



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO Y USO
DOMÉSTICO, EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TULANCINGO, OAXACA**

AURORA PÉREZ HERNÁNDEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO.

2016

La presente tesis, titulada: **Captación del agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico, en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca**, realizada por la alumna: **Aurora Pérez Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. OSCAR LUIS PALACIOS VÉLEZ

ASESOR



DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO

ASESOR



DR. JORGE LEONARDO TOVAR SALINAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2016.

CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO, EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL TULANCINGO, OAXACA

Aurora Pérez Hernández, MC.

Colegio de Postgraduados, 2016.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca, durante los años 2014-2015. Los habitantes del municipio satisfacen sus necesidades de agua para consumo humano y uso doméstico con 30 L persona⁻¹ día⁻¹, 20 L menos a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud. El objetivo es diseñar un Sistema de Captación del Agua de Lluvia (SCALL) para dotar de agua de calidad, en cantidad y de manera continua a los habitantes del municipio. El diseño consistió en desarrollar diez pasos: macrolocalización del sistema, cálculo de la demanda de agua, análisis de la precipitación pluvial, cálculo del área efectiva de captación, localización del sitio para establecer el SCALL, diseño de conducciones, cálculo del volumen del sedimentador, diseño de almacenamientos, cálculo del subsistema de bombeo y diseño del tren de tratamiento para potabilización y purificación del agua. La propuesta consta de dos áreas de captación (6388 y 4065 m²) impermeabilizadas con geomembrana de PVC de 1.2 mm, cada una con sus cisternas de almacenamiento (con sedimentador) recubiertas y techadas con geomembrana, sus capacidades suman 1891 m³, el sistema de bombeo será alimentado por energía solar y las plantas potabilizadora con capacidad de 10 m³ día⁻¹ y purificadora con capacidad de 400 garrafones de 19 L día⁻¹ se albergarán en una caseta de 60 m². Con el SCALL se podrá satisfacer la demanda de agua para consumo humano en cantidad, calidad y de forma continua.

Palabras clave: balance hídrico, cisterna, demanda de agua, planta purificadora, precipitación pluvial neta.

RAINWATER HARVESTING FOR HUMAN CONSUMPTION AND DOMESTIC USE IN THE MUNICIPALITY OF SAN MIGUEL TULANCINGO, OAXACA

Aurora Pérez Hernández, MC.

Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

This investigation was conducted in the municipality of San Miguel Tulancingo, Oaxaca, during the years 2014-2015. The population of the municipality meet their needs for water for human consumption and domestic use with 30 L person⁻¹ day⁻¹, 20 L less than those recommended by the World Health Organization. The objective is to design a Rainwater Harvesting Systems (RHS) to provide water quality, quantity and continuous way the population of the municipality. The design was to develop ten steps: macro localization of system, calculation of water demand, rainfall analysis, calculation of effective harvesting area, location of the site to establish the RHS, pipeline design, calculation of the volume of the sedimenter, storage design, calculation subsystem design pumping and treatment station for water drinkable and water purification. The proposal consists of two harvesting area (6388 and 4065 m²) waterproofed with PVC geomembrane 1.2 mm, each with its storage cistern (with sedimenter) coated and roofed with geomembrane, capacities totaling 1891 m³, the pumping system will be powered by solar energy and water treatment plants with a capacity of 10 m³ day⁻¹ and purification plant capacity of 400 carboys of 19 L day⁻¹ will be housed in a stand of 60 m². In SCALL may meet the demand for drinking water in quantity, quality and continuously.

Keywords: water balance, cistern, water demand, purification plant, net rainfall.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas que con cada una de sus acciones me han enseñado a amar al mundo y respetar lo que hay en él.

A todas las personas que están trabajan en pro del ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento de mis estudios de maestría.

A todos aquellos que hacen posible el funcionamiento y prestigio del Colegio de Postgraduados, especialmente a los profesores que me formaron y dejaron una gran huella.

A mi consejo particular, conformado por el Dr. Oscar Luis Palacios Vélez, el Dr. Manuel Anaya Garduño y el Dr. Jorge Leonardo Tovar Salinas, por su amistad, apoyo entusiasta y acertada dirección en este trabajo.

A los habitantes del municipio de San Miguel Tulancingo por brindarme todas las facilidades para desarrollar mi investigación.

Al Dr. Rogelio Carrillo González por su paciencia y asesoramiento en el trabajo de laboratorio.

Al MC. Prócoro Días Vargas y Dr. Abel Quevedo Nolasco por su amistad y acertadas contribuciones a este trabajo.

A los técnicos, laboratoristas y secretarías de los Posgrados de Hidrociencias y Edafología por su calidad humana y compromiso con los estudiantes.

A las buenas amistades que logre cultivar durante este procesos de vida, Ana, Nuria, Gerardo, Omar e Hilario por su apoyo en todo momento.

A mis padres, Vicente Pérez Ángel y Guadalupe Hernández Velasco, a mis hermanas Yolanda y María de los Ángeles y a mis peludit@s por alentarme a superarme, creer en mí y ser mi orgullo.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA	7
3.1. Estrés y escasez de agua.	7
3.2. Problemática del agua en el estado de Oaxaca.	11
3.3. Acceso al agua como derecho humano	12
3.4. Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)	15
3.5. Antecedentes de los SCALL.....	15
3.6. Componentes del SCALL	19
3.6.1. Captación	20
3.6.2. Recolección o conducción.....	20
3.6.3. Interceptor de primeras aguas	21
3.6.4. Almacenamiento	21
3.6.5. Potabilización y purificación el agua de lluvia	22
3.6.5.1. Cloración.....	23
3.6.5.2. Filtro tamiz	24
3.6.5.3. Filtro de Carbón activado.....	24
3.6.5.4. Microfiltros pulidores	25
3.6.5.5. Filtro suavizadores o ablandadores de agua	25
3.6.5.6. Filtros de cerámica.....	26
3.6.5.7. Filtros de cápsula.....	27
3.6.5.8. Osmosis inversa	27
3.6.5.9. Ultrafiltración	28
3.6.5.10. Luz ultravioleta	29
3.6.5.11. Ozonificación	29
3.6.5.12. Otros métodos	30
3.6.6. Mantenimiento del SCALL	31

3.6.7.	Mantenimiento en la planta purificadora del agua de lluvia.....	31
IV.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS	33
4.1.	Hipótesis.....	33
4.2.	Objetivo general	33
4.3.	Objetivos específicos.....	33
V.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	34
5.1.	Características generales del municipio	34
5.2.	Ubicación geográfica	34
5.3.	Características ambientales	34
5.3.1.	Clima	34
5.3.2.	Orografía.....	36
5.3.3.	Edafología.....	36
5.3.4.	Hidrografía	38
5.3.5.	Flora y fauna	40
5.4.	Características socioeconómicas	41
5.5.	Usos y manejo de suelos y agua.....	42
5.6.	Relieve y degradación	44
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
6.1.	Materiales.....	46
6.2.	Metodología.....	47
6.2.1.	Macro localización del SCALL.....	48
6.2.2.	Demanda de agua.....	49
6.2.3.	Cálculo de la disponibilidad de agua (precipitación pluvial neta)	50
6.2.4.	Diseño del área efectiva de captación	52
6.2.5.	Microlocalización del SCALL.....	52
6.2.6.	Conducción del agua captada.....	53
6.2.7.	Diseño del sedimentador	56
6.2.8.	Diseño del almacenamiento.....	60
6.2.9.	Bombeo del agua almacenada.....	65
6.2.10.	Diseño del tren terciario de purificación	71

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
7.1. Macro localización del SCALL.....	75
7.2. Demanda de agua.....	76
7.2.1. Agua para consumo humano	76
7.2.2. Agua para uso doméstico	77
7.3. Análisis de la precipitación	77
7.4. Área efectiva de captación (Aec).....	79
7.5. Microlocalización del SCALL.....	80
7.6. Conducción del agua captada	82
7.7. Diseño del sedimentador.....	83
7.8. Diseño del almacenamiento	85
7.8.1. Volumen de almacenamiento.....	85
7.8.2. Dimensiones del almacenamiento	86
7.9. Bombeo del agua almacenada.....	89
7.10. Sistema de potabilización y purificación del agua de lluvia.....	91
7.10.1. Análisis al agua de lluvia, de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994	92
7.10.2. Contenido de Coliformes totales.....	96
7.11. Continuidad del proyecto	100
VIII. CONCLUSIONES.....	101
IX. RECOMENDACIONES	101
X. LITERATURA CITADA	102
ANEXOS.....	108

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Volumen de agua extraído de las diferentes fuentes de agua en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	5
Cuadro 2. Promedio de agua virtual contenida en diferentes productos.....	9
Cuadro 3. Rango de precios de filtros.....	31
Cuadro 4. Actividades de mantenimiento al equipo de purificación y potabilización.....	32
Cuadro 5. Nivel de servicio de agua para promover la salud.....	49
Cuadro 6. Coeficientes de escurrimiento para los diferentes materiales utilizados en áreas de captación.....	51
Cuadro 7. Coeficientes de rugosidad para diferentes materiales.....	55
Cuadro 8. Expresiones matemáticas para determinar dimensiones de secciones en diseños de sistemas.....	56
Cuadro 9. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación (Vs).....	57
Cuadro 10. Balance hídrico para determinar el volumen mínimo de la cisterna.....	61
Cuadro 11. Taludes recomendados para la sección trapecial de un canal para diferentes tipos de suelo.....	62
Cuadro 12. Volumetría de 1 m lineal de muro de mampostería.....	62
Cuadro 13. Cimentación en sustrato tipo III para pendientes de 5 a 20% para una longitud de 1 m lineal de muro.....	63
Cuadro 14. Valores de viscosidad cinemática para el agua.....	69
Cuadro 15. Normas Mexicanas para determinar los parámetros listados en la NOM-127-SSA1-1994, de agua para uso y consumo humano.....	71
Cuadro 16. Parámetros para seleccionar los tratamientos terciarios.....	72
Cuadro 17. Componentes químicos típicos que pueden hallarse en las aguas residuales y sus de efectos.....	73
Cuadro 18. Cálculo de la demanda de agua mensual para consumo humano, en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	76

Cuadro 19. Cálculo de la demanda de agua mensual para uso doméstico, en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	77
Cuadro 20. Estimación de la precipitación pluvial neta en San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	78
Cuadro 21. Diámetro de las tuberías, aplicando la ecuación de continuidad	83
Cuadro 22. Valores de diseño del sedimentador.	84
Cuadro 23. Balance hídrico.....	85
Cuadro 24. Áreas disponibles para el diseño de las cisternas.	86
Cuadro 25. Volumen de las cisternas.....	87
Cuadro 26. Dimensión y volumen de los muros de contención que separan las cisternas.....	88
Cuadro 27. Dimensión y volumen de los muros de contención en la parte baja de las áreas de almacenamiento.....	88
Cuadro 28. Dimensión y volumen de las obras de anclaje.....	89
Cuadro 29. Determinación de pH, SDT y Ce de cinco fuentes de abastecimiento de agua.	91
Cuadro 30. Determinación de contenido de Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio, Carbonatos Bicarbonatos, Cloruros y Sulfato de cinco fuentes de abastecimiento de agua.	91
Cuadro 31. Propiedades del agua de lluvia en San Miguel Tulancingo, Oaxaca..	93
Cuadro 32. Resultado de la reacción a la presencia de Coliformes en una muestra del agua de lluvia (M1) y una del agua potable (M2).....	97

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Indicadores de carencia social en San Miguel Tulancingo, Oaxaca, 2010.	5
Figura 2. Recursos Hídricos Renovables en México (km ³ año ⁻¹ , media) (FAOSTAT, 2015).	11
Figura 3. Disponibilidad de agua en México (m ³ habitante ⁻¹ año ⁻¹).	11
Figura 4. Viviendas sin acceso al agua potable en México.	12
Figura 5. SCALL en el Colegio de Postgraduados, a) Cisterna con cubierta flotante y captadora del agua de lluvia y b) Local de la planta purificadora Lluviatl.	17
Figura 6. SCALL con el grupo étnico Mazahua, a) Colocación de geomembrana de PVC en 4,000 m ² de área de captación y b) Caseta de planta purificadora Maz-Agua.	18
Figura 7. Proyecto comunitario SCALL en la escuela Luis Olive en la comunidad de Las Coloradas, Cárdenas Tabasco, a) Cisterna circular y bombeo solar y b) Canaletas y sedimentador.	18
Figura 8. SCALL en instituciones educativas de Veracruz y Morelos, a) SCALL San Isidro, b) Ceremonia de entrega de 3 proyectos SCALL, c) SCALL Ayahualulco, Veracruz y d) Bebederos escolares en Tlalnepantla, Morelos.	19
Figura 9. Filtro tamiz (25cm x 10 cm).	24
Figura 11. Microfiltros pulidores.	25
Figura 10. Filtro de carbón activado y filtro suavizador.	26
Figura 12. Proceso de separación de compuestos orgánicos e inorgánicos por ósmosis inversa.	28
Figura 13. Ubicación del municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.	35
Figura 14. Precipitación pluvial media histórica en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.	36
Figura 15. Tipos de suelo en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.	37

Figura 16. Corrientes de agua dentro del municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	40
Figura 17. Palacio municipal construido con cantera de la región, San Miguel Tulancingo, Oaxaca.	42
Figura 18. Mapa de coberturas del suelo en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	43
Figura 19. Sistemas terrestres del municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	44
Figura 20. Metodología del CIDECLLI para el desarrollo de un SCALL.....	48
Figura 21. Sedimentador (Planta y corte longitudinal)	58
Figura 22. Esquema de las secciones de un sistema de almacenamiento y las ecuaciones para las formas más comunes.	61
Figura 23. Modelo de muro de contención de 1m de longitud y muro de mampostería con anclaje en suelos de material tipo III y pendientes mayores de 5%.	64
Figura 24. Diagrama de bombeo con bomba centrífuga de eje horizontal	66
Figura 25. Cargas estáticas en un sistema con altura estática de succión.	68
Figura 26. Plantilla para determinar el área efectiva de captación y tamaño del almacenamiento óptimo.	74
Figura 27. Macro localización del SCALL en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	75
Figura 28. Precipitación pluvial mensual histórica en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.	79
Figura 29. Ladera viable para la captación del agua de lluvia.....	80
Figura 30. Grado de inestabilidad en ladera. (CENAPRED, 2015)	81
Figura 31. Polígonos de áreas de captación, cisternas para almacenamiento del agua de lluvia y localización del local para las plantas potabilizadora y purificadora.....	82
Figura 32. Cisternas, de la sección A, diseñadas de forma escalonada para la decantación del agua de lluvia, en San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	87

Figura 33. Comparación de las propiedades químicas del agua en diferentes fuentes de abastecimiento en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.....	92
Figura 34. Minerales presentes en la muestra de sedimento.....	95
Figura 35. Minerales presentes en el fragmento de roca	95
Figura 36. Muestra de agua de lluvia con presencia de Coliformes Totales (Etiqueta anaranjada) y muestra de agua potable con ausencia de estos (Etiqueta roja).....	96
Figura 37. Tren terciario para purificación del agua de lluvia.	99

I. INTRODUCCIÓN

Es un requisito para la salud y esencial para la vida misma que los organismos cuenten con una hidratación adecuada, así mismo, para el desarrollo de las actividades básicas humanas, contar con un abasto de agua de calidad, en cantidad y de forma continua. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2012) pronostica que para 2050 la demanda mundial de agua aumentará en un 55%, debido a la creciente demanda de la industria (+400%), la generación de energía termoeléctrica (+140%) y el uso doméstico (+130%). La agricultura seguirá siendo el mayor consumidor de agua a nivel mundial, lo que representa en muchos países a menudo el 70% o más de los suministros procedentes de ríos, lagos y acuíferos (FAO & WWC, 2015).

Son las zonas áridas y semiáridas, con lluvias escasas y de frecuencia irregular, donde es más visible la escasez del agua y el aumento de la degradación del suelo, afectando severamente la estabilidad y sustentabilidad de la producción de alimentos, generando hambre y pobreza. Y es en una de estas zonas en la República Mexicana donde se localiza el municipio de San Miguel Tulancingo, específicamente en la parte montañosa de la Mixteca Alta¹, Oaxaca.

En el municipio de San Miguel Tulancingo se han construido obras de captación de agua de lluvia, que fueron destinadas al riego de los cultivos de autoconsumo, ya que para cubrir las necesidades de consumo humano y uso doméstico los habitantes han dispuesto del agua del arroyo “Agua Dulce”. La situación actual indica que la cantidad proporcionada no satisface la mínima recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para cubrir las necesidades básicas de consumo e higiene, aunado a ello el equipo de bombeo se encuentra deteriorado, la infraestructura de distribución es insuficiente y la calidad del agua se ve afectada por sedimentos provenientes de escurrimientos superficiales en zonas de cantera. Las consecuencias de la escasez de agua en el municipio se hacen cada vez más evidentes.

¹ Mapa del Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (2007).

Como parte de las soluciones se sugiere la captación del agua de lluvia, una opción sustentable para dotar de agua de calidad y de manera continua a las poblaciones rurales marginadas, claro ejemplo el proyecto establecido hace once años en la comunidad Mazahua, en la ranchería La Soledad, en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México, que ha operado en forma continua con resultados satisfactorios.

En este proyecto de tesis se plantea el diseño de un sistema de captación del agua de lluvia (SCALL) para captar, almacenar, potabilizar, purificar y envasar agua de lluvia que garantice agua segura para consumo humano e incremento de la cobertura para uso doméstico, considerando a toda la población existente en el municipio y sus visitantes. Por las condiciones ambientales atmosféricas que predominan en San Miguel Tulancingo el agua de lluvia captada resulta de buena calidad y requiere los tratamientos mínimos para su potabilización y purificación.

El área seleccionada para establecer el proyecto SCALL es una ladera con afloramiento de roca de 13,850 m². El SCALL tendrá dos áreas de captación (6,388 y 4,065 m²) que serán impermeabilizadas con geomembrana de PVC de 1.2 mm, cada una contará con sus respectivas cisternas de almacenamiento (con sedimentador) recubiertas y techadas con geomembrana, sus capacidades sumaran 1,891 m³, el sistema de bombeo será por medio de energía solar y la planta potabilizadora con capacidad de 10 m³ día⁻¹ y purificadora con capacidad de 400 garrafrones de 19 L día⁻¹ se albergarán en una caseta de 60 m².

La operación, administración y mantenimiento del SCALL serán ejecutadas por personal seleccionado por los habitantes del municipio, los cuales serán debidamente capacitados.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El agua se puede considerar como el constituyente más importante de la alimentación. Un varón o mujer normal puede vivir sin alimentos de 20 a 40 días, pero sin agua, los seres humanos mueren entre cuatro y siete días. Más del 60 por ciento del peso del cuerpo humano está constituido por agua, de la cual aproximadamente el 61% es intracelular y el resto es extracelular. El consumo de agua, excepto bajo circunstancias excepcionales (por ejemplo, alimentación intravenosa), viene de los alimentos y líquidos consumidos. La cantidad que se ingiere varía ampliamente en las personas y puede ser influida por el clima, la cultura y otros factores. Frecuentemente se consume hasta 1 L en alimentos sólidos y de 1 a 3 L de líquidos bebidos. El agua también se forma en el cuerpo como resultado de la oxidación de macronutrientes, pero el agua que así se obtiene por lo general constituye menos de 10% del agua total (Latham, 2002).

Para 2014, en el mundo, cerca de 800 millones de personas no tenían acceso al agua potable, 2.5 mil millones carecían de acceso a servicios básicos de saneamiento, y de 6 a 8 millones de seres humanos fallecían cada año debido a los desastres y las enfermedades relacionadas con el agua (Jiménez-Cisneros, 2014). Si se estima que la población mundial para el 2015 llegue a ser de 7,324,786,000 habitantes y para 2050 de 9,550,947,000 (FAOSTAT, 2015), en el caso de México de 125,236,000 y para 2050 de 156,102,000 de habitantes, dichas cifras de carencia podrían mantenerse o aumentar.

Actualmente los habitantes del municipio de San Miguel Tulancingo cuentan con 5,475 m³ año⁻¹ de agua (Cuadro 1) para satisfacer sus necesidades de consumo y domésticas, esto es una dotación de 30 L persona⁻¹ día⁻¹, nivel muy por debajo de lo recomendado por la OMS, con la ejecución de este proyecto no solo se abastecerá la necesidad de consumo humano a 3.5 L persona⁻¹ día⁻¹ sino que también se completarán a 49.9 L persona⁻¹ día⁻¹ la dotación para uso doméstico, dando un total de 53.4 L persona⁻¹ día⁻¹.

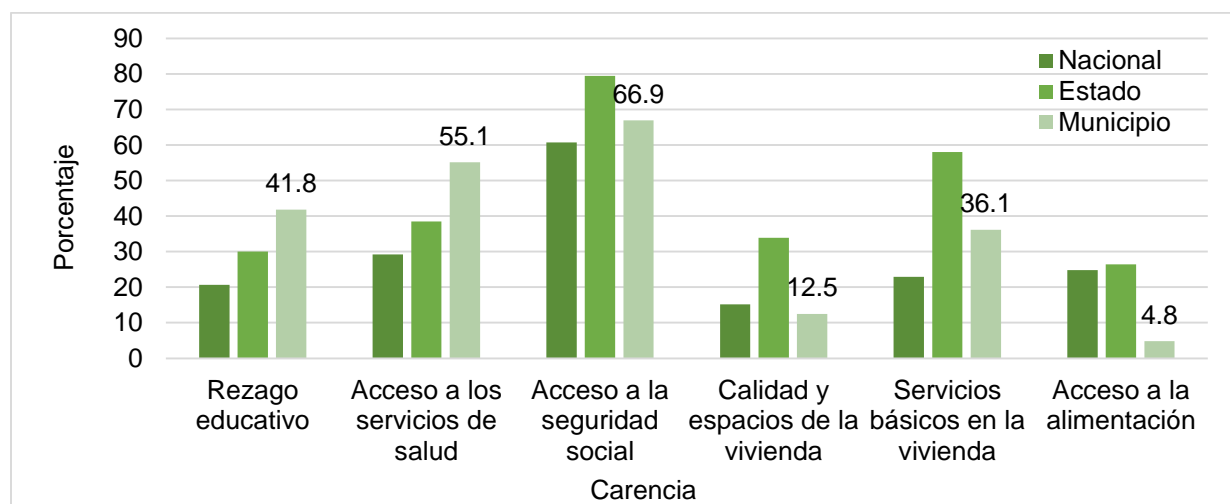
Cuadro 1. Volumen de agua extraído de las diferentes fuentes de agua en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Volumen de agua (m ³ año ⁻¹)	Fuente	Uso
2,463	Manantial	Riego
1,368	Manantial	Riego
2,407	Manantial	Riego
17,100	Manantial	Riego
5,475	Pozo Agua Dulce	Doméstico
1,984	Pozo Arroyo Chiquito	Riego
496.4	Manantial el Duraznal	Riego
Total		
31,293.4		

Fuente: Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), CONAGUA, 2015.

La población asentada en este municipio es de 500 habitantes de los cuales la mitad sobrepasa los 45 años. De sus 13 localidades 6 se catalogan con un grado alto de marginación y una con un grado muy alto (SEDESOL, 2010).

Más del 50% de la población presenta carencia por acceso a la seguridad social y acceso a los servicios de salud (Figura 1).



Fuente: CONEVAL, 2012.

Figura 1. Indicadores de carencia social en San Miguel Tulancingo, Oaxaca, 2010.

Cabe resaltar que 268 habitantes se encuentran en condiciones de pobreza, de estos 45 en pobreza extrema, y el 20% de la población presenta alguna limitación física. (INEGI, 2014)

La acelerada degradación de los suelos aunada a las condiciones antes mencionadas ha propiciado que los pobladores busquen mejorar su calidad de vida migrando a las ciudades, principalmente a Tamazulapan y Ciudad de México.

Las deficiencias en el servicio de distribución de agua que se tienen en el municipio se deben a que la red está incompleta, tiene partes con fugas y el equipo de bombeo existente está deteriorado, y en consecuencia las familias más alejadas no cuentan con servicio adecuado de agua entubada. Si bien su única fuente constante de agua subterránea es un arroyo que se localiza en el paraje “Agua Dulce”, es notable la disminución de su flujo en la actualidad, agravándose porque no existe reglamentación para el uso adecuado del agua.

En el año 2008 el municipio publicó el Plan Municipal de Desarrollo 2008–2017, en el cual presentan la matriz de priorización de problemas, enfatizando el desabasto de agua para consumo humano, por lo que siguiendo las soluciones estratégicas propuestas se ha llegado al acuerdo, junto con el municipio, que con el establecimiento de un SCALL se dará agua para consumo humano en cantidad, calidad y de manera continua a la totalidad de los habitantes.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Estrés y escasez de agua.

Habitualmente, los hidrólogos miden la escasez de agua a través de la relación agua/población. Una zona experimentará estrés hídrico cuando su suministro anual de agua caiga por debajo de los 1,700 m³ por persona. Cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1,000 m³ por persona, entonces se habla de escasez de agua. Y de escasez absoluta de agua cuando la tasa es menor a 500 m³ (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2012).

Los volúmenes de agua antes mencionados contemplan el uso y consumo directo e indirecto (conocido en Inglés como “virtual water”), que se refiere a los volúmenes de agua requeridos para producir alimentos y otros productos. Como ejemplo de este uso indirecto se sabe que para producir 1 kg de tortillas o de pan de trigo en México se requiere en promedio de unos 1,000 L de agua, mientras que para producir 1 kg de carne de res requiere 13,500 L; estos valores varían según el país (CONAGUA, 2014).

A continuación se mencionan algunos ejemplos sobre este concepto (CONAGUA, s/f):

- Para obtener 1 kg de tela de algodón, se requieren 10,800 L de agua. De esa cantidad, 45% representa el agua para riego consumida por la planta de algodón; 41% es agua de lluvia que se evapora del campo de cultivo durante el periodo de crecimiento; y 14% es el agua necesaria para diluir el agua residual que resulta del uso de fertilizantes en el campo y de sustancias químicas en la industria textil: para el blanqueamiento de la tela se requieren aproximadamente 30,000 L de agua ton⁻¹ de algodón y para el teñido de la tela 140,000 L ton⁻¹. Así, una playera de algodón, con un peso aproximado de 250 g tiene una huella hídrica de 2 700 L.
- Un pantalón de mezclilla, se hace de algodón peinado o cardado, el cual se deriva de la fibra del algodón, la cual proviene de semillas de algodón. Antes de que el textil final de algodón llegue a las manos de un consumidor, pasa a través de una

serie de procesos y productos intermedios. Primero, el algodón se transformen en Hilacha (obtenemos sólo 350 kg de hilacha de 1000 kg de semilla de algodón), después del cardado, hilado y tejido, obtenemos tela gris (1000 kg de hilacha sólo producen 900 kg de tela gris), luego va al tratamiento húmedo (blanqueado y pigmentación), para terminar finalmente como un textil de algodón estampado. Se requiere alrededor de 30 m³ de agua ton⁻¹ para el blanqueo, 140 m³ ton⁻¹ para el estampado. La huella hídrica promedio del algodón estampado de un par de pantalones de mezclilla con un peso de 1 kg, es de 1,100 L.

- La huella hídrica del chocolate puro es de 2,400 L para una barra de 100 g (como promedio mundial).
- Cuesta alrededor de 21,000 L de agua producir 1 kg de café tostado. Para una taza normal de café, se requieren 7 g de café tostado, por lo que una taza de café cuesta 140 L de agua. Suponiendo que una taza normal de café tenga 125 ml, necesitamos entonces más de 1,100 gotas de agua para producir una gota de café. Beber té en vez de café se ahorraría una gran cantidad de agua. Para una taza de té estándar de 250 ml se requieren 30 L de agua.
- Para obtener 1kg de azúcar refinada de caña de azúcar se requieren alrededor de 1,500 L de agua. La caña de azúcar consume alrededor de 220 mil millones de m³ de agua al año, lo equivalente al 3.4% del consumo mundial de agua para la producción agrícola. El azúcar de remolacha azucarera requiere menos agua por kg.
- La huella hídrica de una vaca (para producción de carne) es de 3,100,000 L. En un sistema de producción industrial de carne, toma en promedio tres años antes de que el animal sea sacrificado para producir unos 200 kg de carne deshuesada. El animal consume cerca de 1,300 kg de granos (trigo, avena, cebada, maíz, chicharos secos, harina de soya y otros granos pequeños), 7,200 kg de forrajes (pastos, heno seco, ensilaje y otros), 24 m³ de agua para beber y 7 m³ de agua para mantenimiento. Esto significa que para producir 1 kg de carne de vacuno deshuesada, utilizamos alrededor de 6.5 kg de grano, 36 kg de forrajes y 155 L

de agua (sólo para consumo y mantenimiento). La sola producción de los granos necesarios como alimento requiere de 15,300 L de agua en promedio.

