas
- Dimensionado y ajuste de la capacidad de rendimiento a 24lps.



Figura 6.14 Medio filtrante, Fuente vistó en la Fabrica de filtros 3pTechnik en Donzdorf Alemania (Elaboración Propia).



Figura 6.15 Repuesto de medio filtrante vistó en la Fábrica de filtros 3pTechnik en Donzdorf Alemania (Elaboración Propia)

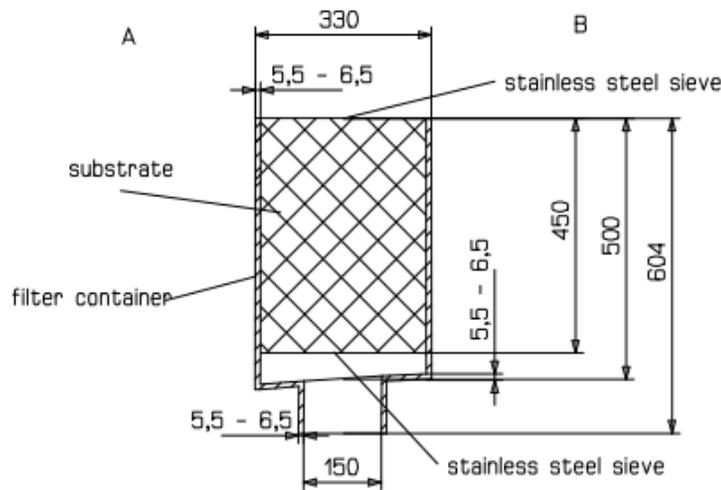


Figura 6.16 Diseño de elemento de filtración HT (DIB, 2010).

6.7.1 Almacenamiento

Para llevar a cabo el almacenamiento de agua de lluvia se utilizará la infraestructura con la que cuenta la planta y para ello se ocupara una de las tres cisternas con capacidad de 57m³. Como se observa en la Tabla 6.13, se anexan las capacidades y características físicas.

Tabla 6.13 Ubicación y estado de las cisternas (Elaboración Propia).

Cisterna	Cap. (m ³)	Ubicación	Observaciones
1	57	Estacionamiento	Se encuentra llena debe drenarse
2	40.9	Oficinas	Vacía y en mal estado, necesita mantenimiento
3	5.3	Oficinas	Vacía y en mal estado

La cisterna 1 está ubicada a un costado de una de las superficies de captación piloto, como se observa en las fotografías las cisternas necesitan un mantenimiento previo a la puesta en marcha del sistema de captación de agua de lluvia, el recubrimiento de paredes y techos está desgastado, por lo que se deberá recubrir con pintura epóxica.



Figura 6.17 Estado de cisternas No.2 (Elaboración Propia)

6.8 Desincorporación interna de agua pluvial y residual

La planta contaba con 4 registros de agua residual en el cual en temporada de lluvias se combinaba, actualmente se cuenta con 2 de 4. Como parte del cumplimiento de la desincorporación interna de la red pluvial y el drenaje se realizó la modificación a la descarga residual industrial que se descargaba en el registro 3 de 4 y se dirigió hacia uno de los cuatro registros, lo que permite tener 2 registros de agua residual y dos registros de agua pluvial. Como se muestra en la Tabla 6.14 se describe las áreas que descargan en cada uno de los registros.

Tabla 6.14 Distribución de descargas de agua residual.

Registro	Áreas Actual	Áreas modificación
1 Fundición	Pluvial, Baños aluminio	Pluvial
2 Central	Oficinas, Acabado y Baños Taller	Oficinas, Acabado, Aluminio, Agua residual lubricación de Aluminio y Zamak y refrigerante de Maquinado.
3 Vigilancia	Pluvial y Agua residual lubricación de Aluminio, Zamak y refrigerante de Maquinado.	Pluvial
4 Comedor	Agua de comedor, bungaló y casita.	Agua de comedor, bungaló y casita.

Para dar cumplimiento a la desincorporación del agua pluvial de la residual será necesario canalizar el agua residual que se combina hoy en el registro pluvial atrás de maquinado al registro 2 que se encuentra fuera de planta entre oficinas e inyección aluminio sacando la tubería por el túnel y haciendo el ramal frente a pileta de agua industrial, subir tubería y pasar por soportes hasta conectar con la línea de sanitarios aluminio.

A su vez se deberá realizar una modificación al drenaje pluvial de los sanitarios en el área de aluminio para descargar en el mismo punto de la planta tratadora y salir por el registro 2.

