



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**Aplicación y evaluación de tecnologías apropiadas para abastecer y
mejorar la calidad del agua en comunidades periurbanas**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Maestra en Tecnología y Gestión del Agua

Presenta:

Ing. Nancy Lorena Perez Ramos

Asesor:

Dr. Rodolfo Cisneros Almazán

San Luis Potosí, S. L. P.

Noviembre de 2018



A Dios

Por todos las bendiciones recibidas y por permitirme el haber llegado hasta este momento de mi formación profesional.

A mis padres

Por el apoyo incondicional que me brindan en cada paso de mi vida.

A mi esposo y mi hijo Mateo

Por la motivación y el apoyo brindados, a mi hijo por ayudarme a ser una mejor persona, tu cariño, tus sonrisas y tus ocurrencias me dan la fuerza de buscar lo mejor para nosotros.

A mi hermana

Por todo el cariño que le brindas a mi hijo y por tu tiempo dedicado para lograr este proyecto.

A mis hermanos

Por estar presentes en cada logro y por todos los bonitos momentos que pasamos juntos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por becarme para la realización de mis estudios a nivel maestría.

Al Dr. Rodolfo Cisneros Almazán por permitirme trabajar bajo su dirección, por la orientación, por el apoyo y por haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo.

A mis asesores el Dr. Luis Armando Bernal Jácome y el Dr. Clemente Rodríguez Cuevas por sus observaciones y correcciones para el mejoramiento de este trabajo.

Al Dr. Marcos Algara Siller por el financiamiento brindado.

Al M.I. Zoe Arturo Guadiana Álvarado por sus comentarios y sugerencias que fueron de gran ayuda.

Al Posgrado de Tecnología y Gestión del Agua por la formación académica recibida.

A don Inés y doña Roberta por permitirme realizar este proyecto en su hogar además de su colaboración durante todo el proceso.

CONTENIDO

RESUMEN

LISTADO DE FIGURAS

LISTADO DE CUADROS

Introducción.....	1
Antecedentes.....	3
Justificación	5
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
CAPÍTULO 1. Las comunidades periurbanas, escasez de agua y su relación con las tecnologías apropiadas en materia de aprovechamiento del agua.....	7
Importancia de las zonas periurbanas.	7
La agricultura periurbana en la actualidad.	8
Generalidades de las Tecnologías Apropiadas.	9
Descripción de las Tecnologías Apropiadas a implementar	12
Captación de agua de lluvia.	12
Humedal.....	13
Huerto de traspatio.....	15
Conflictos y problemáticas sociales del abastecimiento de agua.	15
CAPÍTULO 2. Estudios previos para la implementación de las tecnologías apropiadas. 17	
Situación de los recursos hídricos en la comunidad.....	17
Condición económico-social en la comunidad.....	17
Estudio hidrológico	21
Diseño de las Tecnologías Apropiadas	22

Captación de agua de lluvia.....	22
Humedal.....	29
Huerto familiar	32
Análisis socioeconómico.....	33
CAPÍTULO 3. Implementación de tecnologías apropiadas. Caso de estudio: comunidad de San Juanico Chico, S.L.P.	37
Área de estudio.....	37
Ubicación del estado de San Luis Potosí.....	37
Localización del municipio de San Luis Potosí.....	38
Localización de San Juanico Chico.....	39
Diagnóstico de la situación actual en materia de los recursos hídricos en la comunidad de San Juanico Chico.	40
Medio físico de San Juanico Chico.	40
Análisis de la problemática.....	43
Encuestas a pobladores de la comunidad.	47
Análisis hidrológico	49
Precipitación Media (Pm).	49
Análisis estadístico de precipitación.....	52
Diseño de tecnologías apropiadas.....	56
Captación de agua de lluvia.....	56
Almacenamiento	59
Balance hídrico	65
Diseño de líneas de conducción.	66
Diseño de humedal artificial.	71
Sistema de agricultura de traspatio	77

Análisis costo - beneficio	79
Evaluación económica privada.....	79
Evaluación económica social.	81
CAPÍTULO 4. Análisis y evaluación de las tecnologías apropiadas aplicadas. .	87
Evaluación económica SCALL vs. Red de abastecimiento.....	87
Balance hídrico para el área del invernadero	90
Medición de volúmenes de captación y eficiencia	91
Calidad del agua de las tecnologías apropiadas	93
Determinación del requerimiento de riego	96
Conclusiones.....	102
Referencias	104

RESUMEN

La escasez y contaminación del agua afecta en mayor magnitud a las comunidades marginadas, las cuales se concentran en su mayoría en zonas rurales y zonas periurbanas. Con el propósito de contribuir al problema de acceso al agua en comunidades periurbanas, el proyecto consistió en diseñar, implementar y evaluar tres tecnologías apropiadas en materia de agua y saneamiento que constan de: sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL), huertos familiares para producción de hortalizas y un humedal para tratamiento de aguas negras. El trabajo se realizó en una casa habitación de la comunidad periurbana San Juanico Chico perteneciente al municipio de San Luis Potosí, S.L.P. México. En esta comunidad, el 100% de sus habitantes no cuenta con agua entubada ni drenaje sanitario en las viviendas.

El proyecto inició con visitas de campo y entrevistas a habitantes de la comunidad para obtener el diagnóstico de la situación actual en materia de los recursos hídricos de la misma. Después, mediante encuestas a los pobladores se analizó la situación en la que viven, su nivel educativo y si existen enfermedades causadas por el agua. También se realizó el diseño y la construcción de las tecnologías apropiadas con base en un estudio hidrológico y las características físicas de la casa habitación.

Finalmente, se evaluó de la calidad fisicoquímica y biológica del agua almacenada en la cisterna, del agua a la entrada del humedal y parámetros de productividad agrícola. También se realizó un análisis Costo-Beneficio mediante la identificación, cuantificación y valoración de los costos de construcción de las tecnologías apropiadas y los beneficios de la propuesta que incluyen los costos de ahorro en consumos de agua en sus diferentes usos, incluida la requerida para la producción de alimentos.

Se considera que el modelo propuesto puede replicarse en el resto de la comunidad y en otras comunidades con condiciones similares.

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1 Humedal artificial de flujo subsuperficial (Comisión Nacional del Agua, 2016d).....	14
Figura 3-1 Localización de San Luis Potosí	38
Figura 3-2 Localización de San Luis Potosí, San Luis Potosí.	39
Figura 3-3 Ubicación de San Juanico Chico en San Luis Potosí, S.L.P.....	39
Figura 3-4 Red de distribución principal	43
Figura 3-5 Pozo de agua existente.....	44
Figura 3-6 Tanque de agua.....	44
Figura 3-7 Vertido de agua del lavado de los trastes.....	46
Figura 3-8 Vertido de agua del lavado de la ropa.....	47
Figura 3-9 Entrevistas a los habitantes de la comunidad.....	49
Figura 3-10 Estaciones climatológicas cercanas al área de estudio.....	50
Figura 3-11 Polígonos de Thiessen.....	51
Figura 3-12 Curva P-D-Tr.....	55
Figura 3-13 Curva I-D-Tr	56
Figura 3-14 Climatología anual de precipitación media.....	57
Figura 3-15 Invernadero particular.....	58
Figura 3-16 Área de captación disponible.....	59
Figura 3-17 Plano de casa-habitación.....	60
Figura 3-18 Volumen máximo de almacenamiento	63
Figura 3-19 Volumen máximo de almacenamiento con huerto de traspatio.....	64
Figura 3-20 Ubicación de cisterna a construir.....	65
Figura 3-21 Plano de líneas de conducción.....	67
Figura 3-22 Recorrido de líneas de conducción.....	68
Figura 3-23 Intensidad de diseño	69
Figura 3-24 Líneas de conducción instaladas.....	71
Figura 3-25 Tuberías de conducción.....	74
Figura 3-26 Lugar donde se va a construir el de humedal.....	74
Figura 3-27 Construcción de trampa de grasas.....	75

Figura 3-28 Conexión del agua residual perteneciente al lavado de los trastes. ..	75
Figura 3-29 Dimensiones del humedal.	76
Figura 3-30 Corte longitudinal del humedal.....	77
Figura 3-31 Humedal en funcionamiento.	77
Figura 3-32 Producción de hortalizas en el invernadero de traspatio.....	78
Figura 3-33 Excedente del consumidor para el caso de estudio.	84
Figura 4-1 Flujo VAN de líneas de conducción vs. SCALL	89
Figura 4-2 Equipo de medición para sulfatos	93

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 2-1 Formato de encuesta.....	17
Cuadro 2-2 Balance hídrico.....	24
Cuadro 2-3 Coeficiente de esorrentía.....	26
Cuadro 2-4 Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial (Comisión Nacional del Agua, 2016b).	28
Cuadro 2-5 Modelo para iteración para la obtención del diámetro de diseño.	29
Cuadro 2-6 Composición típica de las aguas residuales domésticas.....	30
Cuadro 2-7 Límites máximos permisibles de contaminantes.	31
Cuadro 3-1 Índice de marginación.	42
Cuadro 3-2 Resumen de entrevistas realizadas a una muestra de la población (parte 1).....	47
Cuadro 3-3 Resumen de entrevistas realizadas a una muestra de la población (parte 2).....	48
Cuadro 3-4 Resumen de entrevistas realizadas a una muestra de la población (parte 3).....	48
Cuadro 3-5 Estimación de datos faltantes.....	51
Cuadro 3-6 Comparativa de métodos de distribución de probabilidad.	53
Cuadro 3-7 Precipitaciones de 24 hr para diferentes Tiempos de retorno (Tr), con una distribución de probabilidad Log-Pearson.	53
Cuadro 3-8 Valores obtenidos P-D-Tr	54
Cuadro 3-9 Valores I-D-Tr	55
Cuadro 3-10 Precipitación promedio mensual para la zona de estudio.	56
Cuadro 3-11 Precipitación neta	57
Cuadro 3-12 Demanda mensual de agua por vivienda.	58
Cuadro 3-13 Demanda mensual de agua por invernadero	58
Cuadro 3-14 Área de captación.....	59
Cuadro 3-15 Máximo volumen de almacenamiento.	61
Cuadro 3-16 Volúmenes y dimensiones de cisterna tipo capuchina.	62
Cuadro 3-17 Demanda de agua estimada para huerto de traspatio.....	64

Cuadro 3-18 Análisis hídrico: caso de estudio.	66
Cuadro 3-19 Resumen de valores para obtener el gasto de diseño.	69
Cuadro 3-20 Resumen de valores para obtener el diámetro de tubería.....	70
Cuadro 3-21 Tirante normal circular.....	70
Cuadro 3-22 Recopilación de datos para el diseño del humedal.	71
Cuadro 3-23 Determinación del área superficial	72
Cuadro 3-24 ingresos del primer ciclo de cultivo.....	78
Cuadro 3-25 Gastos considerados para la corrida financiera	79
Cuadro 3-26 Beneficios esperados	79
Cuadro 3-27 Consumo doméstico en el medio rural.	82
Cuadro 3-28 Balance hídrico para excedente del consumidor.....	83
Cuadro 3-29 Costo de agua para el consumo de proyecto	83
Cuadro 3-30 Recopilación de datos	85
Cuadro 3-31 Indicadores financieros.....	86
Cuadro 4-1 Gastos de líneas de conducción	87
Cuadro 4-2 Beneficios de red hidráulica	88
Cuadro 4-3 Comparación de indicadores financieros.....	90
Cuadro 4-4 Balance hídrico para el área del invernadero.....	91
Cuadro 4-5 Precipitación medida en pluviómetro.....	91
Cuadro 4-6 Estimación de la eficiencia de la captación de agua de lluvia.	92
Cuadro 4-7 Estimación de la eficiencia de la captación del agua de lluvia (2 ^{da} revisión).....	92
Cuadro 4-8 Análisis físico, químico y bacteriológico encontrada en el agua de cisterna y su cumplimiento según la NOM-127-SSA1-1994.....	94
Cuadro 4-9 Límites permisibles de características bacteriológicas	95
Cuadro 4-10 Análisis físico, químico y bacteriológico de muestra de agua a la entrada del humedal.....	95
Cuadro 4-11 Cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996	96
Cuadro 4-12 Datos de proyecto para la determinación de la Et'	97
Cuadro 4-13 Porcentajes de hora luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al número total de un año (P).	98

Cuadro 4-14 Coeficientes de desarrollo de Kc para usos consuntivos.	98
Cuadro 4-15 Cálculo de la evapotranspiración para el cultivo de alfalfa	99
Cuadro 4-16 Volumen de agua gris estimado a la entrada del humedal artificial	100
Cuadro 4-17 Requerimiento de riego	100

Introducción.

La población mundial está incrementándose rápidamente, según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) está previsto que sean más de 8,500 millones de personas para el año 2030 (Naciones Unidas, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015), lo que ocasionará un aumento importante en la presión sobre los recursos hídricos.

Según la Organización Mundial de la Salud (Organizacion Mundial de la Salud, 2015), actualmente en el mundo, más de 663 millones de personas no cuentan con acceso a una fuente mejorada de agua potable, mientras que a 2,400 millones de personas les hace falta saneamiento mejorado.

En México, la cobertura nacional de acceso al agua entubada es de 97.8% para zonas urbana y 87.0% en zonas rurales, en tanto que la cobertura nacional de alcantarillado a red pública o fosa séptica es del 96.6% y 74.2% respectivamente (Comision Nacional del Agua, 2016).

En el estado de San Luis Potosí para el 2015, de cada 100 ocupantes de las viviendas:

- 89 cuentan con agua entubada; de ellos 71% la tiene dentro de la vivienda.
- 11 ocupantes disponen de agua por acarreo, principalmente de un pozo.
- 86 cuentan con drenaje en sus viviendas; de ellos, 71% cuenta con desalojo a la red pública (INEGI, 2016).

Por su parte, Guevara Sanginés, Soto Montes de Oca, & Lara Pulido (2010), señalan que los impactos de la escasez y contaminación del agua afectan a grandes sectores de la población, pero inciden de manera desproporcionada en los pobres. La relación agua-pobreza es de mayor importancia desde el punto de vista de salud pública y equidad social.

Muchos de los habitantes pobres se concentran en las zonas periurbanas donde además del uso doméstico, emplean el agua para la agricultura, practicando la agricultura periurbana como medio de subsistencia y estrategia para sobrevivir.

Así, con el propósito de contribuir al problema de acceso al agua, se han desarrollado diversas tecnologías denominadas Tecnologías Apropriadas para dar solución a los problemas hídricos de las comunidades marginadas; que se basan principalmente en la captación y almacenamiento de agua para uso doméstico, consumo humano y uso productivo; y en el tratamiento de aguas grises y negras que ayudan a evitar el deterioro de las condiciones medioambientales, con soluciones sostenibles y aceptadas por los usuarios.

El caso de estudio del presente trabajo se sitúa en la comunidad periurbana San Juanico Chico perteneciente al municipio de San Luis Potosí, México, donde el 100% de sus habitantes no cuenta con agua entubada ni drenaje sanitario en sus viviendas.

En esta comunidad, hace algunos años el abastecimiento de agua se realizaba por medio de un pozo profundo pero debido a conflictos internos entre habitantes, ocasionaron la desorganización que puso fin al acceso colectivo de agua y ahora el abasto de agua es por camiones cisternas (pipas).

Para minimizar los efectos adversos producidos por la escasez de agua en San Juanico Chico se pretende implementar, optimizar y evaluar tres Tecnologías Apropriadas en materia de agua y saneamiento, que son:

1. Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)
2. Humedal para tratamiento de aguas negras
3. Huertos familiares para producción de hortalizas

Antecedentes.

A continuación, se describe la situación actual de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL's).

El aprovechamiento de agua de lluvia es un sistema muy antiguo, pero olvidado por muchos años. Los primeros intentos más relevantes de captación o cosecha de aguas datan de 4.000 años o más en el desierto de Negev, en Israel y Jordania, estos sistemas consistían en el desmonte de lomeríos para aumentar la escorrentía superficial, que era entonces dirigida a predios agrícolas en las zonas más bajas (Ballen Suarez, Galarza García y Ortiz Mosquera, 2006). Los sistemas de captación de agua de lluvia están teniendo mayor auge, ya sea para uso doméstico, consumo humano, uso agropecuario, o bien para infiltración al subsuelo y recarga de acuíferos.

Diversos autores han investigado el aprovechamiento del agua de lluvia en zonas rurales, alrededor del mundo por ejemplo: Arboleda Montaña (2016), en la Comunidad Negra de los Lagos, Buenaventura Colombia; Biswas & Mandal (2014) en Khulna, Bangladesh; Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños, & Martínez-Coto (2012) en la zona Sur del Distrito Federal; Parada Molina & Cervantes Pérez (2017) en la ciudad de Xalapa, Veracruz (México), etc. El agua de lluvia puede ser considerada como un recurso hídrico alternativo para satisfacer las necesidades de agua potable en temporada de estiaje.

En África se implementó el programa “captación de agua de lluvia para la agricultura en África” WAHARA por sus siglas en inglés (Water Harvesting for Rainfed Africa), en áreas rurales de cuatro países representativos que aun dependen en gran medida de la agricultura; Túnez en el norte, Burkina Faso en el oeste, Zambia en el sur y Etiopía en el este, de esta manera desarrollar soluciones aplicables a todo el continente. Los resultados obtenidos establecen que la captación de agua de lluvia es funcional para la agricultura en África, si se evalúan

los ajustes a las condiciones locales además de los recursos limitados a los que se va a enfrentar la población (Hessel et al., 2016).

En el sur de Asia seleccionaron seis países en desarrollo como la región de estudio (Bangladesh, India, Pakistán, Nepal, Bhután y Sri Lanka), el estudio demostró que los hogares en el noreste de la India pueden satisfacer la demanda de agua potable durante todo el año utilizando un embalse de 4m^3 . Un embalse de 8m^3 puede satisfacer la demanda de agua potable en la mayor parte del sur de Asia. Sin embargo, la mayoría de las regiones de Pakistán, el norte y el oeste de la India no son favorables a la lluvia (Mahmood y Hossain, 2017)

En Lilongwe, Malawi Central se realizó un estudio donde se muestrearon poblaciones periurbanas, encontrando que se usaban entre 21 y 25 (menos de la cantidad mínima recomendada por la OMS) litros de agua por persona por día, también se encontró que las comunidades periurbanas estaban dispuestas a pagar o contribuir al desarrollo de fuentes adicionales de agua; esto no era necesariamente para obtener agua gratis, sino para reducir el trabajo pesado asociado con levantar y traer agua de fuentes distantes. Se evaluó la calidad del agua de lluvia para uso doméstico favorablemente y se lograron construir tres sistemas de captación con ayuda de los artesanos de cada comunidad (Mloza, Chikuni, y Singa, 2006).

Australia encabeza a nivel mundial, el desarrollo de los sistemas de captación, acumulación, y uso de las aguas lluvias, a través de políticas de aprovechamiento, conjunta con incentivos tributarios y conciencia ambiental. Estados Unidos, China, Japón, Indonesia, Alemania, España, Francia, Nigeria, Zambia, Kenia, y Sudáfrica también han logrado experiencias exitosas relacionadas a la normativa exclusiva del uso de esta práctica (Carrasco, 2016).

En México la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a partir del año 2016, ofrece el Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR), en el que financia proyectos de recolección de agua de lluvia en zonas rurales marginadas con lluvias anuales acumuladas

iguales o mayores a 1,500 mm, teniendo como premisa adicional la instalación en paralelo de un sistema de tratamiento de aguas residuales a nivel vivienda (Comisión Nacional del Agua, 2017).

El IMTA en el año 2017 publicó el manual “Agua y saneamiento en zonas periurbanas. Manual de planeación participativa con enfoque de género”, el cual propone aportar elementos para atender las problemáticas específicas de las zonas periurbanas relacionadas con el agua y el saneamiento desde un enfoque de género y participación social. Se parte de la convicción de que las soluciones no serán eficientes ni duraderas si no incorporan los conocimientos, necesidades e intereses de la población a quienes, teóricamente, se busca beneficiar (Soares y Salazar, 2017).

Otro antecedente inmediato a este trabajo fue en la comunidad de Palo Seco, municipio de Villa Juárez, San Luis Potosí, con la finalidad de aumentar el volumen y la calidad de agua disponible para uso doméstico y de consumo humano, en donde instalaron ocho tecnologías apropiadas (captación de agua de lluvia, cisterna capuchina, lavadero ecológico, sanitario ecológico seco, huertos familiares, filtro de flujo lento, tanque regulador de nivel y una bici bomba) con gran aceptación por parte de los habitantes e impactos técnicos, sociales y ambientales. El abastecimiento y saneamiento en general resultaron muy altos y satisfactorios, mejorando la calidad de vida de los pobladores, de ahí que se considere una guía para trabajos futuros en zonas con condiciones desfavorecidas similares (Díaz de León Zavala, 2017).

Justificación

Las actividades agrícolas en los espacios periurbanos forman parte importante de las estructuras económicas, sean locales, regionales e incluso nacionales (Ávila Sánchez, 2004).

Sin embargo en zonas con conflictos sociales donde a veces no se tiene acceso al agua ni siquiera para consumo humano, la práctica agrícola se va desapareciendo.

Este trabajo plantea utilizar Tecnologías Apropriadas para el abastecimiento de agua en zonas de conflicto social y que puedan ayudar a mejorar la seguridad alimentaria. A si mismo poder aplicar soluciones encontradas en este proyecto a situaciones similares.

Objetivo general

Implementar y evaluar Tecnologías Apropriadas en materia de agua para uso doméstico, consumo humano y agricultura de traspatio, en la comunidad San Juanico Chico municipio de San Luis Potosí.

Objetivos específicos

1. Elaborar un diagnóstico de la situación actual en materia de los recursos hídricos de la comunidad.
2. Analizar la condición económico-social mediante encuestas a miembros de la comunidad.
3. Adecuar el diseño, construir e instalar las Tecnologías Apropriadas según las condiciones particulares de la comunidad.
4. Evaluar las tecnologías apropiadas con parámetros socioeconómicos.
5. Evaluar la cantidad y calidad de agua obtenida mediante análisis fisicoquímicos.

CAPÍTULO 1. Las comunidades periurbanas, escasez de agua y su relación con las tecnologías apropiadas en materia de aprovechamiento del agua.

Importancia de las zonas periurbanas.

Ives & Kendal (2013) citando a Buxton et al., (2006), señalan que el paisaje periurbano es la región de las ciudades definidas espacial y funcionalmente por su relación íntima con las áreas metropolitanas urbanas cercanas y el interior rural; y que son zonas de transición que experimentan desplazamientos proporcionales al crecimiento de la ciudad. Es decir, son zonas principalmente rurales que poco a poco se van urbanizando.

El proceso de la periurbanización se desarrolla sobre un territorio en el que avanza la urbanización, pero en el que permanecen la producción de vegetales, la cría de ganado y el uso de la naturaleza para el desarrollo de actividades del ocio. De esta manera la periurbanización es una disputa por un espacio, entre los habitantes de dos ámbitos territoriales diferentes, el rural y el urbano; ambos poseen inicialmente, formas distintas de vivir, de producir, de pensar, es decir, formas diferentes de aprehender el espacio que ocupan (Ávila Sánchez, 2004).

Por su parte, Hernández-Flores et al., (2009), menciona que bajo las condiciones actuales parecería más propicio aludir el desplazamiento de las zonas periurbanas en México a procesos derivados de la concentración económica, la crisis del sector agrícola, el crecimiento demográfico, la migración hacia los centros urbanos, el encarecimiento y nulo acceso al suelo urbano, la irregularidad de la tierra y la pobreza como factores explicativos del fenómeno periurbano en México.