- La huella hídrica en promedio mundial de leche entera de vaca es de 940 L kg⁻¹. Alrededor del 28% de esta cantidad se destina a la mantequilla que se deriva de la leche entera y el 72% restante a la leche descremada. 1 kg de leche entera da 50 g de mantequilla, de manera que la huella hídrica de la mantequilla es de 5,550 L kg⁻¹.
- La huella hídrica en promedio mundial de leche entera de vaca es de 940 L kg⁻¹. Alrededor del 50% de esta cantidad se destina al queso fresco sin fermentar que se deriva de la leche entera y el 50% restante de suero de leche. 1 kg de leche entera da 95 g de queso, de modo que la huella hídrica del queso es de 5,060 L kg⁻¹.

Cuadro 2. Promedio de agua virtual contenida en diferentes productos.

Producto	Agua virtual (L)	Producto	Agua virtual (L)
1 vaso de cerveza (250 mL)	75	1 vaso de leche (200 mL)	200
1 taza de café (125 mL)	140	1 taza de té (250 mL)	35
1 papa (100 g)	25	1 manzana (100 g)	70
1 copa de vino (125 mL)	120	1 vaso de jugo de manzana	190
1 huevo (40 g)	135	1 hamburguesa (150 g)	2400
1 jitomate (70 g)	13	1 naranja (100 g)	50
1 par de zapatos (piel bovina)	8000	1 microchip (2 g)	32
1 vaso de jugo de naranja (200 mL)	170	1 bolsa de papas fritas (200 g)	185
1 rebanada de pan (30 g)	40	1 rebanada de pan (30 g) con queso (10 g)	90
1 playera de algodón (250 g)	2000	1 hoja de papel A4 (80 g m ⁻²)	10

Fuente: Hoekstra, A y Chapagain, A. 2006 citados por Arreguín, *et al.* 2007

De acuerdo a la Evaluación de Recursos Hídricos Renovables² (RHR) de AQUASTAT (Sistema de información global sobre el agua de la FAO), en México se tienen las siguientes cifras:

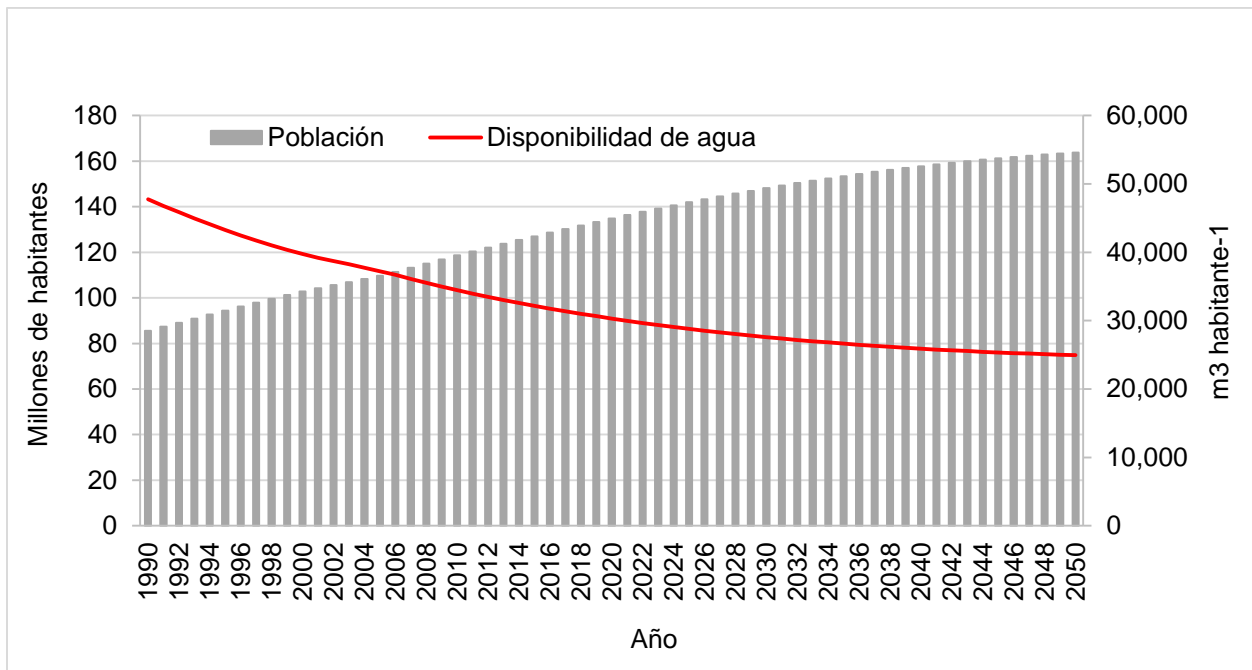
México

RHR INTERNOS			
Precipitación (mm/año)	[1] 758	(a)	
Superficie del país (1000 ha)	[2] 196 438		
Precipitación (km ³ /año)	[3] 1 489	=[1]*1000000)x([2]*10)	
Agua superficial: producida internamente	[4] 350	(b)	
Agua subterránea: producida internamente	[5] 150	(c)	
Parte comun entre aguas superficiales y subterráneas	[6] 91		
RHR internos totales	[7] 409	=[4]+[5]-[6]	
RHR EXTERNOS			
	Natural	Contabilizadas	
<u>Agua superficial</u>			
Agua superficial que entra al país	53.31	(d)	
Entradas no sometidas a acuerdos		[8] 51.47	
Entradas sometidas a acuerdos		1.85	
Entradas aseguradas mediante tratados		[9] 1.85	(e)
Agua superficial en ríos fronterizos	0	[10] 0	
Entradas contabilizadas		[11] 53.32	=[8]+[9]+[10]
Agua superficial que sale del país	19.14	(f)	
Salidas no sometidas a acuerdos		18.71	
Salidas sometidas a acuerdos		0.432	
Salidas aseguradas mediante tratados		[12] 0.432	(g)
Agua superficial externa renovable total		[13] 52.88	=[11]-[12]
<u>Agua subterránea</u>			
Agua subterránea que entra al país	0	[14] 0	
Agua subterránea que sale del país	0	0	
RHR externos totales		[15] 52.88	=[13]+[14]
RHR TOTALES			
Agua superficial		[16] 4029	=[4]+[13]
Agua subterránea		[17] 150	=[5]+[14]
Parte comun entre aguas superficiales y subterráneas		[6] 91	
RHR totales		[18] 461.9	=[16]+[17]-[6]
Tasa de dependencia (%)		[19] 11.53	=[100]*([11]+[14]) / ([11]+[14]+[7])

² Total de los recursos hídricos renovables reales: es la suma de los recursos hídricos renovables internos y los recursos hídricos renovables externos reales. Corresponde a la cantidad máxima teórica de agua disponible realmente cada año para un país en un momento determinado.

Figura 2. Recursos Hídricos Renovables en México ($\text{km}^3 \text{ año}^{-1}$, media) (FAOSTAT, 2015).

Considerando las proyecciones de crecimiento de la población y RHR totales (Figura 2) se estaría presentando una relación inversa entre estas dos variables (Figura 3), para el año 2050 se tendrá una disminución de disponibilidad de agua de $7,217 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de la que actualmente se dispone, suponiendo una distribución equitativa de lluvias en la República Mexicana.



Fuente: Elaboración propia datos FAOSTAT, 2015.

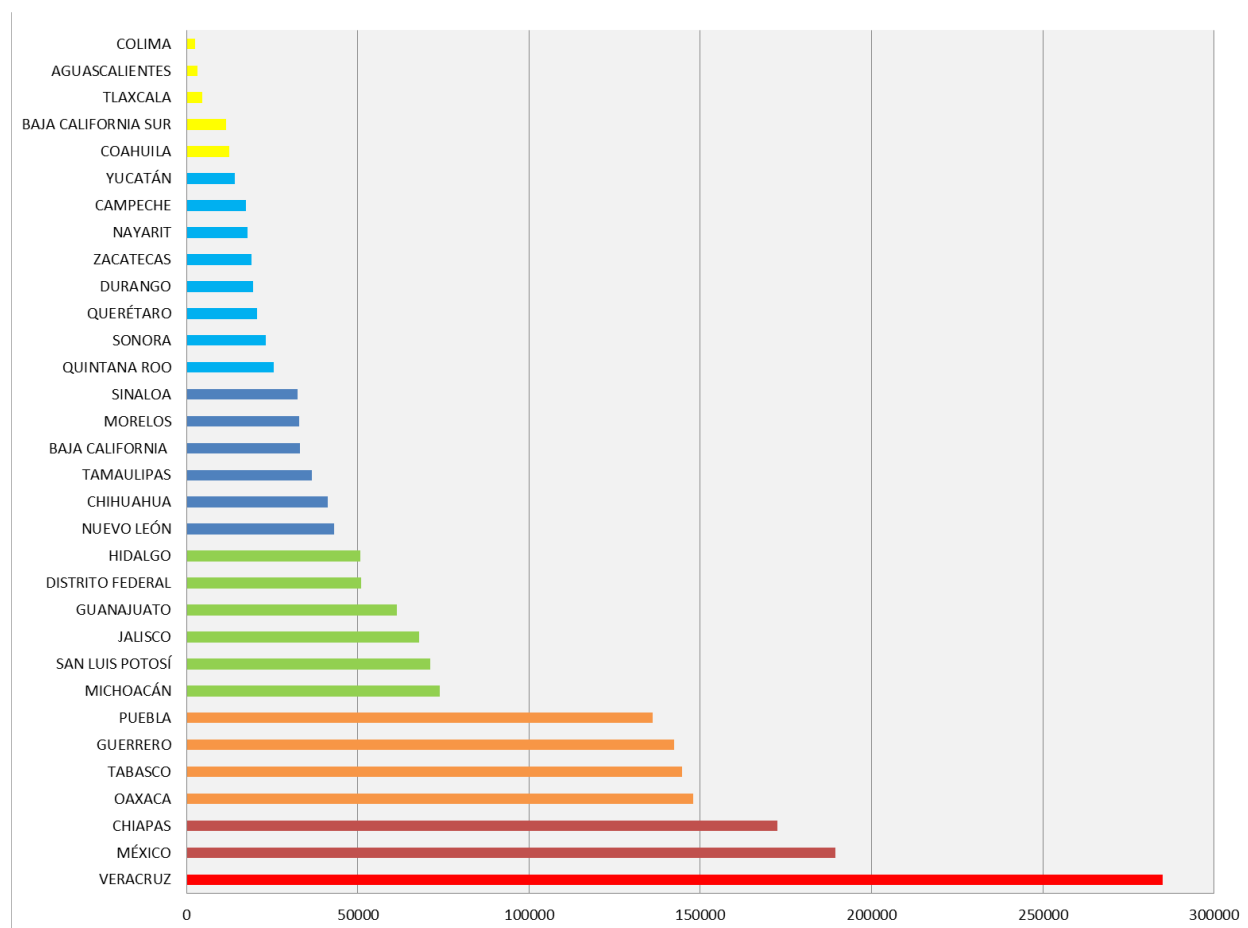
Figura 3. Disponibilidad de agua en México ($\text{m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

3.2. Problemática del agua en el estado de Oaxaca.

Oaxaca con 4.8% de superficie del territorio Mexicano, se encuentra dentro de los estados con mayor precipitación (Herrera, 2010), es el quinto con mayor aportación pluvial, después de Puebla, Veracruz, Chiapas y Tabasco (SMN, 2012). Sin embargo, en el estado tres de cada diez habitantes no tienen acceso al agua potable y recurren a pipas y acarreo con cubetas para obtener el consumo mínimo para alimentarse y cubrir sus necesidades de limpieza, a lo que se suma que en 460 de los 570 ayuntamientos oaxaqueños no operan esquemas eficientes de distribución (Periódico Milenio, 2012).

Es importante mencionar que Oaxaca es el cuarto estado con grado de marginación muy alto (INEGI, 2013) y cuarto en grado de presión sobre el recurso agua y número de viviendas sin agua potable (Figura 4), así mismo, es uno de los estados que no sanean sus aguas residuales (El sol de Toluca, 16 de junio de 2014).

Específicamente, la región Mixteca Alta, debido a su orografía, padece serios problemas por la escasez de agua y erosión, los cuales se agravan debido a las actividades antropocéntricas, provocando el deterioro de los ecosistemas.



Fuente: CIDECALLI-CP, 2013.

Figura 4. Viviendas sin acceso al agua potable en México.

3.3. Acceso al agua como derecho humano

Si bien la OCDE (2012) reitera que la abundancia de agua y su buen uso señalan el nivel de vida y desarrollo de un pueblo, y por tanto, el acceso al agua es una piedra angular

del desarrollo y un sólido motor para reducir las desigualdades; Anaya (2014) analiza en su manual de Sistemas de Captación y aprovechamiento del Agua de Lluvia, que sesenta y seis países, que comprenden dos tercios de la población mundial, se enfrentarán a problemas de escasez de agua para el 2050, y es que aunque la cantidad de agua en el planeta siempre ha sido la misma, gran parte de la escasez se deberá a la cambiante distribución de las precipitaciones y a la mala calidad del agua, ya que posteriormente a su uso se regresa al ambiente con algún grado de contaminación.

Una de las metas de los Objetivos del Milenio (ODM), que habrán de alcanzarse en el año 2015, (meta C del Objetivo 7) propone reducir a la mitad la proporción de personas que carecen de acceso sostenible a agua potable y servicios de saneamiento básico en el mundo, así mismo, señala que las acciones encaminadas a tener acceso al agua en cantidad y calidad pueden ser el medio para erradicar la pobreza y el hambre, promover la igualdad de género y disminución de la mortandad infantil y principales enfermedades relacionadas con el agua. Con este proyecto se estarían aportando avances considerables para cumplir una de las primeras condiciones para el desarrollo económico y social de los individuos y las familias.

Cumplir con los ODM concernientes al sector del agua y el saneamiento de los países de América Latina y el Caribe (ALC) podría sacar de la pobreza a 118 millones de personas, incluidos 53 millones en extrema pobreza, aunque debe prestarse atención especial a las áreas rurales (OCDE, 2012).

El 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. La Resolución exhorta a los Estados y organizaciones internacionales a proporcionar recursos financieros, a propiciar la capacitación y la transferencia de tecnología para ayudar a los países, en particular a los países en vías de desarrollo, a proporcionar un suministro de agua potable y saneamiento saludable, limpio, accesible y asequible para todos (ONU, 2014).

En noviembre de 2002, el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales aprobó su Observación General N° 15 (OG.15) sobre el derecho al agua, definido como el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico (ONU,2014).

- ✓ Ser suficiente: de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona y día para garantizar que se cubran las necesidades básicas.
- ✓ Ser saludable: libre de microorganismos, sustancias químicas y peligros radiológicos que constituyan una amenaza para la salud humana. Las Guías para la calidad del agua potable de la OMS proporcionan las bases para el desarrollo de estándares nacionales.
- ✓ Ser aceptable: el agua ha de presentar un color, olor y sabor aceptables para ambos usos, personal y doméstico.
- ✓ Ser físicamente accesible: de acuerdo con la OMS, la fuente de agua debe encontrarse a menos de 1,000 m del hogar y el tiempo de desplazamiento para la recogida no debería superar los 30 minutos.
- ✓ Ser asequible: el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) sugiere que el coste del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar.

En México se incluye el derecho al agua en el Artículo 4to. Constitucional con una reforma hecha en marzo de 2012, Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Diario Oficial de la Federación, 2014).

Recientemente los poderes Ejecutivo y Legislativo pretendieron aprobar una nueva Ley General de Aguas contraria a los estándares de la OG. 15, así como a los artículos 1ro

y 4to constitucional. Esta Iniciativa privilegia los intereses de particulares por encima del derecho al agua y afectará los derechos de las comunidades al territorio al declarar de utilidad pública actividades como explotación de acuíferos, grandes trasvases entre cuencas, embalses, acueductos, e hidroeléctricas, y las comunidades podrán perder sus derechos de agua si se ven obligadas a rentar sus parcelas. Favorece la contaminación y plantea un modelo de gestión que no promueve la sustentabilidad ni la equidad hídrica. Sólo en el estado de Veracruz existen 112 proyectos hidroeléctricos en puerta que han generado conflictos. Así mismo, se han identificado conflictos socioambientales por los trasvases de cuencas en el Río Verde, la cuenca del Pánuco y el Río Yaqui (ONU, 2015).

3.4. Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)

Se entiende por captación y aprovechamiento del agua de lluvia a todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, surgido de la iniciativa de los agricultores o desarrollado científicamente, para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, de tal manera que pueda ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias (FAO, 2013).

Juan (2006) concluye que la captación y purificación de agua de lluvia representa una alternativa viable, efectiva, eficiente y sustentable, ya que este sistema de captación es una opción que podrá proporcionar agua en cantidad y calidad a poblaciones que no tienen acceso de agua entubada. Además de ser una alternativa para disminuir la explotación de mantos acuíferos.

3.5. Antecedentes de los SCALL

Se reporta que la captación de agua de lluvia se ha practicado desde hace más de 5 mil años; el ser humano ha aprovechado el agua superficial como primera fuente de abastecimiento. Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente, algunos pueblos ocuparon zonas áridas, semiáridas y húmedas del planeta, así comenzó el desarrollo de las formas de captación de agua de lluvia, como una opción para el riego de cultivos y el uso doméstico (Anaya, 2011).

Las innovaciones y mejoras que se han hecho, al paso del tiempo, en los sistemas de captación del agua de lluvia han favorecido su aceptación y adaptación en poblaciones de diferentes partes del mundo.

Específicamente en México la captación pluvial no es algo nuevo y tampoco implica gran tecnología a un nivel doméstico. Es un sistema ancestral que ha sido practicado en diferentes épocas y culturas, ya que es un medio fácil para obtener agua para el consumo humano y para el uso agrícola (Impluvium, 2014).

Durante la etapa prehispánica, las chinampas, acequias, calzadas, diques, albarradones y acueductos fueron las obras hidráulicas más representativas. Los principales materiales para su construcción fueron la madera, la piedra y el lodo así como plantas y tules.

En cuanto a la recolección y almacenamiento de agua pluvial, sabemos que fueron prácticas comunes en Mesoamérica desde tiempos muy antiguos. El agua que caía con las lluvias se recolectaba en recipientes o depósitos subterráneos, o a cielo abierto. El agua se captaba mediante canales y zanjas, aprovechando el agua rodada (en patios y casas, en el campo, en jagüeyes o mediante bordos) o bien conduciéndola desde los techos de las viviendas y edificios por medio de canjilones de madera o pencas o canalitos, a los depósitos. En las viviendas, el agua se almacenaba en recipientes de barro, enterrados o al aire libre así como en piletas de barro, cal y canto, piedra, excavados en el suelo, recubiertos o no con piedra o argamasa y estuco. Otros depósitos subterráneos eran los chultunes o cisternas mayas, muchos persisten hasta el presente (Impluvium, 2014).

Anaya (2005) menciona que en la época de la colonia, los conquistadores captan el agua de lluvia en forma directa, de techos de conventos e iglesias y casa o en forma indirecta, de suelo con pendientes, arroyos, ríos, norias, pozos artesianos, fuentes brotantes, manantiales y jagüeyes (AGROENTORNO, 2013).

Recientemente, en México, varias organizaciones civiles, gobierno y banca privada están implementando proyectos de captación de agua de lluvia (Figura 5 a Figura 7).

- SCALL en el Colegio de Postgraduados

Con base en un modelo de capacitación académico–ambiental, orientado al manejo sostenible de los recursos naturales, particularmente de los recursos hídricos, el SCALL desarrollado por el Colegio ya satisface la demanda de agua purificada de 2,500 personas, lo que requirió una inversión de 1.5 millones de pesos.



Figura 5. SCALL en el Colegio de Postgraduados, a) Cisterna con cubierta flotante y captadora del agua de lluvia y b) Local de la planta purificadora Lluviatl.

- SCALL con el grupo étnico Mazahua

En la zona Mazahua, el COLPOS diseñó y construyó un sistema de captación, almacenamiento, purificación y envasado de agua de lluvia, con una inversión de 1.5 millones de pesos, que dio lugar a la marca “Maz–Agua”, en beneficio de 3,500 personas.



Figura 6. SCALL con el grupo étnico Mazahua, a) Colocación de geomembrana de PVC en 4,000 m² de área de captación y b) Caseta de planta purificadora Maz-Agua.

- SCALL en instituciones educativas

Algo similar se ha llevado a cabo en tres poblaciones purépechas de Michoacán, en beneficio de 3,200 personas. A este proyecto se destinaron 2 millones de pesos, recursos que fueron aportados por el gobierno del estado y una institución de la banca privada.



Figura 7. Proyecto comunitario SCALL en la escuela Luis Olive en la comunidad de Las Coloradas, Cárdenas Tabasco, a) Cisterna circular y bombeo solar y b) Canaletas y sedimentador.



Figura 8. SCALL en instituciones educativas de Veracruz y Morelos, a) SCALL San Isidro, b) Ceremonia de entrega de 3 proyectos SCALL, c) SCALL Ayahualulco, Veracruz y d) Bebederos escolares en Tlalnepantla, Morelos.

Debido al mal uso del agua y por factores tales como la deforestación masiva en el planeta, el agua irá escaseando progresivamente lo cual significa que en un futuro no muy lejano, el sistema de captación de agua de lluvia será un mecanismo de sobrevivencia necesario (Impluvium, 2014).

3.6. Componentes del SCALL

Un sistema básico está compuesto por los siguientes componentes: captación, recolección, interceptor de primeras aguas y almacenamiento. Sin embargo, para que el agua sea apta para el consumo humano y disponible para uso doméstico, además de los

componentes mencionados, se anexan los componentes de: potabilización y purificación y red de distribución del agua lluvia (sistema de bombeo).

3.6.1. Captación

El área de captación es la superficie sobre la cual cae el agua de lluvia y se conduce al sistema de almacenamiento previo al sistema de potabilización o purificación (Anaya, 2014). Esta debe tener la superficie y pendiente adecuada para facilitar el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar solamente la proyección horizontal del área de captación (CEPIS, 2001).

Es importante que los materiales con que estén revestidas las áreas de captación no desprendan olores, colores o sustancias que puedan contaminar el agua captada.

Cuando no se cuenta con los techos de las casas o alguna otra edificación Anaya, 2014, recomienda seleccionar una superficie o ladera que requiera las mínimas actividades de movimiento de tierra (relleno, nivelación y compactación) y posteriormente recubrir toda la superficie con algún material impermeable como: plástico de invernadero, geomembrana o concreto.

El concreto y tejas de arcilla son responsables del 10% de las pérdidas de agua, debido a la evaporación y la alta porosidad de dichos materiales, por lo que recomienda pintar las superficies o cubrirlas con un sellador para mejorar el escurrimiento del agua y prevenir el crecimiento bacteriano en sus poros (Palacio, 2010).

3.6.2. Recolección o conducción

El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas, que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento a través de bajadas con tubo de PVC (Hernández M., F. s/f).

El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Para tal objetivo se pueden emplear materiales como el

bambú, la madera, el metal o el PVC. Se recomienda que el ancho mínimo de la canaleta sea de 75 mm y el máximo de 150 mm (Palacio, 2010).

En el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc. el sistema debe tener mallas que retengan estos objetos para evitar que obturen la tubería montante o el dispositivo de descarga de las primeras aguas (CEPIS, 2001).

3.6.3. Interceptor de primeras aguas

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente (CEPIS, 2001).

En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 L m^{-2} de techo. Se debe tener en cuenta que el agua recolectada temporalmente por el interceptor, también puede utilizarse para el riego de plantas o jardines (Palacio, 2010).

También se puede habilitar un sedimentador al inicio de los depósitos de almacenamiento, la sedimentación es un proceso físico que consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua (CEPIS, 2005).

3.6.4. Almacenamiento

Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua de lluvia a los diferentes usos. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes (Palacio, 2010):

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración
- De no más de 2 m de altura para minimizar las sobre-presiones

- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje
- Los tipos de tanques de almacenamiento del agua de lluvia pueden ser contruidos con los siguientes materiales:
- Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 L)
- Ferro-cemento para cualquier volumen.
- Concreto reforzado para cualquier volumen.

Cisternas revestidas con geomembrana de PVC

Dentro de las nuevas tecnologías de productos geosintéticos se encuentran las geomembranas, que son impermeables a fluidos y partículas, evitan filtraciones, fugas y contaminación del agua almacenada. La geomembrana de PVC, el polietileno de alta densidad y alto peso molecular y el polipropileno reforzado ofrecen muchas ventajas: facilidad de instalación, elasticidad, resistencia a punzonamiento, de fácil colocación por ser termofusionable (cisternas, canales y otros depósitos); algunas de sus propiedades es que tiene 25 años de vida, elongación del 200% sin perder su estructura molecular. La impermeabilización obtenida con 1 mm de espesor de geomembrana de PVC equivale a la impermeabilidad de 1 m de arcilla compactada. Una cisterna de concreto resulta de cuatro a cinco veces más costosa que una recubierta con estos productos geosintéticos (Hernández, s/f).

3.6.5. Potabilización y purificación el agua de lluvia

El agua potable será aquella cuyo uso y consumo no causa efectos nocivos al ser humano y el agua purificada será aquella que ha sido sometida a tratamiento fisicoquímico, apta para consumo humano (NOM-160-SSA1-1995). Las plantas potabilizadoras y purificadoras son dispositivos de tratamiento secundario y terciario que

permiten filtrar y desinfectar de manera eficiente, con el fin de garantizar la calidad bacteriológica del agua.

A continuación se describen los procedimientos empleados para el tratamiento de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. Una planta purificadora pueden emplear todos los métodos referidos o sólo algunos de ellos, dependiendo de los requerimientos de calidad del recurso a obtener y los recursos económicos de la organización o el particular (Anaya, 2014).

3.6.5.1. Cloración

El agua se almacenará en tanques plásticos de 5000 L y será clorada con hipoclorito de sodio al 13%, hipoclorito de calcio al 70% o algún otro derivado de cloro. El cloro elimina la mayor parte de las bacterias, hongos, virus, esporas y algas presentes en el agua. También, el cloro favorece la precipitación de fierro y manganeso presentes en el agua a concentraciones mayores a lo estipulado en las normas nacionales mexicanas e internacionales.

Una concentración de 1 mg L^{-1} de cloro residual libre es suficiente para destruir bacterias e inactivar virus después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos (OM-201-SSA1-2002).

El descubrimiento de una relación causal entre la presencia de trazas de algunos compuestos organoclorados cancerígenos en el agua, principalmente en forma de Trihalometanos (THMs), y la práctica de la cloración, ha dado origen a una controversia aún no resuelta, acerca de la conveniencia de seguir utilizando cloro como desinfectante. La OMS ha declarado que los beneficios de la desinfección con cloro exceden ampliamente los potenciales daños a la salud asociados a la formación de compuestos organoclorados (INGESA, 2008).

Sánchez Zafra (2008) menciona que una opción para esta controversia es el empleo de filtros de carbón activado, con propiedades fijadoras y capacidad de retener los THMs y otras sustancias, eliminándolas del entorno. Por su parte Hernández Sánchez (2011)

encontró que existen cuatro técnicas para reducir los niveles de THMs en el agua, así como su porcentaje: ebullición de 1 a 5 min (de 68 a 98%), ebullición >5 min (83%), filtros domésticos (47%) y filtro de carbón activo (de 93 a 99%).

3.6.5.2. Filtro tamiz

Una vez clorada pasará al filtro Speedy o filtro tamiz de 150 μ (micras), el cual tiene las funciones y ventajas de: filtrar sólidos, sedimentos, tierra, lodo y arcilla, no tener gastos de mantenimiento, suministrar agua ininterrumpidamente, no desperdiciar agua en los retro lavados y no requerir cambio de cartuchos (Figura 9).