Con esta modificación se contará con dos registro dedicados especialmente para agua pluvial 1 y 3 y dos registros dedicados a agua residual 2 y 4 con ello se cumple la desincorporación del agua residual de la pluvial.

6.9 Costo por metro cúbico tratado red municipal

Para obtener el costo beneficio del proyecto se incorpora una tabla del costo por metro cubico de la red municipal y con ello comparar contra el agua captada en la temporada de lluvias.

El costo por metro cubico de la red municipal se encuentra en 69MXN/m³ más los costos de la potabilización y bombeo al usuario final resultando un costo de total de 71.16MXN/m³ (ver Tabla 6.15).

Tabla 6.15 Costos de agua por m³ (Elaboración Propia)

Tipo	Descripción	Costo MXN/m ³
Agua de pozo	El agua que se extrae del pozo tiene un costo por m ³	\$ 69 MXN m ³
Energía Eléctrica bombas suministro a Fabrica	El agua llega por gravedad al sistema hidroneumático donde se le aplica la fuerza necesaria para que llegue a las diferentes áreas a una presión de 4.5 bar con 2 bombas alternadas de 5 H.P. Donde: Horas de trabajo al día 12 Kwh= (HP*0.75kwh*3hrs/día*30)=1350 Kwh al mes Kwh/m ³ =(1350kwh)/1039(m ³ mes)Kwh/m ³ =0.41 Costo eficiencia(0.41Kw/m ³)*(\$1.23Kwh)=0.51	\$1.29 MXN/m ³
Subtotal	Agua cruda	\$70.29 MXN m ³
Potabilización	<u>Hipoclorito de sodio \$3.5 pesos por kilogramo, consumo anual 60 kilogramos=\$210pesos MXN!</u>	\$0.10 pesos MXN
Subtotal	Agua potable	\$70.39 pesos MXN m ³
Mantenimiento	Cambio de filtros en comedor, mantenimiento a bombas de sistema hidroneumático, mantenimiento suavizador.	\$ 0.77 pesos MXN
TOTAL		\$ 71.16 pesos MXNm³

6.10 Costo por metro cúbico tratado

La implementación del sistema de captación de agua de lluvia para el Comedor en la empresa de estudio contempla los rubros de la Tabla 6.16.

Tabla 6.16 Costos del proyecto de captación de agua de lluvia

Geberit Pluvia	costo estimado en Pesos
Pluvia Outlets	12,700
Pluvia Pipes	16,400
Fittings	5,000
Pluvia Fastening Material	58,500
Subtotal	92,600
3P	
Hydrosystem HS 1000 Roof	76,000
Admisión Calmada	4,000
Proyecto de Gabinete	26,000
Subtotal	106,000
Otros	
Bombas	10,000
Flotadores y control	5,000
Tanque Rotoplas	3,000
Tubería a Tanque Elevado	25,000
Subtotal	34,000
Mantenimiento a cisterna de almacenamiento	40,000
Automatización	20,000
TOTAL	302,000

El retorno de inversión del proyecto considerando el área propuesta de la planta es de 53,760MXN considerando un aprovechamiento de 80.7m³ mensuales.

Del cual se obtiene lo siguiente:

Tabla 6.17 Retorno de inversión del proyecto

Costo del proyecto	Metros cúbicos Ahorrados	Costo m ³ Ahorro	Retorno de inversión
302,000MXN	962.4	54,048.384	5.5 años

CONCLUSIONES

Los sistemas de captación tradicionales cuentan con equipos de bajo costo y accesibles para uso doméstico o en zonas donde los recursos financieros son escasos para la construcción y manejo de un sistema de captación.

A su vez los consumos de agua son inferiores a los de la industria. Un sistema de captación de agua pluvial debe proveer al usuario final una herramienta que le permita aprovechar la precipitación y el área de captación con la que cuenta y así reducir el consumo de agua de otras fuentes.

El empleo de dispositivos diseñados para la conducción, filtración y bombeo del agua de lluvia permiten generar un sistema de captación industrial y que sea mantenido y operado de manera automática sin la necesidad de tener un técnico de mantenimiento por turno.

Para mantener un sistema funcional se debe llevar a cabo un programa de mantenimiento en el cual se identifiquen posibles fallas y se corrijan evitando la avería del sistema.

El agua requerida para los procesos que se desean alimentar puede ser abastecida con agua de pluvial debido a que estos procesos no requieren de mayor calidad del agua y la mayoría de las veces son los mayores consumidores de agua.