En el espacio periurbano de México se tiene una gran diversidad en lo que se refiere a las expresiones en cada región. Podemos tener barrios de población de altos ingresos colindando con zonas marginales, muy pobres, desde las viviendas que se erigen con materiales de desecho, hasta las construcciones que cumplen

con las formalidades arquitectónicas mínimas; al mismo tiempo coexisten las actividades informales, con las prácticas agrícolas (Ávila Sánchez, 2001).

Algunos beneficios de las zonas periurbanas: regulación climática, biodiversidad y servicios a los sistemas sociales y económicos entre los que se encuentran: la localización del mercado, distribución de la producción local y regional de alimentos, y servicios para la producción agrícola (Bisogni, Colucci, y Gioia, 2017).

Además, se practica la agricultura familiar para la producción de alimentos de autoconsumo o bien para integrarse a los mercados productivos, a su vez ayuda a contener la expansión urbana y asegurar la protección de los suelos fértiles de la agricultura.

La agricultura periurbana en la actualidad.

Según la FAO la agricultura urbana y periurbana puede garantizar el suministro de alimentos en las mismas y fortalecer los medios de subsistencia de los productores urbanos. Suministra a los mercados urbanos una amplia gama de productos, que debido a la cercanía con la ciudad los costos por almacenamiento y transporte se reducen.

En la práctica agrícola se manifiesta claramente un conflicto que en distintos ámbitos genera el contacto de lo rural con lo urbano. Este conflicto responde a modos de funcionamiento diferentes, en los que tanto el sistema rural como el urbano buscan mantenerse activos. Se desarrolla una nueva coherencia en la que, si bien está presente la agricultura, la lógica de operación urbana mantiene la dominancia, con la tendencia permanente a avanzar sobre el espacio rural. Así, todo territorio no urbanizado y contiguo a la ciudad se convierte en objeto potencial de anexión, que interesa sólo por su valor urbanístico. De ahí el carácter marginal que se le da a la agricultura en las zonas periurbanas: no está desligada totalmente del espacio rural, pero tienen una dependencia muy grande respecto del sistema urbano; por ello se considera que, en los espacios agrícolas sujetos a una fuerte presión urbana, la agricultura no mejora o construye ningún sistema, sino que está al margen (Ávila Sánchez, 2004).

Algunos beneficios de la agricultura urbana y periurbana son: ayuda en una pequeña escala en el reciclaje de aguas residuales debido al uso en el riego; suministro de hortalizas de hoja perdedera, más comunes debido al tiempo de comercialización corto; oportunidades de empleo urbano; mitigación de inundaciones; y puede usarse como un medio para controlar el crecimiento urbano. El restablecimiento de áreas agrícolas abandonadas siempre que todavía haya algún vestigio de estructura agrícola (edificios, muros de piedra seca, riego tradicional, etc.) puede ser útil para prevenir la degradación ambiental (Russo, Tomaselli, y Pappalardo, 2014).

Los principales retos que se presentan son: acceso al agua y la tierra; medio ambiente contaminado por la industria y actividades domésticas; limitación de su impacto negativo en el medio ambiente; falta de políticas en las ciudades para ayudar a regular la agricultura urbana; y falta de conocimiento de tecnología existente.

Además la expansión urbana continúa tomando tierras agrícolas para convertirlas en un entorno de construcción, otra parte se convierten en áreas de conservación de la naturaleza (Dieleman, 2017).

La práctica de la agricultura periurbana requiere que el sector agrícola sea más capacitado y mirar de cerca sus necesidades, es necesario crear conciencia entre las autoridades de su importancia debido a razones sociales, sanitarias y de gestión de la tierra.

Generalidades de las Tecnologías Apropriadas.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), desde hace más de 20 años realiza proyectos para el diseño, adaptación y transferencia de tecnología para el abastecimiento mediante sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL), tanto a nivel de viviendas como a nivel comunitario. La implementación de los SCALL por parte del IMTA en México se realiza generalmente, en el marco de programas para la recuperación ambiental de cuencas. Entre las regiones atendidas se incluyen:

- La cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán.
- La región Huasteca de San Luis Potosí, San Luis Potosí.
- La región de los Altos de Morelos, Morelos.
- La cuenca del río Apatlaco, Morelos.
- Península de Yucatán (tres estados: Campeche, Yucatán y Quintana Roo).

Como áreas demostrativas de tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua, se han implementado en viviendas de localidades ubicadas en los estados de Zacatecas, Chiapas, Michoacán y Estado de México (UNESCO, 2015).

Las tecnologías que el IMTA ha instalado a nivel vivienda en diversas comunidades son: cisterna para almacenar agua de lluvia con su instalación para la captación, sanitario ecológico seco, lavadero ecológico, bici bomba, tanque regulador de nivel, huerto familiar y filtro de flujo lento (Cervantes Gutiérrez, Segura Estrada, Vázquez Villanueva, García Sánchez, y Rojas Falcón, 2018).

El sistema de captación de agua de lluvia puede abastecer de agua de buena calidad con un menor costo, se compone de un área de captación, líneas de conducción y un almacenamiento. Para realizar la implementación de un proyecto de SCALL es necesario realizar un estudio hidrológico sobre la zona de estudio, tomando en cuenta las estaciones meteorológicas cercanas y otras variables que inciden en la precipitación final aprovechable (Cervantes Gutiérrez et al., 2018).

El lavadero ecológico es una tecnología apropiada que mediante un sistema de filtrado biológico, trata las aguas grises provenientes del lavado de ropa, trastes, cocinado, lavado corporal y de manos. El modelo del IMTA consiste en una estructura de cinco cámaras de tabique reforzado con malla: una trampa de grasas, dos filtros anaerobios y dos filtros de materiales graduados (Cervantes Gutiérrez et al., 2018).

El sanitario ecológico seco es un sistema de disposición de excretas, que separa la orina y las excretas *in situ*, por medio de una taza separadora. No usa agua para su operación. La materia fecal queda separada de las aguas grises, orina y

suelo, permitiendo así su descomposición en una de las cámaras aisladas del ambiente, que adquiere temperatura y ventilación gracias a la captación de energía solar, sin intervención humana y evitando todo riesgo sanitario. El producto final es inocuo y puede ser usado para plantar árboles por ejemplo (Robert, 2003).

El tanque regulador de nivel (TRN) consiste en un dispositivo auto- operante para regar por gravedad pequeñas superficies, como un huerto familiar, en forma intermitente a partir de caudales pequeños. El dispositivo funciona como un amplificador de gasto por la acumulación de agua que ingresa a un tanque de almacenamiento de 200 litros de capacidad. Permite mantener una carga estática constante para riego que optimiza el uso del agua para riego del huerto domiciliario. Mediante un sifón permite vaciar el tanque de tal manera que el desperdicio de agua sea mínimo (Cervantes Gutiérrez et al., 2018). Se aplica en comunidades donde se tienen posibilidades de establecer sistemas de producción en huertos familiares, es económico y fácil de construir, no requiere mano de obra especializada; necesita poco mantenimiento y los materiales son de fácil adquisición.

La bici bomba se utiliza para la extracción de agua sin energía eléctrica, Carlos Marroquín es el creador de las bici-máquinas: aparatos contruidos en base a bicicletas que facilitan el trabajo y la vida en las comunidades a donde no llega la electricidad (Hernández y Perera, s/f).

La filtración lenta en arena (FLA) consiste en un conjunto de procesos físicos – químicos y biológicos que destruye los microorganismos patógenos del agua. El filtro biológico de arena es una adaptación del FLA para el uso intermitente en una vivienda. A continuación se describen algunas ventajas.

- La reducción de microorganismos patógenos hasta en un 100% si se implementa adecuadamente
- Ocupa poco espacio y es de fácil operación y mantenimiento

- Puede aplicarse a prácticamente cualquier núcleo de población, por el tamaño que tiene está diseñado para una familia promedio dando un gasto de hasta 12 L/día (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017).

Descripción de las Tecnologías Apropriadas a implementar

En este apartado se describen las tecnologías que se pretenden instalar en la comunidad periurbana San Juanico Chico, San Luis Potosí, S.L.P.:

Captación de agua de lluvia.

La recolección de agua de lluvia se inicia en los techos, para después conducir el agua por medio de canaletas al almacenamiento, de esta manera cumplir con la dotación requerida en los hogares a lo largo del año.

Para el diseño se debe considerar, la selección del sitio, usos del agua, precipitación, demanda, y el área de captación. Analizando los datos antes mencionados respondemos las siguientes preguntas: ¿Cuántos días al año tenemos agua?, ¿Qué tamaño de almacenamiento requerimos?, ¿Cuál es tamaño de tubería necesario?

En lugares del mundo con precipitación alta o media y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo, se recurre al agua de lluvia como una fuente de abastecimiento, que es aceptada como una fuente mejorada de agua (Cervantes Gutiérrez et al., 2018).

Un sistema básico está compuesto por los siguientes componentes:

- a) Captación: La mayoría de los sistemas utilizan la captación en los techos, los cuales deben tener una adecuada pendiente y superficie, que faciliten el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. Los materiales empleados para los techos pueden ser las tejas de arcilla, madera, paja, cemento, entre otros. Los techos de cemento y de teja son los más comunes debido a su durabilidad, el precio relativamente bajo y porque proveen agua de buena calidad; los que tienen compuestos de asfalto, asbesto o los que están pintados se recomienda utilizarlos sólo

cuando el agua captada no es para consumo humano, ya que pueden lixiviar materiales tóxicos en el agua de lluvia.

- b) **Recolección:** Es el conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado. Las canaletas se deben instalar con una pendiente no muy grande que permitan la conducción hasta los bajantes. 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.
- c) **Sistema de primeras aguas:** Está dirigido a separar las primeras aguas de lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas.
- d) **Almacenamiento:** Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos (Palacio Castañeda, 2010).

Humedal.

La mayoría de las comunidades periurbanas no cuenta con drenaje municipal, cada casa habitación es responsable de los desechos que produce así como de su disposición final. Es común en estas zonas que las aguas residuales no reciban ningún tipo de tratamiento, debido en gran medida a la escasez de recursos y a la falta de información, colocando las aguas negras en pozos; lo que provoca contaminación al subsuelo; y las aguas grises a cielo abierto, que provoca contaminación en la superficie.

De ahí la necesidad de llevar tecnologías para el tratamiento de aguas, que sean, sistemas descentralizados, de fácil manejo, con bajo costo, fáciles de construir y aceptadas por la población.

El realizar una propuesta de tratamiento de aguas debe de ir de la mano con la aceptación de los habitantes, son ellos los que finalmente operan y hacen funcional el tratamiento. El tratamiento de aguas residuales que se implementará en San Juanico Chico se hizo a través de un humedal artificial, este consiste en el

desarrollo de un cultivo de macrófitas sobre un lecho que puede estar constituido por; arcillas, gravas, roca, arenas o limo, principalmente. La acción de las macrófitas hace posible una serie de interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente.

Los humedales artificiales pueden ser clasificados de la siguiente manera: flujo vertical y flujo horizontal a su vez estos se dividen en flujo superficial y flujo subsuperficial. Los sistemas de flujo superficial son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera. Los sistemas de flujo subsuperficial se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), la vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial (Figura 1-1) pueden ser de dos tipos en función de la forma de aplicación de agua al sistema: (a) humedales de flujo subsuperficial horizontal y (b) humedales de flujo subsuperficial vertical (Delgadillo, Camacho, Pérez, y Andrade, 2010).



Figura 1-1 Humedal artificial de flujo subsuperficial (Comisión Nacional del Agua, 2016d).

Huerto de traspatio.

Según la FAO, la Agricultura Familiar (incluyendo todas las actividades agrícolas basadas en la familia) “es una forma de organizar la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuicultura y pastoreo, que es administrada y operada por una familia y, sobre todo, que depende preponderantemente del trabajo familiar, tanto de mujeres como hombres. La familia y la granja están vinculados, coevolucionan y combinan funciones económicas, ambientales, sociales y culturales” (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2014).

Tiene como uso prioritario el trabajo familiar, espacios pequeños de tierra, poca inversión de capital, y adaptación de las hortalizas a las condiciones geográficas y climáticas de la localidad.

Con esta tecnología es posible proveer a las viviendas de alimentos frescos y de buena calidad para la familia de una manera más económica.

Conflictos y problemáticas sociales del abastecimiento de agua.

En términos generales, un conflicto es una clase de relación social cuyos participantes persiguen objetivos incompatibles entre sí. En el caso del agua, esas pretensiones contrarias se vinculan con su aprovechamiento real o potencial. Un conflicto por el agua involucra generalmente escenarios de escasez en los cuales la asignación para determinados usos y usuarios implica la insuficiencia para satisfacer otros, pero también se refiere a los casos de exceso de agua que originan controversias sobre quién debe ser el sujeto receptor del sobrante y soportar los daños en caso de que hubiere (Liber & Justo, 2015).

La calidad del agua también es motivo para los conflictos por el agua. La contaminación de las aguas puede generar perjuicios productivos, económicos, ambientales y sanitarios a ciertos sectores por ello este componente se encuentra en el centro de la escena en una gran medida de casos. La colisión entre los derechos extractivos sobre el agua y los permisos de vertido de desechos en el

mismo cuerpo se convierte en un problema propio de la calidad. Por último, la disponibilidad temporal del agua da lugar a controversias, en especial cuando se enfrentan usos consuntivos (por ejemplo, el riego) con otros que –aunque no necesariamente implican consumo de recurso- limitan la accesibilidad de terceros en determinados momentos (como a generación hidroeléctrica cuando depende del almacenamiento para asignar el caudal en el tiempo (Martín y Bautista Justo, 2015)).

Un conflicto tiene diferentes magnitudes, el número de conflictos por el agua de baja y mediana intensidad aumenta considerablemente, al igual que su impacto. En zonas periurbanas y rurales los usuarios se organizan por medio de “comités de usuarios”, de esta manera la administración en turno es responsable de la distribución del agua, del mantenimiento a la infraestructura, así como de conciliar los conflictos con respecto al agua.

Las diferencias sociales que ya no pueden ser manejadas por los comités de usuarios generan conflictos no necesariamente asociados a la escasez del recurso hídrico sino más bien a su mala planeación y gestión llegando a tardarse años en resolverse. Como se verá más adelante el acceso al agua se ve afectado por conflictos dentro de las estructuras sociales.

CAPÍTULO 2. Estudios previos para la implementación de las tecnologías apropiadas.

Situación de los recursos hídricos en la comunidad.

Se describe brevemente la situación de los recursos hídricos de la comunidad y los principales problemas detectados, con objeto de explorar el uso de tecnologías apropiadas como una solución al abastecimiento y almacenamiento de agua para uso humano y agrícola, así como el tratamiento de aguas residuales.

Se realiza la revisión bibliográfica existente de la comunidad en estudio, adicionalmente se realizan visitas de campo al lugar y se aplican entrevistas a los habitantes líderes de la comunidad, así como a las personas involucradas en los problemas existentes con el objetivo de conocer la situación de los recursos hídricos con los actores involucrados.

Además se ubican la infraestructura existente mediante álbum fotográfico y localización referenciada, de esta manera corroborar la información recabada.

Condición económico-social en la comunidad.

La recolección de información se realiza mediante encuestas a los pobladores de la comunidad, de esta manera se conocerá la situación en la que viven, su nivel educativo, si existen enfermedades causadas por el agua y de donde proveen el agua para su consumo y hogares, la encuesta a utilizar se muestra en el Cuadro 2-1.

Cuadro 2-1 Formato de encuesta

1.- Nombre del Jefe de Familia:

2.- Nombre del entrevistado:

3.- Domicilio:

4.- Número de personas que habitan en la vivienda:

Hombres	Mujeres	Total

5.- ¿Cuál es la principal fuente de ingreso en la familia?

a.- Agricultura	()	b. Remesas	()
c.- Ganadería	()	d.- Albañilería	()
e.- Pesca	()	f.- Empleo público	()
g.- Artesanías	()	h. Empleo privado	()
i.- Comercio	()		
Otros:			

6.- Ingresos familiares por mes

Hasta 1,000 pesos	()
De 1,000 a 2,000 pesos.....	()
De 2,001 a 3,000 pesos	()
De 3,001 a 6,000 pesos	()
Más de 6,000 pesos	()

7.- Nivel educativo:

Padre:	Primaria	()	Secundaria	()	Bachillerato	()
Madre:	Primaria	()	Secundaria	()	Bachillerato	()
Hijos:	Primaria	()	Secundaria	()	Bachillerato	()
Hijos:	Primaria	()	Secundaria	()	Bachillerato	()
Hijos:	Primaria	()	Secundaria	()	Bachillerato	()

8.- Características de la vivienda:

a.- Materiales de construcción de los muros:	Material de desecho:	()
	Lámina de cartón:	()
	Lamina de asbesto:	()
	Lámina metálica:	()
	Carrizo, bambú o palma:	()
	Barro:	()
	Madera:	()
	Adobe:	()
	Tabique, Ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto:	()
Otro (especificar):	()	
b.- Materiales de construcción de los techos:	Material de desecho:	()
	Lámina de cartón:	()
	Lamina de asbesto:	()
	Lámina metálica:	()
	Paja, madera:	()
	Teja:	()

	Losa de concreto, tabique, ladrillo:	()
	Otro (especificar):	()
c.- Materiales de construcción de los pisos:	Tierra:	()
	Cemento, firme:	()
	Madera, mosaico u otros recubrimientos:	()
	Otro (especificar):	()

9.- Estatus del techo

En condiciones aceptables	Si ()	No ()
Deteriorada pero en condiciones de uso	Si ()	No ()
Muy deteriorada, necesario reparar	Si ()	No ()

10.- Régimen de la propiedad

Ejidal ()	Pequeña Propiedad ()
Comunal ()	

11.- Servicios con los que cuenta

a.- Agua entubada	Si ()	No ()	Frecuencia: ___h/día ___ días x mes
¿En tiempo de estiaje (secas) cuentan con agua? _____			
b.- Cuenta con Electricidad	Si ()	No ()	
c.- Cuenta con Drenaje	Si ()	No ()	
Tipo: pozo séptico ()	Alcantarillado: ()	Río, Lago ()	
d. Sanitario:	Letrina: ()	WC: ()	
e. Cuenta con lavadero:	Si ()	No ()	

12.- ¿Cuál es su fuente principal de abasto de agua?

Para uso :			
Agua entubada dentro de la vivienda			()
Agua entubada fuera de la vivienda, pero dentro del terreno			()
Agua entubada de la llave pública (o hidrante)			()
Agua entubada que acarrear de otra vivienda			()
Agua de Pipa ()	Agua de pozo ()	Agua de río ()	
Agua de Lago ()	Agua de Arroyo ()	Pluvial ()	
Otro ()			
Para beber :			
Agua entubada de la llave pública (o hidrante)			()
Agua entubada que acarrear de otra vivienda			()
Agua de Pipa ()	Agua de pozo ()	Agua de río ()	
Agua de Lago ()	Agua de Arroyo ()	Pluvial ()	
Embotellada ()			

13.- Disponibilidad de agua

Diario ()	cada tercer día ()
Dos veces por semana ()	una vez por semana ()

De vez en cuando ()

14.- Desinfectan el agua: si () / No ()

Hierven () Cloran () Aplican plata coloidal ()
otro:

15.- ¿Cuánto tiempo al día destina al acarreo del agua?

1 a 30 minutos () 31-60 minutos () 61-90 minutos ()

91-120 minutos () más de 120 minutos ()

¿Quién lo hace? hombre (), mujer (), niño ()

16.- En caso de comprar agua embotellada o pipas. Estimar lo que gastan.
(Pesos)

Agua embotellada
Pipas
Pipa Particular \$ _____ Pipa Ayuntamiento \$ _____
N° de pipas al año _____ Gasto al año _____

Donde almacenan el agua

Piletas () Cisterna () Capacidad
Cubeta () Tambo ()
Tinaco () Otro (especificar):

17.- Indique de qué se enferman y cada cuánto (señale con una "X").

	Adultos	Niños	c/cuando
Diarreas y problemas estomacales			
Enfermedades de la piel			
Enfermedades respiratorias			

18.- ¿Con qué frecuencia se bañan los miembros de la familia?

Adultos:

Diario ()	cada tercer día ()
Dos veces por semana ()	una vez por semana ()

Niños:

Diario ()	cada tercer día ()
Dos veces por semana ()	una vez por semana ()

19.- ¿Dónde descargan el agua que utilizan para el lavado de ollas, platos, cubiertos y ropa?

Suelo () Drenaje () Lago ()

Río () Barranca () Plantas ()

20.- Problemas ambientales para verificar

Agua estancada en los alrededores de la vivienda.....	()
Excretas al aire libre (animal o humana).....	()
Basura.....	()

21.- Otro

Alguien de la familia de esta vivienda tiene conocimiento de albañilería	Si () No ()
Cuenta con el techo adecuado para la captación de agua de lluvia	Si () No ()
Cuenta con el espacio adecuado para la captación de agua de lluvia	Si () No ()

FUENTE: Adaptada de (Comisión Nacional del Agua, 2016f) y (Díaz de León Zavala, 2017).

Estudio hidrológico

La precipitación pluvial de diseño es calculada con la información climatológica de la estación o estaciones más cercanas, aplicando el método de los polígonos de Thiessen, el cual consiste en localizar en un plano el área de la cuenca y las estaciones climatológicas que se encuentren dentro y cerca.

Teniendo el plano con escala y referencias, se unen entre sí las estaciones climatológicas en forma de triángulos, de manera que los vértices sean las estaciones, cada una debe unirse con todas las estaciones que la circunden sin que existan cruzamientos.

Posteriormente del punto medio de cada línea se trazan perpendiculares, definiendo un polígono alrededor de cada estación. Finalmente, con la siguiente ecuación obtenemos la precipitación media de la cuenca.

$$Pm = \frac{\sum a_i * P_i}{A_t}$$

Dónde:
 a_i = área del polígono, m^2
 P_i = precipitación de la estación en mm
 A_t = área total, m^2

➤ Cálculo de datos faltantes

El cálculo de los datos faltantes se realiza por medio del Método Racional Deductivo el cual emplea sus propios datos para el cálculo, como primer paso a todos los años completos se calcula su lluvia total y se divide entre doce para obtener el promedio mensual de cada año, después se obtiene los porcentajes

mensuales; se divide la lluvia mensual de cada año entre el promedio mensual y se multiplica por cien.

A continuación, todos los porcentajes mensuales de los años con datos completos se suman y se dividen entre el número de años completos, por último, el método acepta la hipótesis de que los meses con datos desconocidos tendrán un porcentaje igual al porcentaje promedio respectivo a su mes.

Diseño de las Tecnologías Apropriadas

Captación de agua de lluvia

Área de captación.

Primero se realiza una visita de campo al hogar en el que se desea realizar la captación, de esta manera se analiza los techos a utilizar, si son aptos o se requieren modificaciones o si se necesita colocar más zonas de captación. Como siguiente paso se realizan la medición de las áreas de captación, se trazan en planos y se propone el recorrido de las líneas de conducción.

Por último, se obtiene el área de captación total y en conjunto con la precipitación pluvial se calcula el volumen de almacenamiento.

Balance hídrico

El cálculo del balance hídrico es una herramienta que ayuda a conocer en un sistema de captación de agua de lluvia, los días abastecidos de agua al año, permite conocer el volumen de agua captada y potencialmente almacenada, así como el remanente, todo esto, en función de la precipitación pluvial, de la superficie de captación y de la demanda que se tiene en el sistema.