Figura 9. Filtro tamiz (25cm x 10 cm).

3.6.5.3. Filtro de Carbón activado

Al compuesto GAC (Granular Activated Carbon) se le suele pasar por un pre-tratamiento con diferentes elementos bactericidas, otorgándole con ello propiedades auto-esterilizables. Es medio filtrante del cloro (tóxicos derivados) y de la materia orgánica que causa mal olor, color y sabor en el agua. También remueve orgánicos como fenoles y, la mayoría de los pesticidas y herbicidas.

Su activación produce una excelente superficie de filtración. El carbón activado posee una gran capacidad de absorción de impurezas del agua; la absorción es el proceso mediante el cual la materia se adhiere a la superficie de un absorbente.

3.6.5.4. Microfiltros pulidores

La función de estos filtros es detener paulatinamente las impurezas pequeñas haciendo pasar el agua por un primer pulidor de 20 μ , un segundo de 10 μ y hasta 5 μ en el último cartucho (Figura 10).

Los pulidores son fabricados en polipropileno grado alimenticio (Food and Drug Administration). Después de este paso se obtiene agua potable de excelente calidad.



Figura 10. Microfiltros pulidores.

3.6.5.5. Filtro suavizadores o ablandadores de agua

Están específicamente diseñados para eliminar químicamente sales de carbonatos de calcio y magnesio, a través de una resina de intercambio iónico como medio filtrante. Utilizarles evita el mal olor en el agua, el que ésta se incruste en tuberías y calentadores o que manche los baños, las losas o la ropa; previene la sensación de aspereza en piel y cabello.

La técnica inicia cuando el líquido ingresa en el suavizador por un orificio de admisión que se encuentra en la parte superior, éste pasa por un lecho de resina catiónica cargada con cloruro de sodio que atrae y atrapa las partículas de calcio y magnesio (intercambio iónico) reteniendo los iones hasta que la resina se satura y, para regenerarla se debe inyectar el cloruro de sodio ubicado en un depósito lateral (Figura 11).

El proceso se realiza de manera automática, el mismo el suavizador produce agua libre de sarro.



Figura 11. Filtro de carbón activado y filtro suavizador.

3.6.5.6. Filtros de cerámica

Tienen un costo bajo y su mantenimiento es sencillo, pero retienen únicamente materia en suspensión, como sedimentos y basura, y dejan pasar gérmenes y bacterias. No contienen ningún esterilizante y utilizan energía eléctrica para funcionar (Periódico El Economista, 2015).

3.6.5.7. Filtros de cápsula

Son bacteriológicos, retienen sedimentos y químicos diluidos, así como materia orgánica, olores y sabores. Tienen un precio económico, requieren un mínimo de mantenimiento, necesitan lavarse cada tres meses, son desechables y deben sustituirse al término de su vida útil o capacidad de purificación (Periódico El Economista, 2015).

3.6.5.8. Osmosis inversa

La ósmosis inversa es la separación de componentes orgánicos e inorgánicos en el agua, por el uso de presión ejercida en una membrana semipermeable mayor que la presión osmótica de la solución. La presión fuerza al agua pura a través de la membrana semipermeable, dejando atrás los sólidos disueltos. El resultado es un flujo de agua pura, libre de minerales, coloides, partículas de materia orgánica, bacterias, virus, esporas, levaduras, microbios, proteínas y aromáticos (Figura 12).

La ósmosis normal toma lugar cuando el agua pasa de una solución menos concentrada a una solución más concentrada a través de una membrana semipermeable. Una cierta cantidad de energía potencial existe entre las dos soluciones en cada lado de la membrana semipermeable. El agua fluirá debido a esta diferencia de energía de la solución de menos concentración a la de más concentración hasta que el sistema alcanza el equilibrio.

La membrana de ósmosis inversa es una película de acetato de celulosa parecido al celofán usado para envolver los alimentos. Estas membranas pueden ser formuladas para dar grados variantes de rechazo de sal. Algunas membranas tienen una habilidad de rechazo de 50 a 98%, la palabra rechazo es usada para describir la repulsión de los iones por la membrana.

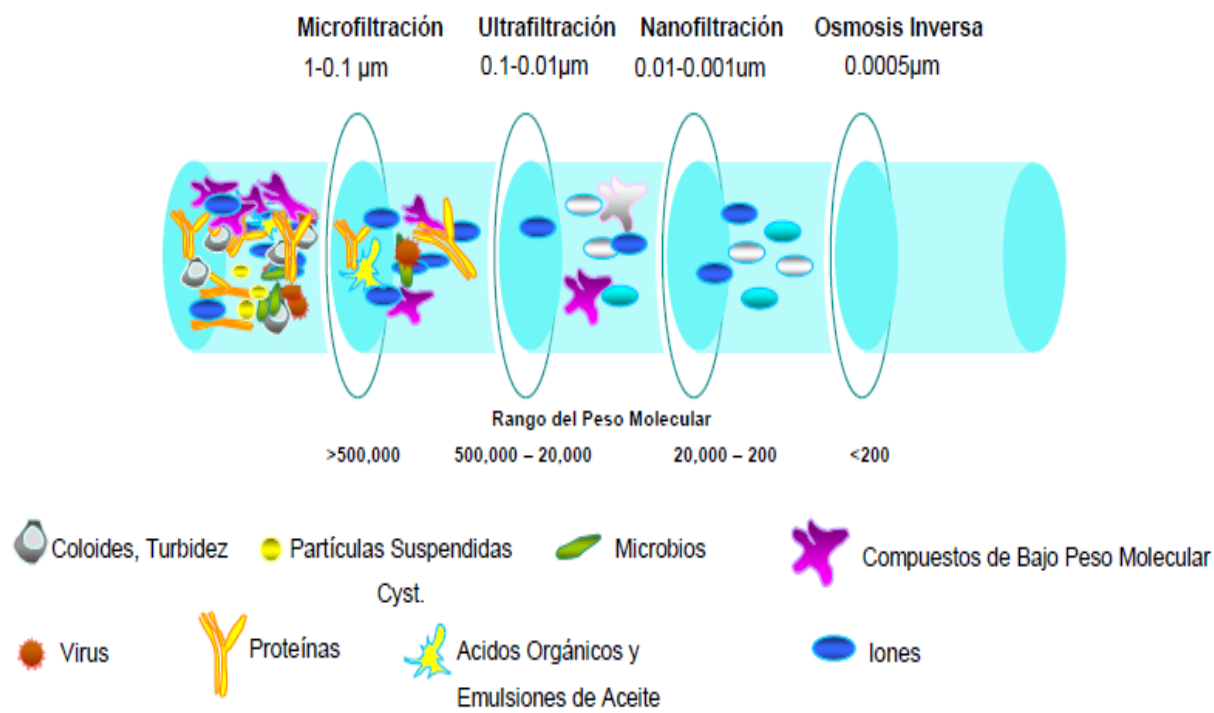


Figura 12. Proceso de separación de compuestos orgánicos e inorgánicos por ósmosis inversa.

3.6.5.9. Ultrafiltración

Se presenta cuando membranas especiales de alta resistencia reciben el agua para liberarla de materiales entre 0.1-0.01 µm y sólidos suspendidos. Los fluidos viajan por la superficie de las membranas en forma horizontal a muy alta velocidad impidiendo la formación de lodos que obstaculicen y resten eficiencia de las mismas. Cada membrana es fabricada especialmente para cubrir exactamente sus necesidades. Los sistemas de ultrafiltración son capaces de remover por encima del 90% de los contaminantes. Durante esta etapa se disminuye la dureza sales y algún color que el agua pudiera presentar (Bautista, 2012). Se aprovecha el 100% del agua de suministro y elimina la mayoría de los virus y bacterias del agua.

La ultrafiltración utiliza la presión hidrostática para forzar el agua a través de una membrana semipermeable. La ultrafiltración puede utilizar membranas espirales que utilizan la separación de flujo cruzado, membranas de fibra hueca, o desde el exterior,

en el uso de un vacío para purificar el agua. Las membranas eliminan partículas muy pequeñas, tales como organismos resistentes al cloro, bacterias, orgánicos, sedimentos, solutos de alto peso molecular y otros sólidos en suspensión (PanaChlor, 2015).

3.6.5.10. Luz ultravioleta

La radiación ultra violeta funciona como un germicida, ya que anula la vida de las bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas presentes en el agua, mediante la luz ultravioleta, los microorganismos no pueden proliferarse ya que destruyen el ADN y mueren al contacto con la luz, obteniéndose un producto libre de gérmenes vivos.

La desinfección con luz UV es ineficaz si en el agua hay turbiedad y sólidos suspendidos totales, así como el uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes con niveles de SST (Sólidos Suspendidos Totales) mayores a 30 mg L⁻¹. Así mismo, la luz UV no deja un residual que evite que los microorganismos puedan repararse de los efectos destructivos y vuelvan a desarrollarse.

3.6.5.11. Ozonificación

El ozono en agua es el oxidante natural más rápido y efectivo que existe, tiene un alto poder bactericida, viralicida y fungicida, destruye los microorganismos rompiendo por oxidación su capa protectora (lípidos), el ozono en agua es 12 veces más soluble que el oxígeno, los productos químicos actúan por envenenamiento enzimático de los centros vitales, por lo que el ozono resulta ser miles de veces más rápido que los productos químicos.

Con el ozono se consiguen resultados sorprendentes en los tratamientos de las aguas eliminando contaminantes convencionales como hierro, manganeso, proteínas, ácidos aminados, ácidos húmicos, etc. componentes responsables del deterioro del sabor, color y olor de las aguas. El ozono actúa sobre el agua potable eliminando por oxidación todos

los elementos nocivos para la salud como son virus, bacterias y hongos además de oxidar metales, los cuales pueden ser filtrados y eliminados del agua.

3.6.5.12. Otros métodos

El amoníaco, sus derivados orgánicos o los aminoácidos de las proteínas pueden reaccionar con el cloro dando lugar a distintos tipos de cloramidas, de ahí la importancia de que el agua a potabilizar está totalmente libre de cualquier materia orgánica. Entre los métodos de potabilización de agua que no usan cloro se encuentran la fluoración (mediante flúor), la electrocatidización con plata, la ozonización o la radiación ultravioleta. El primero de éstos se ha estudiado como una alternativa a la mejoría de la salud dental de la población en general, si bien puede que este método no esté libre de complicaciones, teniendo en cuenta que el flúor es un halógeno del grupo del cloro y podrían formarse compuestos igualmente tóxicos en contacto con materia orgánica. La electrocatidización con plata es un procedimiento electroquímico que se basa en que ciertos cationes de elementos metálicos, como los de plata evitan la proliferación de microorganismos cuando están presentes en el agua a muy baja concentración. El uso de la plata en la antigüedad para la fabricación de vajillas y utensilios de cocina está relacionado con su gran capacidad para prevenir enfermedades causadas por microorganismos. Este método se emplea en algunas instalaciones pero no es un método generalizado. El ozono es un gas muy oxidante y fácil de producir con equipos eléctricos a partir del oxígeno presente en el aire. Es capaz de potabilizar agua y puede ser una alternativa a los métodos actuales, aunque es probable que también deban extremarse precauciones en cuanto a la cantidad de materia orgánica presente en el agua a potabilizar. Por último la luz ultravioleta es un método de menos riesgos que la manipulación de gases tóxicos como el cloro, el flúor o el ozono, aunque no proporciona al agua una prolongación en el tiempo de la acción desinfectante, así como los anteriores, además de que la existencia de partículas en suspensión disminuye en gran medida la acción de la radiación (Ortuño Sánchez, 2005).

Existen en el mercado una variedad en modelos y por ende variedad en sus precios (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rango de precios de filtros.

Filtro	Precio (\$)
Filtros de luz ultravioleta	5,000 a 17,000
Filtros de cápsula	500 a 2,000
Filtros de cerámica	400 a 1,500
Purificadores de ozono	5,000 a 9,000

Fuente: Periódico El Economista, Abril de 2015.

3.6.6. Mantenimiento del SCALL

El mantenimiento de las áreas de captación se refiere a la limpieza con escoba y trapeador durante las primeras lluvias, para reducir polvos y basuras en el sedimentador, estos deberán estar limpios al inicio de las lluvias.

El área de cisternas deberá limpiarse internamente una vez por año. Deberán mantenerse limpios sus techos flotantes de geomembrana de PVC, así también, las tuberías de PVC conductoras del agua de lluvia deberán mantenerse libres de obstáculos y basura.

3.6.7. Mantenimiento en la planta purificadora del agua de lluvia

Para la operación del sistema se necesitan equipos de 2 personas para la planta purificadora. Las personas encargadas deben estar capacitadas técnicamente para operar todos los equipos instalados; también, deben tener a la mano un Manual de operación y mantenimiento, que siga y respete el reglamento establecido sobre Buenas Prácticas de Trabajo y la NOM-160-SSA1-1995 (Bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada).

En el siguiente cuadro se listan algunas de las actividades que se recomiendan para mantener en buen funcionamiento los equipos del proceso de purificación del agua (Cuadro 4).

Cuadro 4. Actividades de mantenimiento al equipo de purificación y potabilización.

Equipo	Refacciones	Frecuencia	Observaciones
1.Filtro de carbón activado GAC	Cambio de carbón impregnado con elementos bactericidas	Anual	Revisar la programación de retro lavados
2.Pulidor Slim-Line	Cartuchos sedimentadores 20, 10 y 5 micras	Lavarse al saturarse. La experiencia marcará la frecuencia	Cambio anual
3.Luz Ultravioleta	Focos de luz, tubos de cristal de cuarzo y balastro	Cada 6 meses. Cuando se rompe o se quema	El foco se deberá cambiar a los 6 meses aún si prende
4.Ozono	Reemplace el equipo.	Cada 2 años	
5.Garrafones	GERMIBAC para lavado de garrafrones 19 L	Consumible	
6.Garrafones	DICLOR para sanitizar garrafrones 19 L	Consumible	
7.Filtro Speedy	Lavado de mantenimiento	Dependiendo del uso por observación del plantel transparente	5 litros.
8.Carbón Activado	Retro lavado	Semanal	5 min (Hasta que el agua este transparente)
9.Suavizador	Regeneración resinas.	Semanal o cuando la dureza llegue a más de 300 mg/L	15 min (Accionar el contador de tiempo)
10.Tanque de Almacenamiento de Agua Purificada	Desinfección con hipoclorito de sodio o dióxido de cloro	Mensual	
11.Línea de tubería	Desinfección con hipoclorito de sodio o dióxido de cloro	Mensual	500 L

Fuente: Anaya, 2014.

Además, para monitorear que la calidad de agua tenga las condiciones óptimas para el consumo humano se recomiendan análisis periódicos físicos, químicos y microbiológicos del agua tratada, de acuerdo a las Normas Mexicanas: NOM-041-SSA1-1993 y su adicional 021-2002 (Bienes y Servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias) y NOM-127-SSA1-1994 (Agua para usos y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización en la transformación y su distribución).

IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis

La captación del agua de lluvia es una opción para el abastecimiento de agua en cantidad, calidad y en forma continua para poblaciones marginadas que no tienen acceso al agua segura para consumo humano y uso doméstico.

4.2. Objetivo general

Diseñar un proyecto de captación del agua de lluvia, para captar, almacenar, potabilizar, purificar y envasar agua de lluvia que garantice agua segura para consumo humano e incremento de la cobertura para uso doméstico en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca

4.3. Objetivos específicos

- Fomentar la cultura hacia el aprovechamiento eficiente del agua de lluvia para varios usos.
- Garantizar el abastecimiento del agua de lluvia purificada en forma constante.
- Utilizar como fuente alterna de energía las bombas solares.
- Generar una plantilla que facilite los cálculos para el diseño de un SCALL.

V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1. Características generales del municipio

San Miguel Tulancingo se ubica en la parte montañosa y pobre del núcleo de la Mixteca Alta en Oaxaca, los habitantes son descendientes de los pobladores prehispánicos conocidos como Chochos (*nguigua*), actualmente solo una séptima parte de la población habla el idioma y es por personas de avanzada edad, lo que indica que el idioma está en vías de extinción. El municipio se rige por la Constitución Federal y la Ley Orgánica Municipal del Estado; el Presidente Municipal y su cabildo son la máxima autoridad que representa al pueblo y son elegidos mediante el sistema de usos y costumbres.

5.2. Ubicación geográfica

El municipio de San Miguel Tulancingo pertenece al distrito político de Coixtlahuaca, se ubica al noroeste de la capital del Estado de Oaxaca, a 127 km de ésta, entre los paralelos 17°42' y 17°48' de latitud norte y los meridianos 97°24' y 97°29' de longitud oeste; a una altura promedio de 2,200 msnm ocupa una superficie de 47.53 km² (Figura 13).

5.3. Características ambientales

5.3.1. Clima

García (2014) menciona que de acuerdo al sistema de clasificación Köppen-García (1987) el clima corresponde a la clasificación Cb (wo)(w) igw”, esto es: clima templado con verano fresco largo (Cb), el más seco de los subhúmedos (wo), con precipitación del mes más seco menor a 40mm (w), oscilación anual de la temperatura media mensual menor de 5°C (i) y con presencia del mes más caliente antes del solsticio de verano (g).

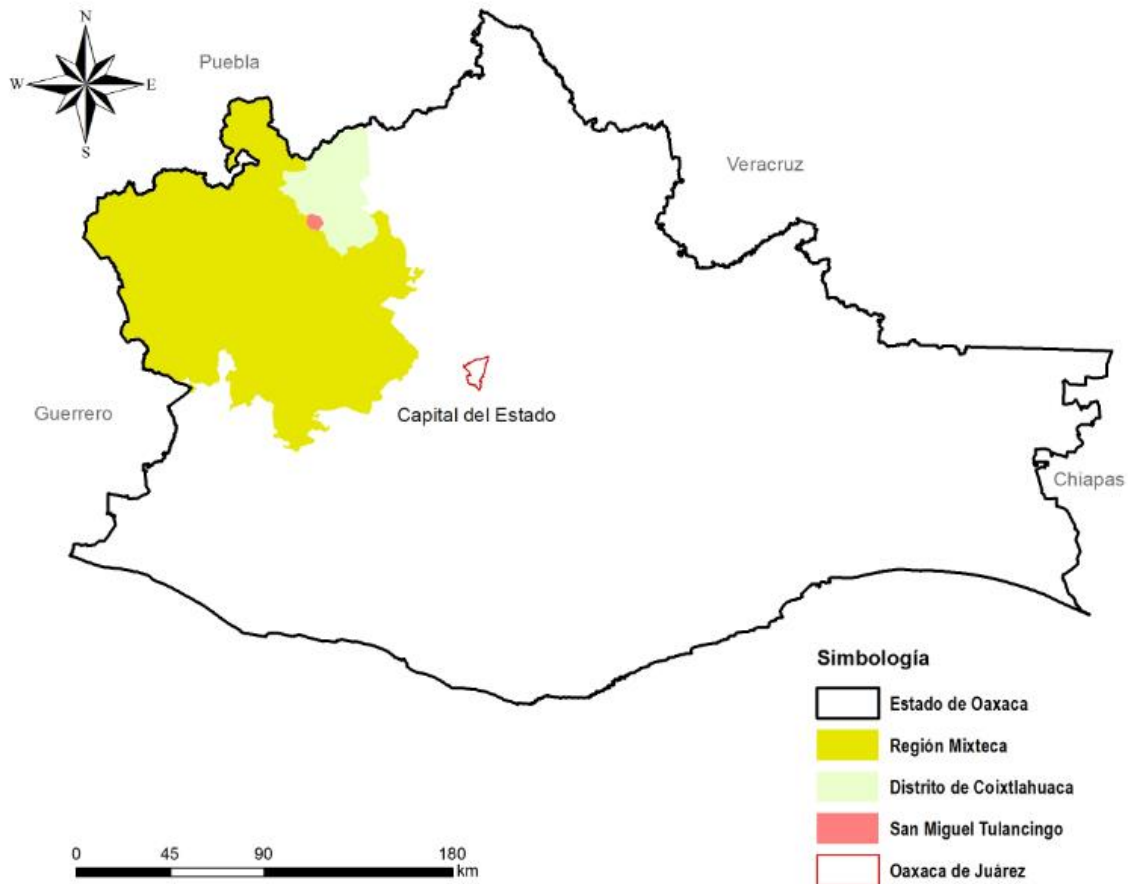


Figura 13. Ubicación del municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

En la normal meteorológica núm. 20116, correspondiente a San Miguel Tulancingo, se reportan temperaturas mínimas de -5°C , máximas de 34°C y la media anual de 15.3°C (CNA, 2014).

El periodo de lluvias se distribuye entre los meses de mayo a octubre, registrándose una lámina promedio 544.7 mm anuales, este es interrumpido por una etapa de sequía entre los meses de julio-agosto, a ésta interrupción de las lluvias se le conoce como sequía intra estival o canícula; que puede ser muy severa (Figura 14).

Los campesinos de Tulancingo afirman que la temporada de lluvia empieza a fines de mayo o principios de junio, y que cuando se retrasa puede llegar a llover hasta fines de

junio, los últimos aguaceros son en septiembre, es muy raro que llueva en octubre (Rivas, 2008).

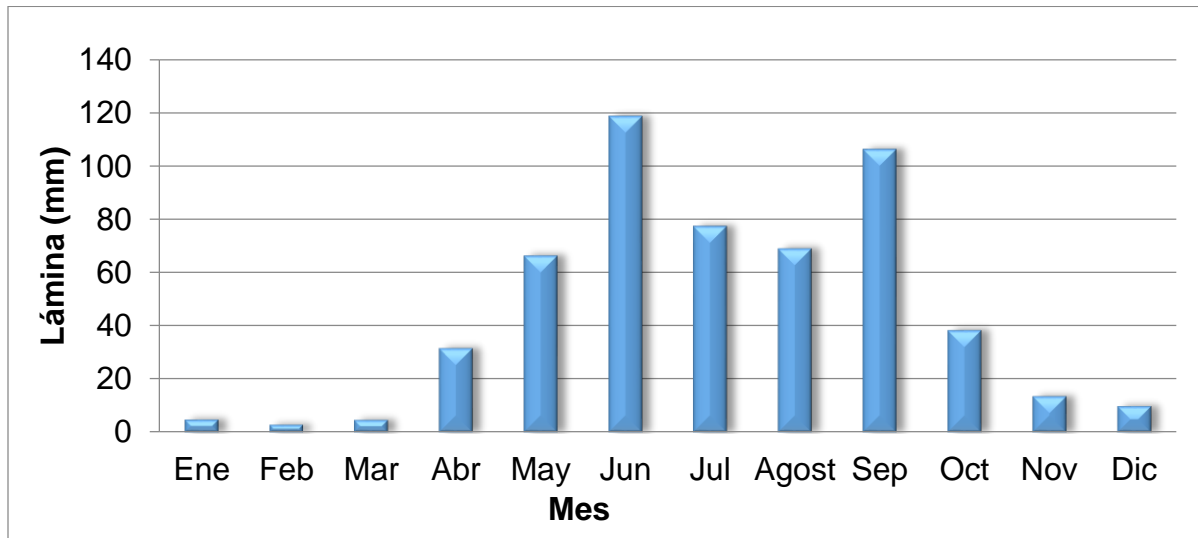


Figura 14. Precipitación pluvial media histórica en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

5.3.2. Orografía

La orografía consiste en cerros con pendientes pronunciadas (35%) y lomeríos asociados con pequeños llanos de pendientes menores al 10%. En el centro del municipio existe un pequeño valle en posición noreste-sureste limitado por dos principales serranías, una en la parte meridional y otra hacia el noreste.

5.3.3. Edafología

Los suelos en San Miguel son delgados, cálcicos, pedregosos y con grandes manchas de tepetate, poco apto para la agricultura. (Rivas, 2008), generalmente arcillosos, con un contenido medio y bajo de materia orgánica. El subsuelo está compuesto, en su gran mayoría, por rocas de origen sedimentario que forman yacimientos importantes de cantera en diferentes tonalidades.

Los suelos pobres y sumamente erosionados son un paisaje característico de Tulancingo y toda la Mixteca Alta. Es común ver en la zona el denominado “caliche” de apariencia

blanca, así como grandes cárcavas donde aflora material volcánico, de color asalmonado y poco cohesivo. Este material suele aparecer después de que el caliche se ha erosionado (Sierra, 2010 citado por García, 2014).

El análisis de dos muestras de suelo, en terrenos de cultivo, determinaron que presentan textura franca, lo que supone existe un equilibrio entre permeabilidad al agua y retención de agua y de nutrientes.

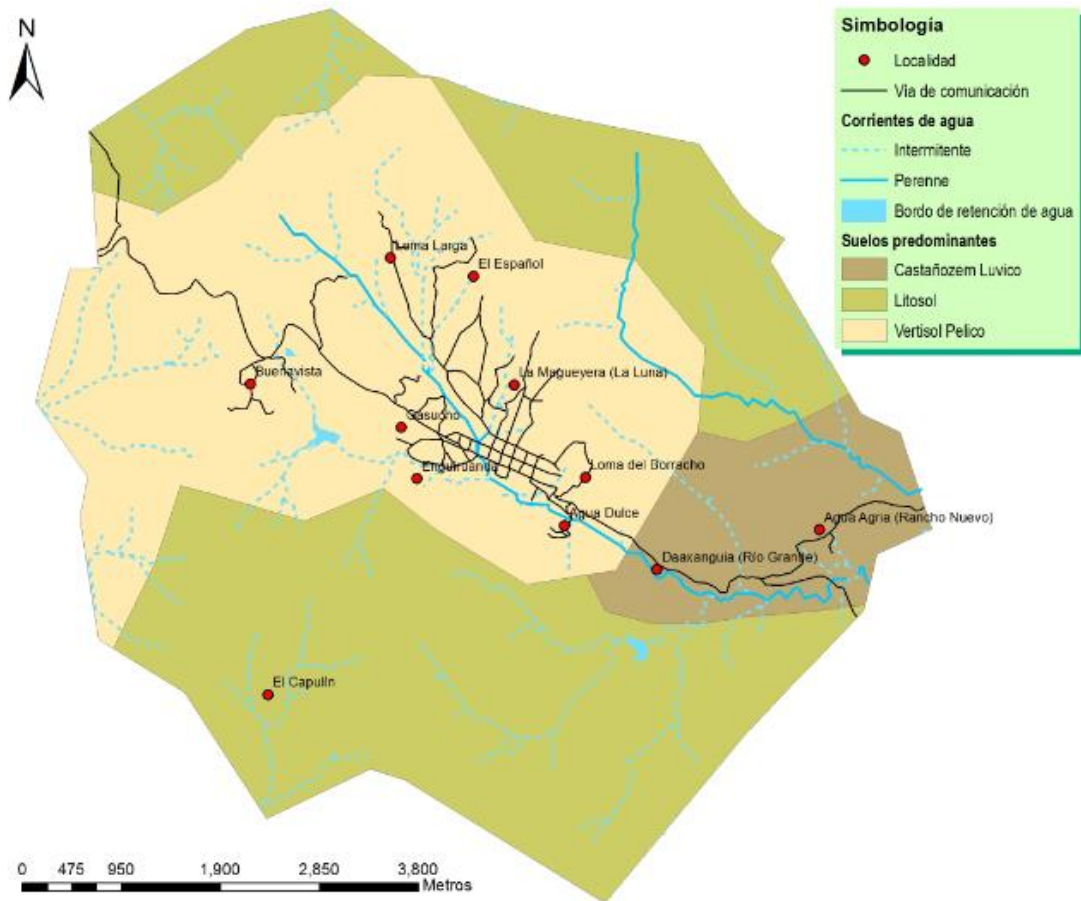


Figura 15. Tipos de suelo en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Se puede observar el predominio del tipo de suelo Litosol (%) en las partes de montaña y de Vertisol Pélico (%) en la parte central, es en la parte más baja de la superficie municipal donde se tiene suelo de tipo Castañozem Luvico (Figura 15).

Litosol: Del griego *lithos*: piedra. Literalmente, suelo de piedra. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable dependiendo de otros factores ambientales. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su uso es forestal; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado y en algunos casos se destinan a la agricultura.

Vertisol pélico: Del latín *vertere*, voltear. Literalmente, suelo que se revuelve o que se voltea. Suelos especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas y que por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad.