El presente trabajo proporcionó las herramientas para la toma de decisiones de la Dirección y con ello aprovechar el agua que se puede captar en las demás plantas.

Se incrementara el ahorro de agua de la empresa representando el 10.2% del total mensual considerando únicamente el área presupuestada, con un retorno de inversión de 5.5 años.

Una vez autorizada la implementación en toda la planta se incrementara el ahorro en un 57% reduciendo los costos de consumo de agua por 315,000MXN anuales obteniendo otros beneficios como:

- Bajar el consumo de agua potable de la red de agua municipal.

- Disminución de costos por tarifas de consumos de agua.
- Obtención de título de descarga con la autoridad estatal.
- Aportar un requisito para la certificación ISO 14001
- Mantener el nivel freático del acuífero que provee agua a la red municipal.
- Bajo costo de obra civil por aprovechamiento de instalaciones existentes.

Para la implementación de sistemas de captación industriales se deberá contemplar kits de automatización y control del tipo de suministro conforme a la demanda y disponibilidad del agua en este caso cuando se tiene agua de lluvia se deberá dotar inmediatamente para continuar con la captación, en caso de que se halla explotado la totalidad de la misma abastecer con agua de la red municipal con los controles automáticos instalados.

Es importante que se contemple la primera descarga de agua de lluvia para limpiar el sistema y después continuar con la captación por lo que el drenaje deberá tener el tamaño adecuado para soportar la primera descarga.

Se deberá seguir evaluando las propuestas tecnológicas que ofrece el mercado para llevar un sistema de captación de agua de lluvia para uso industrial a los estándares más altos e incrementar el porcentaje de ahorro de agua.

BIBLIOGRAFIA

- Anaya M. y Martínez J., 2007: *Manual de captación de agua de lluvia para centros urbanos*. México: Colegio de Posgraduados.
- American Water Works Association (AWWA) 1992. *Alternative Disinfection Technologies for Small Drinking Water Systems*. Autor, DeMers, L. y Renner, R.
- Aparicio, J., 2007. *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa
- Boers M., 1994. *Rainwater harvesting in arid and semi arid zones*. Holanda: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Brière, F., 2005. *Distribución de Agua Potable y colecta de desagües y de agua de lluvia.*, Canada: Presses inter Polytechnique.
- Butler, S., 1964. *Engineering Hydrology*. United States: Prentice-Hall
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2007. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Visto el 19 de junio de 2013, <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/14DisenoConstruccionOperacionyMantenimientoDePozos.pdf>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2009. *Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea, acuífero (2201) Valle de Querétaro*, Comisión Nacional del agua
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2009: *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. México, DF, Comisión Nacional del Agua.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2013. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Actualización 30 de Septiembre de 2013.
- Cortesi L., Prasad E., Abhiyan M., 2009: *Rainwater harvesting for management of watershed ecosystems*, UNEP, *Rainwater harvesting: A Life line for human well-being*.
- Critchley W., Sievert K., 1991. *Water harvesting: A Manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production*. Roma: Food Agriculture Organization of the United Nations.

- Crittenden, J. y otros, 2012: MWH's Water Treatment, principles and design, Third Edition, New Jersey, United States, John Wiley & Sons, Inc.
- Deutsches Institut fuer Bautechnik (DIB) 2010. *Registration Centre for building projects and design Technical examination authority,: Plant for treatment of mineral oil containing rainwater runoff for infiltration 3P Hydrosystem heavy traffic*, Alemania.
- Environmental Protection Agency (EPA), 1999. *Alternative disinfectants and oxidants: Guidance Manual*. United States.
- Eurola, A., 2010. *Qualitative and Quantitative Assessment of Rainwater Harvesting from Rooftop Catchments: Case study of Oke. Lantoro Community in Abeokuta, Southwest Nigeria*. Nigeria: University of Agriculture.
- GEBERIT International AG, 2012: *Manual Técnico y de montaje*. Suiza.
- Habtamu G., 1999. *Rainwater harvesting concepts and issues*. Etiopía: Paper presented at the Founding Conference of the Ethiopian Rainwater Harvesting Association (ERHA).
- Hasse, R., 1989. *Rainwater Reservoirs above ground structures for roof catchments*. Alemania: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Ibraimo, N., 2007. *Rainwater harvesting technologies for small scale rainfed agriculture in arid and semi arid areas*. Mozambique: Universidad Eduardo Modlane.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2000. Marco Geo estadístico, 2000. INEGI-DGG.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, 2013: Carta Topográfica F1410 escala 1:50,000
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2013, *Mapa digital*, Visto el 15 de mayo de 2013, <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html>.
- International Organization for Standarization, (ISO) 14004, *Sistemas de Gestión Ambiental, Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo*. pp. 15.
- Jones, M., 2006. *Choosing a pump for Rain water harvesting*. Estados Unidos, North Carolina State University.