A continuación se describe el cálculo del balance con un ejemplo: como primer paso se analiza la demanda de agua que está en función del uso, para este caso se supondrá que su uso será agrícola y para consumo humano. Según la OMS, se requieren entre 50 y 100 litros de agua por persona al día, para cubrir la mayoría de las necesidades básicas y evitar la mayor parte de los problemas de salud

(Organización de las Naciones Unidas, 2015). Para uso en huertos de traspatio se considera una demanda media estimada de $0.27 \text{ m}^3/\text{día}$ (Esta demanda se obtuvo del promedio histórico que se tiene en una de las viviendas de la comunidad que cuenta con invernadero, esto es 2.8 L/m^2).

Después de obtener el área de captación y la precipitación, como ejemplo se tomará un área de 250 m^2 , y la precipitación media de la estación 24042-Mexquitic, SLP (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), 2018).

El balance hídrico se realiza de la siguiente manera:

- Se obtiene la demanda diaria (considerando 50 L/persona):

$$\text{Demanda}_{vivienda} = 50 \frac{1}{\text{persona}} \frac{\text{día}}{\text{día}} * 5 \text{ personas} = 250 \frac{1}{\text{día}} = \frac{0.25 \text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\begin{aligned} \text{Demanda}_{total} &= \text{demanda}_{vivienda} + \text{demanda}_{huerto} = \frac{0.25 \text{m}^3}{\text{día}} + \frac{0.27 \text{m}^3}{\text{día}} \\ &= \frac{0.52 \text{m}^3}{\text{día}} \end{aligned}$$

- Se obtiene la demanda por mes, por ejemplo para abril tenemos (Cuadro 2-2):

$$\text{Demanda}_{ene} = 31 \text{ dias} * \frac{0.51 \text{m}^3}{\text{día}} = 15.81 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

- Posteriormente se obtiene el volumen captado mensual con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Volumen captado}_{ene} &= \text{precipitación} * \text{area de captación} \\ &= \frac{10.27 \text{mm}}{1000} * 250 \text{m}^2 = 2.57 \text{m}^3 / \text{mes} \end{aligned}$$

- El porcentaje de la demanda aportado permite conocer el abastecimiento que se tiene cada mes y se obtiene de la siguiente manera:

$$\% \text{ de demanda}_{ene} = \frac{\text{volumen captado} * 100}{\text{demanda total mensual}} = \frac{2.57m^3/mes * 100}{15.81m^3/mes} = 16.24\%$$

- El balance parcial se define como la diferencia entre el volumen captado y la demanda y el balance total es el acumulado.
- Como siguiente paso se obtiene el volumen en el tanque (m^3), si se considera un volumen máximo de almacenamiento de $20 m^3$, en la siguiente fórmula se observa el procedimiento de cálculo:

*Volumen en el tanque*_{oct}

$$= \text{excedente del mes anterior} + \text{volumen captado} - \text{demanda}$$

$$= (2.80 + 19.49 - 15.30)m^3 = 6.99m^3$$

Cuadro 2-2 Balance hídrico

Demanda por vivienda		0.25	$m^3/\text{día}$	VOLUMEN DEL TANQUE: $20 m^3$ 193 DÍAS SATISFECHOS									
Demanda por invernadero		0.27	$m^3/\text{día}$										
Total		0.52	$m^3/\text{día}$										
Area de captación:		250.00	m^2										
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Precipitación mm	10.27	7.85	7.37	12.87	36.24	71.97	67.54	59.35	77.96	31.53	9.8	9.7	
Demanda (m^3/mes)	16.12	14.56	16.12	15.60	16.12	15.60	16.12	16.12	15.60	16.12	15.60	16.12	
Volumen captado (m^3/mes)	2.57	1.96	1.84	3.22	9.06	17.99	16.89	14.84	19.49	7.88	2.45	2.43	
% de la demanda aportado	15.93	13.48	11.43	20.63	56.20	115.34	104.75	92.04	124.94	48.90	15.71	15.04	
Balance parcial (m^3)	-13.55	-12.60	-14.28	-12.38	-7.06	2.39	0.77	-1.28	3.89	-8.24	-13.15	-13.70	
Balance total (m^3)	-13.55	-26.15	-40.43	-52.81	-59.87	-57.48	-56.71	-58.00	-54.11	-62.34	-75.49	-89.19	
Volumen en el tanque(m^3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.39	3.16	1.88	5.76	0.00	0.00	0.00	
Días satisfechos	5	4	4	6	17	30	31	31	30	26	5	5	

- Por último, se obtienen los días satisfechos para cada mes:

$$Si (\text{excedente del mes anterior} + \text{volumen captado} - \text{demanda}) \geq 0$$

$$\rightarrow \text{días satisfechos} = \text{días del mes};$$

Si $(\text{excedente del mes anterior} + \text{volumen captado} - \text{demanda}) < 0$

→ días satisfechos

$$= \frac{\text{excedente del mes anterior} + \text{volumen captado}}{\text{demanda diaria total}}$$

Por ejemplo, para octubre, $6.99 + 7.88 - 15.8 < 0 \text{ m}^3 \therefore$

$$\text{días satisfechos} = \frac{(6.99 + 7.88)\text{m}^3}{0.52 \text{ m}^3/\text{día}} = 29 \text{ días}$$

Esto se realiza para cada mes del año y finalmente se suman para obtener los días abastecidos por año.

Líneas de conducción

En la visita de campo se proponen las líneas de conducción según las condiciones particulares de la vivienda que se deberán plasmar en plano y en su caso corregir para obtener el modelo óptimo, de esta manera conocer las longitudes totales y proceder al cálculo del diámetro de tubería.

Para obtener el diámetro de las líneas de conducción se considera una sección semicircular; debido a que el material a utilizar es tubería de PVC en forma de canal; y un régimen uniforme. La ecuación para obtener el diámetro se plantea por la ecuación de Manning por ser de la que existen más coeficientes de rugosidad contrastados y de más fácil utilización (Comisión Nacional del Agua, 2016a).

Donde:

Q = gasto (m^3/s)

A = área hidráulica (m^2)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$)

R_h = radio hidráulico (m)

S = Pendiente de fricción (adimensional)

$$\frac{Q * n}{S^{1/2}} = AR_h^{2/3}$$

- El gasto a utilizar en la ecuación anterior se obtiene mediante el método racional de la siguiente manera.

Donde:

Q = gasto L/s.

$$Q = \frac{5}{18} (A_{ec} * I_{lluvia})$$

A_{ec} = Es el área efectiva de captación de agua de lluvia m².

I_{lluvia} = Es la intensidad máxima de lluvia en la zona m/h.

- ✓ Donde el área efectiva se obtiene multiplicando el área total por el factor de escorrentía en el Cuadro 2-3 se muestran los diferentes valores para el coeficiente de escorrentía de acuerdo al tipo de área drenada, para la captación de agua de lluvia se considera un valor de 0.75 que es el coeficiente mínimo para techados.

$$A_{ec} = A_t * \text{coeficiente de escorrentía}$$

Cuadro 2-3 Coeficiente de escorrentía

TIPO DEL ÁREA DRENADA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
ZONAS COMERCIALES:		
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
ZONAS RESIDENCIALES:		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
ZONAS INDUSTRIALES:		
Espaciado	0.50	0.80

Compacto	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES	0.10	0.25
CAMPOS DE JUEGO	0.20	0.35
PATIOS DE FERROCARRIL	0.20	0.40
ZONAS SUBURBANAS	0.10	0.30
CALLES:		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.70	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
ESTACIONAMIENTOS	0.75	0.85
TECHADOS	0.75	0.95
PRADERAS:		
Suelos arenosos planos (pendientes < 0.02 o menos)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02 - 0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02 - 0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2016b)

- ✓ La intensidad máxima de lluvia se obtiene a partir de las curvas I – D – Tr, se utiliza un periodo de retorno de 2 años (Cuadro 2-4), que es para el diseño de drenaje pluvial en zonas rurales.

Cuadro 2-4 Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial (Comisión Nacional del Agua, 2016b).

Tipo	Descripción	Tr (años)
Centro de negocios	Zonas donde el uso principal es para las actividades de venta al por menor o de negocios y donde los edificios son comúnmente construidos hasta los límites de la propiedad, los toldos sobresalen sobre la banqueta y el paisaje es mínimo o inexistente. Estas áreas de negocios a menudo se encuentran en las partes más antiguas de la ciudad o pueblo	10
Áreas comerciales	Zonas donde los usos primarios incluyen las ventas al por menor, actividades comerciales, hoteles etc. Pueden incluir centros para exposiciones, restaurantes, clubes deportivos	10
Zonas industriales	Las áreas donde las actividades principales llevadas a cabo son la producción, el procesamiento de productos, instalaciones de almacenamiento, etc.	2
Zonas urbanas con alta densidad	Áreas urbanas que tienen más de 20 viviendas por cada 10 000 m ² (1 hectárea), como edificios de departamentos, unidades habitacionales y zonas suburbanas altamente pobladas	10
Zonas urbanas de mediana densidad	Las áreas residenciales que tienen más de 5 y hasta 20 unidades de vivienda por cada 10 000 m ² (1 hectárea)	2
Zonas rurales	<i>Áreas residenciales rurales que tienen entre 2 y 5 unidades de vivienda por cada 10 000 m² (1 hectárea)</i>	2
Espacios abiertos	Las áreas abiertas utilizadas principalmente para la recreación, como parques, campos de golf, etc.	1

La duración de la tormenta se obtiene a partir de la fórmula de Kirpich como tiempo de concentración, con la siguiente ecuación

Dónde:

$$t_c = \frac{0.0195L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

t_c = tiempo de concentración (min).

L = longitud del cauce principal (m).

S = pendiente del cauce principal (m/m).

El proceso para la obtención del gasto exige iterar el tirante en cada paso (Cuadro 2-5), el diámetro resulta óptimo cuando la relación tirante entre diámetro (Y/D) es menor a 0.5 esto quiere decir que el tirante es menor al radio.

Cuadro 2-5 Modelo para iteración para la obtención del diámetro de diseño.

Y/D	Y	θ	Θ	ÁREA	PERÍMETRO	R_h	K
	M	Rad	°	m ²	m	m	$AR_h^{2/3}$
0.01							
0.05							
0.10							
0.50							
1.00							

Humedal

La caracterización del afluente para el diseño del humedal es definida con base en datos típicos del agua residual doméstica para después compararlo con el espacio destinado al humedal. Es necesario estudiar las características específicas de cada sitio para definir los criterios específicos de diseño.

Cuadro 2-6 Composición típica de las aguas residuales domésticas.

CONTAMINANTES	UNIDAD	CONCENTRACIÓN MEDIA
Solidos Totales (TS)	mg/l	720
solidos Disueltos (TDS)	mg/l	500
Fijos	mg/l	300
Volátiles	mg/l	200
Solidos Suspendidos Totales (TSS)	mg/l	210
SS fijos SSF	mg/l	50
SS volátiles SSV	mg/l	160
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/l	10
DBO₅, 20°C	mg/l	190
COT	mg/l	140
DQO	mg/l	430
NITRÓGENO (Total como N)	mg/l	40
Orgánico	mg/l	15
amoniaco libre	mg/l	25
Nitritos	mg/l	0
Nitratos	mg/l	0
FOSFORO (total como P)	mg/l	7
Orgánico	mg/l	2
Inorgánico	mg/l	5
Cloruros	mg/l	50
Sulfato	mg/l	30
Grasas y aceites	mg/l	90
Coliformes fecales	No./100 mL	10 ⁴ -10 ⁶

Fuente: Metcalf & Eddy, Wastewater engineering: treatment and reuse, 2004.

El Valor del efluente se consideró según los límites máximos permisibles de contaminantes de la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Cuadro 2-7 Límites máximos permisibles de contaminantes.

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales	Huevos de helminto	Grasas y aceites	DBO ₅	SST
	NMP/100 ml	(h/L)	mg/L	mg/L	mg/L
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	<=1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1000	<=5	15	30	30

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997: que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Diseño de humedal

Como primer paso se obtiene el gasto medio, de acuerdo a las características de la casa-habitación.

Dónde:

Q_{MED} = Gasto medio de aguas residuales en L/s

$Q_{MED} = \frac{A_p P}{86400}$ A_p = Aportación (75%) de aguas residuales por día, en L/hab
 P = Población, en número de habitantes

86 400 = Segundos en un día, s/día

Posteriormente se procede al diseño, los modelos de primer orden son los más utilizados para el dimensionamiento de humedales, lo más comunes son el de la EPA (1993) y Kadlec and Knight (1996).

a) EPA (1993)

$$A_s = \frac{Q * (\ln C_o - \ln C_e)}{k_{VT} * D_m * n}$$

A_s : Área superficial

Q : Flujo

C_o : Concentración inicial

C_e : Concentración final

K_{VT} : Constante cinética de 1^{er} orden con corrección de temperatura

b) Kadlec and Kinght (1996)

$$A_s = \frac{Q}{k_A} \ln \frac{C_o - C^*}{C_e - C^*}$$

D_M : Profundidad del lecho

n: Porosidad, fracción

C*: Concentración de fondo

K_{VT} , K_A y C^* : Constantes cinéticas, concentraciones en el fondo y factores (Comisión Nacional del Agua, 2016d).

Huerto familiar

Un área de 30 a 45 m² puede proveer al hogar de vegetales frescos durante todo el año. Para una buena ejecución se deben considerar los siguientes puntos:

1. El tamaño del huerto. Se empieza usando una pequeña superficie y a medida que se familiariza con las condiciones de crecimiento de las hortalizas y se acumule experiencia se puede ampliar el área. También se considera la cantidad de agua disponible, el tipo de terreno y la mano de obra que se puede emplear.
2. ¿Qué hortalizas plantar? De acuerdo al gusto familiar se puede iniciar con plantas de mayor consumo o de uso frecuente por ejemplo: jitomate, cebolla, chile, ajo, etc. Tomando en cuenta que cada hortaliza puede desarrollarse mejor dependiendo de la temporada del año en que se cultiva. En función de esto las hortalizas se clasifican en hortalizas de clima cálido o frío, lo que también puede darnos un criterio para decidir si es mejor sembrarlas en verano o en invierno. Las hortalizas de clima cálido son aquellas que se desarrollan bien con temperaturas entre 18 y 30 °C, siendo por lo general hortalizas de fruto como los jitomates, chiles, tomate de cáscara, chícharo, frijol ejotero, chayote, calabacitas o pepino, pero también algunas hortalizas de raíz como la yuca y el camote. Por su parte las hortalizas de clima frío son las que para su buen desarrollo necesitan temperaturas entre los 15 y 18 °C como por ejemplo, la cebolla, el ajo, la zanahoria, el apio, el cilantro, el perejil, el betabel, la acelga, la espinaca, la lechuga, la col, la coliflor y el brócoli (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, 2009).

3. Preparación de las camas. La cama de cultivo (también conocida como cantero, camellón, tablón o melga) es el área donde se trasplanta o planta directamente. Los principios en los que se basa el método biointensivo son los siguientes: la doble excavación, el uso de compostas, la siembra cercana, manejo ecológico de plagas, la asociación y rotación de plantas, manejo eficiente del agua de riego e integración de los principios, (Rodríguez Figueredo, Vazquez Cuevas, Flores Serrano, y Hernández Soto, 2004) en este sentido el paso más importante es, su preparación. Se necesita crear una estructura de suelo ideal y los nutrientes apropiados para que las plantas crezcan sanas y constantemente.
- Tanque regulador de nivel. Consiste en un dispositivo auto-operante para regar por gravedad en sistemas de riego por goteo, se aplica como una adición al huerto familiar debido a que es económico y fácil de construir. Se compone de un tanque de polietileno de alta densidad con capacidad para 200 litros, el sistema de sifoneo auto-operante es formado por tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro, a éste tanque se instala la tubería regante para un huerto por manguera de goteo. Permite generar una carga constante de 0.1 bar (1 mca) para operar el riego controlado por medio de manguera de goteo. Con dicha carga y con base en el uso consuntivo del huerto a regar, es posible generar una capacidad de 4 litros/hora/metro (Díaz de León Zavala, 2017).

Análisis socioeconómico.

Con el análisis costo-beneficio se conoce la factibilidad de replicar las tecnologías apropiadas que se instalaron, en relación a los costos de construcción y mantenimiento y los beneficios (sociales o ambientales) que se pueden obtener.

Las etapas que se desarrollan en el análisis Costo-Beneficio son: Identificación, cuantificación y valoración de los costos de la construcción de tecnologías apropiadas de acuerdo con los costos del mercado; identificación, cuantificación y valoración de beneficios de la propuesta que incluyen los costos de ahorro en

consumos de agua de pipas y embotellada, valores ambientales y valor de la venta de los alimentos que se trabajan.

La unidad familiar define sus inversiones en búsqueda de su bienestar actual y futuro de sus miembros. La sociedad anónima invierte con tal de maximizar sus ganancias. Así mismo el estado (o el gobierno) busca invertir el dinero público de tal manera que busque mejorar el bienestar de la sociedad. Como consecuencia un programa o decisión será evaluada o juzgada por parte de cada entidad afectada (Castro y Mokate, 2003).

En el universo de los proyectos se pueden distinguir los privados de los públicos. En el primer caso, se invierten recursos privados y se espera obtener un rendimiento para los inversionistas. En el segundo, al tratarse de un proyecto de la sociedad (entiéndase a la sociedad por todos los sectores en su conjunto), se invierten recursos del país y se espera obtener una mejora en su bienestar. De esta manera, el origen de la inversión es diferente y diferentes también son los beneficios esperados. En consecuencia, la evaluación puede elaborarse tanto para proyectos privados como sociales (públicos). Las evaluaciones también pueden ser financieras o socioeconómicas (Comisión Nacional del Agua, 2007).

La evaluación social incorpora tanto un análisis de eficiencia (análisis costo-beneficio), como otro que contempla los aspectos de equidad, o sea, los efectos que genera el proyecto sobre la distribución de ingresos y riquezas. La evaluación privada puede arrojar un resultado distinto debido a la existencia de costos y beneficios sociales indirectos y externalidades generadas por el proyecto y que, si bien no son considerados o valorados por el inversionista privado, sí afectan a la economía del país; entre éstos, hay algunos que no se pueden valorar en términos monetarios (beneficios y costos intangibles) (Fontaine, 2008).

El trato general que debe dárseles a los beneficios y costos intangibles es el de especificar claramente la naturaleza del beneficio o del costo, discutir detalladamente la intangibilidad aducida y mencionarlo explícitamente en el estudio del proyecto. Es conveniente destacar que en ocasiones ciertos

intangibles pueden ser aún más importantes que los beneficios explícitamente valorados, que, a pesar de arrojar una rentabilidad negativa, son recomendables por los beneficios que reportan a la salud humana, la preservación del medio ambiente o razones de seguridad nacional. Las externalidades o efectos externos a las consecuencias de un proceso productivo o proyecto de inversión sobre la población o actividad económica ajena al mismo. La forma de cuantificarlos y valorarlos es mediante la medición del daño causado o a través de evitar el daño causado (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Se realizó una evaluación económica privada (análisis de eficiencia) para analizar las mejoras que ofrecen las tecnologías apropiadas por ejemplo mejorar la cantidad del agua y la fuente de almacenamiento, con una inversión privada.

Además, se incluye una evaluación social ya que en los poblados con un alto grado de marginación, no es posible que se cubran los costos de inversión tan altos por lo que se requiere buscar una forma de financiamiento público.

La factibilidad del proyecto se realizó con los siguientes indicadores; Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). A continuación, se explican a detalle cada uno de los indicadores:

- El Valor Actual Neto (VAN) trabaja con la cantidad de dinero que representa en la actualidad cualquier ingreso futuro y a esto se le resta la inversión inicial.

Dónde:

I_t = Ingresos en el año t (\$).

C_t = Costos en el año t (\$).

I_0 = Inversión inicial (\$).

t = Vida útil del proyecto (tiempo).

r = Tasa social de descuento (%).

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{I_t - C_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Para calcular el VAN se requieren 3 elementos:

El monto de la inversión inicial, este se refiere a los costos que se generan al llevar a cabo el proyecto.

El flujo de fondos donde se consideran las inversiones, los gastos por mantenimiento y los beneficios del proyecto.

Y la tasa de descuento: es aquella tasa de rendimiento que deseamos obtener para el proyecto. En este ejercicio tomaremos en cuenta la tasa social de descuento, esta se define como el nivel mínimo de rentabilidad que un proyecto social debiera obtener para considerarse económicamente viable, o dicho en otras palabras refleja el costo de oportunidad de los recursos económicos que fueron destinados para la primera opción escogida; de esta forma, internalizando dicho parámetro la propuesta de cuota de garantía de no caducidad toma en cuenta el costo de oportunidad social de utilizar el agua en una determinada opción seleccionada como la óptima (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2016).

La tasa social de descuento que se recalculó de acuerdo con la metodología clásica internacionalmente aceptada, desarrollada por Harberger (1972) y con la consultoría y el apoyo del Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, es de 10% establecida en el oficio circular No. 400.1.410.14.009 de fecha 13 de enero de 2014 emitido por la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

- La Tasa Interna de Retorno (TIR) se determina en función del VAN y se define como aquella tasa de descuento que al calcular el VAN lo iguala a cero. La fórmula es la siguiente:

Dónde:

I_t = Ingresos en el año t (\$).

C_t = Costos en el año t (\$).

I_0 = Inversión inicial (\$).

t = Vida útil del proyecto (tiempo).

TIR = Tasa Interna de Retorno (%).

$$VAN = 0 = \sum_{t=0}^T \frac{I_t - C_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

CAPÍTULO 3. Implementación de tecnologías apropiadas. Caso de estudio: comunidad de San Juanico Chico, S.L.P.

Área de estudio.

Ubicación del estado de San Luis Potosí.

El estado de San Luis Potosí se localiza en la parte centro oriente de la República Mexicana, entre los 21°09'35" y los 24°33'25" de latitud norte y los 98°19'40" y 102° 17'30" de longitud oeste. Lo limitan de norte a sur por su lado este, los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz e Hidalgo; y de sur a norte, por el oeste, los estados de Querétaro, Guanajuato, Jalisco y Zacatecas. Ocupa por extensión, el decimoquinto lugar entre las entidades que conforman el territorio nacional, con sus 62 304.74 kilómetros cuadrados. San Luis Potosí es como una ancha y enorme escalera que, subiendo desde la planicie cálida de la Llanura Costera del Golfo Norte, llega hasta la templada y en ocasiones fría Mesa del Centro, donde destaca el alto cerro Bermejo con 2 900 m.s.n.m. El centro y porciones del este del estado forman parte de la Sierra Madre Oriental con altitud promedio de 2,000 metros (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 1985).

La entidad presenta una variedad climática que incluye, desde los cálidos relativamente húmedos de la región costera, hasta los secos templados del altiplano. Esta gama se debe, por un lado, a las variaciones de altitud y latitud, y por otro, a la influencia marítima. La Sierra Madre Oriental es el factor determinante en la diversidad de climas, ya que al actuar como barrera orográfica hace que la humedad que proviene del Golfo se detenga en ella y los vientos pasen secos hacia el centro y poniente del estado. En el norte del mismo, influye además la latitud, en las condiciones áridas de la zona. Así, en el estado se distinguen tres zonas climáticas bien definidas: la porción oriental donde predominan los climas cálidos húmedos y subhúmedos; la zona central que tiene desde los semicálidos subhúmedos en el sur, hasta los secos templados en el

norte, y la poniente donde imperan los secos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 1985).