Castañozem Lúvico: Del latín, *castaneo*: castaño; y del ruso *zemljá*: tierra. Literalmente, tierra castaña. Suelos alcalinos, en condiciones naturales tienen vegetación de pastizal, con algunas áreas de matorral. Frecuentemente tienen más 70 cm de profundidad y se caracterizan por presentar una capa superior de color pardo o rojizo oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes, con acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo. Se usan para ganadería extensiva mediante el pastoreo o intensiva mediante pastos cultivados con rendimientos de medios a altos; en la agricultura son suelos con alta fertilidad natural. Son moderadamente susceptibles a la erosión.

5.3.4. Hidrografía

El municipio cruza el parteaguas de dos regiones hidrológicas, 79% del territorio forma parte de la región hidrológica del río Papaloapan³, subcuenca del río Salado, y el 21%

³ Región hidrológica núm. 28.

restante pertenece a la cuenca del río Mixteco (región hidrológica del río Balsas⁴) (INE, 2013).

Debido a las condiciones ambientales de San Miguel, desde inicio de los años 90`s el agua de lluvia en la comunidad se captura principalmente en bordos de almacenamiento y conservación de agua, construidos con participación de campesinos locales, profesores y estudiantes de la UACh, en colaboración con dependencias del Estado y el propio ayuntamiento Municipal del pueblo (Rivas, 2008).

Aunque el 90% del municipio cuenta con agua entubada, la única fuente de corriente superficial que proporciona agua a la comunidad es el río de Agua Dulce, que atraviesa de este a oeste al pueblo, con un caudal variable e insuficiente.

El Agua Dulce es un pequeño arroyo que baja del Cerro Tepetroja y se une al río Elite en las afueras del pueblo. El río Elite, atraviesa el pueblo y está formado de dos arroyos que vienen del noreste, Chiquito y El Encinal (Figura 16), este río lleva agua todo el año (Rivas, 2008).

Existe además un sistema hidráulico en la parte central del pueblo, en desuso y con poco o ningún mantenimiento, sobre el arroyo Agua Dulce, compuesto por canales y compuertas que, de acuerdo a la información recabada, tienen ya mucho tiempo de regar las parcelas del lado este del pueblo, conocida como El Llano.

Respecto a las aguas subterráneas, su disponibilidad es escasa, en la actualidad, la única fuente de agua subterránea utilizada es el manantial que se encuentra en el paraje "Agua Dulce", mismo que tiene su importancia como fuente principal de abastecimiento de agua para uso doméstico. El volumen de agua que aporta este nacimiento está disminuyendo en los últimos años, que aunado al uso inadecuado por parte de los habitantes resulta en desabasto de agua para uso humano en las épocas de sequía

⁴ Región hidrológica núm. 18

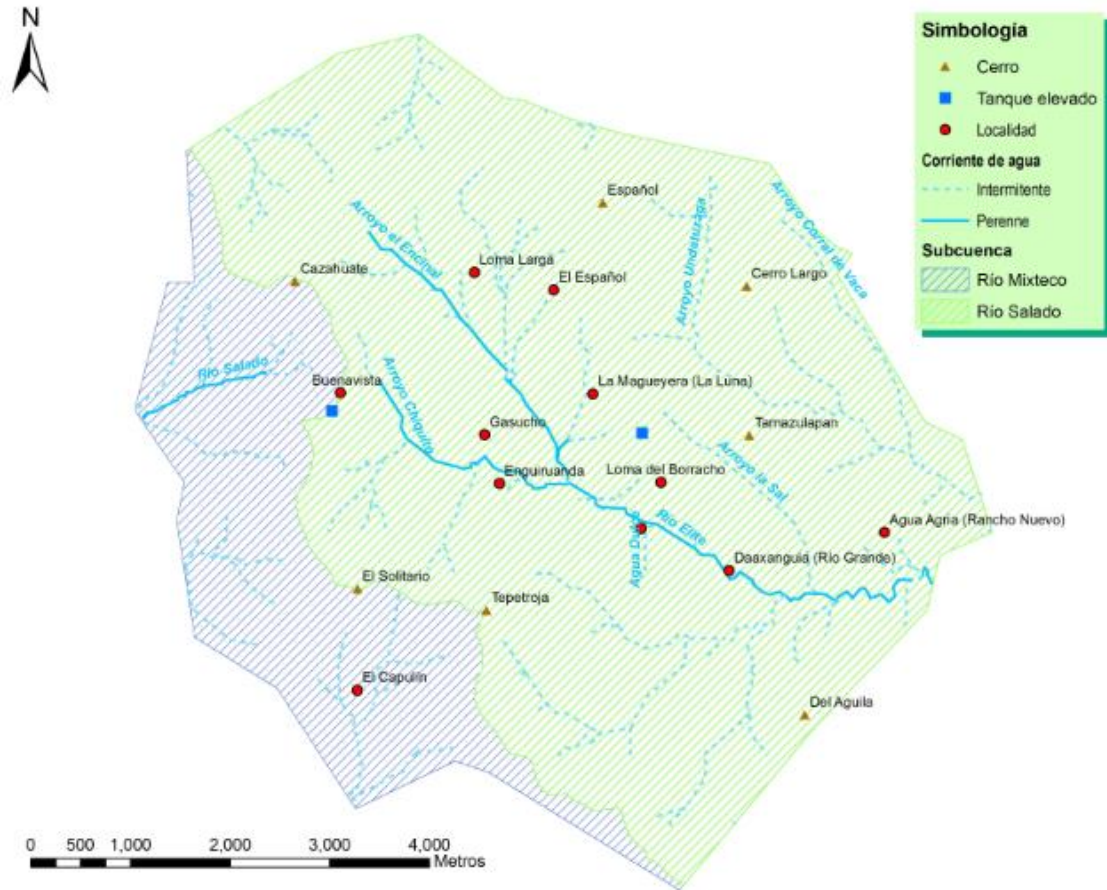


Figura 16. Corrientes de agua dentro del municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

5.3.5. Flora y fauna

La vegetación es variada, predominan las zonas deterioradas provistas con lechuguilla, cazahuates, diversas clases de magueyes, espinos, espadilla, cucharilla, enebros, gallito y cedrón. También existen algunas áreas importantes de bosque de encino blanco, chaparro, cucharilla, madroño, capulín y pastos nativos. En las orillas de los ríos predominan los elites, sauces, sabinos y colorines.

En las áreas cercanas a la cabecera municipal la vegetación está más influenciada por el hombre, con tendencias a especies que suponen a una utilidad, la mayor parte de esta vegetación se compone de especie de pino, mora, capulín, huaje, zapote, durazno, granada, guayaba, limón, pera, manzana y nopal.

En cuanto a las especies animales, se encuentran: coyotes, tejones, zorras, zorrillos, tlacuaches, serpientes, conejos, liebres, reptiles y diversas especies de roedores, águilas, gavilanes, cacalotes, quebrantahuesos, golondrinas, gorriones y tortolitas. En los últimos quince años se ha observado un incremento excesivo en la población de comadrejas, que representan uno de los mayores problemas de fauna nociva a los cultivos.

5.4. Características socioeconómicas

La principal fuente de ingreso en el sector primario se basa en la agricultura y ganadería de traspato, su producción es solo para el autoconsumo. El sector secundario está basado en el aprovechamiento y transformación de la cantera mediante trabajos artesanales (Figura 17). La mayoría de la población vive en pobreza y tiene como ocupación principal la agricultura de policultivo para autoconsumo utilizando sistema de riego en un porcentaje reducido (Rivas, s/f).

El sector de los servicios, es el menos desarrollado en el municipio, debido a la baja actividad económica en lo general, y al no tener fuentes de ingreso de forma constante para invertir en el ofrecimiento de otros servicios a la comunidad, solo siete personas están dedicadas al comercio, tres a la prestación de servicios (carpintería, balconería y electricidad) y una persona dedicada al transporte de pasajeros.

La población se encuentra compuesta mayormente por personas mayores, lo que implica que muchas actividades en el campo sean difíciles de realizar.

Se acuerdo a SEDESOL (2014) el municipio se cataloga con un grado de marginación medio, al igual que su grado de rezago.



Figura 17. Palacio municipal construido con cantera de la región, San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

5.5. Usos y manejo de suelos y agua

INEGI (2005) reporta que el municipio cuenta con los siguientes usos de suelo y vegetación: agricultura (10.38%), zona urbana (2.23%), pastizal inducido (45.95%), bosque (40.01%) y chaparral (1.43%).

Con base en las imágenes de satélite LandSat del año 2014 se presentan los diferentes usos de suelo en el municipio (Figura 18): montaña (15.95%), Caliche (4.94%), Matorral (6.22%), Pastizal (22.75%), afloramiento de roca madre (13.19%), Cárcavas (17.62%), Agricultura (19.20%) y cuerpos de agua (0.14%).

Debido a las necesidades de agua en el municipio se ha impulsado la construcción de importantes obras para la retención de agua, como son los bordos: La Golondrina, La Ciénega y La Canastilla; cuya finalidad principal es incrementar la disponibilidad de agua para riego y auxiliar la conservación de agua en los ríos (Plan Municipal, 2008). También se han construido presas filtrantes, presas de tierra para el control de azolves y ollas de agua (Pérez Nieto, S/F).

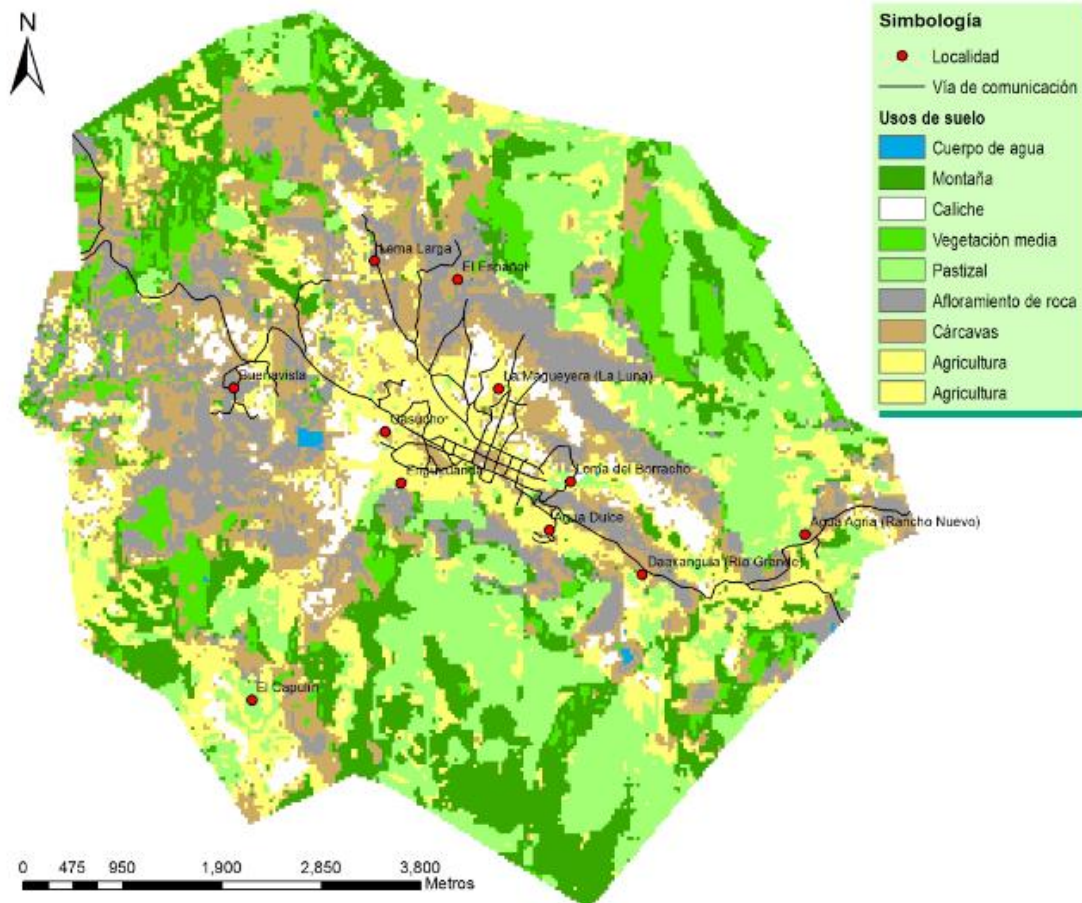


Figura 18. Mapa de coberturas del suelo en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

El primer bordo de conservación de agua que se construyó fue el de la “La Golondrina” en 1994-1995, con una capacidad de 150,000 m³, situado al oeste del pueblo. Posteriormente se inició y concluyó la construcción de otro bordo en 1998, “La Ciénega”, para el almacenamiento de agua de lluvia, al extremo opuesto del pueblo con una capacidad de 500,000 m³, para regar 70 Ha (Rivas, 2008), bordo que se encuentra incompleto.

También se han realizado obras para disminuir la erosión del suelo: 50 ha de zanjas bordo y 100 ha reforestadas con *Pinus Oxacana*, *Pinus greggii* y encinos variedad capulincillo (Bienes comunales, 2013).

5.6. Relieve y degradación

Con base en el trabajo del COLPOS (2010): Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, donde de acuerdo a las condiciones prevalecientes se caracteriza una zona, el municipio resulto con cinco divisiones, de las cuales sobresalen tres por su extensión (Figura 19):

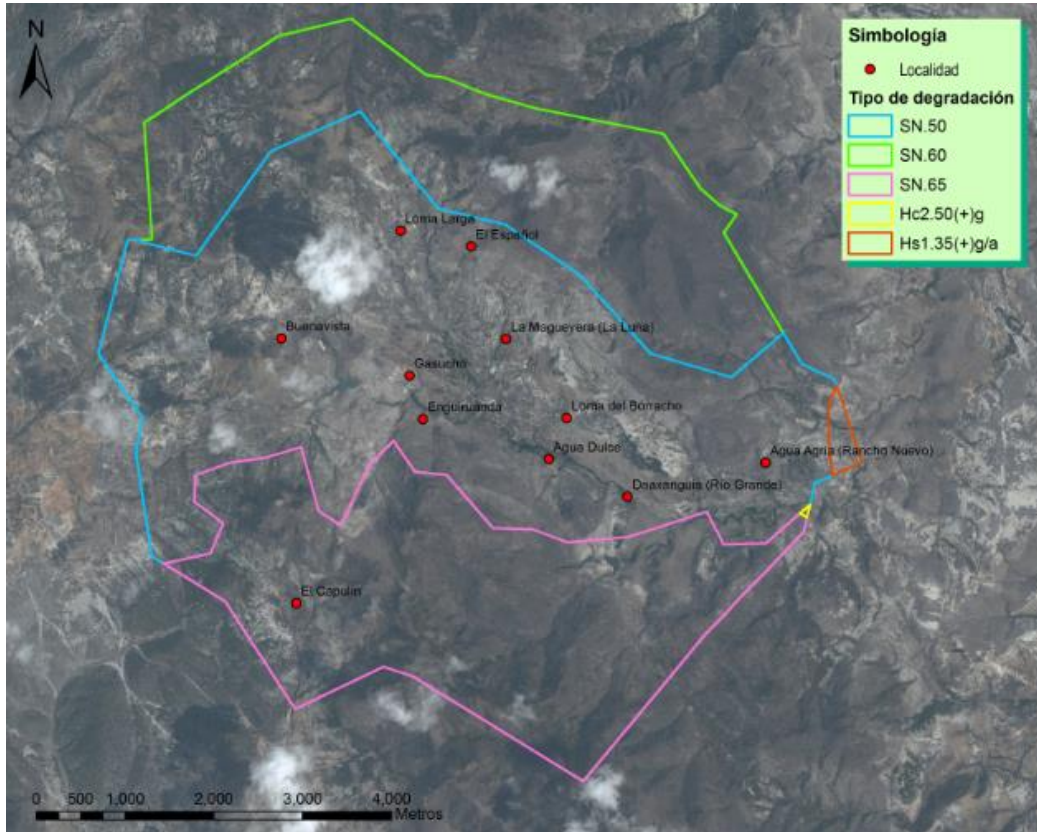


Figura 19. Sistemas terrestres del municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

A continuación la descripción de las tres principales zonas:

SN. 60: Zona con un 60% de suelo estable, bajo condiciones naturales, la influencia humana sobre la estabilidad del suelo es mínima; 25% con pérdida de suelo superficial por erosión hídrica, el incremento de la degradación se debe principalmente a la sobreexplotación de la vegetación; 15% con declinación de la fertilidad del suelo debido principalmente a reducción de materia orgánica. La zona se encuentra a un nivel de degradación ligero.

SN. 50: Zona con un 50% de suelo estable, bajo condiciones naturales, la influencia humana sobre la estabilidad del suelo es mínima; 20% con deformación del terreno y 15% con pérdida del suelo por erosión hídrica, el incremento de la degradación se debe principalmente a la sobreexplotación de la vegetación; 15% con declinación de la fertilidad del suelo debido principalmente a reducción de materia orgánica. La zona se encuentra de un nivel de degradación ligero a moderado.

SN. 65: Zona con un 65% de suelo estable, bajo condiciones naturales, la influencia humana sobre la estabilidad del suelo es mínima; 15% con deformación del terreno por erosión hídrica, el incremento de la degradación se debe principalmente a la sobreexplotación de la vegetación; 20% con afloramientos rocosos donde la pérdida de productividad es irrecuperable y su restauración materialmente imposible. La zona se encuentra de un nivel de degradación ligero a extremo.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema integral para la potabilización y purificación del agua de lluvia se integra por el área de captación, las líneas de conducción, el sedimentador o trampa de sólidos, el almacenamiento, la bomba solar y las plantas para el proceso de potabilización y purificación.

Con el SCALL se pretende beneficiar de forma directa a la totalidad de los habitantes en el municipio y un promedio de 100 visitantes por mes.

6.1. Materiales

A continuación se presentan los materiales que se emplean, por componentes, en un SCALL.

Área de captación (impermeabilización): Capa de geotextil para colocar sobre el terreno natural y geomembrana de PVC de 1.2 mm de espesor con anclaje en el cercado perimetral a base de malla ciclón, de 2 m de altura, calibre 11, con tubería de 2" anclada a cada 3 m sobre muro de mampostería. Hiladas de alambre de púas ancladas sobre espadas y refuerzo horizontal a base de tubo galvanizado de 1" ¼.

Líneas de conducción: Tubería de polietileno para conexión del área de captación, sedimentador e interconexión de cisternas. Tubería de PVC hidráulico cédula 40, para ligar planta potabilizadora con red de agua potable existente, para uso doméstico. Tubería de PVC hidráulico Rd-26, para bombear agua de lluvia con energía solar, de las cisternas a las plantas potabilizadora y purificadora.

Sedimentador: Retroexcavadora para las excavaciones en roca y retiro del material producto de excavación. Concreto $F^*c=250 \text{ kg cm}^{-2}$ de 15 cm de espesor, con doble armado de acero núm. 3 para la construcción de muros y piso, incluye: tapas de concreto, rejillas a base de ángulo y malla de acero galvanizado, con tubería de salida a base de tubo de PVC hidráulico.

Almacenamiento: Retroexcavadora para las excavaciones en roca, retiro de material producto de excavación y afine de taludes y piso. Concreto $F^*c=250 \text{ kg cm}^{-2}$, de 15 cm de espesor, con doble armado de acero núm. 3, para la construcción de muros de contención en la parte baja de las cisternas. Capa de geotextil y geomembrana de PVC de 1.2 mm de espesor para colocar en piso y muro de las cisternas. Geomembrana reforzada con hilo de poliéster para techos flotantes de las cisternas y Flotadores.

Bombeo de agua almacenada: Bomba solar para bombear el agua de lluvia en las cisternas a las plantas potabilizadora y purificadora.

Plantas potabilizadora y purificadora: Construcción de un local, para albergar las plantas potabilizadora y purificadora, a base de zapatas corridas de concreto armado, muros de tabique de la región y aplanados con mortero cemento-arena. Instalaciones hidráulica, sanitaria y eléctrica, recubrimientos a base de azulejo en muros y loseta antiderrapante en pisos, cancelería de aluminio con perfiles de 2" y 3" y vidrio de 6 mm. Planta potabilizadora con capacidad de $10 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, y Planta purificadora con capacidad de 400 garrafones de 19 L día^{-1} .

6.2. Metodología

Para el diseño del SCALL se seguirá una metodología de 10 pasos (Figura 20):

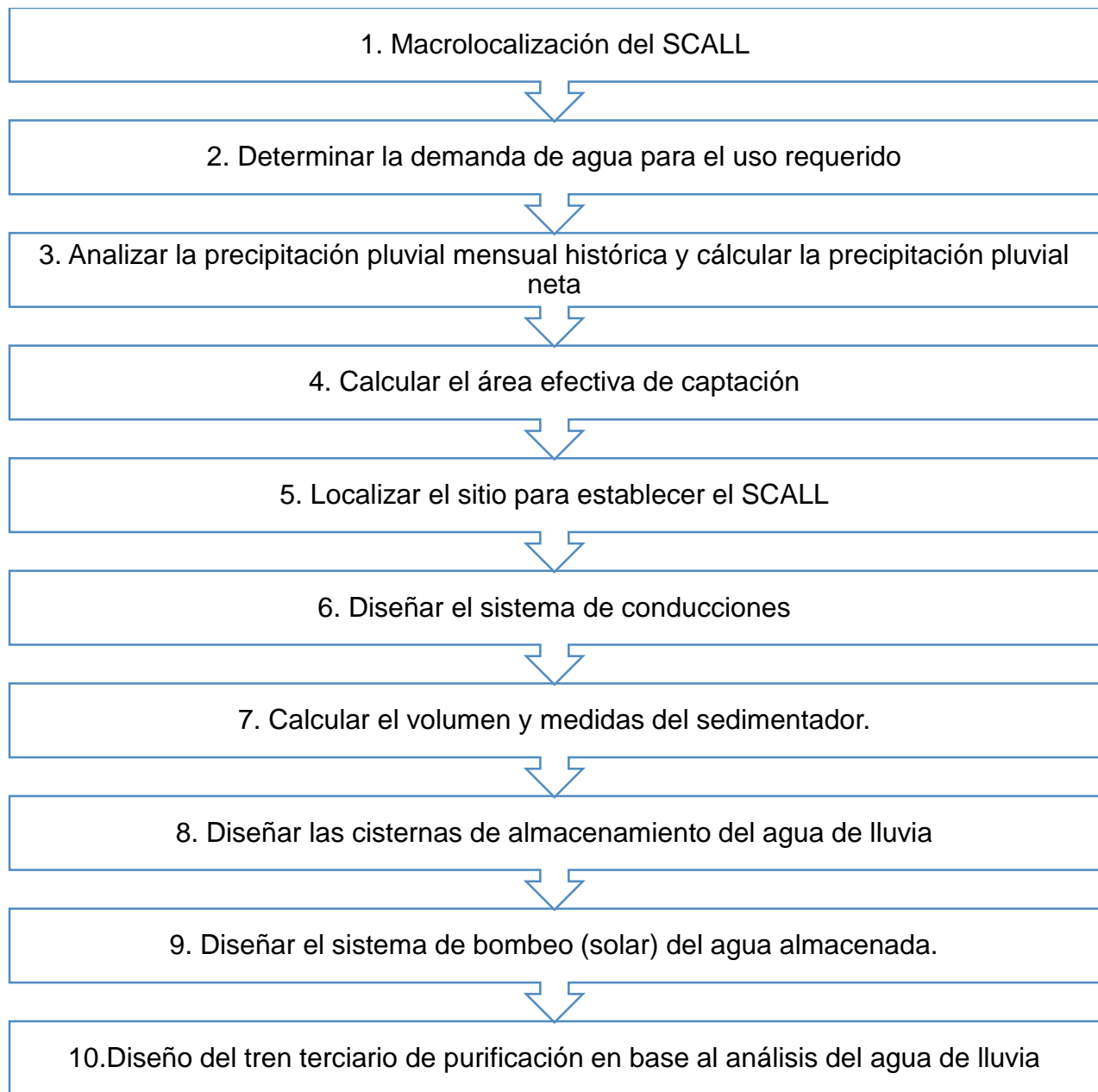


Figura 20. Metodología del CIDECLI para el desarrollo de un SCALL.

6.2.1. Macro localización del SCALL

La macro localización considera el país, estado, región y la entidad o comunidad donde se habilitará el SCALL. El desarrollo de este aspecto, está relacionado con la presentación de un proyecto de inversión, que por lo general es utilizado para la

fundamentación de la solicitud de recursos económicos a una fuente de financiamiento (Anaya, 2015).

6.2.2. Demanda de agua

La demanda es la cantidad de agua que necesita una persona, un animal o un cultivo diariamente para su desarrollo o buen funcionamiento. Esta demanda se puede clasificar de acuerdo a su requerimiento mínimo, de acuerdo a la OMS (Cuadro 5):

- agua mínima, para asegurar la hidratación y preparación de los alimentos,
- agua para garantizar la salud,
- agua para cubrir las necesidades restantes en el hogar.

Cuadro 5. Nivel de servicio de agua para promover la salud.

Nivel de servicio	Medida de acceso	Necesidades satisfechas	Nivel de preocupación para la salud
No hay acceso (cantidad recogida a menudo por debajo de 5 L persona ⁻¹ día ⁻¹)	Más de 1000 m o 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo - no puede asegurarse Higiene - no es posible (a menos que se practica en la fuente)	Muy alta
El acceso básico (cantidad promedio probablemente no excedan de 20 L persona ⁻¹ día ⁻¹)	Entre 100 y 1000 m o de 5 a 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo - se garantiza Higiene - el lavado de manos y la higiene de los alimentos básicos es posible; lavadero / baño	alta
Acceso Intermedio (cantidad media de aproximadamente 50 L persona ⁻¹ día ⁻¹)	El agua suministrada a través de un grifo en la parcela (o dentro de 100 m o 5 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – seguro Higiene - toda la higiene personal y alimentación básica asegurada; lavadero y baño.	baja
Acceso óptimo (cantidad media de 100-200 L persona ⁻¹ día ⁻¹)	El agua suministrada a través de varias líneas de retardo de forma continua	Consumo - todas las necesidades cubiertas Higiene - todas las necesidades se pueden cumplir	muy baja

Fuente: Howard G., 2003.

La OMS recomienda que la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) sea de 50 L persona⁻¹ día⁻¹, actualmente en el municipio se cuenta con una dotación de 30 L de agua/habitante/día para este uso. Se requieren adicionar 20 L persona⁻¹ día⁻¹ para complementar la cantidad recomendada por la OMS.

Las expresiones 1 y 2 servirán para determinar la demanda de agua mensual y anual, que requiere la población especificada:

$$D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j \quad (1)$$

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd_j}{1000} \quad (2)$$

Donde:

D_j= demanda de agua en el mes *j* (m³ mes⁻¹ población⁻¹)

Nu= número de beneficiarios del sistema

Dot= dotación (L persona⁻¹ día⁻¹)

Nd_j= número de días del mes

D_{anual}= demanda anual de agua para la población (m³ año⁻¹)

J= número del mes

1/1000=factor de conversión de L a m³

6.2.3. Cálculo de la disponibilidad de agua (precipitación pluvial neta)

La disponibilidad de agua (Oferta) se obtiene a partir de la precipitación pluvial neta (PN). Se han desarrollado varios métodos para estimar la PN, en esta propuesta se consideraran dos metodologías, en base a la experiencia y similitud de los proyectos.

Anaya (2011) define a la PN como la cantidad de agua de lluvia que queda a disposición del sistema (SCALL), una vez descontadas las pérdidas por factores como salpicado, velocidad del viento, evaporación, fricción y tamaño de la gota; considerados en un coeficiente de captación (Cc) que se ha planteado del 85% (0.85), de acuerdo con la experiencia desarrollada en el CIDECALLI-CP, y considerando la superficie de escurrimiento; el material utilizado en la superficie sobre la cual se lleva a cabo la captación de agua de lluvia juega un papel importante en la eficiencia de captación, específicamente en relación con la facilidad con la que el agua fluye sobre dicha superficie, considerando un mayor o menor volumen de pérdidas. Para cada tipo de superficie existen valores de su coeficiente de escurrimiento (Ce) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Coeficientes de escurrimiento para los diferentes materiales utilizados en áreas de captación.

Tipo de captación	Ce
Cubierta superficial	
Concreto	0.6-0.8
Pavimento	0.5-0.6
Geomembrana PVC	0.85-0.9
Azoteas	
Azulejo, teja	0.8-0.9
Hojas de material acanalado	0.7-0.9

Cabe mencionar que la estimación de esta PN se basa en los datos de la precipitación pluvial mensual histórica en el área de interés.