- Khoury-Nolde, N., 2013. Rainwater infiltration Alemania:FBR. Visto el 20 de junio de 2013. http://www.rainwaterconference.org/uploads/media/Rainwater_infiltration.pdf
- Kinkade-Levario, H., 2007: Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse.
- Krishna, H., 2005. *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. 3ra Ed. Estados Unidos, Texas Water Development Board.
- König. K., 1998. *Rainwater in Cities, Ecological Concepts*, Alemania: FBR. Visto el 20 de junio de 2013, http://www.fbr.de/fileadmin/user_upload/files/Englische_Seite/Rainwater_Harvesting_A_Global_Issue_Matures.pdf
- McCuen, R. Johnson, P. Ragan, R., 2002. *Highway Hydrology Hydraulic Design Series Number 2*, 2da Ed. United States: Federal Highway Administration.
- Nega, H., Kimeu, P., 2002. *Low cost Methods of Rainwater Storage, Results from field trials in Ethiopia y Kenya*. Kenya: Regional Land Management Unit.
- Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- LaBranche, A. et al., 2007. *Virginia rainwater manual 2007, A comprehensive guide to examining, designing and maintaining rainwater harvesting systems to abate the storm water runoff*. Estados Unidos: The Cabell Brand Center
- Pacey, A. y Cullis, A., 1989. *Rainwater harvesting: The collection of rainfall and runoff in rural areas*. London: WBC Print Ltd.
- Palacio, N, 2010: Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia, Medellín, Trabajo de monografía para optar al título de especialista en Manejo y Gestión del agua.
- Peña, J., 2004. *El agua, espejo de los pueblos: ensayos de ecología política sobre la crisis del agua en México en el umbral del milenio*. México: Plaza y Valdez: FES Acatlán.

- Pushard, D., 2012. *Rainwater storage systems*, Visto el 20 de junio de 2013, <http://www.harvesth2o.com/rainwaterstorage.shtml>.
- Rain Tank Depot (RTD) n.d, Potable pillow tanks, visto el 3 de octubre de 2013, <http://www.raintankdepot.com/c-3065/potable-water-pillow-tanks>
- Roma, C., 2006: *A calibrated rational method for flood discharge estimation for larger watersheds*. Estados Unidos, Tesis de Maestría, Universidad de Kansas.
- Reglamento para el uso eficiente del agua en las poblaciones del estado de Querétaro.
- Reglamento para el control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado del estado de Querétaro.
- Santos, A. L., Moreirinha, C., Lopes, D., Esteves, A. C., Henriques, I., Almeida, A., ... & Cunha, A. (2013). *Effects of UV Radiation on the Lipids and Proteins of Bacteria Studied by Mid-Infrared Spectroscopy*. Environmental science & technology Vol 47.
- Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) 2000. *Isoyetas Edición 2000*, Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS), 2009, *Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Querétaro*.
- Schober y Hawkins, 1989: Lightweight pillow tank, United States Patent, Arkansas United States
- Sivanappan K., 2006. *Rain water harvesting, conservation and management Strategies for Urban and Rural Sectors*. India: Seminario Nacional sobre captación de agua de lluvia y manejo de agua.
- United Nations Environmental Programme (UNEP) 2009: *Caribbean Rainwater Harvesting Handbook*, Kenya Nairobi: United Nations Environmental Programme.
- Viejo, M., 2003. *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones*. México. Editorial Limusa.
- Waterfall, P., 2004. *Rainwater Harvesting for Landscape use*. Estados Unidos: Universidad de Arizona.
- White, W., 2009. *Decentralized Environmental Technology Adoption: the household experience with rainwater harvesting*. Australia: Griffith School of Environment, Griffith

University Australia.

- Wright, H. y Cairns, W., 1998: *Ultraviolet Light*. Canada: Trojan Technologies INC.
 - 3P Technik Filtersysteme GmbH, 2012. *3p Hydrosystem 1000 heavy traffic specifications*. Alemania.
-