Figura 3-1 Localización de San Luis Potosí

Fuente: INEGI. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=24>

Localización del municipio de San Luis Potosí.

El municipio se localiza en la zona centro, la cabecera municipal tiene las siguientes coordenadas: 100° 58" de longitud oeste y 22° 09" de latitud norte, cuenta con una altitud de 1 860 msnm, la superficie total del municipio es de 1,443.14 km². Capital del estado mexicano de San Luis Potosí y cabecera de la municipalidad del mismo nombre. Esta ciudad es considerada la décima zona metropolitana más grande de México.

Existen diferentes climas a lo largo y ancho del municipio de San Luis Potosí: en la parte sur, el clima es seco templado y semi-seco templado, al norte: seco semi-cálido, en el centro, el clima es muy seco templado. La temperatura media anual es de 16.8°C, la temperatura cálida comprende de marzo a octubre y el periodo frío de noviembre a febrero.



Figura 3-2 Localización de San Luis Potosí, San Luis Potosí.

Fuente: INEGI. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=24#>

Localización de San Juanico Chico.

La localidad de San Juanico Chico se encuentra en el estado de San Luis Potosí al norte de la ciudad del mismo nombre, según INEGI para el 2010 contaba con una población de 292 habitantes, su grado de marginación es alto y se considera de ámbito rural. Tiene las siguientes coordenadas: Longitud: 1005944, Latitud: 221424 y Altitud: 1861 msnm.

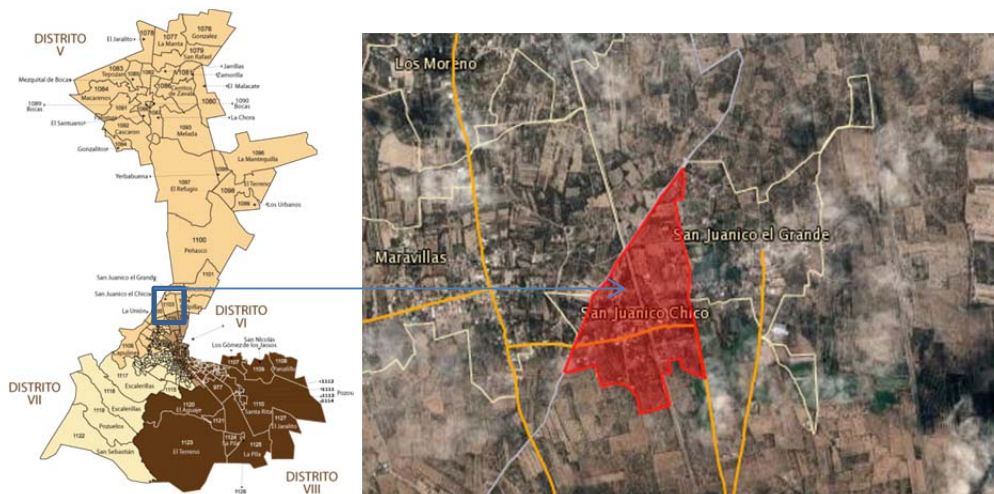


Figura 3-3 Ubicación de San Juanico Chico en San Luis Potosí, S.L.P.

Fuente: Google Earth - INEGI 2017

Diagnóstico de la situación actual en materia de los recursos hídricos en la comunidad de San Juanico Chico.

Medio físico de San Juanico Chico.

- **Clima**

El territorio se encuentra dentro de la región Hidrológica El Salado, en la cuenca Presa San José-Los Pilares y Otras. El clima se clasifica como Seco Templado y semifrío muy seco, con una temperatura media anual de 18 °.

- **Características, tipo y uso de suelo**

El suelo que ocupa la mayor extensión en esta comunidad es el denominado Phaeozem con características agrícolas dependientes del comportamiento de la disponibilidad de agua para riego. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, sin capas ricas en cal. Son de profundidad muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los Phaeozem menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables.

Además se encuentran suelos conocidos como Cambisol, estos suelos son jóvenes y poco desarrollados. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. También pertenecen a esta unidad algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate. Son muy abundantes y agrícolas con métodos de riego (INEGI, 2004).

Los climas secos y semisecos, se caracterizan por su baja precipitación y variación de temperatura, que propicia un alto índice de aridez, por lo que la

vegetación que en ellos se desarrolla posee adaptaciones morfológicas para soportar largos periodos de sequía, como los denominados matorrales xerófilos, entre los que destaca por su abundancia en el estado, el matorral desértico micrófilo.

La agricultura presente es de temporal en su mayoría, por esto la producción depende de las condiciones climáticas.

- Vías de comunicación

A la comunidad de San Juanico Chico se puede llegar por la carretera estatal E.C. Anillo Periférico - San Juanico El Grande - San Juanico El Chico. En esta comunidad cruza la línea ferroviaria que se conecta con los siguientes lugares: México-Laredo operada por Kansas City Southern de México (antes Transportación Ferroviaria Mexicana, S.A. de C.V.).

- Perfil Sociodemográfico

En la localidad de San Juanico Chico hay 292 habitantes, de los cuales 132 hombres y 160 mujeres. Los ciudadanos se dividen en: 110 pobladores menores de edad y 182 adultos, de cuales 31 tienen más de 60 años.

El porcentaje de analfabetismo de la población de 15 años y más es del 9.00% (3.03% en los hombres y 8.75% en las mujeres). La población económicamente activa son 101 habitantes.

- Grado de marginación

En esta comunidad para el 2010 se registraron 83 viviendas, de las cuales 68 estaban habitadas, 11 desocupadas y 4 de uso temporal. De las viviendas particulares habitadas 7 tienen piso de tierra, 65 disponen de luz eléctrica, 52 disponen de agua entubada. En el ámbito de la vivienda, 62 cuentan con excusado o sanitario, 51 disponen de drenaje y sólo una vivienda no cuenta con ningún bien.

Cuadro 3-1 Índice de marginación.

Descripción.	2010
Clave de la entidad federativa.	24
Nombre oficial de la entidad federativa.	San Luis Potosí
Clave del municipio al interior de una entidad federativa.	28
Nombre del municipio al interior de una entidad federativa.	San Luis Potosí
Clave de la localidad al interior de cada municipio.	277
Nombre de la localidad al interior de cada municipio.	San Juanico Chico
Población total.	292
Viviendas particulares habitadas	68
Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta.	9
Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa.	31.21
Porcentaje de viviendas particulares sin excusado.	8.82
Porcentaje de viviendas particulares sin energía eléctrica.	4.41
Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada.	23.53
Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas.	1.16
Porcentaje de viviendas particulares con piso de tierra.	10.29
Porcentaje de viviendas particulares sin refrigerador.	33.82
Índice de marginación 2010.	-0.72
Grado de marginación 2010.	Alto
Índice de marginación escala 0 a 100	8.93
Lugar que ocupa en el contexto nacional	79763
Lugar que ocupa en el contexto estatal	3586

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el Censo de Población y Vivienda 2010.

principal al tanque elevado (Figura 3-6), de ahí se distribuía a las diferentes comunidades, cabe mencionar que el agua se tandeaba por días, de esta manera se atendía una comunidad por día y así se evitaban conflictos. Hablando específicamente de los días que le correspondían a San Juanico Chico, las casas que vivían en la zona alta se abastecen directamente por la bomba, y las de zonas bajas por el tanque elevado.



Figura 3-5 Pozo de agua existente



Figura 3-6 Tanque de agua.

En San Juanico Chico, quienes como en muchas zonas rurales y periurbanas, se organizaron mediante un comité de usuarios, este tenía como objetivo el correcto abastecimiento de agua. Pero al momento de buscar acuerdos sobre cómo tener un mayor flujo de agua, cada familia anteponía sus intereses como los primordiales para tomar las decisiones, por ejemplo una parte de la población, en base a los argumentos de una organización política, consideraban que el gobierno tenía la obligación de proveer de agua en sus hogares de manera gratuita, así que dejaron de pagar las cuotas correspondientes al mantenimiento y buscaron apoyo externo.

En este sentido se dirigieron nuevamente a instancias gubernamentales, la respuesta fue una nueva red de distribución que condujera el agua por gravedad para esto debían realizar un aporte económico por el estudio y su posible construcción, del que no estuvieron de acuerdo. El grupo de la población inconforme se dirigió al comité local solicitando unirse a la red principal y estos para evitar conflictos aceptaron.

Ahora bien al conectarse este grupo de habitantes que viven en la zona baja, afecta directamente a los que viven en la zona alta debido a la baja presión que se genera y esto no sólo afecto a San Juanico Chico sino también a las otras dos comunidades debido a que se conectaron a la red principal. También dejaron de cooperar con las cuotas establecidas por el comité de usuarios y por consecuencia los conflictos internos se agravaron.

Como resultado las comunidades San Juanico el Grande y el Garambullal, construyeron una nueva red de distribución para sus habitantes, evitando cualquier trato con la comunidad de San Juanico Chico que a su vez buscaron alternativas para el abastecimiento de agua, llegando a la conclusión que cada familia se hiciera responsable por sí mismo por lo que empezaron a comprar pipas de agua.

Después de algunos años a causa de las dificultades de estar comprando pipas de agua, los pobladores se reunieron, para llegar al acuerdo de retomar el abastecimiento por una nueva red de distribución y llevar el agua por gravedad a los hogares, lo que no consideraron es que los predios por donde pasaría esta red, son propiedad privada y no están a la venta.

Los habitantes de San Juanico Chico consideran la solución muy complicada, buscando alternativas más económicas.

Por otro lado las aguas grises son vertidas a cielo abierto (Figura 3-7 y Figura 3-8) en la parte posterior de las casas provocando contaminación a los suelos y malos olores.



Figura 3-7 Vertido de agua del lavado de los trastes.



Figura 3-8 Vertido de agua del lavado de la ropa.

Encuestas a pobladores de la comunidad.

A continuación se muestra un resumen de la información recabada en tres viviendas encuestadas.

Cuadro 3-2 Resumen de entrevistas realizadas a una muestra de la población
(parte 1).

LOCALIDAD:							San Juanico Chico, San Luis Potosí, S.L.P.					
RÉGIMEN DE PROPIEDAD DE LAS VIVIENDAS:							PEQUEÑA PROPIEDAD					
VIVIENDA	N° DE PERSONAS QUE HABITAN				FUENTE DE INGRESOS DEL JEFE DE FAMILIA	INGRESOS FAMILIARES POR MES	NIVEL EDUCATIVO			MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DE:		
	HOMBRES	MUJERES	MENORES DE 5 AÑOS	TOTAL			PADRE	MADRE	HIJOS	PAREDES	TECHOS	PISO
1	3	2	0	5	MECÁNICO (OBRERO)	MAS DE 6,000	TEC.	TEC.	SUP.	LADRILLO	LOSA	CEMENTO
2	4	2	0	6	COMERCIO	MAS DE 6,000	BACH.	SUP.		LADRILLO	LOSA	MOSAICO
3	1	2	0	3	JUBILADA	MAS DE 6,000		SUP.	SUP.	LADRILLO	LOSA	CEMENTO

TEC. Técnico, BACH. Bachillerato, SUP. Nivel superior

Cuadro 3-3 Resumen de entrevistas realizadas a una muestra de la población
(parte 2).

VIVIENDA	SERVICIOS CON LOS QUE CUENTA							ABASTECIMIENTO DE AGUA		DESINFECCIÓN DEL AGUA	TIEMPO AL DÍA DESTINADO AL ACARREO (MINUTOS)	QUIEN ACARREA AGUA
	AGUA ENTUBADA	FRECUENCIA	EN TIEMPO DE ESTIAJE CUENTAN CON AGUA	ELECTRICIDAD	DRENAJE	SANITARIO	LAVADERO	USO	BEBER			
1	NO	N/A	NO	SI	NO	FOSA	SI	PIPA	EMBOTELLADA	NO	30-60	MUJER
2	NO	N/A	NO	SI	NO	FOSA	SI	PIPA	EMBOTELLADA	NO	30-60	MUJER
3	NO	N/A	NO	SI	NO	FOSA	SI	PIPA	EMBOTELLADA	NO	30-60	MUJER

N/A: No aplica

Para el abastecimiento de agua en los hogares compran pipa y para consumo agua embotellada.

Cuadro 3-4 Resumen de entrevistas realizadas a una muestra de la población
(parte 3).

VIVIENDA	GASTO POR MES EN CASO DE COMPRAR		DONDE ALMACENAN EL AGUA	ENFERMEDADES POR EL AGUA	FRECUENCIA CON LA QUE SE BAÑAN		DONDE DESCARGAN EL AGUA QUE UTILIZAN PARA EL LAVADO DE OLLAS, PLATOS, CUBIERTOS Y ROPA	PROBLEMAS AMBIENTALES		
	AGUA EMBOTELLADA	PIPA			ADULTOS	NIÑOS		AGUA ESTANCADA	EXCRETAS	BASURA
1	\$448	\$765	CISTERNA (10,000L)	NO	DIARIO	DIARIO	SUELO	AGUA GRIS	NO	NO
2	\$672	\$765	CISTERNA (20,000L)	NO	DIARIO	DIARIO	SUELO	AGUA GRIS	NO	NO
3	\$840	\$900	CISTERNA	NO	DIARIO	DIARIO	PLANTAS	AGUA GRIS	NO	NO

El costo mensual, aproximadamente de \$800.00, para el abastecimiento de agua es muy elevado y estas tres familias en estudio cuentan con un invernadero que aunque trae muchos beneficios, los costos de producción son mayores debido a la compra de agua.



Figura 3-9 Entrevistas a los habitantes de la comunidad.

Análisis hidrológico

Precipitación Media (Pm).

Como no se tiene una estación climatológica en el lugar, el estudio será apoyado de la información histórica registrada que se encuentra en la base de datos de estaciones climáticas superficiales de México CLICOM (Climate Computing Project), administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), 2018). Cada estación contiene diferentes periodos de información, pero se pueden encontrar datos de 1920 a 2015 de las diferentes estaciones del país.

Estaciones climatológicas ubicadas cerca al área de estudio.

Las estaciones más cercanas al área de estudio son:

1. 24070: San Luis Potosí, (OBS). A una distancia de 4.38 km.

2. 24042: Mexquitic, Mexquitic de Carmona S.L.P. A una distancia de 14.1 km.
3. 24153: Colonia Benito Juárez, Soledad de Graciano Sánchez S.L.P. A una distancia de 8.69 km.
4. 24081: Soledad de Graciano Sánchez. A una distancia de 8.34 km.
5. 24069: San Luis Potosí (SMN). A una distancia de 9.67 km.

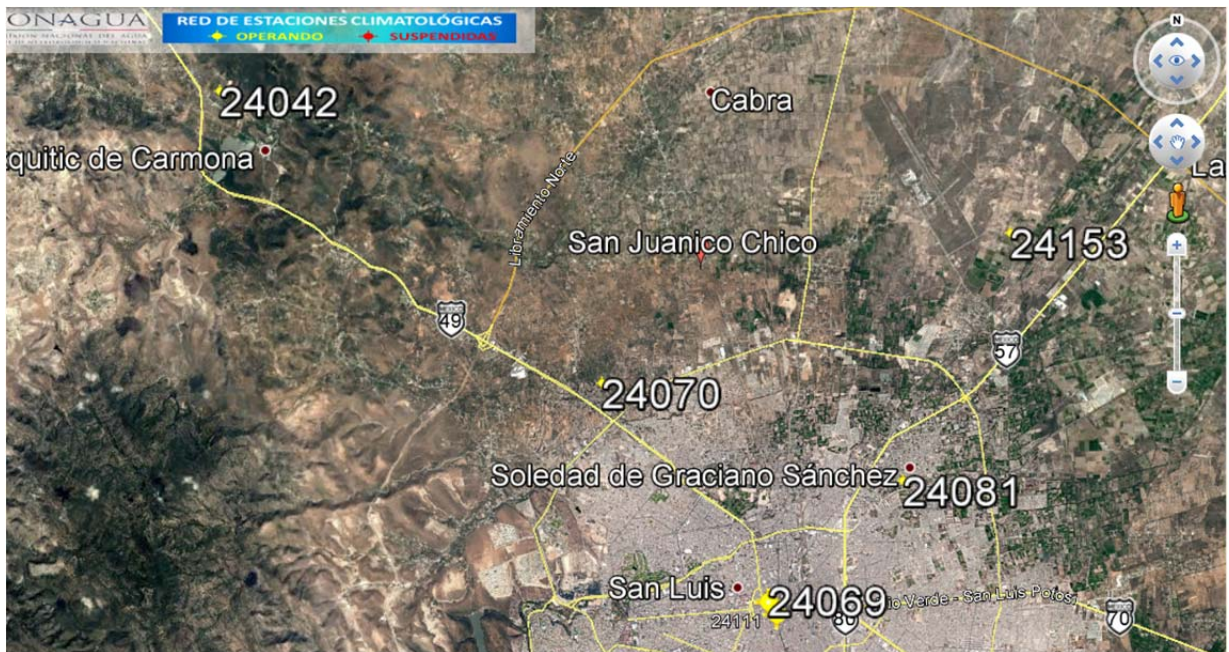


Figura 3-10 Estaciones climatológicas cercanas al área de estudio.

Fuente: CONAGUA, Google Earth - INEGI 2017

Polígonos de THIESSEN.

Se realizó la metodología de los Polígonos de Thiessen como se muestra en la Figura 3-11 con las estaciones encontradas y el área de la cuenca en estudio.

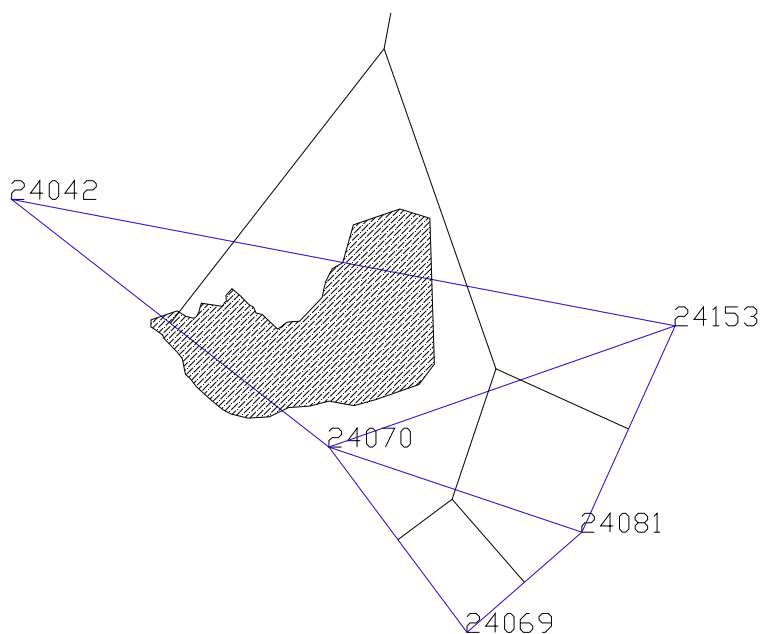


Figura 3-11 Polígonos de Thiessen.

A través de la metodología de los polígonos de Thiessen (Figura 3-11) se determinó que el área de estudio se encuentra completamente dentro del polígono de la estación 24070: San Luis Potosí, (OBS). De esta manera a partir de ahora ésta es la estación base.

Datos Faltantes.

Como la estación base no cuenta con los datos climatológicos completos se emplea el método Racional Deductivo para completar las precipitaciones mensuales faltantes de la estación 24070: San Luis Potosí, (OBS).

Cuadro 3-5 Estimación de datos faltantes.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1986	12.3	11.3	4	53.4	24	83.2	82	3.5	39	110.3	62	21.5
1987	11.5	11.5	4	20.9	35	119.1	146.5	4.5	166.5	0	11.9	0
1988	15	3.9	11.5	59.5	37	57	251.5	148.5	31	4.5	0	1
1989	9.2	3.5	2	29.5	16	37	19.5	206	23.5	0	0	34
1990	13	11.9	11.5	37.2	21	14	44.5	108.5	114.5	143.5	12	3.5
1991	10	2	0	0	53.8	64.5	247.5	60	188	36	3	13.5
1992	106.5	3.3	9.5	347.8	103	64.5	53	41	39.5	48	23	5

1993	6.5	4	0	13	118	230.5	100.5	25	144	31.5	19.5	1.5
1994	8.5	0	1	114.5	84.5	83	16	97	97	112	1.5	0
1995	3.6	2	0	39	65	24	25.5	224	27	3	10.3	21
1996	0	3	10	33	1	84.5	25	191	168	26.5	18	0
1997	12	14	82	129	113	34	111	17	8	91	10	3
1998	0	0	2.5	0	0	114	17	129	152	136	6	0
2001	9	8.3	8	25.7	29.3	79.5	59.5	58	81.5	0	11	0
2002	8.7	29	7.8	28	40	36	59	66.5	81.5	0	4.1	0
2003	18.5	0	0	24	85.5	58	110.5	48.5	134.5	99	0	0
2004	17	6	51	16	42	153	120	100.2	100.8	45	4	8
2005	12	32	19.5	0	28	20	114	143	74	24.5	0	0
2006	0	0	33	0	21	24	49	35.6	129	26.5	43	29.5
2007	7	28	0	64	45	162.5	158.6	162	184	6	14.5	0
2008	0	0	0	4	41.5	103	141	219.5	121	54.3	19.9	0
2009	3.5	0	0	0	32.5	85	85	32.5	77.5	90.5	0	37
2010	31	83.5	0	58.5	18	43.5	224	114.5	105.5	2	0	0
2011	4	8	9	0	0	77	163	10	59.5	50.5	0	0
2012	22	60	27.5	0	10	124.5	142.5	66.5	94	3	4	0
2013	17	0	1.5	0	40.8	35.5	60	104	210.5	14	134.5	66
2014	32	0	11	8.5	96.1	185.5	124.5	46	145.5	47.5	32	8.5

Los Datos de este tipo de celdas son datos faltantes y se determinaron por medio del método Racional Deductivo.

Analizando la información anterior obtenemos una precipitación media anual de 571.7 m.

Análisis estadístico de precipitación

Para el diseño del sistema de drenaje pluvial, como otras obras de infraestructura, se requiere de estimaciones de eventos futuros, ya sea extremos, como la precipitación máxima en un intervalo de tiempo o los volúmenes de escurrimiento acumulados en un intervalo de tiempo. Así, con base en la historia del fenómeno es posible estimar la magnitud de un fenómeno de acuerdo con una probabilidad de ocurrencia (Comisión Nacional del Agua, 2016b).

Una función de distribución de probabilidad representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria en un rango predefinido (Comisión Nacional del Agua, 2016b).

Las funciones de distribución de probabilidad empleadas son: Log-Pearson, gama incompleta y Gumbel.

Para cada función de distribución se evaluó el error cuadrático mínimo (Cuadro 3-6). El método que reporta el menor error fue el de Log-Pearson.

Cuadro 3-6 Comparativa de métodos de distribución de probabilidad.

COMPARACIÓN	
Log-Pearson	70.78 %
Gama incompleta	83.17 %
Gumbel	87.02 %

En el siguiente cuadro se observa las precipitaciones con la función de ajuste Log-Pearson para diferentes Tiempos de retorno representativos. Con estos datos se desarrollan las curva precipitación-duración-periodo.