Ecuación para calcular la precipitación neta:

$$PN = P_j * n \quad (3)$$

Donde:

PN= Precipitación neta (mm)

P_j= Precipitación total del mes j

n= eficiencia de captación del agua de lluvia, se obtienen multiplicando el coeficiente de escurrimiento (Ce) por el coeficiente de captación (Cc).

$$n = Ce * Cc \quad (4)$$

Específicamente en el sitio se empleará un coeficiente de captación del 90%, que significa que de cada 10 L de agua que se recoja, por las diversas pérdidas, solo llegará al depósito 9 de ellos y un coeficiente de escurrimiento de 0.9 ya que el área de captación será cubierta con geomembrana de PVC.

6.2.4. Diseño del área efectiva de captación

Las estructuras existentes en el municipio no cuentan con superficies suficientemente amplias para poder captar el volumen de agua necesario para satisfacer las demandas requeridas, sin embargo presenta varias superficies de laderas altamente erosionadas.

Expresión para determinar el área efectiva de captación:

$$Aec = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^n PN} \quad (5)$$

Donde:

Aec= Área efectiva de captación (m²)

D_{anual}= Demanda anual (m³)

PN= Precipitación Neta (m)

J y n= meses cuya precipitación media es ≥ 30 mm

6.2.5. Microlocalización del SCALL

La microlocalización se refiere a la identificación y sus referencias, mediante un plano o croquis que permita identificar con facilidad el sitio específico en el que se desarrollará la idea de establecimiento del SCALL (Anaya, 2015).

La localización del sistema se realizará considerando la información general, de medio ambiente y de impactos ambientales.

Información general

Planos de localización, población, vías de comunicación, superficie de terreno construida y la que se pretende construir, volumen de movimiento de tierra, uso actual y potencial del suelo, situación legal del área, uso de suelo y actividades que se desarrollan en las colindancias del predio.

Medio ambiente

Condiciones generales del relieve, Características litológicas, Hidrología superficial y subterránea en la zona de explotación, Número de individuos y especies de vegetación arbórea.

Impactos ambientales identificados

Etapas de acondicionamiento del terreno y construcción, Impactos ambientales, Medidas de mitigación

- Consideraciones en el lugar del proyecto
- Medidas de estabilización de taludes
- Rehabilitación de la capa del suelo
- Medidas para la restitución de las capas vegetativas

6.2.6. Conducción del agua captada

El agua pluvial captada se conduce al sistema de almacenamiento mediante canaletas o tubería de PVC. Cuando la pendiente es mayor al 10% y se trata de laderas, es necesario contar con un dispositivo hidráulico o un sedimentador para reducir la velocidad del agua, al mismo tiempo sedimentar los sólidos arrastrados por el escurrimiento.

A continuación se muestran las ecuaciones que ayudarán a determinar el diámetro óptimo para conducir el escurrimiento de agua del área de captación al sedimentador.

Caudal de diseño (Q_c):

El caudal de diseño de una línea de conducción está dado por el caudal máximo diario, el cual puede obtenerse con la siguiente ecuación:

$$Q_c = \frac{5}{18} A_{ec} * I \quad (6)$$

Donde

A_{ec} = Área efectiva de captación (m^2).

I =Intensidad máxima de lluvia en la zona (mh^{-1}).

$5/18$ = factor de conversión de m^3h^{-1} a $L s^{-1}$.

Diámetro de tubería

El tamaño de la sección de la tubería a ser utilizada en el sistema se determina con la ecuación de continuidad, con el gasto de entrada (Q_c) y una velocidad (v) propuesta para un flujo laminar, sin considerar las pérdidas de carga por fricción, el tipo de material y longitud de conducción:

$$Q = A * v \quad (7)$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \quad (8)$$

Donde:

D =diámetro de la tubería (m)

Q = gasto ($m^3 s^{-1}$).

A = área de la sección transversal de la tubería (m^2).

v= velocidad (m s⁻¹).

Velocidad de caudal (v)

El cálculo de la velocidad del caudal se realiza aplicando la Ecuación de Manning.

$$v = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * S^{1/2} \quad (9)$$

Donde

n=coeficiente de rugosidad

Rh= Radio hidráulico, véase tabla de cómo obtener radios para las diferentes figuras (Cuadro 7)

S= pendiente

Cuadro 7. Coeficientes de rugosidad para diferentes materiales.

Material	Coeficiente n
Concreto	0.012
Concreto con revestimiento de PVC/PEAD	0.009
Acero soldado con recubrimiento interior (pinturas)	0.011
Acero sin revestimiento	0.014
Fibrocemento	0.010
Polietileno pared sólida	0.009
Polietileno corrugado/estructurado	0.012
PVC pared solida	0.009
PVC pared corrugado/estructurado	0.009
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.009

Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CONAGUA, 2009.

Radio Hidráulico (Rh)

En tuberías o conductos cuya sección recta no es circular el radio hidráulico será la relación del área de la sección transversal del conducto entre el perímetro mojado de dicha sección (Cuadro 8). En el caso de secciones parcialmente ocupadas por el líquido, es la proporción de área ocupada por el líquido entre su perímetro mojado (Luszczewski, 1999).

Cuadro 8. Expresiones matemáticas para determinar dimensiones de secciones en diseños de sistemas.

Forma	Altura de tirante	Área hidráulica	Perímetro mojado	Radio hidráulico	observaciones
Circular	0.5 D	1.57 r ²	3.14 r	0.5 r	D=diámetro r=radio
Rectangular	y	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b=base y=tirante
Triangulo 90°	y	y ²	2.83 y	y/2.83	Y=tirante
Trapezoidal talud 60° con la horizontal				$y \frac{\left(b + \frac{y}{\sqrt{3}}\right)}{b + \frac{4y}{\sqrt{3}}}$	b=ancho y=tirante

Fuente: Manual del Participante, Sistemas de Captación del agua de lluvia. CIDECALLI-CP, 2014.

Si $Q \geq "Q_c"$ el tamaño de la tubería se acepta. Si $Q < "Q_c"$ el tamaño de la tubería no es suficiente, entonces tendrá que repetirse el cálculo con otro tamaño de sección.

6.2.7. Diseño del sedimentador

Se consideró determinar el volumen de los sedimentadores en base a 2 métodos: el del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS) y el del CIDECALLI-CP, a fin de comparar resultados y seleccionar el más adecuado:

CIDECALLI-CP (2014)

$$V_{sed} = \frac{A_{ec} * I}{3} \quad (10)$$

Donde

V_{sed} = volumen del sedimentador (m³)

A_{ec} = área efectiva de captación de lluvia (m²)

I = Lluvia máxima registrada en 24 horas (m)

CEPIS (2005)

Las dimensiones del sedimentador se realizan en base al tamaño de las partículas que se desean retener (Cuadro 9), para prolongar la vida útil de las cisternas, sistemas de conducción, bombeo y filtros.

Cuadro 9. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación (Vs)

Material	Límite de las partículas (cm)	# de Reynolds	Vs (cm s ⁻¹)	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10000	100	Turbulento	Newton $V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$
	0.100	1000	10		Allen
Arena gruesa	0.080	600	8.3	Transición	$V_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{\frac{2}{3}} \left[\frac{d}{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{3}}} \right]$
	0.060	180	6.4		
	0.050	27	5.3		
	0.040	17	4.2		
	0.030	10	3.2		
	0.020	4	2.1		
	0.015	2	1.5		
Arena fina	0.010	0.8	0.8	Laminar	Stokes $V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$
	0.008	0.5	0.6		
	0.006	0.24	0.4		
	0.005	1	0.3		
	0.004	1	0.2		
	0.003	1	0.13		
	0.002	1	0.06		
	0.001	1	0.015		

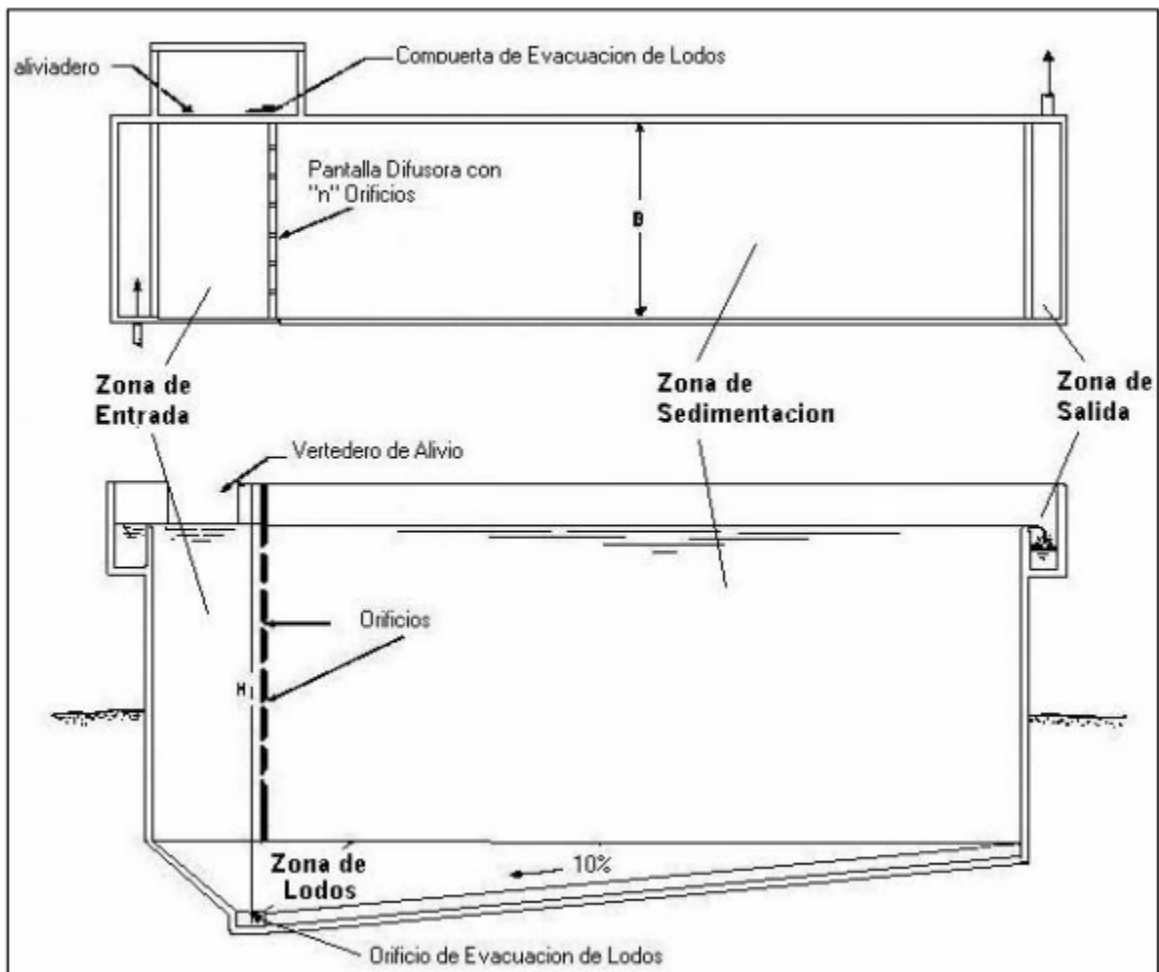
Fuente: CEPIS, 2005

Esta unidad se puede dividir en cuatro partes o zonas (Fuente: CEPIS, 2005

Figura 21).

- Zona de entrada: Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

- b) Zona de sedimentación: Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.
- c) Zona de salida: Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.
- d) Zona de recolección de lodos: Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.



Fuente: CEPIS, 2005

Figura 21. Sedimentador (Planta y corte longitudinal)

Factores a considerar en el diseño del sedimentador⁵

Lluvia máxima en 60 minutos, en un periodo de diseño de 8 a 16 años.

$$\text{Área superficial } A_s = \frac{Q}{v_s}$$

Ancho de sedimentador (B), se propone.

Distancia de la separación entre la entrada y la pantalla difusora (L1). La distancia debe estar entre 0.7 y 1m.

$$\text{Longitud de la zona de sedimentación } L_2 = \frac{A_s}{B}$$

$$\text{Longitud total del sedimentador } L = L_1 + L_2$$

La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) debe estar entre 3 y 6m.

Profundidad del sedimentador. La profundidad del sedimentador debe estar entre 1,5 y 2,5 m.

La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) debe estar entre 5 y 20m.

$$\text{Velocidad horizontal } V_H = \frac{100 \cdot Q}{B \cdot H}$$

Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura. $\frac{L}{H} = \frac{V_h}{v_s}$

$$\text{Período de retención } t_o = \frac{A_s \cdot H}{3600 \cdot Q}$$

Fondo de la unidad con pendiente entre 5 a 10%, para facilitar el deslizamiento del sedimento. (S)

$$\text{Altura del agua sobre el vertedor, en el fondo de la unidad } H^1 = H + (S \cdot H)$$

$$\text{Altura del agua sobre el vertedor, en el vertedero de salida } H^2 = \frac{Q^{\frac{2}{3}}}{1.84 \cdot B}$$

Diseño de la pantalla difusora

Velocidad de paso entre los orificios, debe ser menor a 0,15 m/s. (Vo)

$$\text{Área total de los orificios } A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Diámetro de orificios (Do), se propone.

$$\text{Área de cada orificio } a_o = \pi \frac{D_o^2}{4}$$

⁵ Anaya, 2011. Capítulo 4. Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia.

Numero de orificios $n = \frac{A_o}{a_o}$

Altura de la posición de la pantalla difusora $h = H - \left(\frac{2}{5} * H\right)$

Numero de filas de orificios (nf), se propone.

Numero de columnas de orificios $n_c = \frac{n}{n_f}$

Espaciamiento entre filas $a_1 = \frac{h}{n_f}$

Espaciamiento entre columnas $a_2 = \frac{B * a_1 * (n_c - 1)}{2}$

Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 ó 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo.

6.2.8. Diseño del almacenamiento

El volumen necesario para almacenar el agua de lluvia captada se determina mediante un balance hídrico de oferta y demanda del agua.

El volumen mínimo del almacenamiento (cisterna) es igual a la diferencia máxima entre la curva acumulada de demanda y oferta de agua (Cuadro 10).

La USDA (Agriculture Handbook 590) propone la siguiente fórmula para determinar volúmenes de almacenamientos:

$$V = \frac{A + 4B + C}{6} * D \quad (11)$$

Donde:

V = Volumen de excavación (m³)

A = Área del plano "a" (m²)

B = Área del plano "b" (m²)

C = Área del plano "c" (m²)

D = Profundidad máxima (m)

Cuadro 10. Balance hídrico para determinar el volumen mínimo de la cisterna.

Mes	Oferta (m ³)	Demanda (m ³)	Balance (m ³)	Residual
J ₁	O _{j1}	D _{j1}	O _{j1} -D _{j1}	R _{j1}
J ₂	O _{j2}	D _{j2}	O _{j2} -D _{j2} +R _{j1}	R _{j2}
...
J _{n-1}	O _{jn-1}	D _{jn-1}	O _{jn-1} - D _{jn-1} +R _{j2}	R _{jn-1}
J _n	O _{jn}	D _{jn}	O _{jn} - D _{jn} +R _{jn-1}	R _{jn}

Diferencia máxima

La ventaja de esta fórmula se debe a que a partir de ella se pueden aproximar volúmenes para proyectar formas irregulares (Figura 22).

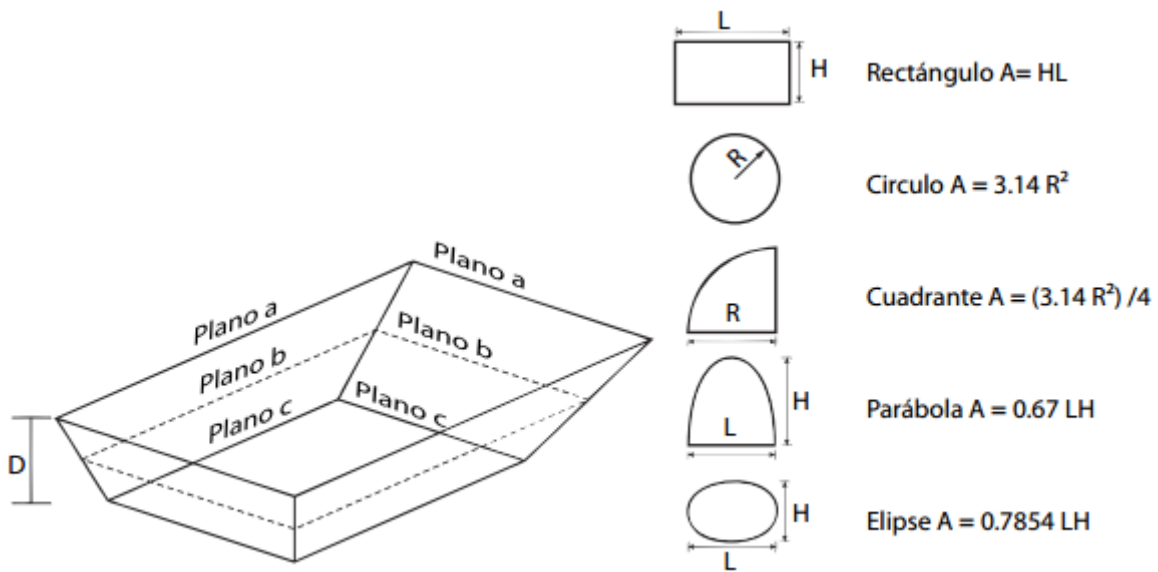


Figura 22. Esquema de las secciones de un sistema de almacenamiento y las ecuaciones para las formas más comunes.

Es importante en el diseño de un almacenamiento determinar que taludes son adecuados para el tipo de suelo o revestimiento, y así evitar su erosión (Cuadro 11).

Cuadro 11. Taludes recomendados para la sección trapecial de un canal para diferentes tipos de suelo.

Material	Talud
Roca completamente sana	Vertical
Roca ligeramente alterada	0.25:1
Mampostería	0.40:1
Tepetate duro, roca alterada	1:1
Concreto	1:1 o 1.25:1
Tierra algo arcillosa, tepetate blando, arenisca blanda, etc.	1.5:1
Material poco estable, arena tierra arenosa, etc.	2:1

Fuente: SAGARPA, s/f.

Muro de contención

El muro de contención es una estructura sólida hecha a base de mampostería y cemento armado que está sujeta a flexión por tener que soportar empujes horizontales de diversos materiales, sólidos, granulados y líquidos. Dependiendo de la altura deseada del muro se determinan sus dimensiones (Cuadro 12).

Cuadro 12. Volumetría de 1 m lineal de muro de mampostería

Altura de muro H (m)	Muro			Volumen del muro (m ³)	Volumen		Cemento ⁴ (kg)	Agua ⁵ (L)
	B (m)	B ₁ (m)	H (m)		Piedra ² (m ³)	Arena ³ (m ³)		
1	0.45	0.3	1	0.38	0.57	0.16	32	30
1.5	0.65	0.35	1.5	0.75	1.13	0.31	62	59.25
Dentellón ^{1/}						0.09	17.5	17
2	0.8	0.6	2	1.4	2.1	0.57	116	111
2.5	1.05	0.6	2.5	2.06	3.09	0.84	171	163
3	1.2	0.6	3	2.7	4.05	1.1	225	213
3.5	1.44	0.6	3.5	3.57	5.36	1.5	297	282
4	1.64	0.6	4	4.48	6.72	1.83	373	354
4.5	1.85	0.6	4.5	5.54	8.31	2.26	461	438
5	2.05	0.6	5	6.65	9.98	2.71	554	525
5.5	2.25	0.6	5.5	7.86	11.79	3.2	654	621
6	2.47	0.6	6	9.18	13.77	3.75	810	725

Fuente: COLPOS-SAGARPA, s/f. Ficha Técnica: Muro de Contención.

^{1/}Las dimensiones del dentellón propuestas (b₂=0.40m, b₁=0.30m, h=0.60m) son válidas para muros de contención de 2 a 6 m de altura; por lo tanto el volumen del dentellón (0.21 m³) debe agregarse al volumen

del muro. Para muros de menos altura no se requiere de dentellón. El dentellón va del nivel del suelo hacia abajo. El volumen de excavación del dentellón es igual al volumen de mampostería del mismo.

^{2/} Los volúmenes de piedra a comprar serán el resultado de multiplicar el volumen del muro y dentellón por 1.5 (coeficiente de abundamiento).

^{3/} Para construir 1 m³ de mampostería se requiere de 0.408 m³ de arena. (Grupo Asbestos de México, 1981).

^{4/} Para pegar 1 m³ de mampostería se requieren de 83.3 kg de cemento (Plazola, 1981).

^{5/} Para pegar 1 m³ de mampostería con mortero (cemento-arena-agua), se requiere de 79.00 L de agua (Grupo Asbestos de México, 1981).

En caso de que el muro se vaya a colocar sobre un manto rocoso (sustrato tipo III) que tenga una pendiente superior a 5° (8.75%) es conveniente hacer obras de anclaje con varilla corrugada de diámetro mínimo de una pulgada, separadas a 1/3 y 2/3 del ancho de la base del muro; éstas se colocarán a una distancia de 2 m longitudinalmente (Figura 23). Las varillas serán de 1 m de longitud; estarán ancladas hasta una profundidad de 30 cm en el terreno natural; 20 cm estarán amarradas a la varilla de la base, los 50 cm restantes estarán dentro del cuerpo del muro. Estas varillas evitarán el deslizamiento y volcamiento del muro. Para darle horizontalidad al desplante del muro y fijar las anclas, se construirá una base de concreto armado de 10 cm de espesor con varilla corrugada de ½ pulgada colocada con una separación de 20 cm en los dos sentidos del emparrillado (Cuadro 13).

Cuadro 13. Cimentación en sustrato tipo III para pendientes de 5 a 20% para una longitud de 1 m lineal de muro.

Altura de muro H (m)	Cimentación			Concreto (m ³)	Varilla de 1" (kg)	Acero de ½" (kg)	Cemento (kg)	Arena (m ³)	Grava (m ³)	Agua (L)	Alambre (g)
	B (m)	L (m)	E (m)								
2	0.8	1	0.1	0.08	7.95	11.06	29	0.04	0.06	19	80
2.5	1.05	1	0.1	0.11	7.95	14.54	39.8	0.05	0.08	26	105
3	1.2	1	0.1	0.12	7.95	15.43	43.4	0.06	0.09	28	120
3.5	1.44	1	0.1	0.14	7.95	18.1	50.7	0.07	0.1	33	144
4	1.64	1	0.1	0.16	7.95	20.26	58	0.08	0.11	38	164
4.5	1.85	1	0.1	0.19	7.95	22.61	65.2	0.09	0.13	43	185
5	2.05	1	0.1	0.21	7.95	24.9	72.4	0.1	0.14	47	205
5.5	2.25	1	0.1	0.23	7.95	22.28	83.3	0.11	0.16	54	225
6	2.47	1	0.1	0.25	7.95	32.1	90.5	0.12	0.18	59	250

Fuente: COLPOS-SAGARPA, s/f. Ficha Técnica: Muro de Contención.

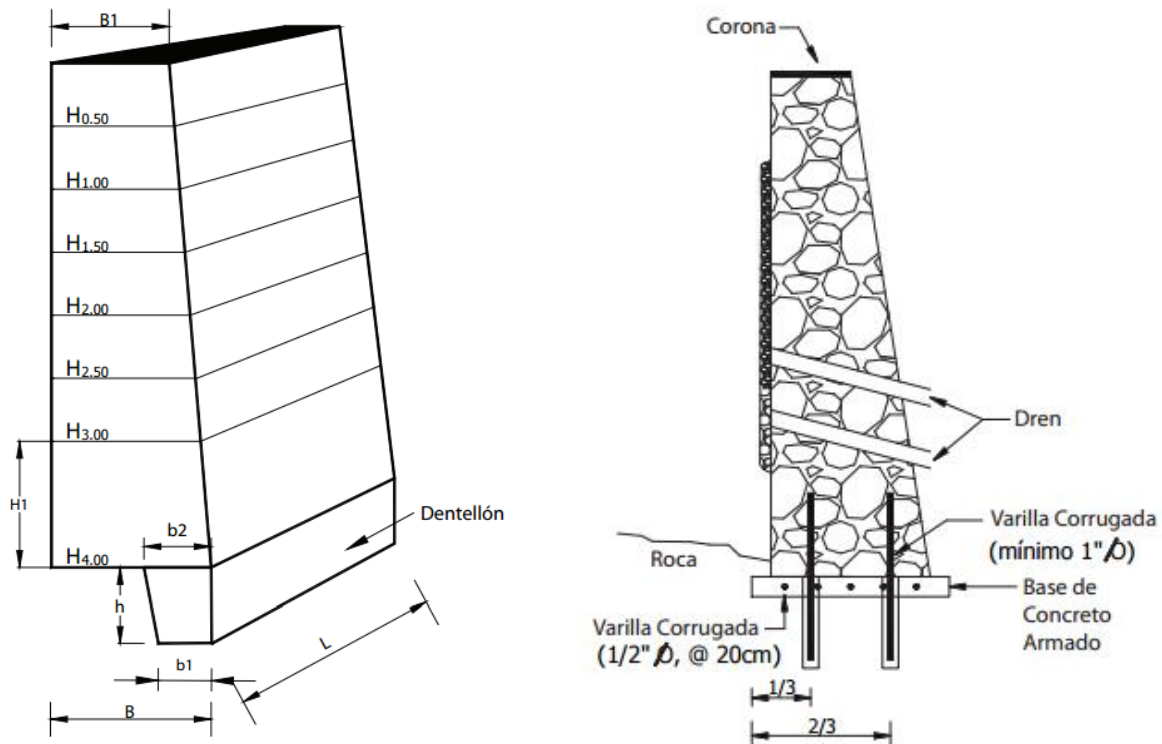


Figura 23. Modelo de muro de contención de 1m de longitud y muro de mampostería con anclaje en suelos de material tipo III y pendientes mayores de 5%.

Muro de mampostería

Para la protección perimetral del área de almacenamiento en las obras de captación de agua se establece un muro de mampostería, como a continuación se describe:

La cerca de malla ciclónica se construye de alambre galvanizado calibre 10, entrelazado en zig-zag (tipo ciclón), formando rombos de 55 o 63 mm. La cerca tendrá de 1.75 a 2.0 m de altura, soportada por postes galvanizados (2 y 3 m) de 60 mm de diámetro apoyados sobre bases de concreto simple hecho en obra ($f'c = 150 \text{ kg cm}^{-2}$) de 0.40 x 0.30 x 0.60 m de profundidad. La malla podrá estar desplantada sobre un muro de mampostería de 0.6 m de alto y se recomienda que los extremos de los alambres estén doblados para formar un nudo y evitar que la malla se desteja.

En la parte superior del cercado, como protección adicional, se colocarán tres líneas de alambre de púas galvanizado calibre 12 (de dos hilos) separados cada 10 cm y sujetos

a un espadín de lámina galvanizada. El espadín llevará una inclinación de 30° con respecto de la vertical y orientado hacia la colindancia exterior (COLPOS-SAGARPA, s/f).

6.2.9. Bombeo del agua almacenada

El bombeo es la adición de energía a un fluido para moverlo de un punto a otro y no como frecuentemente se indica el agregarle presión.

El bombeo del agua almacenada consiste en extraerla y conducirla a las plantas potabilizadora y purificadora mediante un equipo de bombeo. El equipo de bombeo se instala cuando la carga total a vencer es negativa y se requiere una fuerza mecánica para vencer el obstáculo.

Los componentes de un equipo de bombeo son: pichancha, línea de conducción, motobomba y un tanque de almacenamiento previo al tren de tratamiento de potabilización y purificación.

Carga de bombeo

El cálculo de la carga total de bombeo consiste en determinar la energía para impulsar el líquido desde el nivel de succión hasta el nivel de descarga, venciendo la resistencia que ofrecen la tubería y los accesorios, al paso del fluido (CONAGUA, 2007).

Carga dinámica total (CDT)

La CDT se define como la suma total de resistencias del sistema, correspondiente a la carga estática total, a la pérdida de carga por fricción en la tubería de succión y descarga y a la carga de velocidad.

$$CDT = h_e + h_f + h_v \quad (12)$$

Para determinar CDT del sistema, se hace uso de la ecuación de Bernoulli, y que aplicada a un sistema de bombeo (Figura 24) resulta la siguiente expresión:

$$h_s + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w} + CDT - h_f = h_D + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w} \quad (13)$$

Donde:

P_1 y P_2 = Presión sobre la superficie del líquido en los puntos 1 y 2.

V_1 y V_2 = Velocidad que experimenta el fluido en los puntos 1 y 2.

h_s y h_D = Carga de succión y descarga respectivamente

h_f = Perdas totales de carga que el líquido experimenta en la tubería de succión y descarga.

CDT = Carga dinámica total que la bomba tiene que desarrollar para conducir el fluido del depósito 1 al depósito 2 a la capacidad determinada.

w = densidad del fluido a la temperatura de bombeo

g = aceleración debido a la gravedad.

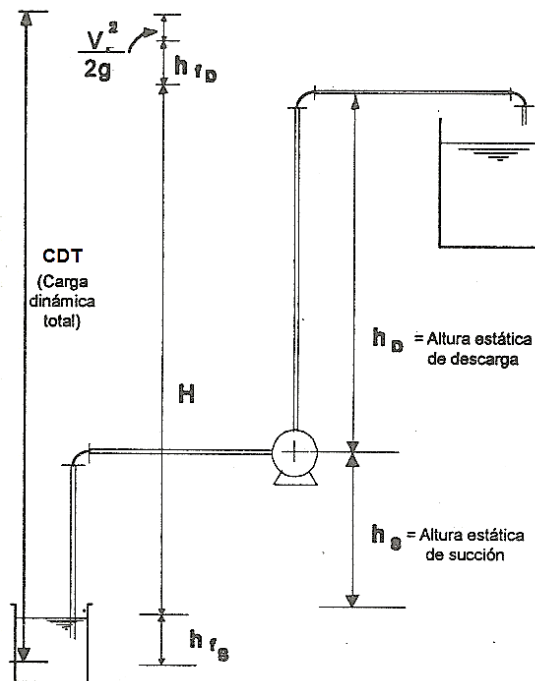


Figura 24. Diagrama de bombeo con bomba centrífuga de eje horizontal

De la ecuación anterior tenemos que la CDT será:

$$CDT = \frac{P_2 - P_1}{w} + (h_D - h_s) + h_f + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (14)$$

En sistemas atmosféricos $P_2 = P_1$ y para fines prácticos se considera la velocidad de succión despreciable.

Para un sistema con carga de succión (h_{s+}):

La carga estática de succión se tiene cuando la fuente de alimentación está por arriba de la línea central de la bomba.

$$CDT = \frac{V_2^2}{2g} + (h_D - h_s) + h_f \quad (15)$$

Para un sistema con altura de succión (h_{s-}):

La altura estática de succión se tiene cuando la fuente de alimentación está por abajo de la línea central de la bomba.

$$CDT = \frac{V_2^2}{2g} + (h_D + h_s) + h_f \quad (16)$$

Carga o altura estática de succión (h_s) es la distancia vertical que existe entre la línea central de la bomba al nivel del líquido que va a ser bombeado (Figura 25. Cargas estáticas en un sistema con altura estática de succión.).

Carga estática de descarga (h_D) es la distancia vertical entre la línea central de la bomba y el punto de la descarga o de la superficie del líquido en el tanque de descarga.

Carga de velocidad (h_v) Es la energía contenida en un líquido, como resultado de su movimiento a una velocidad (v). Es la carga necesaria para acelerar el fluido y se calcula de la siguiente manera:

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad (17)$$

Donde:

V =Velocidad del líquido (m s⁻¹)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m s⁻²)

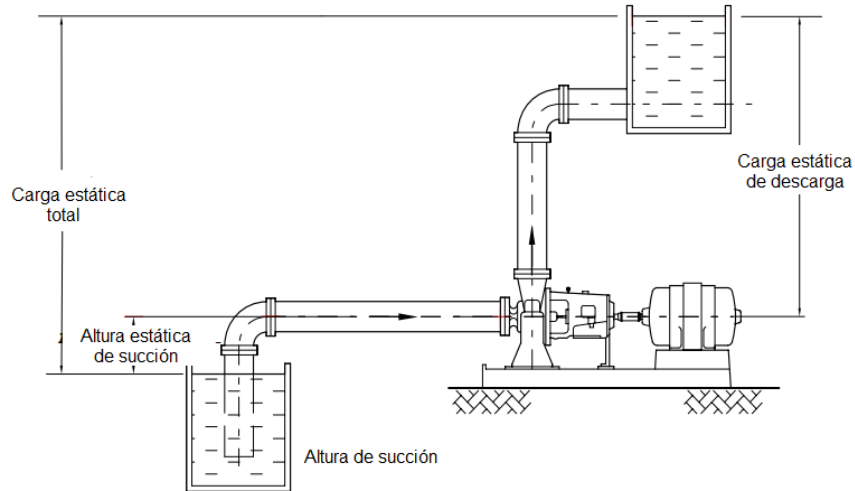


Figura 25. Cargas estáticas en un sistema con altura estática de succión.

Carga de fricción (h_f)

Es la carga requerida para vencer las resistencias de un líquido a fluir en una tubería y sus accesorios:

$$h_f = f \frac{L}{Dp} * h_v \quad (18)$$

Donde

h_f =Pérdida total por fricción (m)

L = Longitud de la tubería (m)

\overline{Dp} = Diámetro interior de la tubería (m)

h_v = Carga de velocidad (m)

f = Coeficiente de fricción de la tubería (adimensional)

Coefficiente de fricción (f)

P. K. Swamme y A. K. Jain proponen la siguiente expresión explícita para el factor de fricción (Pardo s/f):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \frac{D}{\varepsilon}} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (19)$$

Donde:

ε = Rugosidad Absoluta que depende del material de la tubería (mm)

N_R = Número de Reynolds (adimensional)

$$N_R = \frac{v \overline{Dp}}{\nu} \quad (20)$$

Donde

v = Velocidad del líquido (m s^{-1})

\overline{Dp} = Diámetro interior de la tubería (m)

ν = Viscosidad Cinemática del fluido ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), (Cuadro 14).

La fórmula es aplicable a los siguientes rangos: $1000 < \frac{D}{\varepsilon} < 1 \times 10^6$ y $4000 < N_R < 3.10^8$

Cuadro 14. Valores de viscosidad cinemática para el agua.

Temperatura (°C)	$\nu(\text{m}^2 \text{s}^{-1})$
5	1.52×10^{-6}
10	1.31×10^{-6}
15	1.14×10^{-6}
20	1.01×10^{-6}
25	0.90×10^{-6}
30	0.81×10^{-6}
40	0.66×10^{-6}
50	0.55×10^{-6}

Fuente: Martínez Menes s/f

Diámetro de la tubería (D_p)

Con el volumen de agua requerido por las plantas se determinará el diámetro óptimo de la tubería, este diámetro se estimará a partir del gasto y una velocidad propuesta, aceptando 3.0 m s^{-1} en bombas centrifugas horizontales (Martínez y Gutiérrez, 2003). A partir de la fórmula del gasto se obtendrá el diámetro.

$$Q = A_p * V_p = \frac{\pi}{4} D_p * V_p \quad (21)$$

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V_p}} \quad (22)$$

Donde:

Q= Gasto de diseño ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)

A_p = Área (m^2)

V_p = Velocidad del flujo (m s^{-1})

D_p = Diámetro de la tubería (m)

Se seleccionará el diámetro comercial ($\overline{D_p}$) inmediato superior al diámetro obtenido.

Y se corroborará que la velocidad ($\overline{V_p}$) no exceda los 3 m s^{-1} (bomba centrifuga horizontal)

Dimensionado de la bomba

La potencia hidráulica necesaria para elevar un caudal Q a una altura h (CDT) viene dada por:

$$P = g * Q * h \quad (23)$$

Donde:

P= potencia hidráulica (W)

Q= Gasto de diseño (L s^{-1})

g= aceleración de la gravedad (m s^{-2})

h= altura (m)

6.2.10. Diseño del tren terciario de purificación

El equipo a instalar en las plantas de potabilización y purificación estará en función de la calidad del agua de lluvia en la zona de estudio, esta calidad se determinará con el análisis de sus parámetros físicos, químicos y biológicos.

Cuadro 15. Normas Mexicanas para determinar los parámetros listados en la NOM-127-SSA1-1994, de agua para uso y consumo humano.

Parámetro	Norma Mexicana de análisis	Parámetro	Norma Mexicana de análisis
Olor	NMX-AA-083-1982	@ Fluoruros	NMX-AA-077-SCFI-2001
Sabor	NOM-127-SCFI-1994	@ Manganeseo	NMX-AA-051-SCFI-2001
Color	NMX-AA-045-SCFI-2001	@ Mercurio	NMX-AA-051-SCFI-2001
@ Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	Nitratos	NMX-AA-079-1986
@ Aluminio	NMX-AA-051-SCFI-2001	Nitritos	NMX-AA-099-SCFI-2006
@ Bario	NMX-AA-051-SCFI-2001	Nitrógeno amoniacal	NMX-AA-026-SCFI-2001
@ Cadmio	NMX-AA-051-SCFI-2001	@ pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
@ Cianuros	NMX-AA-058-SCFI-2001	@ Sodio	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cloro libre	Escala de Taylor	@ Sólidos disueltos totales	NMX-AA-034-SCFI-2001
@ Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001	@ Sulfatos	NMX-AA-074-SCFI-1981
@ Cobre	NMX-AA-051-SCFI-2001	@ SAAM	NMX-AA-039-SCFI-2001
@ Cromo total	NMX-AA-051-SCFI-2001	@ Zinc	NMX-AA-051-SCFI-2001
@ Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001	@ Plomo	NMX-AA-051-SCFI-2001
@ Hierro	NMX-AA-051-SCFI-2001	Coliformes totales	NMX-AA-042-1987
		Coliformes fecales	NMX-AA-042-1987

@ Parámetros acreditados ante EMA. Fuente: Laboratorio Central de Instrumentación, IPN.

Dado los requerimientos para determinar la presencia de coliformes totales y fecales en el agua, “El examen de la muestra colectada debe realizarse lo más pronto posible, para evitar proliferación o muerte de las bacterias. Cuando el examen se practica dos horas después de tomar la muestra, los resultados empiezan a ser inciertos”, el análisis se realizará, en el municipio de San Miguel Tulancingo, con base a la metodología de la Norma Mexicana NMX-AA-42-1987 Calidad del agua determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva.

Los resultados serán comparados con los límites permisibles listados en las Normas Mexicanas NOM-127-SSA1-1994. Agua para uso y consumo humano. (Modificada en 2002) y la NOM-201-SSA1-2002, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel, establecen las especificaciones sanitarias y los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

Cuadro 16. Parámetros para seleccionar los tratamientos terciarios

Parámetro	Permisible	Tratamiento
Turbidez	>5 UTN	Filtración
Cloruros y sulfatos	>300 y >500 mg L ⁻¹	Carbón activado
Calcio/magnesio	75 mg L ⁻¹	Intercambio iónico y osmosis inversa
Solidos Disueltos Totales	>500 mg L ⁻¹	Osmosis inversa
Coliformes fecales y totales	No disponible	Lámpara de Luz ultravioleta y Ozono

Fuente: CIDECALLI-CP, 2007.

Cuadro 17. Componentes químicos típicos que pueden hallarse en las aguas residuales y sus de efectos

Componente	Efecto	Concentración crítica (mg L⁻¹)
Amoniaco	Aumenta la demanda de cloro	Cualquier cantidad
	Toxico para los peces	2.5
Cloruro	Puede convertirse en Nitratos	Cualquier cantidad
	Imparte un sabor salado	250
	Interfiere en los procesos industriales	75-200
Mercurio	Toxico para los seres humanos y para la vida acuática	0.005
Sulfato	Acción catártica	1- 3
Fosfato	Estimula el crecimiento acuático de las algas	0.015
	Interfiere en la coagulación	0.2-0.4
Nitrate	Estimula el crecimiento acuático de las plantas	0.3
	Puede causar Metahemoglobina (niño azul)	10
Calcio y Magnesio	Aumenta la dureza	Mayor a 100

Fuente: Miranda, 2008 citado por Placido y Vargas, 2009.

Una vez descrito cada paso se propone la plantilla (Figura 26) que facilitarán los cálculos realizados.

Balance hídrico

Núm de personas **Un**
 Dotación por persona (lt) **Dot**
 Coeficiente de escurrimiento **Ce**
 Coeficiente de captación **Cc**
 Eficiencia de captación de lluvia **n**
 Área necesaria 0% pendiente **Aec** $Aec = Danual / (\Sigma PN * 1000)$
 pendiente **S**
 Área necesaria % de pendiente **AecT** $AecT = Aec * S$
 PP aceptable (mm) **Pna** menor a esta

Balance de cisterna
 Primer mes
 $V_i = O_{ji} - D_j$
 Mese siguientes
 $V_n = (O_j - D_j) - V_{i-1}$

$PN = P_j * n$
 $PN = si((P_j * n) > Pna; P_j * n; 0)$ $O_j = Aec * PN / 1000$ $D_j = Nu * Dot * Ndj / 100$

J	Ndj	Pj	PN (mm)	Oj (m³)	Dj	Oj-Dj(m³)
Mayo	31	Pj1	PN1	Oj1	Dj1	V1
Junio	30	Pj2	PN2	Oj2	Dj2	V2
Julio	31	.	.	.	.	.
Agosto	31	.	.	.	.	.
Septiembre	30	.	.	.	.	.
Octubre	31	.	.	.	.	.
Noviembre	30	.	.	.	.	.
Diciembre	31	.	.	.	.	.
Enero	31	.	.	.	.	.
Febrero	28	.	.	.	.	.
Marzo	31	.	.	.	.	.
Abril	30	Pj12	PN12	Oj12	Dj12	V12
	ΣNdj	ΣPj	ΣPN	ΣOj	ΣDj	

$Danual = \Sigma Dj$

Eficiencia de demanda $O_{anual}/Danual$ Volumen inicial cisterna (Vc) -MIN(V1;V12)

Volumen requerido de la cisterna = máximo de la columna G= **Vc**

Figura 26. Plantilla para determinar el área efectiva de captación y tamaño del almacenamiento óptimo.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la metodología de 10 pasos se obtuvieron los siguientes resultados

7.1. Macro localización del SCALL

El municipio de San Miguel Tulancingo limita al norte con Santa Magdalena Jicotlán, San Mateo Tlapiltepec, Santiago Tepetlapa y la Trinidad Vista Hermosa; al sur con San Juan Bautista Coixtlahuaca, Santa María Nativitas y Villa Tejupam de la Unión; al oriente con San Cristóbal Suchixtlahuaca, San Miguel Tequixtepec y Santiago Tepetlapa; al poniente con San Antonio Acutla, Villa Tejupan de la Unión y La Trinidad Vista Hermosa.

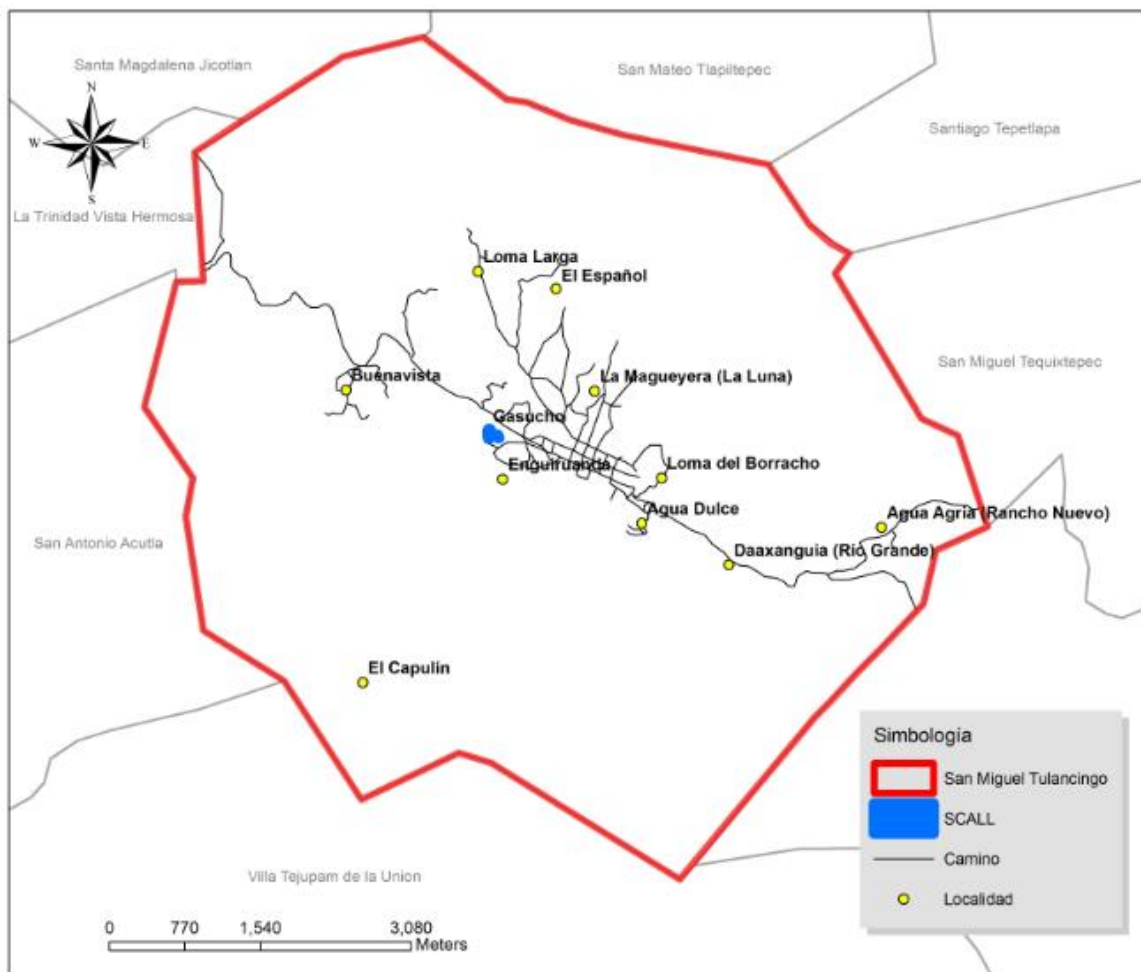


Figura 27. Macro localización del SCALL en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Es importante recalcar que el estado de Oaxaca presenta severos problemas de degradación de la cubierta vegetal, erosión hídrica, erosión eólica, disminución de la capa superficial del suelo y contaminación (COLPOS, 2010); así como, baja disponibilidad de agua para consumo humano, uso doméstico y producción agrícola, pecuaria y forestal. Lo anterior repercute en el impacto del cambio climático, en el deterioro de los recursos naturales, en la migración, pobreza, desnutrición y baja calidad de vida.

Urge que se establezcan políticas públicas, programas y proyectos sobre el aprovechamiento integral del agua, dando especial atención al consumo humano y a la producción de alimentos.

7.2. Demanda de agua

7.2.1. Agua para consumo humano

Para una población de 500 habitantes con dotación de 3.5 L de agua persona⁻¹ día⁻¹ se calculó una demanda anual de 638.75 m³ (Cuadro 18), considerando que el periodo de lluvias da inicio a finales del mes de abril, se iniciará el cálculo en el mes de mayo para facilitar la obtención del balance hídrico anual al considerar la precipitación pluvial neta.

Cuadro 18. Cálculo de la demanda de agua mensual para consumo humano, en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

J	Mes	Nd _j	D _j (m ³)	J	Mes	Nd _j	D _j (m ³)
1	Mayo	31	54.25	8	Diciembre	31	54.25
2	Junio	30	52.5	9	Enero	31	54.25
3	Julio	31	54.25	10	Febrero	28	49
4	Agosto	31	54.25	11	Marzo	31	54.25
5	Septiembre	30	52.5	12	Abril	30	52.5
6	Octubre	31	54.25				
7	Noviembre	30	52.5			D _{anual} =	638.75

7.2.2. Agua para uso doméstico

Para una población de 500 habitantes con dotación de 20 L de agua persona⁻¹ día⁻¹ se calculó una demanda anual de 3,631.75 m³ (Cuadro 19), con las mismas consideraciones que para el cálculo del agua para consumo humano.

Cuadro 19. Cálculo de la demanda de agua mensual para uso doméstico, en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

J	Mes	Nd_j	D_j (m³)
1	Mayo	31	308.45
2	Junio	30	298.50
3	Julio	31	308.45
4	Agosto	31	308.45
5	Septiembre	30	298.50
6	Octubre	31	308.45
7	Noviembre	30	298.50
8	Diciembre	31	308.45
9	Enero	31	308.45
10	Febrero	28	278.60
11	Marzo	31	308.45
12	Abril	30	298.50
D_{anual} =			3631.75

Se realizó el cálculo de la demanda de agua para consumo humano y la demanda de agua para uso doméstico por separado puesto que esta última puede satisfacerse a cierto porcentaje de acuerdo al nivel de precipitación pluvial del año correspondiente, no así para la demanda de agua para consumo humano, se asegurará que se satisfaga al 100% a toda la población los 365 días del año.

7.3. Análisis de la precipitación

Los datos mensuales de precipitación pluvial se obtuvieron de las Normales Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional. La información analizada corresponde a registros mensuales de precipitación registrada en la estación número 20116 - San Miguel Tulancingo.

De acuerdo a la metodología del CIDECALLI-CP se deben considerar, para el cálculo de la oferta del agua de lluvia, aquellos meses en los que la P_j está por arriba de los 40 mm, puesto que las PN_j menores no serían suficientes para lograr escurrimiento aprovechable.

Sin embargo, considerando el recubrimiento con geomembrana (superficie con el coeficiente de escurrimiento más alto) y que la superficie para captación será de tamaño considerable (poco más de una hectárea) se tomará como PN mínima aprovechable 20 mm.

$$C_e = 0.9$$

$$C_c = 90\%$$

$$n = 81\%$$

Cuadro 20. Estimación de la precipitación pluvial neta en San Miguel Tulancingo, Oacaxa.

Mes	N_{dj}	P_j (mm)	PN_j (mm)
Mayo	31	66.50	53.87
Junio	30	118.80	96.23
Julio	31	77.60	62.86
Agosto	31	69.20	56.05
Septiembre	30	106.40	86.18
Octubre	31	38.50	31.19
Noviembre	30	13.60	11.02
Diciembre	31	9.90	8.02
Enero	31	4.90	3.97
Febrero	28	2.90	2.35
Marzo	31	4.70	3.81
Abril	30	31.70	25.68
Total		544.70	412

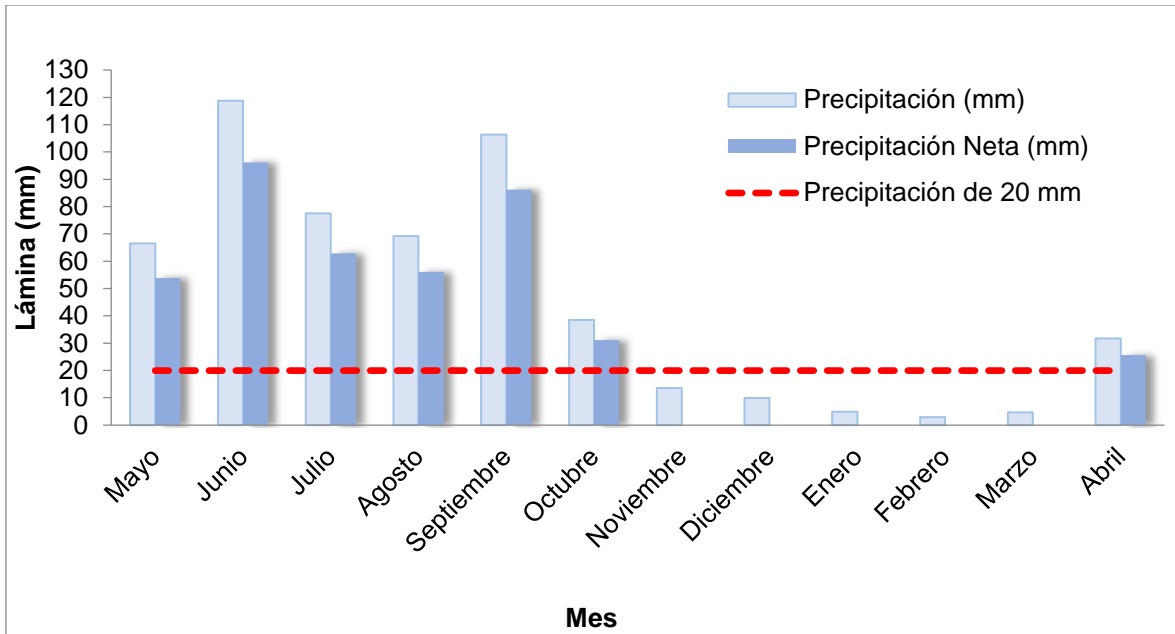


Figura 28. Precipitación pluvial mensual histórica en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Como se puede observar en el gráfico los meses de mayor aportación pluvial son de mayo a septiembre, sin embargo se estaría desaprovechando el vital líquido y desvalorando la tecnología si no se aprovechan las precipitaciones de abril y octubre, puesto que en una área de captación de 1.04 ha en el mes de abril representan 266 m^3 de agua, misma cantidad que alcanzaría para cubrir las demandas de agua para consumo humano durante los 5 meses de estiaje (noviembre a marzo).

7.4. Área efectiva de captación (Aec)

El cálculo en la ecuación 5 resulta efectivo para superficies planas, con nula pendiente, por lo que fue necesario adecuarla para considerar la pendiente existente en la ladera.

En el mejor de los escenarios, para dotar con 23.4 L de agua de lluvia habitante⁻¹ día⁻¹, se requieren $10,364 \text{ m}^2$ de Aec. Considerando una pendiente del 13% el Aec_r resulta ser de $10,452 \text{ m}^2$

Nota: Si se deseara aprovechar el área techada de las cisternas, la dotación por persona por día se aumentaría 4 L. Esta cantidad de agua podría servir para las operaciones de limpieza y mantenimiento en las plantas.

7.5. Microlocalización del SCALL

Se platicó e hicieron recorridos con los representantes de la comunidad y autoridades municipales para determinar la zona de ladera que cumplía con los requisitos de superficies necesarias para establecer el SCALL, se realizó el levantamiento topográfico para delimitar las áreas de captación, almacenamiento y establecimiento de las plantas potabilizadora y purificadora. El terreno es una propiedad particular, la adquisición del terreno por parte del municipio se contemplará dentro del porcentaje de apoyo que aportará al monto total del proyecto (Figura 29).



Figura 29. Ladera viable para la captación del agua de lluvia

Información general:

El sitio para establecer el SCALL, es una ladera con afloramiento de roca, con 13% de pendiente, dentro de las coordenadas UTM, 664200 a 664440 en el eje X y 1963540 a 1963750 en el eje Y, se delimitó una superficie de 14,800m². Se localiza a 100 m de la calle Francisco I. Madero, vía de acceso principal al centro del municipio a aproximadamente 1 km de distancia.

Medio ambiente:

La vegetación en el área es escasa, prácticamente nula, hay presencia de nopal, biznagas, maguey, consuelda, y algunos arbustos. Tiempo atrás el uso de suelo fue la extracción de piedra de cantera.

Impactos ambientales identificados:

De acuerdo a los mapas de la CENAPRED, el área donde se ejecutará el proyecto está en zona con la categoría más baja de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas (Figura 30).



Figura 30. Grado de inestabilidad en ladera. (CENAPRED, 2015)

No se prevén impactos ambientales, como ya se describe, es una ladera altamente erosionada. Las pocas especies de flora encontrada se reubicaran en sitios con iguales condiciones ambientales.

Por las condiciones de relieve en el área se dividirá el Aec en dos secciones, cada una con su correspondiente sedimentador, cisternas y conducciones a la planta potabilizadora y purificadora (Figura 31).