Cuadro 3-7 Precipitaciones de 24 hr para diferentes Tiempos de retorno (Tr), con una distribución de probabilidad Log-Pearson.

Tr	Precipitación (mm)
	P_{24}^{10}
2	58.55
5	83.83
10	106.39
25	142.89
50	176.92
100	217.89

Curvas Precipitación-Duración-Periodo de Retorno (P-D-Tr)

Aplicando la ecuación de Frederick Charles Bell para el cálculo de lluvias de diseño, tenemos la precipitación en duraciones y periodos de retorno representativos (tabla 2.4).

$$P_{Tr}^t = [0.35 \ln(Tr) + 0.76] * [0.54t^{.25} - 0.50]P_2^{60}$$

Dónde:

Tr = Periodo de retorno (años)

t = Duración (minutos)

P⁶⁰ = Precipitación en 60 minutos (mm)

Cuadro 3-8 Valores obtenidos P-D-Tr

TR (Años)	Duración (min)							
	5	10	20	40	60	100	120	1440
2	14.92	22.33	31.15	41.63	48.66	58.60	62.46	137.15
5	19.69	29.48	41.11	54.95	64.23	77.34	82.44	181.02
10	23.30	34.88	48.65	65.03	76.01	91.52	97.56	214.21
25	28.08	42.03	58.62	78.34	91.57	110.27	117.54	258.08
50	31.69	47.43	66.15	88.42	103.35	124.45	132.65	291.27
100	35.30	52.83	73.69	98.49	115.12	138.62	147.77	324.45

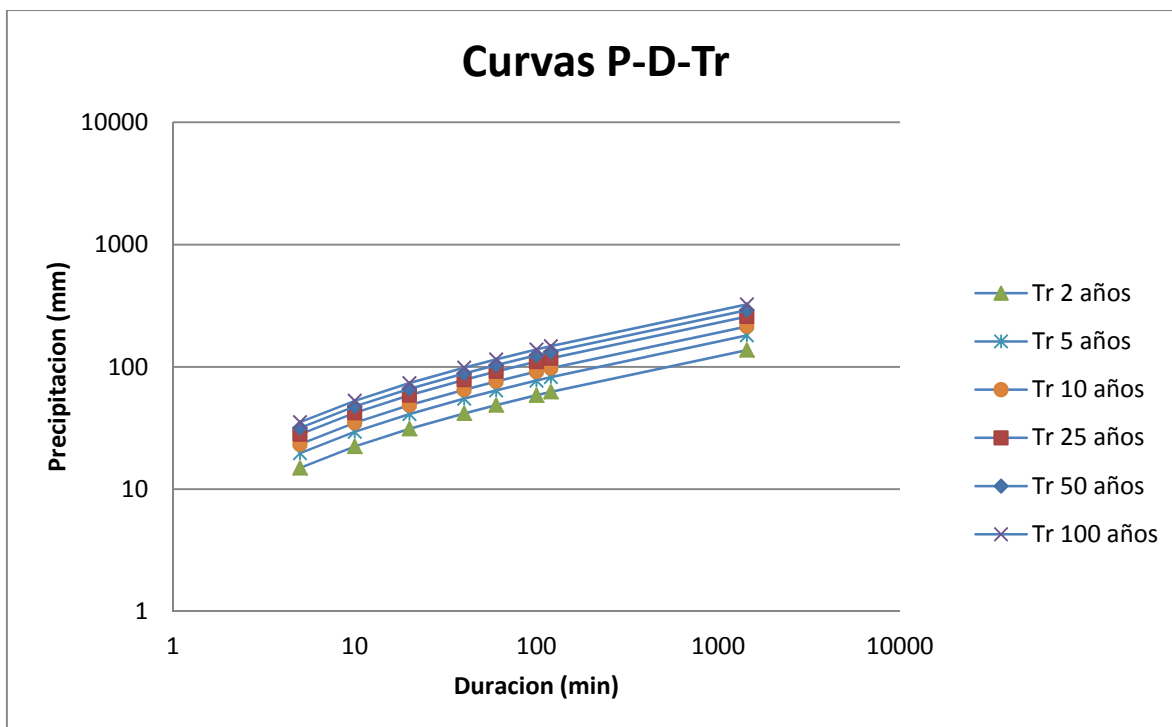


Figura 3-12 Curva P-D-Tr

Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno (I-D-Tr).

Los valores de lluvia que se miden en una estación son de tipo puntual y en el mejor de los casos, permiten conocer la variación de la misma con respecto al tiempo. Con la información histórica de las precipitaciones ocurridas en la estación, al realizar el análisis de la información también se puede determinar el periodo de retorno que tiene cada una de las lluvias registradas (Comisión Nacional del Agua, 2016b).

Cuadro 3-9 Valores I-D-Tr

Tr	Duración (min)									
	10	15	20	30	45	60	80	100	120	1440
2	32.2	26.7	23.1	18.4	14.4	12.0	9.9	8.6	7.6	1.3
5	82.5	68.4	59.0	47.0	36.8	30.7	25.4	21.9	19.4	3.4
10	120.6	100.0	86.2	68.7	53.8	44.8	37.1	32.0	28.3	4.9
25	170.8	141.7	122.2	97.3	76.2	63.5	52.6	45.4	40.1	7.0
50	208.9	173.2	149.4	119.0	93.1	77.6	64.3	55.4	49.0	8.6
100	246.9	204.8	176.6	140.7	110.1	91.7	76.0	65.5	58.0	10.1

A partir de las curvas I-D-Tr se obtiene la lluvia de diseño (Figura 3-13) para posteriormente calcular las obras de captación.

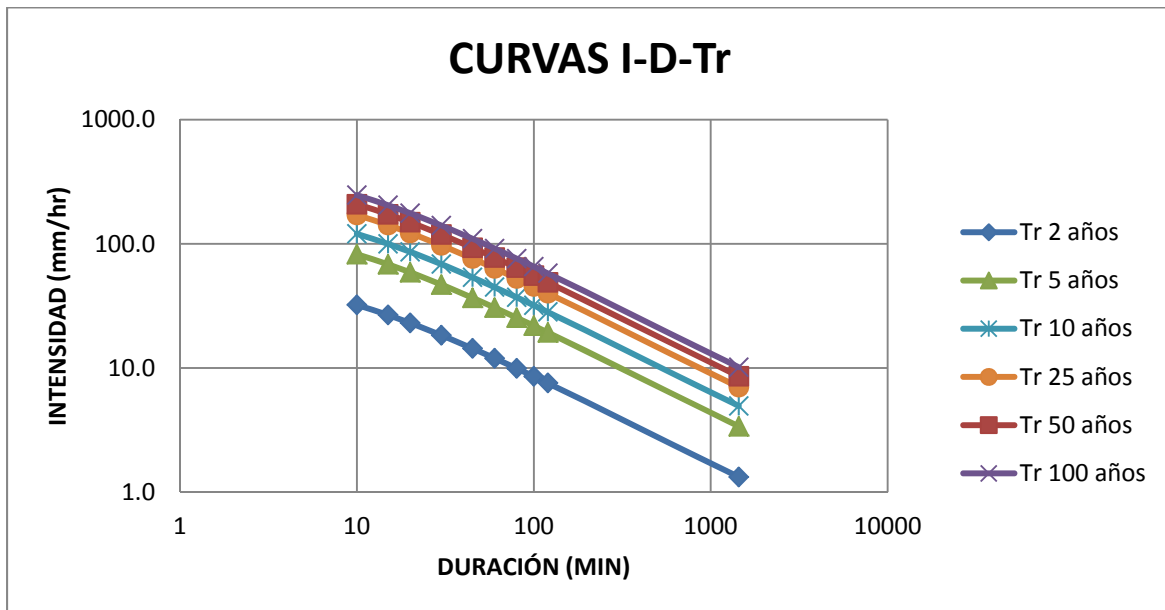


Figura 3-13 Curva I-D-Tr

Diseño de tecnologías apropiadas

Captación de agua de lluvia

Volumen de captación y demanda de agua.

Para determinar el volumen de captación, se consideran meses representativos con una precipitación promedio mensual mayor a 40 mm (Díaz de León Zavala, 2017), los registros de precipitación que se tienen son de 27 años.

Cuadro 3-10 Precipitación promedio mensual para la zona de estudio.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
14.44	12.04	11.34	40.94	44.48	81.34	101.86	91.18	103.59	44.63	16.45	9.37

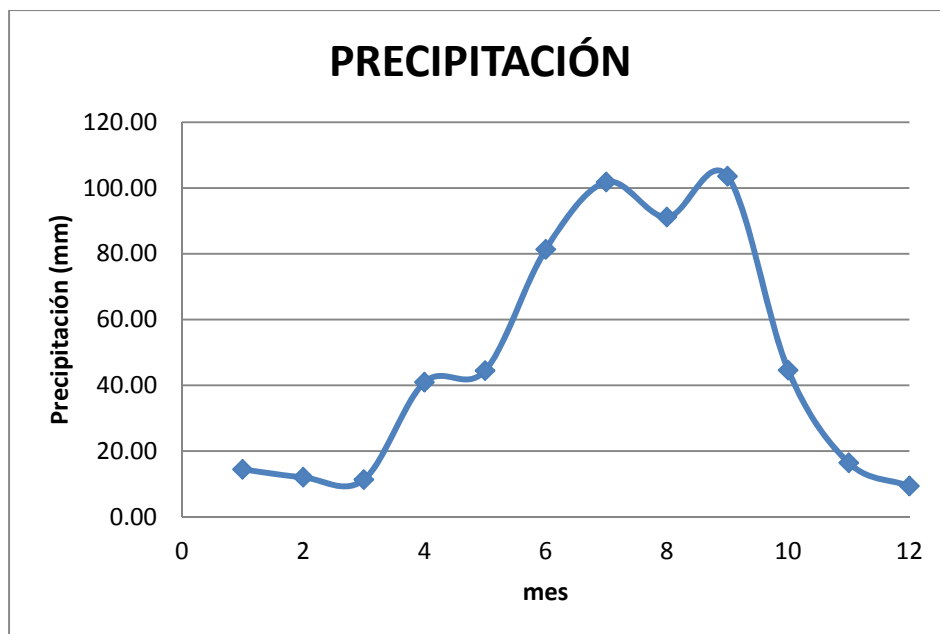


Figura 3-14 Climatología anual de precipitación media

Posteriormente a estos meses se les aplica el factor de escorrentía (0.75) para obtener la precipitación neta de diseño para este proyecto.

Cuadro 3-11 Precipitación neta

Meses con lluvia	Precipitación promedio mensual (mm)	Precipitación neta (mm)
ABR	40.94	30.71
MAY	44.48	33.36
JUN	81.34	61.01
JUL	101.86	76.39
AGO	91.18	68.38
SEP	103.59	77.69
OCT	44.63	33.48

A continuación, se muestra la demanda de agua que está en función del uso, como ya se mencionó 50 litros de agua por persona al día y para la agricultura una demanda de 0.27m³/día (con base en una dotación de 2.8 L/m² con una superficie de 96 m² en invernadero).

Cuadro 3-12 Demanda mensual de agua por vivienda.

Demanda de agua	Valor	Unidad
Nu=	5	Habitantes
Dot=	50	L/hab/día
Nd=	30.42	Días/mes
Demanda por día=	0.25	m ³ /día
Demanda mensual=	7.60	m ³ /mes
Demanda anual=	91.25	m ³ /año

Dónde:

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd: promedio de días al mes.

Dot: dotación (L/persona - día).

Cuadro 3-13 Demanda mensual de agua por invernadero

Demanda de agua	Valor	Unidad
Área de invernadero=	96	m ²
Demanda por día=	0.27	m ³ /día
Demanda mensual=	8.18	m ³ /mes
Demanda anual=	98.11	m ³ /año



Figura 3-15 Invernadero particular.

Se le dará prioridad a la demanda de agricultura, ya que hasta el momento es mucho más costoso cosechar los alimentos que comprarlos. El principal beneficio de esta práctica es la calidad de sus cosechas.

Almacenamiento

Se trabajó en una casa muestra para realizar los análisis y el diseño de captación de agua de lluvia, posteriormente se podrán replicar en los demás hogares. La casa muestra tiene un área de captación total de 449.13 m² (Cuadro 3-14 y Figura 3-16).

Cuadro 3-14 Área de captación.

Material	Área	Unidad
Concreto	184.7	m ²
Lamina	168.4	m ²
Área de invernadero	96.0	m ²
Total	449.13	m²



Figura 3-16 Área de captación disponible.

En la figura 3-17 se muestra el plano de la casa de estudio con los tipos de áreas de captación a utilizar.

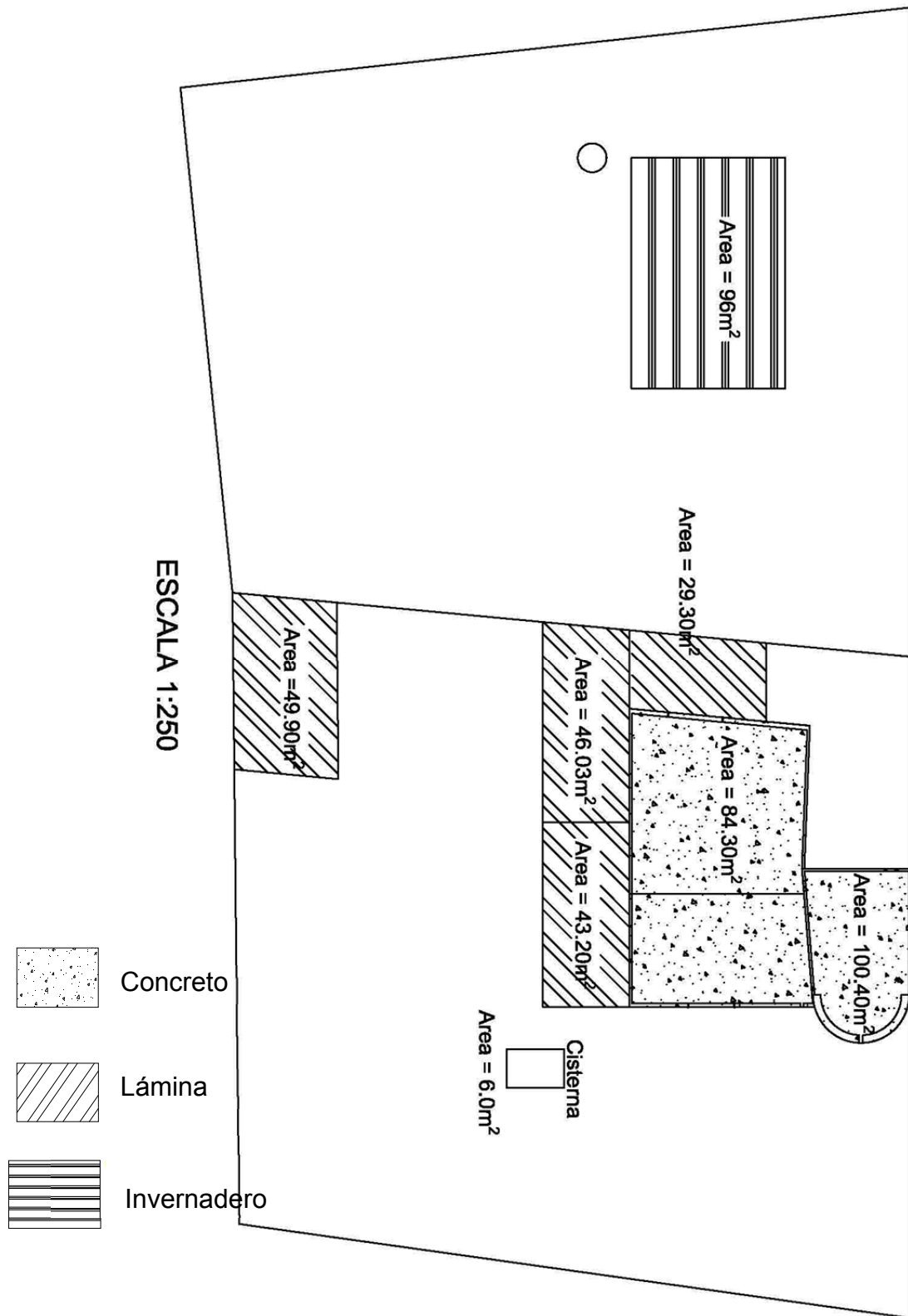


Figura 3-17 Plano de casa-habitación

Después para determinar el volumen de cisterna necesario primero se analizó el máximo volumen almacenado (Cuadro 3-15). Para la obtención de este volumen se utilizó el análisis de balance hídrico con el volumen de tanque ilimitado, en el caso de estudio se tiene un volumen máximo de 64.02m³ y se muestra en el Cuadro 3-15.

Cuadro 3-15 Máximo volumen de almacenamiento.

		VOLUMEN DEL TANQUE: 1000 m ³									
Demanda por vivienda	0.25	m ³ /dia									
Demanda por invernadero	0.27	m ³ /dia									
Total	0.52	m³/dia									
Area de captación:	449.13	m²									
MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
DÍAS	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28
Precipitación mm	30.71	33.36	61.01	76.39	68.38	77.69	33.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda (m ³ /mes)	15.56	16.08	15.56	16.08	16.08	15.56	16.08	15.56	16.08	16.08	14.53
Volumen captado (m ³ /mes)	13.79	14.98	27.40	34.31	30.71	34.89	15.03	0.00	0.00	0.00	0.00
% de la demanda aportado	88.61	93.16	176.05	213.33	190.97	224.18	93.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Balance parcial (m ³)	-1.77	-1.10	11.84	18.23	14.63	19.33	-1.05	-15.56	-16.08	-16.08	-14.53
Balance total (m ³)	-1.77	-2.87	8.96	27.19	41.82	61.15	60.10	44.54	28.45	12.37	-2.16
Volumen en el tanque(m ³)	0.00	0.00	11.84	30.06	44.69	64.02	62.97	47.41	31.33	15.24	0.72
Días satisfechos	27	29	30	31	31	30	31	30	31	31	28

En la Figura 3-18 se muestra el gráfico de volúmenes de almacenamiento para diferentes áreas de captación en condiciones similares (que cuentan con invernadero) y se incluye el tamaño de almacenamiento según los modelos propuestos (Cuadro 3-16) por el Manual de diseño y construcción de sistemas de capacitación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile (UNESCO, 2015).

Cuadro 3-16 Volúmenes y dimensiones de cisterna tipo capuchina.

Aplicación	Cisterna (m ³)	Diámetro (m)	Altura (m)
Vivienda	11	2.96	2.4
	20	3.8	2.4
	35	4.5	2.4
	50	5.4	2.4
comunitario	100	8	2.4
	500	19	2.4
	1000	19	4.8

El gráfico que relaciona volumen de almacenamiento y área de captación se elaboró de la siguiente manera:

- ✓ Primero se obtiene el área de captación donde se comienza a tener excedentes, considerando la precipitación y la demanda constantes:

$$\text{Área de captación} = \frac{\text{Demanda}_{\text{mes con mayor precipitación}}}{\text{Mayor precipitación mensual}/1000} = \frac{15.56\text{mm}^3}{77.69\text{mm}/1000} = 200.34\text{m}^2$$

Para áreas menores o iguales a esta el volumen de almacenamiento se considera como el volumen captado en el mes con más lluvia.

- ✓ Posteriormente se busca el área con la que se tiene un excedente igual a la demanda del mes con mayor precipitación, en este caso fue de 278.18m², para este caso el volumen de almacenamiento será la demanda en ese mes. Y para áreas mayores a esta, el almacenamiento será el volumen excedente.

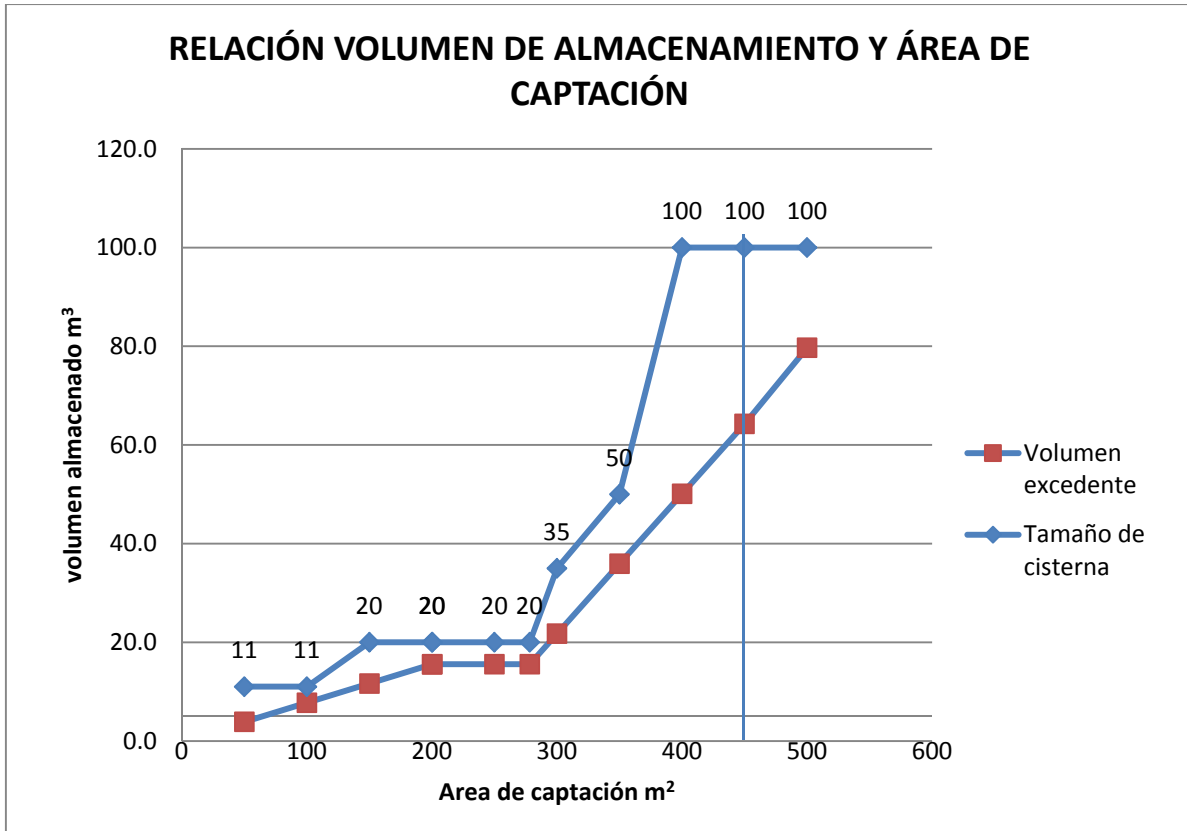


Figura 3-18 Volumen máximo de almacenamiento

Para el caso de estudio se tiene un volumen excedente de 64.02m^3 como se puede observar en la Figura 3-18, por lo que se requeriría una cisterna de 100m^3 para almacenar toda el agua o bien una de 50m^3 por ser la más grande a nivel vivienda de acuerdo al Cuadro 3-16. Debido al conocimiento del proceso constructivo, a la limitación de recursos y que se cuenta con un volumen adicional de almacenamiento de 13.9m^3 , se elige un almacenamiento de 20m^3 , quedando un volumen total de almacenamiento de 33.9m^3 .

Adicionalmente se realizó un análisis similar al anterior para las familias que no cuentan con invernadero pero se considera la implementación de un huerto de traspatio de 12m^2 , en el Cuadro 3-17 se obtiene la demanda necesaria de agua para el funcionamiento del huerto, considerando una producción de jitomate (López López, Magaña Lira, y García Buendía, 2014).