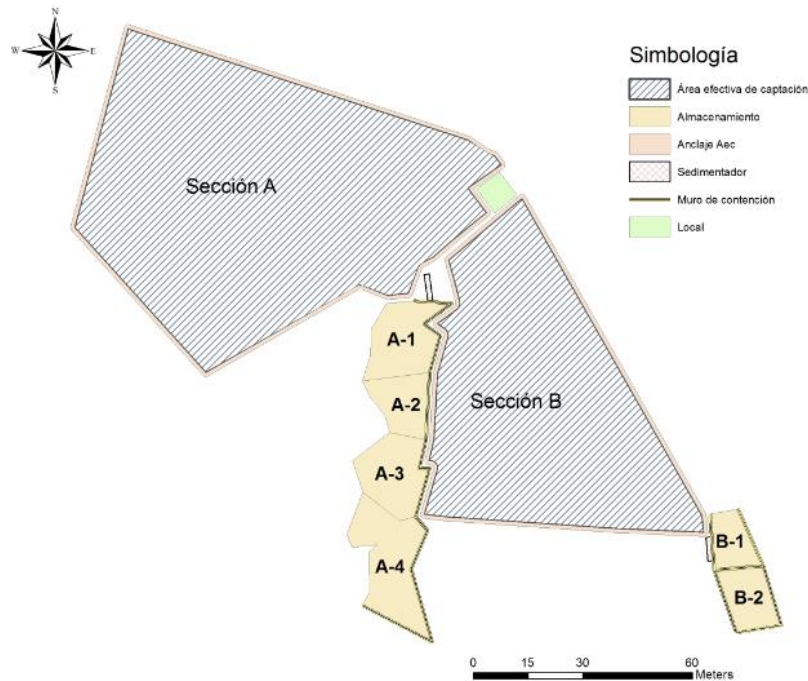


Figura 31. Polígonos de áreas de captación, cisternas para almacenamiento del agua de lluvia y localización del local para las plantas potabilizadora y purificadora

7.6. Conducción del agua captada

Por las características topográficas del sitio se ha dividido el área en 2 superficies de escurrimiento, contando cada una con sus respectivos sedimentadores y cisternas.

Con periodo de retorno de 10 años y duración de 1 hora la intensidad máxima de lluvia registrada en la zona es de 40 mm h^{-1} .

Superficie A. Aec de $6,388 \text{ m}^2$.

Superficie B. Aec de $4,065 \text{ m}^2$.

Por lo tanto para la superficie A $Q_c = 0.07037 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y para la superficie B $Q_c = 0.04478 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Cuadro 21).

Cuadro 21. Diámetro de las tuberías, aplicando la ecuación de continuidad

Variable	Sección A	Sección B
Diámetro (m)	0.219	0.168
Velocidad (m s ⁻¹)	2.78	2.33
Área (m ²)	0.038	0.022
Q (m ³ s ⁻¹)	0.105	0.052
Qc	0.0703	0.0447

Con la propuesta de diámetro de 6" para conducir el caudal de agua en la superficie B y un diámetro de 8" para la superficie A, Q resulta mayor al Qc.

7.7. Diseño del sedimentador

Con una lluvia máxima diaria reportada en la zona de 0.097 m, aplicando la metodología de CIDECALLI-CP, el volumen de los sedimentadores sería:

$$V_{sed} Sección A = \frac{6,334 \text{ m}^2 * 0.097 \text{ m}}{3} = 204.8 \text{ m}^3$$

$$V_{sed} Sección B = \frac{4,030 \text{ m}^2 * 0.097 \text{ m}}{3} = 130.3 \text{ m}^3$$

Aplicando la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales quedaría de la siguiente manera:

El sedimentador para las cisternas de la de la sección A debe tener capacidad de 14.8 m³, 1.3 m de ancho, 7.57 m de largo y 1.5 m de alto en el interior. El sedimentador para las cisternas de la sección B debe tener capacidad de 7 m³, 1.1 m de ancho, 5.8 m de largo y 1.1 m de alto en el interior.

Los sedimentadores se han diseñado para retener el material suspendido en el agua mayor a las arenas finas de 0.01 cm diámetro.

Cuadro 22. Valores de diseño del sedimentador.

Descripción y variable	Valor sección A	Valor sección B	Unidad
Caudal de Diseño (Q)	0.0704	0.0448	m ³ s ⁻¹
Material suspendido en el agua. *	área fina mayor a 0.01		cm
Régimen laminar			
Velocidad de sedimentación (Vs)	0.008	0.008	M s ⁻¹
área superficial de la unidad (As)	8.8	5.6	m ²
Ancho de sedimentador (B)	1.3	1.1	m
separación entre entrada y pantalla difusora (L1)	0.8	0.7	m
Longitud de zona de sedimentación (L2)	6.77	5.09	m
L=L1+L2	7.57	5.79	m
Relación L/B	5.82	5.26	
Altura (H)	1.5	1.5	m
Relación L/H	5.04	5.26	
Velocidad horizontal (VH)	3.6	3.7	cm s ⁻¹
L2/H= Vh/Vs=	6.56	4.63	Se cumple
Periodo de retención (To)	0.05	0.04	hr
	3.1	2.3	min
Pendiente en el fondo de la unidad (S)	5%	5%	
Altura del agua sobre el vertedor (H')	1.6	1.6	m
Altura del agua sobre el vertedor (H')	0.10	0.08	m
Diseño de la pantalla difusora			
Velocidad de paso entre orificios (Vo)	0.1	0.1	m s ⁻¹
Área total de orificios (Ao)	0.70	0.45	m ²
Diámetro de orificios (Do)	0.1	0.1	m
Área de cada orificio (ao)	0.008	0.008	m ²
Núm. de orificios (n)	90	57	
altura de la posición de la pantalla difusora (h)	0.9	0.66	m
núm. de filas de orificios (nf)	9	9	
núm. de columnas (nc)	10	6.3	
espaciamiento entre filas (a1)	0.2	0.07	m
espaciamiento entre columnas (a2)	0.36	0.35	m

7.8. Diseño del almacenamiento

Para el almacenamiento del agua de lluvia se proponen 6 cisternas, cuatro para el agua de lluvia captada en la sección A y dos para la sección B.

7.8.1. Volumen de almacenamiento

Considerando que en el municipio habitan 100 familias con un promedio de 5 integrantes:

- con una dotación de 3.5 L de agua persona⁻¹ día⁻¹ para consumo, se requieren 1,750 L día⁻¹ o 638.75 m³ año⁻¹.
- con una dotación de 20 L de agua persona⁻¹ día⁻¹ para uso doméstico, se requieren 9,950 L día⁻¹ o 3,631.75 m³ año⁻¹.

Para cubrir estas demandas se realizó el análisis entre la oferta del agua de lluvia y el agua demandada. Determinando el mes en el cual se tiene la mayor cantidad de agua para almacenar se obtuvo el volumen máximo de las cisternas.

Cuadro 23. Balance hídrico.

Mes	Días del mes	Oferta (m ³)	Demanda (m ³)	Balance cisterna (m ³)
Mayo	31	558.26	362.70	195.56
Junio	30	997.32	351.00	841.88
Julio	31	651.45	362.70	1130.63
Agosto	31	580.93	362.70	1348.86
Septiembre	30	893.22	351.00	1891.08
Octubre	31	323.20	362.70	1851.58
Noviembre	30	0.00	351.00	1500.58
Diciembre	31	0.00	362.70	1137.88
Enero	31	0.00	362.70	775.18
Febrero	28	0.00	327.60	447.58
Marzo	31	0.00	362.70	84.88
Abril	30	266.12	351.00	0.00
Anual		4270.50	4270.50	MAX= 1,891.1

7.8.2. Dimensiones del almacenamiento

Como se ha mencionado anteriormente, en la zona donde se habilitará el SCALL se realizaba la extracción de cantera, esto facilitó la ubicación de las cisternas ya que existen zonas donde se tienen excavaciones con cierto nivel de profundidad, solo hay que afinar sus taludes y construir muros de contención en las partes bajas para habilitar los almacenamientos.

Como resultado del levantamiento topográfico se obtuvieron las siguientes áreas disponibles para diseñar las estructuras de almacenamiento del agua de lluvia (Figura 31 y Cuadro 24):

Cuadro 24. Áreas disponibles para el diseño de las cisternas.

Cisterna	Área A (m²)
A-1	350.0
A-2	227.0
A-3	340.0
A-4	490.0
B-1	169.0
B-2	225.0

Aprovechando la pendiente natural del terreno, las cisternas se diseñaron de forma escalonada para propiciar el proceso de decantación entre cada una de ellas. El agua llenará la cisterna A-1, posteriormente la A-2 hasta llegar a la cisterna A-4, de donde será bombeada a la planta de tratamiento.

Dichas áreas corresponde a las superficies del plano a, en la ecuación (11). Afinando taludes con relación 1:1 en la sección A y 0.5:1 en la sección B se calcularon las áreas de los planos b y c (Cuadro 25):

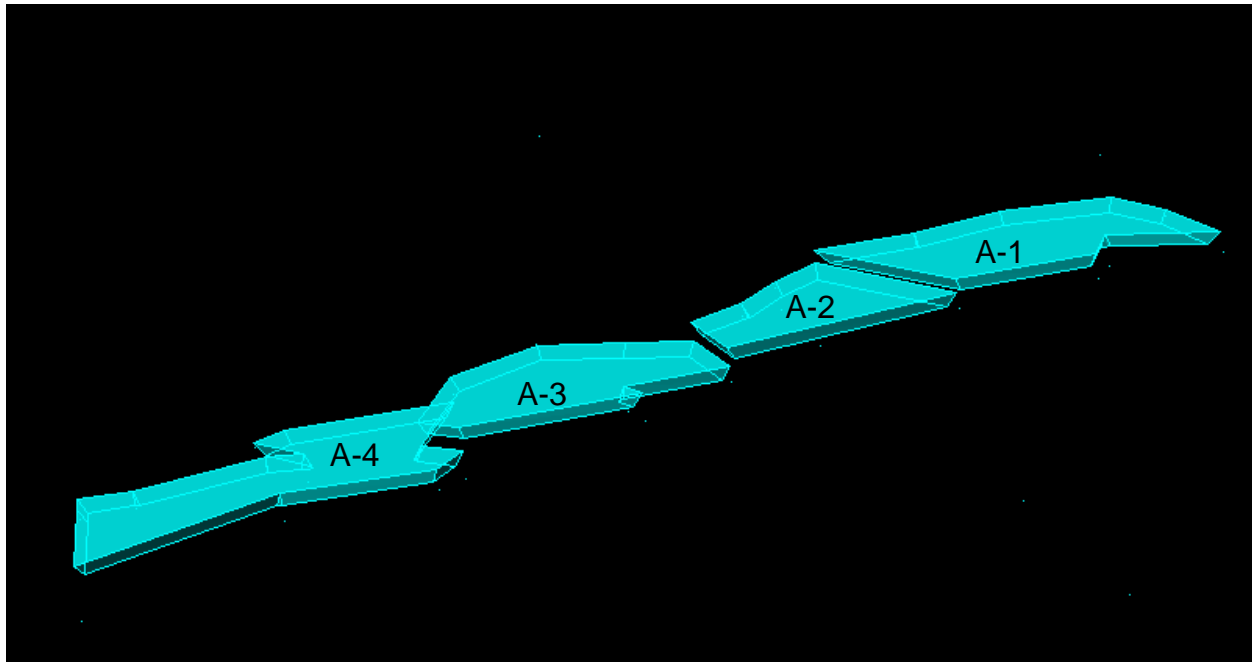


Figura 32. Cisternas, de la sección A, diseñadas de forma escalonada para la decantación del agua de lluvia, en San Miguel Tulancingo, Oaxaca

Cuadro 25. Volumen de las cisternas

Cisterna	Área (m ²)			Altura (m)	Volumen (m ³)
	Plano a	Plano b	Plano c		
A-1	350.0	310.0	272.0	1	310.3
A-2	227.0	196.5	168.0	1	196.8
A-3	340.0	303.8	269.8	1	304.2
A-4	490.0	432.9	378.0	1	433.3
B-1	169.0	155.8	143.0	1.6	249.4
B-2	225.0	210.0	195.5	2.5	525.2
				Total	2,019

A este volumen de cisternas se les restó el volumen que ocuparan los muros de contención para las divisiones entre ellas.

De acuerdo a las especificaciones del Cuadro 12 se tienen los siguientes volúmenes en muros (Cuadro 26):

Cuadro 26. Dimensión y volumen de los muros de contención que separan las cisternas.

Cisterna	Profundidad (m)	Volumen de muro /1 m de longitud (m ³)	Volumen de cimentación (m ³)	Longitud del muro (m)	Volumen total (m ³)
A-1	1.0	0.38	0.045	18.8	8.0
A-2	1.0	0.38	0.045	10.2	4.3
A-3	1.0	0.38	0.045	17.3	7.4
B-1	1.6	0.75	0.045	13.5	10.7
Total					30.6

Quedando un volumen de almacenamiento de 1,988 m³, 97 m³ más de los estimados para almacenar el agua de lluvia captada.

El tipo de sustrato sobre el cual se establecerán los muro de contención es del Tipo III (sustrato rocoso) y para su manejo se requiere de herramienta especializada como barretas, cuñas, marros, rompedoras y barrenadoras neumáticas.

Con una longitud de muro de contención de 138 m a una altura de 1 m, de acuerdo a la información en el Cuadro 14, se proponen las siguientes dimensiones de los muros:

Cuadro 27. Dimensión y volumen de los muros de contención en la parte baja de las áreas de almacenamiento.

Muro			Volumen de piedra		Cemento	Arena	Agua	Sección
B (m)	B1(m)	H(m)	Vm	(m ³)	(kg)	(m ³)	(Lt)	
0.45	0.30	1.00	52.44	78.66	4416	22.08	4140	A
0.65	0.35	1.50	24.27	36.41	2006.3	10.03	1917	B-1
1.05	0.60	2.50	98.39	147.58	8166.9	40.11	7784.8	B-2

Para la protección de las áreas de captación y almacenamiento del agua de lluvia se colocará un cercado perimetral que abarque todas estas áreas.

Cuadro 28. Dimensión y volumen de las obras de anclaje.

B (m)	Cimentación		concreto (m ³)	Varilla (kg)	Sección
	Longitud (m)	Espesor (m)			
0.45	138.0	0.1	6.21	1097.1	A
0.65	32.4	0.1	2.10	257.3	B-1
1.05	47.8	0.1	5.01	379.7	B-2

7.9. Bombeo del agua almacenada

Puesto que son dos sistemas de cisternas, cada una requiere de su equipo de bombeo.

Potencia de la bomba para el bombeo del agua en las cisternas de la sección A

Caudal (Q)= 2.9 L s⁻¹

Tiempo de bombeo (t)= 1.44 h

Velocidad propuesta (v)= 3.0 m s⁻¹

Diámetro propuesto (Dp)= 0.035 m = 1.38 "

Se selecciona el diámetro inmediato superior al estimado

Diámetro (D)= 2 " = 0.0508 m

Velocidad recalculada (Vp)= 1.43 m s⁻¹

Carga de velocidad (h_v) = 0.104 m

Longitud (L) 110 m

Longitud de succión (l_s)= 4.0 m

Altura de succión (h_s)= 2.0 m

Carga estática de descarga (h_D)= 6.11 m

Rugosidad absoluta (E)= 9x10⁻⁶ m

Viscosidad Cinemática (ν) = 1x10⁻⁶ m² s⁻¹

Número de Reynolds (R_N) = 72684.9 adim

Coeficiente de fricción (f) =	0.0019	adim	
Carga de fricción (h _f) =	0.44	m	
Perdidas localizadas (h _L)= 10% de h _f	0.044	m	
Carga Dinámica Total (CDT)	8.706	m	
Potencia hidráulica =	247.7	watt	= 0.332 HP

Potencia de la bomba para el bombeo del agua en las cisternas de la sección B

Caudal (Q)=	1	Lps	
Tiempo de bombeo (t)=	1.39	hr	
Velocidad propuesta (v)=	3	m s ⁻¹	
Diámetro propuesto (D _p)=	0.020	m	= 0.81 "

Se selecciona el diámetro inmediato superior al estimado

Diámetro (D)=	1"		= 0.0254 m
Velocidad recalculada (V _p)=	1.97	m s ⁻¹	
Carga de velocidad (h _v) =	0.199	m	
Longitud (L)	120	m	
Longitud de succión (l _s)=	4	m	
Altura de succión (h _s)=	2	m	
Carga estática de descarga (h _D)=	16.6	m	
Rugosidad absoluta (E)=	9x10 ⁻⁶	m	
Viscosidad Cinemática (ν) =	1x10 ⁻⁶	m ² s ⁻¹	
Número de Reynolds (R _N) =	50127.5	adim	

Coeficiente de fricción (f) =	0.0021	adim		
Carga de fricción (h _f) =	2.011	m		
Perdidas localizadas (h _L), 10% de h _f =	0.2011	m		
Carga Dinámica Total (CDT)	21.01	m		
Potencia hidráulica =	206	watt	=	0.276 HP

7.10. Sistema de potabilización y purificación del agua de lluvia

Como resultado del análisis químico realizado a cinco diferentes muestras de agua en el municipio de San Miguel Tulancingo, se obtuvieron los siguientes datos.

Cuadro 29. Determinación de pH, SDT y Ce de cinco fuentes de abastecimiento de agua.

Sitio	Fuente de agua	Muestra	pH	SDT (ppm)	CE (Ds m ⁻¹)
Tecolote	Río	1	7,9	282	0,73
Agua dulce	Manantial	2	7,7	160	0,33
Golondrina	Presa	3	7,6	174	0,24
Ciénega	Presa	4	7,5	167	0,34
La Cantera	Lluvia	5	6.1	116	0.15

Cuadro 30. Determinación de contenido de Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio, Carbonatos Bicarbonatos, Cloruros y Sulfato de cinco fuentes de abastecimiento de agua.

Muestra	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄	Na ⁺	K ⁺
1	71.44	106.00	110.40	350.70	115.20	221.40	25.10	39.30
2	23.80	80.60	0.00	266.70	44.30	61.50	23.40	39.10
3	22.60	58.90	0.00	266.70	44.30	61.50	23.10	39.10
4	23.80	54.90	0.00	252.50	44.30	61.50	23.60	39.80
5	13.12	32.70	0.00	140.30	53.18	29.78	0.00	0.00

Valores en mg L⁻¹

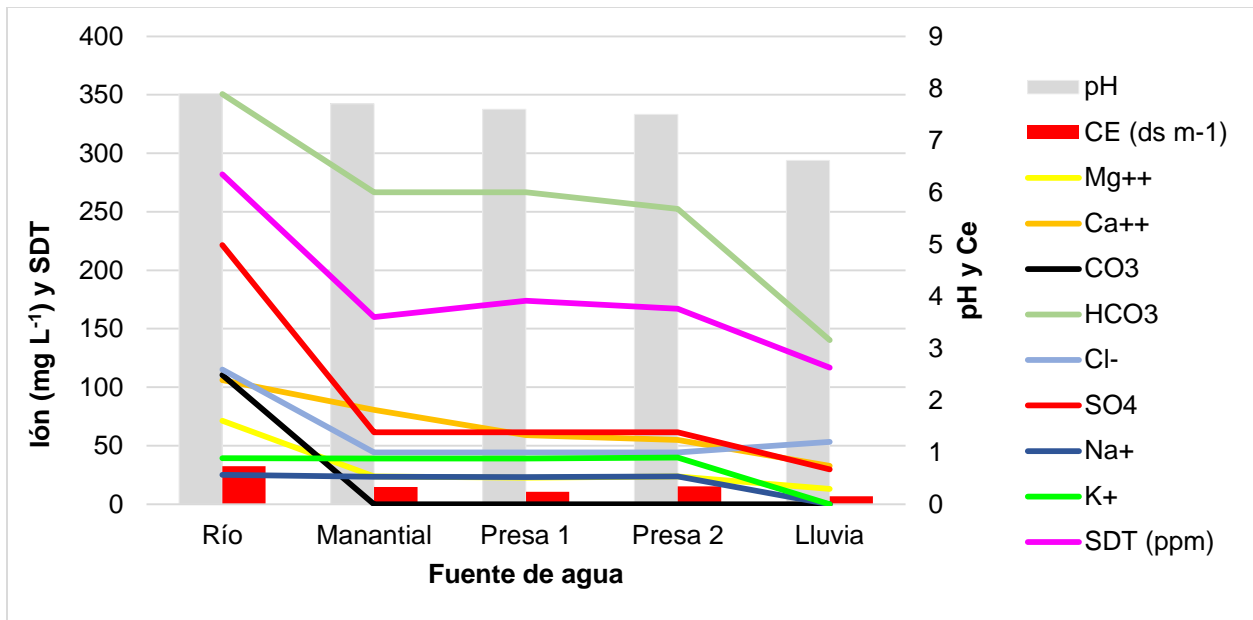


Figura 33. Comparación de las propiedades químicas del agua en diferentes fuentes de abastecimiento en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Así como los resultados reportados por García (2012) donde el agua de lluvia captada por el techo de una casa en el Ecobarrio de Santa Rosa Xochiac obtuvo una mejor calidad y menor variabilidad que el agua captada por el patio, el agua de lluvia analizada resulta con el valor de pH más bajo (6.6), CE (Conductividad Hidráulica), SDT (Solidos Disueltos Totales) y contenidos de aniones y cationes, excepto el de Cloro, esto indica que el agua de lluvia puede ser la fuente de abastecimiento de agua más fácil para tratar.

7.10.1. Análisis al agua de lluvia, de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994

El resultado de los análisis físicos, químicos y biológicos que marca la NOM-127-SSA1-1994 se resume en la figura siguiente:

Cuadro 31. Propiedades del agua de lluvia en San Miguel Tulancingo, Oaxaca..

Parámetro	Norma mexicana de análisis	Límites máximos permisibles	Resultados obtenidos
Olor	NMX-AA-083-1982	Agradable	Agradable
Sabor	NOM-127-ssa1-a994	Agradable	Desagradable
Color	NMX-AA-045-SCFI-2001	20 unidades (Pt-Co)	20 unidades (Pt-Co)
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	5 UTN	15 UTN
@Aluminio	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.20 mg L ⁻¹	3.65 mg L ⁻¹
@Arsénico		0.05 mg L ⁻¹	<0.001 mg L ⁻¹
@Bario		0.70 mg L ⁻¹	0.018 mg L ⁻¹
@Cadmio		0.005 mg L ⁻¹	<0.0048 mg L ⁻¹
@Cobre		2.00 mg L ⁻¹	<0.16 mg L ⁻¹
@Cromo total		0.05 mg L ⁻¹	<0.0052 mg L ⁻¹
@Fierro		0.30 mg L ⁻¹	2.44 mg L ⁻¹
@Magnesio		0.15 mg L ⁻¹	0.074 mg L ⁻¹
@Mercurio		0.001 mg L ⁻¹	0.003 mg L ⁻¹
@Sodio		200 mg L ⁻¹	13.29 mg L ⁻¹
@Zinc		5.00 mg L ⁻¹	<0.16 mg L ⁻¹
@Plomo		0.01 mg L ⁻¹	<0.0052 mg L ⁻¹
@Cianuros	NMX-AA-058-SCFI-2001	0.07 mg L ⁻¹	<0.02 mg L ⁻¹
Cloro Libre	Escala de Taylor	0.2-1.5 mg L ⁻¹	Ausente
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001	250 mg L ⁻¹	0.7 mg L ⁻¹
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001	500 mg L ⁻¹	91 mg L ⁻¹
Fluoruros	NMX-AA-077-SCFI-2001	1.50 mg L ⁻¹	0.37 mg L ⁻¹
Nitratos	NMX-AA-079-SCFI-2001	10.0 mg L ⁻¹	0.07 mg L ⁻¹
Nitritos	NMX-AA-099-SCFI-2001	1.00 mg L ⁻¹	<0.01 mg L ⁻¹
Nitrógeno amoniacal	NMX-AA-026-SCFI-2006	0.50 mg L ⁻¹	0.17 mg L ⁻¹
@pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	6.5-8.5	7.93 unidades
@Sólidos disueltos totales	NMX-AA-034-SCFI-2001	1000 mg L ⁻¹	185.8 mg L ⁻¹
Sulfatos	NMX-AA-074-SCFI-1981	400 mg L ⁻¹	6.85 mg L ⁻¹
@SAAM	NMX-AA-039-SCFI-2001	0.5 mg L ⁻¹	0.007 mg L ⁻¹
Coliformes Totales	NMX-AA-42-1987	N.D NMP/100 m L	N.D. NMP/100 m L ⁻¹

La mayoría de los parámetros analizados resultaron por debajo de los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 a excepción de los parámetros de sabor, color, turbiedad y la presencia de aluminio (Al), fierro (Fe) y mercurio (Hg) (Cuadro 31).

Aunque no es común encontrar Hg en el agua de lluvia, Hernández (2015) menciona que en zonas donde se fabrique oro o joyería de plata se pudiera evidenciar la presencia de este elemento, o en el caso de una zona agrícola algún plaguicida que se esté usando y pueda tener este elemento presente.

También se analizó una muestra de sedimento y una muestra de un fragmento de roca, mediante el análisis de difracción de rayos X, con el objeto de identificar los minerales presentes en el suelo, conocer el impacto en la calidad del agua y poder seleccionar el tratamiento más adecuado para purificarla.

En esta muestra se detectó Calomel (Hg_2Cl_2) (Cloruro de mercurio) en baja concentración, así mismo, se detectaron: Fayalita ($\text{Fe}_{2+2}\text{SiO}_4$), Coesita (SiO_2), Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Ortoclasa (KAlSi_3O_8), Silimanita (Al_2SiO_5), Forsterita (Mg_2SiO_4) y Levynaca ($(\text{Ca,Na})_6(\text{Si,Al})_{18}\text{O}_{36}\cdot 18\text{H}_2\text{O}$), Weibulita ($\text{Ag}_{0.3}\text{Pb}_{5.3}\text{Bi}_{8.3}\text{Se}_6\text{S}_{12}$) y Yeso ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Figura 34).