Cuadro 3-17 Demanda de agua estimada para huerto de traspatio

4	plantas/m ²
12	m ²
48	Plantas
2	L/planta/día
96	L/día
0.096	m ³ /día

Se realizó el gráfico para estas condiciones con la metodología descrita anteriormente.

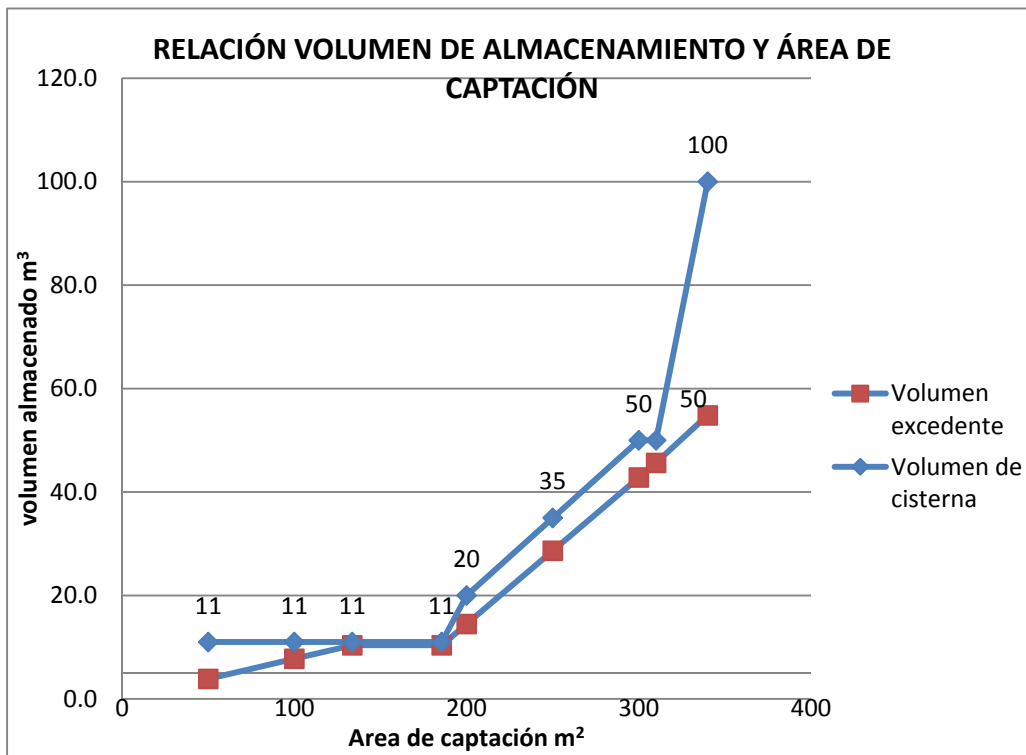


Figura 3-19 Volumen máximo de almacenamiento con huerto de traspatio

Para una demanda de 0.35m³/día; 0.25 m³/día para uso doméstico y 0.10m³/día para uso en huerto; y la precipitación de diseño, se cumple con la demanda total en un año con un área aproximada de 335 m².

Balance hídrico

Se realiza el balance hídrico, como se describe anteriormente, con base en los datos del proyecto: volumen de cisterna de 33.9m^3 , demanda total de $0.52\text{ m}^3/\text{día}$ y la precipitación neta de cada mes. En el Cuadro 3-18 se observa que se tiene un total de 272 días satisfechos, casi el 75% de la demanda total anual, con el estudio costo – beneficio se conocerá su factibilidad económica.



Figura 3-20 Ubicación de cisterna a construir.

Cuadro 3-18 Análisis hídrico: caso de estudio.

Demanda por vivienda	0.25	m ³ /día	VOLUMEN DEL TANQUE: 33.9 m ³ 272 días satisfechos								
Demanda por invernadero	0.27	m ³ /día									
Total	0.52	m³/día									
Area de captación:	449.13	m²									
MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
DÍAS	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28
Precipitación mm	30.71	33.36	61.01	76.39	68.38	77.69	33.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda (m ³ /mes)	15.56	16.08	15.56	16.08	16.08	15.56	16.08	15.56	16.08	16.08	14.53
Volumen captado (m ³ /mes)	13.79	14.98	27.40	34.31	30.71	34.89	15.03	0.00	0.00	0.00	0.00
% de la demanda aportado	88.61	93.16	176.05	213.33	190.97	224.18	93.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Balance parcial (m ³)	-1.77	-1.10	11.84	18.23	14.63	19.33	-1.05	-15.56	-16.08	-16.08	-14.53
Balance total (m ³)	-1.77	-2.87	8.96	27.19	41.82	61.15	60.10	44.54	28.45	12.37	-2.16
Volumen en el tanque(m ³)	0.00	0.00	11.84	30.06	33.90	33.90	32.85	17.29	1.20	0.00	0.00
Días satisfechos	27	29	30	31	31	30	31	30	31	2	0

Diseño de líneas de conducción.

Con la visita de campo se analizaron los recorridos de las líneas de conducción quedando como se muestran en la Figura 3-21.

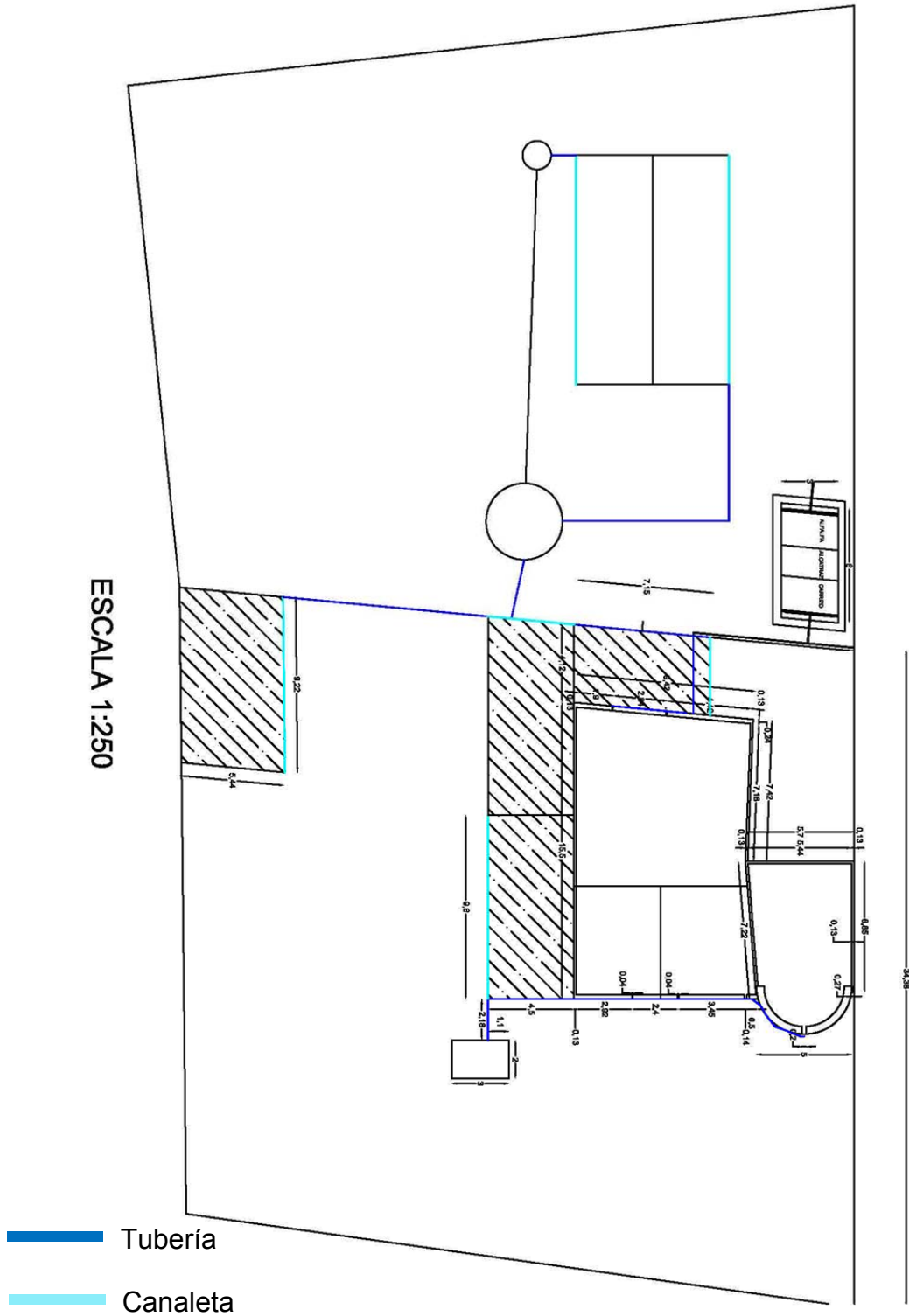


Figura 3-21 Plano de líneas de conducción.



Figura 3-22 Recorrido de líneas de conducción.

Después se realizó el dimensionamiento de las líneas de conducción, como primer paso se obtiene el área efectiva.

$$A_{ec} = A_t * \text{coeficiente de escorrentia}$$

$$A_{ec} = 449.13m^2 * 0.75 = 336.8 m^2$$

Como segundo paso se obtiene la duración, a partir de la fórmula de Kirpich.

Dónde:

t_c = tiempo de concentración (min).

L = longitud del cauce principal (m).

S = pendiente del cauce principal (m/m).

$$t_c = \frac{0.0195L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

La longitud del cauce principal se consideró de acuerdo a la longitud del recorrido existente entre el punto más lejano del techo de captación y la cisterna, en este caso es de 5.9 m.

$$t_c = \frac{0.0195 * 5.9^{0.77}}{.02^{0.385}} = 0.35 \text{ min}$$

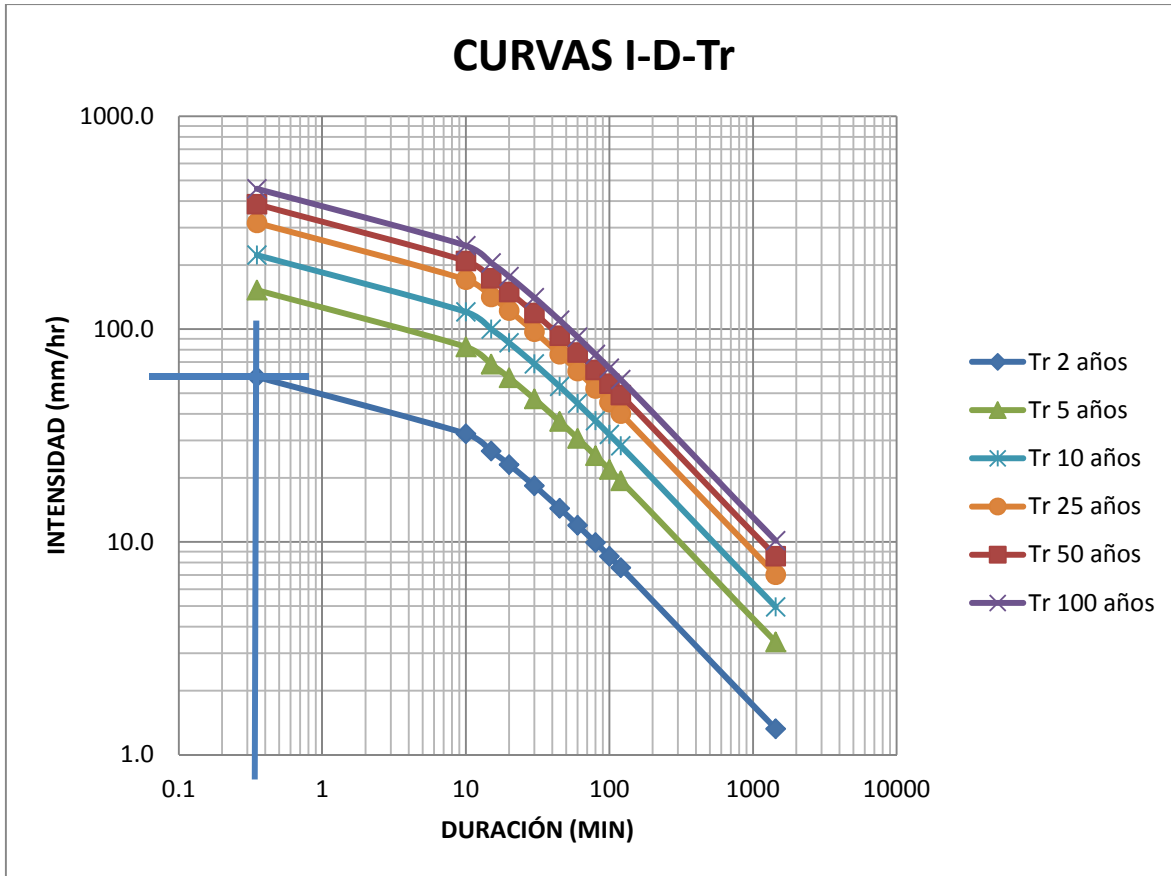


Figura 3-23 Intensidad de diseño

Después se obtiene la intensidad máxima de lluvia a partir de las curvas I – D – Tr con un periodo de retorno de diseño 2 años (descrito anteriormente) y una duración de 0.35 minutos. En la Figura 3-23, se muestra la Intensidad de diseño = 59.6mm/h.

Posteriormente se obtiene el gasto de diseño para las líneas de conducción.

Cuadro 3-19 Resumen de valores para obtener el gasto de diseño.

$Q_c = \frac{5}{18} (A_{ec} * I_{lluvia})$	$Q_c =$ Caudal de conducción.	$L/s = 5.58 = 0.006 \text{ m}^3/s$
	$A_{ec} =$ Área efectiva de captación.	$\text{m}^2 = 336.84$
	$I_{lluvia} =$ Intensidad máxima de lluvia en la zona.	$\text{m/hora} = 0.06$
	$5/18 =$ Factor de conversión de m^3/hora a L/s.	0.28

Finalmente a partir del gasto de diseño, la rugosidad (para PVC) y la pendiente de la línea entre el punto más lejano de captación y la cisterna, se propone el diámetro del tubo y se va realizando la corrección con ayuda de la fórmula de Manning.

Cuadro 3-20 Resumen de valores para obtener el diámetro de tubería.

DATOS	
Diámetro	d= 0.102 m
Gasto	Q= 0.006 m ³ /s
Rugosidad	n= 0.002
Pendiente	So= 0.020

El diámetro a utilizar es de 4" (10.2cm), con este se cumple que Y/D sea menor a 0.5.

$$K = \frac{Q * n}{S^{0.5}} = AR_h^{2/3}$$

Cuadro 3-21 Tirante normal circular.

Y/D	y	θ	θ	ÁREA	PERÍMETRO	R _h	K
	m	Rad	°	m ²	m	m	AR _h ^{2/3}
0.01	0.001	0.200	11.478	0.000	0.020	0.001	1.06E-07
0.05	0.005	0.451	25.842	0.000	0.046	0.003	3.36E-06
0.10	0.010	0.644	36.870	0.000	0.065	0.006	1.46E-05
0.19	0.019	0.894	51.244	0.001	0.091	0.012	5.35E-05
0.20	0.020	0.927	53.130	0.001	0.094	0.012	6.13E-05
0.3	0.031	1.159	66.422	0.002	0.118	0.0174	1.37E-04



Figura 3-24 Líneas de conducción instaladas.

Diseño de humedal artificial.

Con respecto al diseño del humedal artificial proyectado para el tratamiento de aguas negras se realizó de acuerdo con las características de la casa-habitación, en el Cuadro 3-22 se muestran el resumen de la información.

Cuadro 3-22 Recopilación de datos para el diseño del humedal.

habitantes por casas =	5	personas
Consumo por persona =	50	L/ hab/d
Gasto inicial =	250.00	L/d
A_p: aportación (75%) =	37.5	L/d
Q_{MED} =	0.002	L/s
Q_{MED} =	0.188	m ³ /d
Porosidad (grava) =	38%	
Profundidad =	60	cm

El gasto de diseño se estima en función de la población y de la aportación de la siguiente manera:

Dónde:

$$Q_{MED} = \frac{A_P P}{86400}$$

Q_{MED} = Gasto medio de aguas residuales en l/s
 A_P = Aportación de aguas residuales por día, en l/hab
 P = Población, en número de habitantes
 86 400 = Segundos en un día, s/d

De acuerdo con lo descrito anteriormente y con los datos mostrados se tienen los siguientes resultados:

Cuadro 3-23 Determinación del área superficial

Parámetro	Valor afluente	Valor efluente	% de remoción	KVT	KA	C*	EPA	Kadlec
							As	As
							m ²	m ²
DBO₅, mg/l	190	20	89.47	0.49	0.49	13.57	3.8	1.3
SST, mg/l	210	22	89.52	8.22	8.22	21.03	0.2	0.1
N, mg/l	40	5	87.50	0.07	0.07	1.50	23.1	6.1
CF, NMP/100 ml	1000000	240	99.98	0.26	0.26	10.00	26.3	6.0

No existe una regla para la selección del modelo, según Kadlec la mayor demanda de área necesaria es de 6 m² y según la EPA es de 28.6 m². El área efectiva a utilizar es de 13.5 m² (4.5m x 3m) debido a criterios de construcción y disponibilidad de terreno, además cumple con la metodología de Kadlec.

Determinación del tiempo de residencia hidráulica (TRH) nominal, el recomendado por Tchobanoglous y Burton (1991) varía entre cuatro y 15 días, dependiendo del tipo de contaminantes, las tasas de remoción de contaminantes y de los objetivos de tratamiento; Kadlec y Knight (1996) citan un tiempo de retención hidráulica de 5 a 10 días (Comisión Nacional del Agua, 2016d).

$$TRH_{nominal} = \frac{nD_{WF}}{\left(\frac{Q}{A}\right)} = \frac{0.38 * 0.6m}{\left(\frac{0.188 m^3/d}{13.50m^2}\right)} = 16.40d$$

Donde:

D_{WF} : Profundidad al inicio de la zona final de tratamiento.

n : Porosidad de diseño.

Q : gasto (m^3).

A : área (m^2).

El TRH de diseño está por arriba de lo recomendado por Tchobanoglous y Burton (1991). El TRH pudiera no ser el adecuado para llevar a cabo la remoción adecuada de los contaminantes, pero a mayor gasto menor TRH por lo que se recomienda instalar las tecnologías a la par de esta manera tener mayor flujo de entrada.

- Proceso constructivo

Colocar la tubería de conducción, manteniendo una pendiente del 1%.

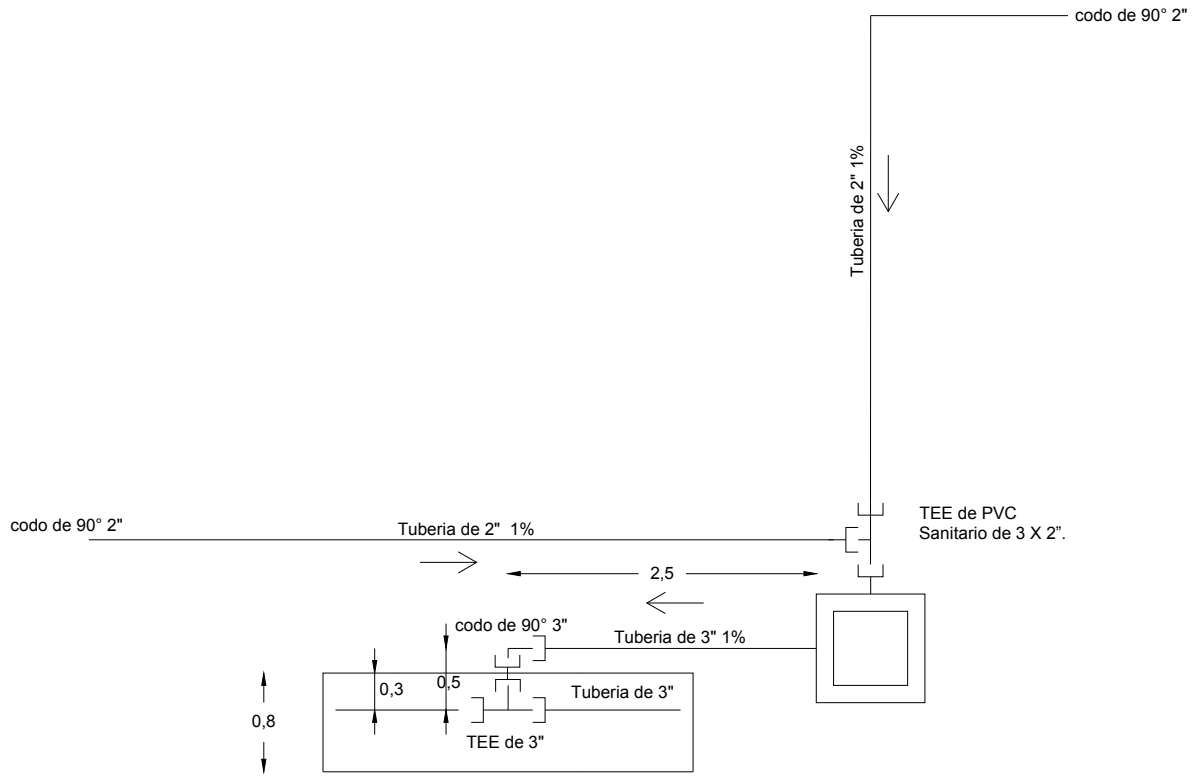


Figura 3-25 Tuberías de conducción.



Figura 3-26 Lugar donde se va a construir el de humedal.



Figura 3-27 Construcción de trampa de grasas.



Figura 3-28 Conexión del agua residual perteneciente al lavado de los trastes.

Realizar una excavación de 5.8 x 3 m con una pendiente del 1% y una profundidad de 65 cm.

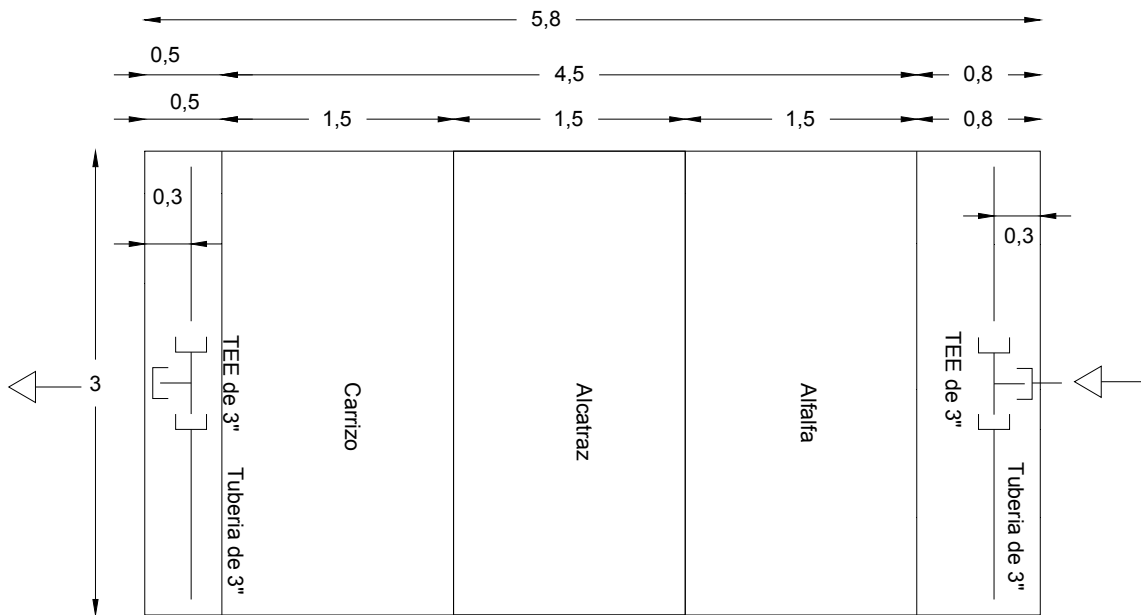


Figura 3-29 Dimensiones del humedal.

Las macrófitas que se colocaron son: alfalfa (*Medicago sativa*), alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) y carrizo (*Phragmites australis*), se dividió el humedal en tres secciones similares uno para cada especie, con el fin de evaluar la remoción de cada una. La primera línea de macrófitas es debido a su valor como fitorremediadora y a su potencial para servir como subproducto forrajero; en cuanto a las segundas, es una planta de ornato cuenta con un valor comercial además incrementa las cualidades estéticas del humedal artificial. En el caso del carrizo, se estableció la opción de utilizarlo como especie altamente viable, son comúnmente usadas en los humedales de flujo subsuperficial.

Se recomienda colocar una capa de 5 a 10 cm de arena, antes de comenzar con el llenado de grava del humedal, esto para proteger la geo membrana de pinchazos y cortaduras ocasionados por herramientas o durante la colocación de grava (Delgadillo et al., 2010).

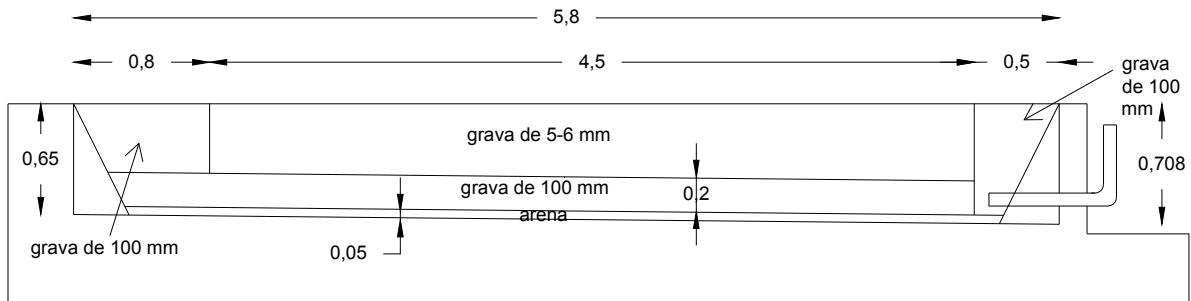


Figura 3-30 Corte longitudinal del humedal

En la Figura 3-31 se muestra el avance en la siembra de alfalfa (*Medicago sativa*), en el humedal.



Figura 3-31 Humedal en funcionamiento.

Sistema de agricultura de traspatio

También llamada huerto familiar, se basa en el aprovechamiento de pequeños espacios para producir alimentos, inclusive reutilizando materiales en desuso. Dependiendo de la cantidad de producción que se dispone de los cultivos se tienen beneficios tanto de la venta de excedentes como en el consumo propio de alimentos frescos, libres de sustancias nocivas para la salud, de alta calidad nutrimental y a bajo costo, mejorando la dieta familiar y aprovechando fuerzas de trabajo subutilizadas (amas de casa, los adultos mayores y los niños) que sin tener

que abandonar su hogar generan empleos. Sumados todos estos beneficios se tiene un apoyo a la economía familiar.

En la casa de estudio se cuenta con un invernadero de traspatio de 12 x 8m, con sistema de riego por goteo y produciendo hortalizas como cilantro, rábano, calabaza, chile guajillo y jitomate .



Figura 3-32 Producción de hortalizas en el invernadero de traspatio.

Se contabilizaron dos ciclos de cultivo, el primero incluye cilantro, calabaza, chile guajillo y rábano con un periodo de octubre – abril y el segundo de jitomate de abril – octubre. En el Cuadro 3-24 se muestran los ingresos obtenidos con la venta de los cultivos.

Cuadro 3-24 ingresos del primer ciclo de cultivo

Cilantro	Calabaza	Chile guajillo	Rábano
39 manojos	2 manojos de flor	1.52 Kg	38 Manojos
\$8.00 /manejo	\$5.00 \$/manejo	\$100.00 \$/kg	\$8.00 /manejo
\$312.00	\$10.00	\$152.00	\$304.00
	1.52 Kg de calabaza		
	\$10.00 /Kg		
	\$15.20		

El primer ciclo cuenta un ingreso total de \$ 793.2 y el segundo de \$ 2,710.00. Dando un ingreso total de \$3,503.20 hasta agosto, faltaría los meses de septiembre y octubre para completar el ciclo.

En las viviendas que no cuenta con invernaderos, se deben considerar la implementación de un huerto familiar con el tanque regulador de nivel, de esta manera puede mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Análisis costo - beneficio

Evaluación económica privada.

En esta sección se analiza la aplicación de las tecnologías apropiadas para mejorar el abastecimiento de agua, considerando una inversión privada, esta sección considera únicamente la parte monetaria de un proyecto con el objetivo de considerar su rentabilidad en términos de flujos de dinero.

En el Cuadro 3-25 y Cuadro 3-26 se muestra la cuantificación de los costos y los beneficios:

➤ Gastos

Cuadro 3-25 Gastos considerados para la corrida financiera

Cisterna	\$13,750.44
Líneas de conducción	\$3,560.18
Total	\$17,310.62

➤ Beneficios

Cuadro 3-26 Beneficios esperados

Días satisfechos	272	
Costo por pipa de agua (10,000 L)	\$ 450.00	
Costo de agua	\$ 45.00	/m ³
Demanda diaria	0.52	m ³ /día
Beneficio anual	\$6,345.15	

A continuación se observa el análisis financiero para el caso de estudio con los indicadores propuestos: VAN y TIR. Tomando en cuenta una TSD (Tasa Social de Descuento) del 10%, una proyección a 15 años y los egresos e ingresos arriba mencionados.

➤ Flujo

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gastos	17310.62	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
Beneficio		6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15
Flujo	-17310.62	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15
VAN costos	17310.62	1090.91	991.74	901.58	819.62	745.11	677.37	615.79	559.81	508.92
VAN beneficios	0.00	5768.31	5243.92	4767.20	4333.82	3939.84	3581.67	3256.06	2960.06	2690.96
VAN	-17310.62	4677.41	4252.19	3865.62	3514.20	3194.73	2904.30	2640.27	2400.25	2182.04

Año	10	11	12	13	14	15		
Gastos	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00		
Beneficio	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	Total VAN costos	26437.91
Flujo	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	Total VAN beneficios	48261.69
VAN costos	462.65	420.59	382.36	347.60	316.00	287.27	Relación B/C	1.83
VAN beneficios	2446.33	2223.94	2021.76	1837.96	1670.88	1518.98	VAN	21823.77
VAN	1983.68	1803.34	1639.40	1490.37	1354.88	1231.71	TIR	29.08%

El VAN es de 21823.77 al ser mayor que cero, lo mismo pasa al evaluar la TIR con un 29.08% es mayor que la tasa social de descuento, por lo que el proyecto es financieramente aceptable. Tomando en cuenta la inversión, este proyecto solo sería posible con apoyo externo para zonas marginadas, debido a la falta de solvencia económica.

Evaluación económica social.

Para una correcta evaluación es necesario identificar todas las actividades sociales que se impactarán o se verán afectadas por el proyecto. Para ello, se debe comparar una situación sin proyecto contra otra que contemple el proyecto ya implementado e identificar, cuantificar y valorar los beneficios y costos sociales de cada una, a fin de determinar el diferencial entre ambas (Comisión Nacional del Agua, 2007).

➤ Situación sin proyecto y posibles soluciones

Las personas que viven en una localidad deben regirse por los intereses mutuos y los beneficios mayoritarios, por ejemplo el abastecimiento de agua es un bien que debería resolverse por la comunidad como una unidad, siendo esto más económico que si se hace individualmente.

Desde hace unos años la comunidad ha generado diferentes estrategias de organización social tendientes a acceder al sistema de agua en red, pero la existencia de antecedentes de conflicto origina un gran escepticismo que hasta el momento no se puede superar.

El surgimiento de otros problemas como es la dificultad de realizar obras de conducción de agua en la zona, debido a la falta de disponibilidad de terreno hace que con el paso de los años se agrave la situación.

La alternativa a evaluar como ya se mencionó son tecnologías apropiadas específicamente captación de agua de lluvia, a continuación se muestra la determinación de los costos y beneficios pertinentes.

➤ Excedente del consumidor

El proyecto tiene como beneficio incrementar el suministro de agua potable y por ende los consumos de la población beneficiada, el beneficio del proyecto representa la valoración de la cantidad adicional de agua que estará disponible para su consumo.

El excedente del consumidor es la diferencia entre lo que los consumidores están dispuestos a pagar por un bien o servicio y lo que efectivamente pagan. Para el mercado de un bien o servicio determinado, el excedente del consumidor está determinado por el área debajo de la curva de demanda y por encima del precio de un bien (Comisión Nacional del Agua, 2016c).

Como primer paso se determina el consumo, en la situación inicial (Q_0) será de 50 L/persona. El consumo final (Q_1), para zonas rurales se recomienda considerar un consumo promedio diario de 100 L/persona, el cual está en función del uso doméstico de acuerdo al Cuadro 3-27, en zonas rurales el consumo varía con respecto a la región, las condiciones climatológicas e hidrológicas, las costumbres locales y la actividad de los habitantes tienen una influencia directa en la cantidad de agua consumida (Comisión Nacional del Agua, 2016e).

Cuadro 3-27 Consumo doméstico en el medio rural.

Uso	Consumo diario L/hab
Bebida, cocina y limpieza	30
Eliminación de excretas	40
Aseo personal	30

Una vez que se tienen los consumos (Q_0 y Q_1), se procede a obtener los costos (P_0 y P_1), el primero se obtiene a partir de los históricos existentes \$ 45.00/L, y el segundo se obtiene a partir del balance hídrico (Cuadro 3-28) específicamente de los días satisfechos.

Cuadro 3-28 Balance hídrico para excedente del consumidor.

Demanda por vivienda	0.50	m ³ /día	VOLUMEN DEL TANQUE: 33.9 m ³ 223 días satisfechos								
Demanda por invernadero	0.27	m ³ /día									
Total	0.77	m³/día									
Area de captación:	449.13	m²									
MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
DÍAS	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28
Precipitación mm	30.71	33.36	61.01	76.39	68.38	77.69	33.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda (m ³ /mes)	23.06	23.83	23.06	23.83	23.83	23.06	23.83	23.06	23.83	23.83	21.53
Volumen captado (m ³ /mes)	13.79	14.98	27.40	34.31	30.71	34.89	15.03	0.00	0.00	0.00	0.00
% de la demanda aportado	59.80	62.87	118.80	143.96	128.87	151.28	63.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Balance parcial (m ³)	-9.27	-8.85	4.34	10.48	6.88	11.83	-8.80	-23.06	-23.83	-23.83	-21.53
Balance total (m ³)	-9.27	-18.12	-13.79	-3.31	3.57	15.40	6.60	-16.46	-40.30	-64.13	-85.66
Volumen en el tanque(m ³)	0.00	0.00	4.34	14.81	21.69	33.52	24.72	1.66	0.00	0.00	0.00
Días satisfechos	18	19	30	31	31	30	31	30	2	0	0

De acuerdo a los días satisfechos se obtienen los costos de agua para satisfacer esta demanda (Cuadro 3-29).

Cuadro 3-29 Costo de agua para el consumo de proyecto

Conceptos	cantidad
Costo de agua de lluvia	\$ 1,200.00
días satisfechos	223
Días que se compra agua	142
Demanda total de días que se compra agua	109.17 m ³
Costo de agua	\$ 45.00 m ³
Costo de agua adicional	\$ 4,912.63
Costo total	\$ 6,112.63
Demanda total anual	280.61 m ³ /año
Costo /m³	\$ 21.78 /m³

Con los datos obtenidos se realizó la gráfica de la Figura 3-33, el área bajo la función de demanda y que está representada por a-b-c en la Figura 3-33, representa el beneficio de excedente del consumidor.

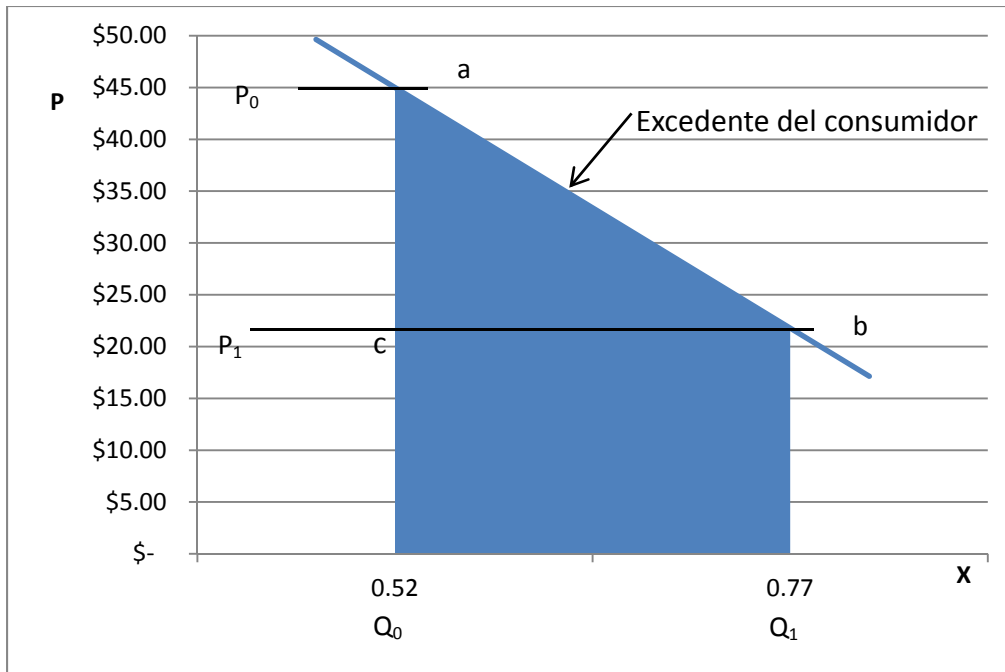


Figura 3-33 Excedente del consumidor para el caso de estudio.

Se tiene entonces:

$$\text{Excedente del consumidor} = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{(45 - 21.78) \cdot (0.77 - 0.52)}{2} = \$2.90/\text{día}$$

La curva de demanda mide la cantidad que están dispuestos a pagar los consumidores por cada unidad adicional consumida.

Los beneficios anuales por excedente del consumidor serán de \$1,059.27/año. Adicionalmente se tienen los analizados en la sección anterior que son de \$6,345.15/año.

➤ Costos.

Los costos que se incluyen en esta sección, serán los mismos que en la evaluación económica privada.

➤ Beneficios Intangibles:

En México, el problema de escasez de agua se ha ido agravando en las décadas recientes, a tal grado que las demandas por el recurso surgen a tasas crecientes

y, en algunos casos, se comienzan a manifestar de manera violenta. La competencia por el recurso es ya causa de conflictos de diferente intensidad y escala, donde las causas de la confrontación varían según el caso y la presencia de violencia es vital para determinar la naturaleza del conflicto se puede presentar después de que se agotaron todos los recursos posibles por la vía institucional y sólo resta acudir a la violencia para lograr satisfacer ciertas necesidades vitales para una comunidad; por ejemplo cuando se presentan situaciones frustrantes que causan descontento entre los pobladores; o bien cuando se rompen acuerdos o tratados que causan disgusto a las partes involucradas, y este disgusto a la larga puede generar actos violentos; o bien cuando existen abusos de poder que afectan a la comunidad (Becerra Pérez, Sáinz Santamaría, y Muñoz Piña, 2006).

➤ Externalidades.

Al analizar un abastecimiento por líneas de conducción donde se pretende una reconexión a un pozo, surgiría una disminución de consumo por parte de los habitantes de San Juanico el Grande y el Garambullal, que como se ha venido mencionando son las comunidades que comparten el pozo.

➤ Flujo.

Cuadro 3-30 Recopilación de datos

Beneficios	\$ 7,404.42
Inversión inicial	\$ 17,310.62
Mantenimiento	1200
TSD	10%
Periodo	15 Años

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gastos	17310.62	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
Beneficio		6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15
Flujo	-17310.62	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15
VAN costos	17310.62	1090.91	991.74	901.58	819.62	745.11	677.37	615.79	559.81
VAN ben.	0.00	5768.31	5243.92	4767.20	4333.82	3939.84	3581.67	3256.06	2960.06
VAN	-17310.62	4677.41	4252.19	3865.62	3514.20	3194.73	2904.30	2640.27	2400.25

Año	9	10	11	12	13	14	15
Gastos	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
Beneficio	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15	6345.15
Flujo	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15	5145.15
Van costos	508.92	462.65	420.59	382.36	347.60	316.00	287.27
Van bene	2690.96	2446.33	2223.94	2021.76	1837.96	1670.88	1518.98
Van	2182.04	1983.68	1803.34	1639.40	1490.37	1354.88	1231.71

Cuadro 3-31 Indicadores financieros

Total VAN costos	26437.91
Total VAN beneficios	56318.55
Relación B/C	2.13
VAN	29880.63
TIR	35.46%

El valor positivo de \$29880.63 en el VAN y un beneficio/costo de 2.13 indican una alta rentabilidad del proyecto además de la TIR de 35.46%. La captación de agua de lluvia en San Juanico Chico, social y ecológicamente se justifica ya que sus indicadores resultaron positivos, para abastecer la demanda de consumo humano y uso agrícola (invernadero).

CAPÍTULO 4. Análisis y evaluación de las tecnologías apropiadas aplicadas.

Evaluación económica SCALL vs. Red de abastecimiento

En esta sección se incluye la evaluación del sistema de líneas de conducción que, aunque no es posible realizarse debido a los problemas sociales existentes nos da una referencia en comparación con los SCALL.

Se inicia con la contabilización de los costos que conlleva el proyecto, en el Cuadro 4-1 se muestra un resumen. Solo se incluye la línea de conducción principal; ya que se podrán utilizar las líneas secundarias existentes; y se incluye el costo que representa la reconexión al pozo existente.

Cuadro 4-1 Gastos de líneas de conducción

Cliente: SAN JUANICO CHICO S.L.P.

Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe	%
LIMPIA, TRAZO Y NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA DEL TERRENO, PARA ESTRUCTURAS, ESTABLECIENDO EJES Y REFERENCIAS, ASÍ COMO RETIRO DE MATERIAL VEGETAL.	M2	1,234.5800	\$4.31	\$5,321.04	0.84%
EXCAVACIÓN EN MATERIAL TIPO II, EN ZANJA PARA COLOCACIÓN DE TUBERÍA HASTA 5.50 MTS DE PROFUNDIDAD	M3	1,297.3000	\$56.88	\$73,790.42	11.66%
CAMA DE ARENA DE 10 CMS DE ESPESOR PARA COLOCACIÓN DE TUBERÍA	M3	123.4600	\$303.25	\$37,439.25	5.92%
TUBERÍA HIDRÁULICA DE PVC RD - 26 DE 2" (51 MM) PARA AGUA POTABLE. INCLUYE: SUMINISTRO Y COLOCACIÓN, TODOS LOS MATERIALES NECESARIOS PUOT	ML	2,057.6400	\$92.40	\$190,125.94	30.04%
PRUEBA HIDROSTÁTICA A RED DE AGUA POTABLE A 8 KG/CM ²	ML	2,057.6400	\$24.21	\$49,815.46	7.87%
ACOSTILLADO DE ARENA PARA FIJACIÓN DE TUBERÍA	M3	339.4000	\$303.25	\$102,923.05	16.26%
RELLENO CON MATERIAL DE PRODUCTO DE EXCAVACIÓN, CON COMPACTADOR DE IMPACTO, EN CAPAS DE 20 CM; INCLUYE: ACARREO MATERIAL MEDIDO COMPACTADO AL 90 % PROCTOR. INCLUYE ABUNDAMIENTO.	M3	960.2000	\$76.18	\$73,148.04	11.56%
CARGA Y ACARREO 1ER KM DE MATERIAL.	M3	726.3000	\$27.29	\$19,820.73	3.13%

ACARREO KM SUBSECUENTES DE M3 MATERIAL	1,452.6000	\$4.61	\$28,647.69	14.88%	
CAJA DE VÁLVULAS TIPO 2, CON MURO DE TABIQUE DE 14 CMS, APLANADO PULIDO, PLANTILLA DE CONCRETO, CASTILLOS Y CERRAMIENTOS CON VAR. # 3, TAPA DE CONCRETO Y METÁLICA	2.0000	\$6,918.39	\$13,836.78	2.19%	
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VÁLVULA DE ADMISIÓN Y EXPULSIÓN DE AIRE DE 2". INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN	2.0000	\$7,031.58	\$14,063.16	2.22%	
CONEXIÓN AL POZO EXISTENTE	LOTE	1	\$24,000.00	\$24,000.00	3.79%
TOTAL RED HIDRÁULICA			\$632,931.55	100%	
TOTAL DEL PRESUPUESTO MOSTRADO SIN IVA:			\$632,931.55		
IVA 16.00%			\$101,269.05		
TOTAL DEL PRESUPUESTO MOSTRADO:			\$734,200.60		
(* SETECIENTOS TREINTA Y CUATRO MIL DOSCIENTOS PESOS /60100 M.N. *)					

De esta manera considerando 68 casas (Secretaria de Desarrollo Social, 2013) se tiene un costo por casa de \$10,797.07.

$$\frac{\text{Costo total } x \text{ líneas de conducción}}{\text{N}^\circ \text{ de casas}} = \frac{\$ 734,200.60}{68} = \$10,797.07$$

En los costos de la red hidráulica se incluye el mantenimiento de \$1,200.00 anuales excepto en el periodo 5 será de \$1,300.00, debido al mantenimiento en la bomba. Los beneficios se muestran en el Cuadro 4-2.