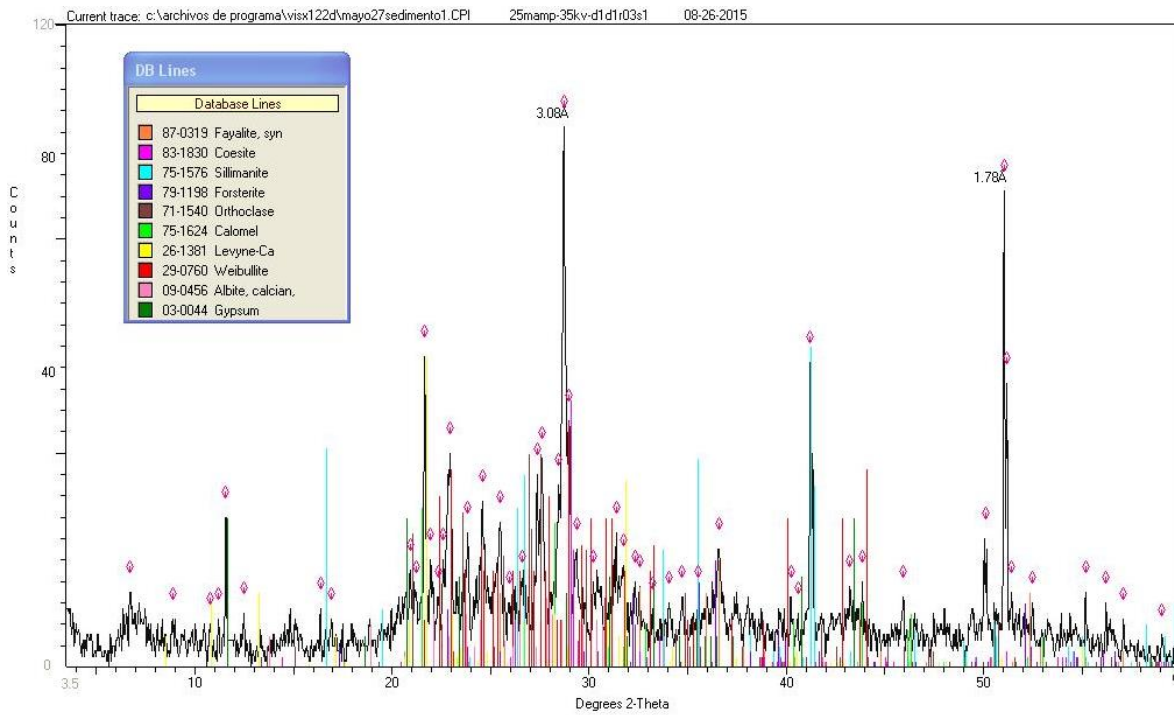


Figura 34. Minerales presentes en la muestra de sedimento

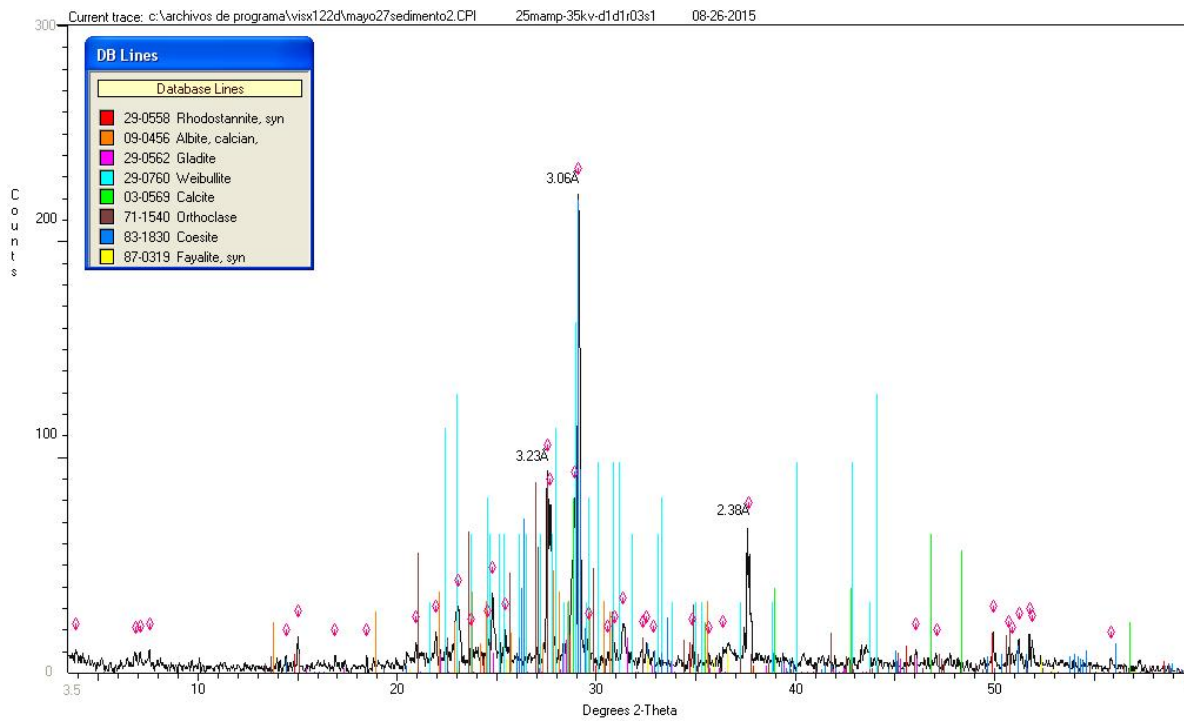


Figura 35. Minerales presentes en el fragmento de roca

En esta muestra se detectó Rodoestannita $((\text{Cu,Ag})_2\text{FeSn}_3\text{S}_8)$, Albita, Gladita $(\text{Pb}_{1,6}\text{Cu}_{1,6}\text{Bi}_{6,4}\text{S}_{12})$, Calcita (CaCO_3) , Ortoclasa, Coesita, Fayalita y predominando la Weibulita (Figura 35).

7.10.2. Contenido de Coliformes totales

Se analizaron dos muestras de agua para determinar la presencia de Coliformes, la primera muestra se tomó de la red de distribución de agua potable y la segunda del escurrimiento del agua de lluvia.

La preparación del material, así como su esterilización, la toma de muestras de agua, la inoculación e incubación se realizaron conforme a la metodología establecida en la NMX-AA-42-1987.

La muestra de agua potable no presentó Coliformes Totales, pero la muestra de agua de lluvia presentó un índice de 123 Nmp/100cm³, la NOM-127-SSA1-1994 permite 2 como Nmp/100 cm³, esto nos indica que el agua de lluvia contiene agentes biológicos nocivos a la salud y que es necesario su tratamiento antes de consumirla (Cuadro 32 y Figura 36).



Figura 36. Muestra de agua de lluvia con presencia de Coliformes Totales (Etiqueta anaranjada) y muestra de agua potable con ausencia de estos (Etiqueta roja).

Cuadro 32. Resultado de la reacción a la presencia de Coliformes en una muestra del agua de lluvia (M1) y una del agua potable (M2).

Tratamiento			Volumen de medio (mL)	Volumen de agua (mL)	Volumen total (mL)	Reacción
M1	T1	R1	9.9	0.1	10	positivo
M1	T1	R2	9.9	0.1	10	positivo
M1	T1	R3	9.9	0.1	10	positivo
M1	T1	R4	9.9	0.1	10	positivo
M1	T1	R5	9.9	0.1	10	positivo
M1	T2	R1	9	1	10	positivo
M1	T2	R2	9	1	10	negativo
M1	T2	R3	9	1	10	positivo
M1	T2	R4	9	1	10	positivo
M1	T2	R5	9	1	10	negativo
M1	T3	R1	5	5	10	positivo
M1	T3	R2	5	5	10	positivo
M1	T3	R3	5	5	10	positivo
M1	T3	R4	5	5	10	positivo
M1	T3	R5	5	5	10	positivo
M2	T1	R1	9.9	0.1	10	negativo
M2	T1	R2	9.9	0.1	10	negativo
M2	T1	R3	9.9	0.1	10	negativo
M2	T1	R4	9.9	0.1	10	negativo
M2	T1	R5	9.9	0.1	10	negativo
M2	T2	R1	9	1	10	negativo
M2	T2	R2	9	1	10	negativo
M2	T2	R3	9	1	10	negativo
M2	T2	R4	9	1	10	negativo
M2	T2	R5	9	1	10	negativo
M2	T3	R1	5	5	10	negativo
M2	T3	R2	5	5	10	negativo
M2	T3	R3	5	5	10	negativo
M2	T3	R4	5	5	10	negativo
M2	T3	R5	5	5	10	negativo

Potabilización y purificación del agua de lluvia

La NOM-127-SSA1-1994 establece que al sobrepasar los límites en las propiedades físicas y organolépticas como el color, olor, sabor y turbiedad se trate el agua mediante

tratamientos de oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración o adsorción en carbón activado.

Así mismo menciona que para eliminar bacterias, helmintos, protozoarios y virus se debe aplicar tratamientos como: la desinfección del agua con cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono o luz ultravioleta o aplicar plata coloidal.

Respecto a los constituyentes químicos como el Al, Fe y Hg establece lo siguiente:

Aluminio: Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.

Fierro: Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.

Mercurio: Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta $10 \mu\text{g L}^{-1}$. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de $10 \mu\text{g L}^{-1}$.

Por la cantidad de gr L^{-1} de Hg presente en el agua ($3 \mu\text{g L}^{-1}$) el filtro con carbón activado es suficiente para eliminarlo.

El tren de tratamiento requerido en las plantas potabilizadora y purificadora de acuerdo al análisis físico, químico y biológico es el siguiente:

Tratamiento de potabilización: La posición de las cisternas, en secuencia escalonada, permitirán la decantación de las partículas finas al pasar de una a otra, encontrándose el agua en la cisterna de menor nivel, se conducirá mediante un hidroneumático a un dosificador de cloro para finalmente se depositarla en un tinaco de 10,000 L de capacidad, el bombeo se realizará en días alternos. Una vez realizada la desinfección con cloro, una parte se podrá conectar a la red de distribución de agua potable existente y la otra se conectará al tren terciario de purificación del agua de lluvia.

Tratamiento de purificación: consistirá en un sistema de tren terciario, que cuenta con: filtro tamiz, filtro de carbón activado, filtros pulidores, ozono y rayos ultravioleta.

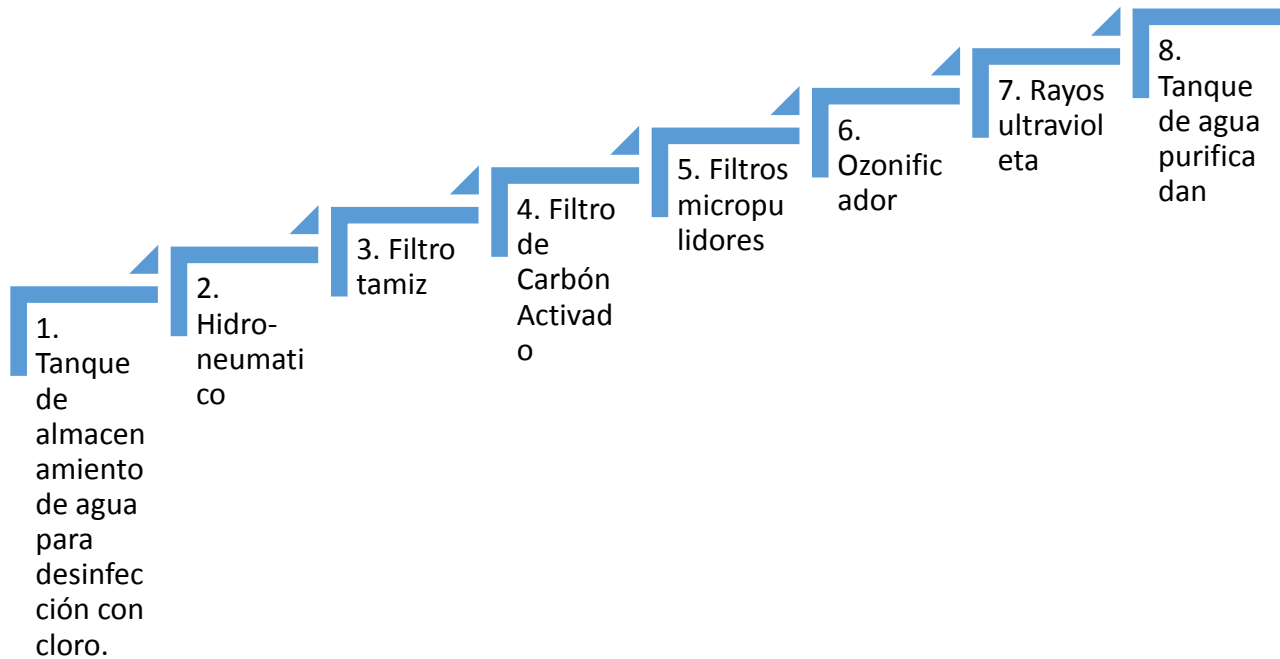


Figura 37. Tren terciario para purificación del agua de lluvia.

Después de que el agua llega al tanque de agua purificada se encuentra lista para efectuar el envasado, llenado y sellado de garrafones.

Para la distribución del agua para consumo humano se manejarán garrafones con capacidad de 19 L, serán necesarios 92 garrafones para cubrir los 1,750 L diarios.

La venta de agua embotellada puede representar una forma de privatización del agua, pues la mayoría de estas propuestas son ejecutadas por empresas extranjeras o por particulares, sin embargo, la propuesta de una planta purificadora en localidades rurales pretende, en primer lugar abastecer la demanda de este vital líquido para satisfacer las necesidades básicas, y como beneficios siguientes crear conciencia en el cuidado sobre el recurso agua, ya que los propios beneficiarios serán los que gobiernen su manejo y distribución. Generando con esta última actividad beneficios a la economía familiar.

El agua de lluvia presenta una calidad adecuada para su consumo, siempre y cuando sigamos desde su captación, almacenamiento, tratamiento y disposición las normas básicas de higiene.

7.11. Continuidad del proyecto

Para asegurar la continuidad del proyecto, se capacitará a personal residente en la comunidad para operar y dar mantenimiento a cada uno de los componentes del sistema de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Así mismo se impartirán talleres de Educación Ambiental en las escuelas para fomentar y fortalecer el cuidado de los recursos naturales, enfatizando el tema del agua.

La comunidad podrá decidir y/u optar por generar sus propios ingresos con el cobro simbólico de cada garrafón del agua de lluvia purificada a un precio menor del que exista en el mercado, con este capital se hará frente a la operación y mantenimiento de cada uno de los componentes del sistema de captación del agua de lluvia.

Costo y financiamiento del proyecto

El costo del proyecto, que garantiza dotar de agua para consumo humano en cantidad y calidad a una población de 500 habitantes será de \$ 3, 090,017.96, amortizado a 10 años. Durante la vida útil del proyecto a una tasa de actualización del 10%, se va a obtener una utilidad neta de \$45,643.00, se recuperará la inversión y se obtendrá una rentabilidad en promedio de 10.27%, por cada peso invertido se tendrá 1.01 centavos de Beneficios.

La fuente de financiamiento puede ser la Fundación Río Arronte, la Fundación brinda el apoyo del 50% del monto total del proyecto, el otro porcentaje lo cubre el municipio, los recursos contemplados por éste son: el terreno, mano de obra y la maquinaria y el equipo para excavación y limpieza del terreno.

VIII. CONCLUSIONES

El establecimiento del SCALL comunitario en el municipio de San Miguel Tulancingo motiva la autogestión del recurso agua entre sus habitantes, al ser una tecnología de participación comunitaria se fomenta la cultura del aprovechamiento eficiente del agua de lluvia.

Considerando la demanda de agua, la precipitación pluvial neta anual (412 mm) y el área efectiva de captación se concluye que es posible satisfacer los requerimientos de agua para consumo humano y complemento del agua para uso doméstico con agua potable y agua purificada en forma continua al municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

La incorporación de paneles solares para bombear el agua de lluvia almacenada disminuye el consumo de energía eléctrica y amplía el conocimiento de los habitantes sobre energías verdes.

El municipio de San Miguel Tulancingo presenta alto nivel de marginación, está enclavado en la región de la Alta Mixteca de Oaxaca, por lo que este proyecto será de carácter detonador y con alto impacto social, cultural, económico y ambiental.

IX. RECOMENDACIONES

Establecer una red estatal de especialistas en captación y aprovechamiento del agua de lluvia con recursos económicos suficientes para diversos usos (consumo humano, uso doméstico, uso industrial, producción en ambientes controlados, control de incendios forestales, consumo animal, producción agrícola, producción acuícola, producción en traspatio).

Instalar en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca una estación climatológica automatizada y una red de pluviómetros y pluviógrafos para evaluar con mayor detalle los eventos de lluvia a través del año.

X. LITERATURA CITADA

- Anaya G.M. 2004. Memorias en español de la XI Conferencia Internacional sobre sistemas de captación de agua de lluvia. COLPOS. Montecillos, Texcoco, Edo. De México.
- Anaya G.M. 2011. Captación del agua de lluvia: Solución caída del cielo. Biblioteca Básica de Agricultura. México D.F. 130 Pp.
- Anaya G.M. 2014. Manual del participante, XXI Diplomado Internacional sobre Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Colegio de Postgraduados, Montecillos Estado de México, 618 Pp. (Formato electrónico)
- Anaya G.M. 2015. Manual del participante, XXIII Diplomado Internacional sobre Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Colegio de Postgraduados, Montecillos Estado de México, 618 Pp. (Formato electrónico)
- Campos Aranda, 1998. Procesos del ciclo hidrológico. Tercera reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. San Luis Potosí.
- CIDECALLI-CP, 2007. 4. Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia. Centro Internacional de Investigación, Demostración, Capacitación y Servicio en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, Colegio de Postgraduados, Estado de México.
- COLPOS-SAGARPA, s/f. Instructivo: Hidrología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas.
- CONAGUA. 2014. Estadísticas Del agua en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, Estado de México.
- FAO, 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- García H., K. Y. 2014. Sistema medico tradicional RRU NGIGUA (Chocho) y el complejo uso de plantas medicinales en San Miguel Tulancingo, Oaxaca. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias. Montecillos, Texcoco, Estado de México.
- García F. 2012. Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Cd. de México. Tesis de Licenciatura. UNAM, Estado de México.
- Herrera M. 2010. Estudio de alternativas, para el usos sustentable del agua de lluvia. Tesis de Maestría. IPN & IMTA. México, D. F.
- Juan M. 2006. Captación, purificación de agua de lluvia para consumo humano. Tesis de Maestría, COLPOS. Montecillos, Texcoco, Edo. De México.
- Plan municipal de Desarrollo 2008- 2017. San Miguel Tulancingo, Coixtlahuaca, Oaxaca. Consejo municipal de Desarrollo Rural Sustentable de San Miguel Tulancingo. 2008.

- Juan, M. 2011. Estrategias para el abastecimiento de agua a comunidades marginadas y urbanas. Tesis de Doctorado. COLPOS, Estado de México.
- Latham, M. 2002. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29. Roma.
- Luszczewski, A. 1999. Redes industriales de Tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores. Diseño y construcción. Reverté Ediciones, S.A de C.V. Barcelona, España.
- Martínez y Gutiérrez, 2003. Maquinas hidráulicas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Pérez Nieto, S/F. Proyecto de Conservación de Suelos y Aguas, y Reconversión Productiva en la Microcuenca "El Arenal", Región Mixteca Oaxaqueña. Depto. de Fitotecnia, UACH.
- Placido y Vargas, 2009. Propuesta de un sistema de control para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis para obtener el grado de ingeniero en la carrera de Ingeniería en control y automatización. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F.
- Rivas, G.M. S/F. Aprovechamiento del agua de lluvia y suelo de arrastre en jollas. Un sistema agrícola alternativo en la Mixteca Oaxaqueña.
- Rivas, G.M. 2008. Caracterización del suelo y uso del agua Mixteca Alta: Jollas y maíces de cajete. Estudio de caso San Miguel Tulancingo, Oaxaca. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, Estado de México.
- COLPOS, 2010. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250,000. Colegio de Postgraduados.
- FAO & WWC, 2015. TOWARDS A WATER AND FOOD SECURE FUTURE Critical Perspectives for Policy-makers

Consultas electrónicas

- AGROENTORNO. 2013. Revista AGROENTORNO, 15. Fundación Produce Veracruz.
Consulta: agosto de 2014 en:
http://www.funprover.org/agroentorno/agro_may013/aguadlluvia.pdf
- ARREGUÍN-CORTÉS, F LÓPEZ-PÉREZ, M., MARENGO-MOGOLLÓN, H. & TEJEDA-GONZÁLEZ, C. Agua virtual en México, Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XXII, no. 4, Octubre-Diciembre, 2007, pp. Consulta: noviembre de 2014 en:
http://cenca.imta.mx/pdf/agua_virtual.pdf
- Bautista R., 2012. Incrementación de envasado de agua y propuesta de automatización Planta purificadora CEA. Memoria que como parte de los requisitos para obtener el título de Ingeniero En Procesos y Operaciones Industriales. Universidad

- Tecnológica de Querétaro. Santiago de Querétaro, Qro. Consulta: Agosto de 2015 en: <http://www.uteq.edu.mx/tesis/IPOI/0161.pdf>
- CAZALAC, 2007. Atlas de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe. Programa Hidrológico Internacional. Consulta: abril de 2014: https://www.imta.gob.mx/conamexphi/images/stories/pdf/atlas_de_zonas_aridas%20de%20alc_final_light.pdf
- CENAPRED. 2015. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Consulta: abril de 2015 en: <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/>
- CEPIS, 2001. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Organización Panamericana de la Salud. Consulta: abril de 2014 en: <http://www.aguasinfronteras.org/PDF/AGUA%20DE%20LLUVIA.pdf>
- CEPIS, 2005. Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores. Organización Panamericana de la Salud. Lima. Consulta: mayo de 2015 en: <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/626/1/BVCI0000577.pdf>
- COLPOS-SAGARPA. s/f. Diseño Hidráulico de un Canal de Llamada. Consulta: mayo de 2015 en: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA_CANAL%20DE%20LLAMADA.pdf
- CONAGUA. 2007. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de instalaciones mecánicas. Coyoacán, México. Lima. Consulta: agosto de 2015 en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/09DisenoDeInstalacionesMecanicas.pdf>
- CONAGUA.S/F. El agua virtual y la huella hídrica. Consulta: octubre de 2015 en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Infograf%C3%ADa%20Huella%20H%C3%ADdrica.pdf>
- CONAGUA. 2009. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. SAGARPA. Consulta: meyo de 2014 en: <http://www.conagua.gob.mx>
- European hydration Institute. 2012. Hidratación. Importancia de la hidratación. Consulta: diciembre de 2015 en: <http://www.europeanhydrationinstitute.org/es/hydration.html>
- CONEVAL, 2012. Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social. Consulta: abril de 2014 en: http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Informes_pobreza/2014/Estados/Oaxaca.pdf

- FAOSTAT, 2015. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Dirección de estadística. Consulta: octubre de 2015 en: <http://faostat3.fao.org/download/O/OA/S>
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>
- Jiménez-Cisneros, 2014. Responding to the challenges of Water Security: the Eighth Phase of the International Hydrological Programme 2014–2021. Secretary, International Hydrological Programme and Director of the Division of Water Sciences, UNESCO, Paris. Consulta: octubre de 2015 en: <https://www.imta.gob.mx/conamexphi/images/stories/images-2014/pdf/hydrological-sciences-water-security.pdf>
- Hernández M., F. s/f Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. Consulta: diciembre de 2013 en: http://licenciatura.iconos.edu.mx/k_angi/nueva/tienda/biblioteca/Manual%20Captacion%20de%20agua%20de%20lluvia.pdf
- Hernández Sánchez, et al. 2011. Trihalometanos en aguas de consumo humano. Revista de Toxicología, Vol. 28 núm. 2, pp. 109-114. Consulta: enero de 2016 en: <http://redalyc.org/articulo.oa?id=91922431001>
- Howard G, Bartram J. 2003. Domestic water quantity, service level and health. Geneva, World Health Organization. Consulta: mayo de 2014 en: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- INEGI, 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Miguel Tulancingo, Oaxaca Clave geoestadística 20287. Consulta: diciembre de 2013 en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/20/20287.pdf>
- INEGI, 2013. Censo de Población y Vivienda. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y GEOGRAFIA. Consulta: enero de 2014 en: <http://www.inegi.org.mx/>
- INEGI, 2014. Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca 2014. Consulta: octubre de 2015. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/anuario_14/702825066635.pdf
- INGESA, 2008. Informe Técnico: Antecedentes de la desinfección con cloro de los residuos líquidos de plantas de matanza y proceso de salmónidos y sus efectos de formación y evolución de compuestos organoclorados. Ingeniería y Gestión de Sistemas Ambientales LTDA. Santiago, Chile. Consulta: julio de 2014 en http://www.sinia.cl/1292/articles-48292_ex_16.pdf
- Impluvium, 2014. Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM. Número 1, Abril - Junio 2014. Consulta: Febrero de 2015 en <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>

- Mott, 1996. Mecánica de Fluidos aplicada. Prentice Hall Hispanoamericana S. A. 4ta. Edición. Naucalpan de Juárez, Estado de México. Consulta octubre de 2015 en: <https://books.google.com.mx/books?id=xUavR0u66PEC&pg=PA257&dq=flujo+en+tuber%C3%ADas+swamee+y+jain+%2B+diametro&hl=es-419&sa=X&ei=2K2IVaaXJYPHsAW9kpmoDA&ved=0CC8Q6AEwBA#v=onepage&q=rugosidad&f=false>
- NOM-160-SSA1-1995. Norma Oficial Mexicana NOM-160-ssa1-1995, bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada. Consulta: julio de 2014 en: <http://amavizca.com.mx/descargas/NOM-160-SSA1-1995.pdf>
- OCDE (2012), Gobernabilidad del Agua en América Latina y el Caribe: Un enfoque multinivel. Éditions OCDE. Consulta: octubre de 2014 en: <http://books.google.com.mx/books?id=wKHqBbnxgaEC&pg=PA15&dq=agua+y+bienestar+social&hl=es&sa=X&ei=bOchU7OBNKauyAGovYHQAAQ&ved=0CEwQ6AEwBg#v=onepage&q=agua%20y%20bienestar%20social&f=false>
- OCDE (2012). Perspectivas ambientales de la OCDE hacia 2050. Consecuencias de la inanición. Consulta: marzo de 2012 en: www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49884278.pdf
- ONU, 2014. Un objetivo global para el agua post-2015: síntesis de las principales conclusiones y recomendaciones de ONU-Agua. Consulta: noviembre de 2015 en: http://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/es/detallePer_Onu?id=949
- ONU, 2015. Promoción y protección de todos los derechos humanos, civiles, políticos, económicos, sociales y culturales, incluido el derecho al desarrollo. Consejo de Derechos Humanos. Asamblea General. Consulta: diciembre de 2015 en: http://ap.ohchr.org/documents/S/HRC/d_res_dec/A_HRC_28_L27.pdf
- ONU. Departamento de asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. El derecho humano al agua y al saneamiento. 7 de febrero de 2014. Consulta: mayo de 2014 en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- ONU s/f. El derecho al agua. Folleto informativo No 35. Organización de las Naciones Unidas. Consulta octubre de 2014 en: <http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>
- Ortuño Sánchez, 2005. El lado oculto de los alimentos y cosméticos. Aiyana. Consulta julio de 2014 en: <https://books.google.com.mx/books?id=D05E519eSDMC&pg=PA95&dq=sales+necesarias+en+el+agua+bebida&hl=es-419&sa=X&ei=5wabVa2OJJWAYgTy1oKYDw&ved=0CCQQ6AEwAA#v=onepage&q=sales%20necesarias%20en%20el%20agua%20bebida&f=false>
- Palacio C., N. 2010. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Consulta marzo de 2015 en:

<http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluviaAlternativaAhorroAguaPotableInstitucionEducativaMari aAuxiliadoraCaldas.pdf>

- PanaChlor, 2015. Microfiltración, Ultrafiltración, Nanofiltración y Ósmosis Inversa. Consulta: diciembre de 2015 en: <http://panachlor.com/microfiltracion-ultrafiltracion-nanofiltracion-y-osmosis-inversa/>
- Pardo A., L. s/f. Flujo en tuberías. Consulta: julio de 2014 en: <http://es.slideshare.net/jesusfbf/flujo-tuberias-cap-3-y-4>
- Periódico milenio, 2012. Óscar Rodríguez, 29 de marzo. Consulta: marzo de 2014 en: <http://www.milenio.com/>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2012. Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Consulta: julio de 2014 en: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), CONAGUA, 2015. Consulta: julio de 2015 en: <http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>
- Sánchez, Zafra. A. 2008. Efectos de los trihalometanos sobre la salud. Higiene y Sanidad Ambiental, 8: 280-290 (2008). Consulta: diciembre de 2015 en: [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018a2311531_Hig.Sanid.Ambient.8.280-290\(2008\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018a2311531_Hig.Sanid.Ambient.8.280-290(2008).pdf)

ANEXOS

Prueba presuntiva- Coliformes totales

Material necesario por muestra de agua: un frasco de vidrio estéril, 5 tubos de ensayo con 9.9 ml de caldo laurel sulfato concentración normal más dos gotas de solución indicadora de purpura de bromocresol, 5 tubos de ensayo con 9 ml de caldo laurel sulfato concentración normal más dos gotas de solución indicadora de purpura de bromocresol, 5 tubos con 5 ml de caldo laurel sulfato de concentración doble más una gota de solución indicadora de purpura de bromocresol, una pipeta de 5 ml, dos pipetas de 1 ml, una Campana de Durham por cada tubo de ensayo.

Preparación del medio Caldo Laurel Sulfato, para dos muestras de agua

El frasco indica pesar 35.6 gr del reactivo por cada 1000 ml de agua destilada. Se pesaran 7.12 gr de reactivo y disolverán en 200 ml de agua, se repartirán en los 20 tubos de ensayo de la siguiente manera: 9.9 ml en cada uno de los 10 primeros tubos y 9 ml en los siguientes 10 tubos. Para preparar el medio a concentración doble se pesaran 2.136 gr para disolver en 60 ml de agua y repartir 5 ml en cada uno de los últimos 10 tubos de ensayo. Antes de colocar la solución en los tubos se colocará una Campana de Durham en cada tubo de ensayo.

Para preparar la solución indicadora, se disolverán 0.2 gr de Purpura de Bromocresol en 25 ml de agua destilada.

Posteriormente a tapar cada tubo de ensayo se colocaran en bolsas de papel estraza, y las pipetas dentro de papel aluminio, para meter a esterilizar.

Inoculación del medio

Una vez tomada las muestras de agua, en un tiempo no mayor a dos horas se realizará la inoculación del medio. Para asegurar las condiciones de asepsia se instalaran 3 mecheros o lámparas de alcohol en el perímetro del área de trabajo.

Incubación de los tubos

Se colocaran los tubos en una incubadora a 36 °C durante 7 días.