Cuadro 4-2 Beneficios de red hidráulica

Demanda abastecida	0.52	m ³ /día
Demanda anual	189.36	m ³ /año
Costo de agua	\$ 45.00	\$/m ³
beneficios anuales	\$8,521.29	

A continuación se presenta el flujo de efectivo generado con los costos y beneficio identificados en la alternativa de líneas de conducción, para el periodo de evaluación.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6
COSTOS	10,797.07	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,300.00	1,200.00
BENEFICIOS		8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29
FLUJO	- 10,797.07	7,321.29	7,321.29	7,321.29	7,321.29	7,221.29	7,321.29
VAN COSTOS	10,797.07	1,090.91	991.74	901.58	819.62	745.11	677.37
VAN BENEFICIOS		7,746.63	7,042.39	6,402.17	5,820.16	5,291.05	4,810.05
VAN	- 10,797.07	6,655.72	6,050.65	5,500.59	5,000.54	4,483.85	4,132.68

AÑO	7	8	9	10	11	12	13	14	15
COSTOS	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00
BENEFICIOS	8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29	8,521.29
FLUJO	7,321.29	7,321.29	7,321.29	7,321.29	7,321.29	7,321.29	7,321.29	7,321.29	7,321.29
VAN COSTOS	615.79	559.81	508.92	462.65	420.59	382.36	347.60	316.00	287.27
VAN BEN.	4,372.77	3,975.24	3,613.86	3,285.33	2,986.66	2,715.15	2,468.31	2,243.92	2,039.93
VAN	3,756.98	3,415.44	3,104.94	2,822.67	2,566.07	2,332.79	2,120.72	1,927.92	1,752.66

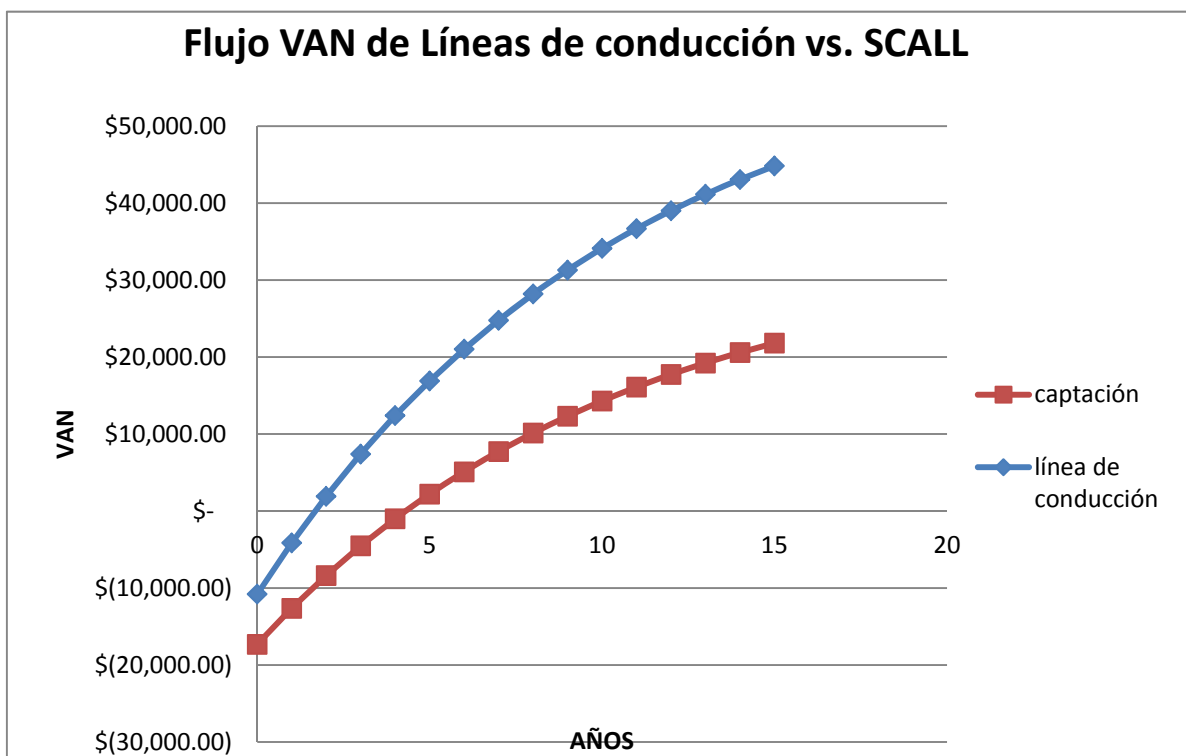


Figura 4-1 Flujo VAN de líneas de conducción vs. SCALL

Financieramente el sistema de líneas de conducción y es más rentable en comparación con el sistema SCALL (Figura 4-1 y Cuadro 4-3), donde no se considera el impacto de la sociedad y al ambiente.

Cuadro 4-3 Comparación de indicadores financieros.

	SCALL	Líneas de conducción
Total VAN costos	26437.91	19924.36
Total VAN beneficios	48261.69	64813.61
Relación B/C	1.83	3.25
VAN	21823.77	44827.15
TIR	29.08	67.73

Es decir la las líneas de conducción tuvieron una relación beneficio/costo de 3.25 mientras que el de captación de agua de lluvia es de 1.83 y el VAN varía entre 44827.15 y 21823.77 respectivamente, si se desea una solución social viable y un desarrollo sustentable que implique el uso correcto del agua deben buscarse alternativas evaluadas bajo un enfoque social.

Balance hídrico para el área del invernadero

En esta sección se analiza el volumen de almacenamiento necesario para captar el agua proveniente del area del invernadero, considerando el uso de agua en el mismo (0.27m³/día) y la precipitación de diseño.

Como se puede observar en el Cuadro 4-4 la demanda es mayor al volumen captado mensual por lo que el balance es negativo, así que el volumen del tanque se propone de acuerdo al volumen máximo mensual captado 7.46m³. En este caso se ha considerado un tanque existente de 2.5 m³ por lo que se requeriria un tanque de almacenamiento de 5 m³ adicional y con ello podria almacenarse toda el agua captada en el techo del invernadero.

Para el área del invernadero y con un almacenamiento adicional de 5m³, se abastecen 136 días al año de riego. Se debe considerar un análisis financiero para conocer su factibilidad además de poder agregar mayor área de captación.

Cuadro 4-4 Balance hídrico para el área del invernadero.

Demanda por vivienda		m ³ /día	VOLUMEN DEL TANQUE: 4.96 m ³ 136 días satisfechos									
Demanda por invernadero	0.27	m ³ /día										
Total	0.27	m³/día										
Area de captación:	96.00	m²										
MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	
DÍAS	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	
Precipitación mm	30.71	33.36	61.01	76.39	68.38	77.69	33.48	0.00	0.00	0.00	0.00	
Demanda (m ³ /mes)	8.06	8.33	8.06	8.33	8.33	8.06	8.33	8.06	8.33	8.33	7.53	
Volumen captado (m ³ /mes)	2.95	3.20	5.86	7.33	6.56	7.46	3.21	0.00	0.00	0.00	0.00	
% de la demanda aportado	36.56	38.43	72.63	88.01	78.78	92.49	38.57	0.00	0.00	0.00	0.00	
Balance parcial (m ³)	-5.12	-5.13	-2.21	-1.00	-1.77	-0.61	-5.12	-8.06	-8.33	-8.33	-7.53	
Balance total (m ³)	-5.12	-10.25	-12.45	-13.45	-15.22	-15.83	-20.95	-29.01	-37.34	-45.68	-53.20	
Volumen en el tanque(m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Días satisfechos	11	12	22	27	24	28	12	0	0	0	0	

Medición de volúmenes de captación y eficiencia

Para conocer los posibles volúmenes de captación se debe conocer la lámina de lluvia, para esto se construyó un pluviómetro en la casa habitación y se colocó a partir del día 25 de enero, obteniendo los siguientes datos:

Cuadro 4-5 Precipitación medida en pluviómetro

	Precipitación media mensual (mm)	Precipitación real (mm)
ENE	14.44	18.00
FEB	12.04	27.00
MAR	11.34	0.00
ABR	40.94	12.50
MAY	44.48	73.00
JUN	81.34	73.50
JUL	101.86	10.00
AGO	91.18	25.00
SEP	103.59	45.00
OCT	44.63	10.00
NOV	16.45	
DIC	9.37	

La eficiencia se mide con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Eficiencia} = (\text{volumen real} / \text{volumen teórico}) * 100$$

Donde:

Volumen teórico = precipitación (mm) * área de captación (m²) / 1000 (m/mm)

Volumen real = medido en campo

La primer lluvia que se registró dentro de la cisterna fue el día 10 de septiembre de 2018, se midió una precipitación de 15 mm, y se tenían líneas de captación instaladas para un área de 209.50 m² en el Cuadro 4-6 se tiene que el análisis de la eficiencia fue de 36%, se pudo observar que se debió a la mala instalación de las líneas de conducción y que era la primera lluvia registrada por lo que el coeficiente de escurrimiento es mayor.

Cuadro 4-6 Estimación de la eficiencia de la captación de agua de lluvia.

Área de captación	209.5	m ²
Precipitación	15	mm
Volumen esperado:	3.14	m ³
Real	1.134	m ³
Eficiencia	36%	

Se corrigieron las fallas en el sistema y el día 11 de septiembre de 2018 se registró una lluvia de 10 mm resultando una eficiencia de 97%, se atribuye a que ya no existen fugas en las líneas de conducción además la humedad que ya existe hace que el coeficiente de escurrimiento sea mayor.

Cuadro 4-7 Estimación de la eficiencia de la captación del agua de lluvia (2^{da} revisión)

Área de captación	209.5	m ²
Precipitación	10	mm
Volumen esperado:	2.095	m ³
Real	2.041	m ³
Eficiencia	97%	

Calidad del agua de las tecnologías apropiadas

Se realizó la caracterización del agua de lluvia con base en la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.



Figura 4-2 Equipo de medición para sulfatos

En el Cuadro 4-8 se observan los resultados para los siguientes parámetros: Organismos coliformes totales, Organismos coliformes fecales, Color, Olor y sabor, Turbiedad, Cloruros (como Cl^-), Dureza total (como CaCO_3), Fluoruros (como F^-), Nitratos (como N), Nitritos (como N), pH, Sodio, Sulfatos (SO_4^-), Dureza de Calcio, Dureza de Magnesio, Potasio, Conductividad eléctrica.

Cuadro 4-8 Análisis físico, químico y bacteriológico encontrada en el agua de cisterna y su cumplimiento según la NOM-127-SSA1-1994

Límites permisibles de características bacteriológicas			
CARACTERÍSTICAS	LÍMITE PERMISIBLE	Concentración Encontrada	cumple
Organismos coliformes totales NMP/100 ml	2 NMP/100 ml	2400	NO
	2 UFC/100 ml		
Organismos coliformes fecales NMP/100 ml	No detectable NMP/100 ml	2400	NO
	Cero UFC/100 ml		
Límites permisibles de características físicas y organolépticas			
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.	64	NO
Olor y sabor	Agradable	Agradable	SI
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	12	NO
Límites permisibles de características químicas			
Cloruros (como Cl-) mg/L	250	0.70	SI
Dureza total (como CaCO ₃) mg/L	500	0.08	SI
Fluoruros (como F-) mg/L	1.5	0.03	SI
Nitratos (como N) mg/L	10	1.90	SI
Nitritos (como N) mg/L	1	0.007	SI
pH mg/L	6.5-8.5	7.50	SI
Sodio mg/L	200	3.00	SI
Sulfatos (SO ₄ ⁻) mg/L	400	2.00	SI
Dureza de Calcio mg/L	no especificados	0.06	N.A
Dureza de Magnesio mg/L	no especificados	0.02	N.A
Potasio mg/L	no especificados	1.10	N.A
Conductividad eléctrica µs/cm	no especificados	53.00	N.A

Si = si cumple, No: no cumple, N.A. aplica

Como no cumple para coliformes totales y fecales, color y turbiedad, se realizó una prueba para organismos coliformes agregando cloro comercial con la dosis recomendada 2 gotas/ litro. En el Cuadro 4-9 se observan los resultados, aún no se cumple con la norma así que se recomienda que si el agua se utiliza para beber se debe instalar un filtro de flujo lento o bien hervirla.

Cuadro 4-9 Límites permisibles de características bacteriológicas

Características	Limite permisible	Concentración encontrada	
		sin cloro	con cloro
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml	1100	15
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml	93	4

Por otra parte también se realizó la caracterización del agua a la entrada del humedal en base a la NOM-003-SEMARNAT-1997: Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que Se Reúsen en Servicios al Público.

Cuadro 4-10 Análisis físico, químico y bacteriológico de muestra de agua a la entrada del humedal

TIPO REÚSO	DE	Temperatura (°C)	pH (UpH)	Coliformes totales	Coliformes fecales NMP/100 ml	Grasa s y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	DQO	SST mg/l
Servicios al público con contacto directo		N.A	N.A.	N.A	240	15	20	N.A	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional		N.A	N.A.	N.A	1,000	15	30	N.A	30
Concentración encontrada		23.9	7.08	>2400	210	44.67		2005	106
Cumple		N.A	N.A	N.A	SI	NO	-	N.A	NO

Si = si cumple, No: no cumple, N.A. aplica

El proceso de incorporación del agua residual al humedal va de la mano con la instalación del SCALL, en la actualidad la casa habitación en estudio utiliza letrina debido al costo del agua, pero cuentan con un inodoro en desuso que se conectará cuando empiece la próxima temporada de lluvias. Por el momento solo se conectaron las aguas grises y se sembró con alfalfa (*Medicago sativa*) el humedal para utilizarlo como unidad productora de forrajera, es por esto que se realizó la comparación del agua a la entrada del humedal con la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Para descarga en suelo con uso en riego agrícola.

Cuadro 4-11 Cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Uso en riego agrícola (A)	CONCENTRACIÓN ENCONTRADA	CUMPLE
Temperatura °C (1)	N. A.	23.9	SI
Grasas y Aceites (2)	15	44.67	NO
Materia Flotante (3)	AUSENTE	AUSENTE	SI
Sólidos Sedimentables (ml/L)	N. A.	N. A.	SI
Sólidos Suspendidos Totales	N. A.	106	SI

Si = si cumple, No: no cumple, N.A. aplica

En el Cuadro 4-11 se observa que no cumple con el parámetro de grasas y aceites para uso en riego agrícola, esto fue debido a que en un principio la instalación de la trampa de grasas fue errónea, después de obtener los resultados se procedió a revisar el proceso constructivo y su correcta ejecución.

Determinación del requerimiento de riego

Como ya se mencionó anteriormente el humedal no recibe el influente de diseño y funciona como unidad productora de forraje para los animales del hogar, esto

puede ser el motivo por el que no existe agua a la salida del humedal, para comprobar esto se revisó el requerimiento de riego del sitio.

En primer lugar se obtiene la evapotranspiración, el método utilizado es el de los investigadores norteamericanos Blaney y Criddle, la fórmula general es la siguiente:

$$E_t = K * F$$

Dónde:

E_t = evapotranspiración real total de cultivo (cm).

K = coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$$F = \sum_1^n f_1$$

$$f = \frac{t \times P}{100} \text{ cuando } t = ^\circ F \quad f = \left(\frac{t + 17.8}{21.8} \right) * P \text{ cuando: } t = ^\circ C$$

Dónde:

P = porcentaje de horas luz del mes con respecto al total anual (%)

Se realiza el procedimiento para el cultivo de alfalfa en base a los datos de CLICOM (Climate Computing Project), administrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), 2018) para la estación base.

Cuadro 4-12 Datos de proyecto para la determinación de la E_t

Cultivo:	Alfalfa
Ciclo vegetativo:	Perene
Meses del periodo vegetativo:	12 meses
Fecha de siembra:	5 de junio
Localización:	San Juanico Chico, S.L.P.
Latitud:	22°24'
KG:	0.75

Cuadro 4-13 Porcentajes de hora luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al número total de un año (P).

LAT NTE	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
15°	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16°	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17°	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18°	7.83	7.30	8.42	8.5	9.09	8.92	8.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19°	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20°	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21°	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22°	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23°	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25°	7.53	7.13	8.39	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.3	8.08	7.40	7.41
26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.39	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35
27°	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28°	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29°	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.2
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31°	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32°	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05

Cuadro 4-14 Coeficientes de desarrollo de Kc para usos consuntivos.

MES	CAÑA	ALFALFA	PASTO	VID	CÍTRICOS	FRUTALES DE HOJA CADUCA	FRUTALES DE HOJA PERENE
1	0.30	0.65	0.48	0.20	0.65	0.20	0.60
2	0.35	0.75	0.60	0.23	0.67	0.25	0.75
3	0.50	0.85	0.75	0.30	0.69	0.35	0.85
4	0.60	1.00	0.85	0.50	0.70	0.65	1.00
5	0.77	1.10	0.87	0.70	0.71	0.85	1.10
6	0.90	1.13	0.90	0.80	0.72	0.95	1.12
7	0.98	1.12	0.90	0.80	0.72	0.98	1.12
8	1.02	1.08	0.87	0.75	0.71	0.85	1.05
9	1.02	1.00	0.85	0.67	0.70	0.50	1.00
10	0.98	0.90	0.80	0.50	0.68	0.30	0.85
11	0.90	0.80	0.65	0.35	0.67	0.20	0.75
12	0.78	0.65	0.60	0.25	0.65	0.20	0.60

Fuente:(Cisneros Almazán, 2003)

Cuadro 4-15 Cálculo de la evapotranspiración para el cultivo de alfalfa

MES	Duración	Temperatura	(T+17.8)/21.8	P	f	Kt	f*Kt	Kc	Et	Et'	Et' Acumulada
	(meses)	°C		(%)	(cm)				(cm)	(cm)	(cm)
JUN	1	25.94	2.01	9.09	18.24	1.05	19.10	0.65	12.42	11.24	11.24
JUL	1	24.60	1.94	9.33	18.15	1.01	18.25	0.75	13.69	12.39	23.62
AGO	1	24.84	1.96	9.00	17.60	1.01	17.84	0.85	15.16	13.72	37.34
SEP	1	23.54	1.90	8.30	15.74	0.97	15.31	1.00	15.31	13.85	51.20
OCT	1	21.60	1.81	8.13	14.69	0.91	13.41	1.10	14.75	13.34	64.54
NOV	1	19.30	1.70	7.50	12.76	0.84	10.73	1.13	12.13	10.97	75.51
DIC	1	17.65	1.63	7.55	12.28	0.79	9.69	1.12	10.85	9.82	85.33
ENE	1	16.69	1.58	7.66	12.12	0.76	9.20	1.08	9.94	8.99	94.32
FEB	1	18.60	1.67	7.21	12.04	0.82	9.86	1.00	9.86	8.92	103.25
MAR	1	21.44	1.80	8.40	15.12	0.91	13.72	0.90	12.35	11.17	114.42
ABR	1	24.28	1.93	8.56	16.52	1.00	16.45	0.80	13.16	11.91	126.33
MAY	1	26.28	2.02	9.22	18.64	1.06	19.73	0.65	12.82	11.60	137.93
				Σ =	183.91		173.29		152.43	137.93	

Dónde:

$$f = \frac{T + 17.8}{21.8} * P$$

$$kt = 0.031144 * t + 0.2396$$

$$Et = f * Kt * Kc$$

$$Et' = J * Et$$

Dónde:

$$J = \frac{KG}{K'}$$

$$K' = \frac{\sum Et}{\sum f}$$

Después se obtuvo la cantidad de agua real a la entrada al humedal, correspondiente al lavado de ropa y trastes (Cuadro 4-16).

Cuadro 4-16 Volumen de agua gris estimado a la entrada del humedal artificial

Lavado de trastes	120.25	L/semana
Lavado de ropa	400	L/semana
Total	520.25	L/semana
	0.52	m ³ /semana
	2.26	m ³ /mes

En el Cuadro 4-17 se muestra el requerimiento de riego mensual para el área efectiva del humedal (13.5m²), se observa un volumen acumulado excedente de 1.74 m³ hasta el mes de septiembre, lo que significa que el nivel del agua está sobre la cama de arena (10 cm), se recuerda que el dimensionamiento del humedal es de 5.8 x 3 m. El volumen excedente se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\text{volumen excedente} = \text{volumen requerido} - \text{volumen a la entrada del humedal}$$

$$\text{volumen requerido} = \left(\frac{Et'}{100 \text{ cm/m}} \right) * \text{area efectiva del humedal}$$

Donde:

$$\text{area efectiva del humedal} = 13.5\text{m}^2$$

$$\text{volumen a la entrada del humedal} = 2.26\text{m}^3/\text{mes}$$

Cuadro 4-17 Requerimiento de riego

Mes	Et'	Volumen requerido	Volumen excedente	Acumulado
	(cm)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
Junio	11.24	1.52	0.74	0.74
Julio	12.39	1.67	0.59	1.33
Agosto	13.72	1.85	0.41	1.74
Septiembre	13.85	1.87	0.39	2.13
Octubre	13.34	1.80	0.46	2.59
Noviembre	10.97	1.48	0.78	3.37

Diciembre	9.82	1.33	0.93	4.30
Enero	8.99	1.21	1.05	5.35
Febrero	8.92	1.20	1.06	6.41
Marzo	11.17	1.51	0.75	7.16
Abril	11.91	1.61	0.65	7.81
Mayo	11.60	1.57	0.69	8.51

Se recomienda mantener cerrado el registro de salida de agua del humedal para no provocar contaminación debido al almacenamiento de basura o bien a desechos que se puedan acumular además de dar el mantenimiento al cultivo.

Conclusiones

El presente proyecto se muestra como una solución para abastecer la cantidad y calidad de agua para los habitantes periurbanos por medio de las tecnologías apropiadas. Es una potencial alternativa para la seguridad alimentaria de estos mismos pobladores y además como una solución a los conflictos sociales en relación con el agua.

Con la implementación del sistema SCALL se logró el abastecimiento para uso agrícola y consumo humano, en un 74.5% del uso total en un año, con un almacenamiento de 33.9m³. La calidad del agua de lluvia cumple casi en su totalidad con los parámetros permisibles que marca la NOM-127-SSA1-1994, excepto para los parámetros de coliformes fecales y totales. Se recomienda un tratamiento adicional, con plata coloidal o tratamiento térmico, en caso de utilizarse para preparación de alimentos o consumo humano.

En la evaluación económica social para el SCALL con una demanda tanto de consumo humano como para invernadero de traspatio, se tiene una relación costo-beneficio de 2.13 y una TIR de 35.46%, lo que indica la rentabilidad del proyecto con un sistema combinado, es decir, en la época de lluvias captación de agua de lluvia y la época de sequía utilizando pipas para complementar el abastecimiento.

Los resultados obtenidos de la TIR en 29.08% para SCALL y 67.73% para líneas de conducción, demuestran que las dos opciones son económicamente rentables. Desde el punto de vista financiero el abastecimiento de agua por líneas de conducción tiene mayores beneficios económicos, sin embargo para el caso de San Juanico Chico y considerando la problemática social existente el SCALL es económicamente y socialmente viable.

La evaluación hídrica en el área del invernadero demostró que si se instala una cisterna de 5m³ para familias que cuentan con invernadero en zonas periurbanas cercanas estas dejarían de solicitar agua por 135 días.

La mayoría de las veces estos invernaderos o huertos de traspatio instalados en zonas periurbanas son abandonados ante la carencia de agua, con la implementación de los SCALL es posible que se continúe la producción de hortalizas para autoconsumo y venta a menor escala.

Respecto al humedal artificial construido, se observó que se puede abastecer de agua suficiente en la producción de forraje a pequeña escala para ser utilizado en el consumo animales de traspatio. Además, se evitó la contaminación del suelo y la presencia de focos de infección existentes en la casa habitación. Existe también la posibilidad de tener agua para riego en el invernadero proveniente del humedal, cuando exista un flujo mayor a la entrada y salida del humedal.

Finalmente, en este trabajo se constata que hubo buena aceptación por los miembros de la familia respecto a las tecnologías apropiadas implementadas. Se difundieron los beneficios entre los demás habitantes, por lo que pueden ser fácilmente transferidas a otras viviendas.

Referencias

- Arboleda Montaña, N. (2016). Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de Los Lagos, Buenaventura. *Luna Azul*, 43, 29–55. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.3>
- Ávila Sánchez, H. (2001). Ideas y planteamientos teóricos sobre los territorios periurbanos . Las relaciones campo-ciudad en algunos países de Europa y América Theoretical ideas and proposals on periurban territories . Country side-city relationships in come European and American, 108–127.
- Ávila Sánchez, H. (2004). La agricultura en las ciudades y su periferia: un enfoque desde la Geografía. *Investigaciones geográficas*, (53), 98–121. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112004000100007
- Ballen Suarez, J. A. Galarza García, M. Á. y Ortiz Mosquera, R. O. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. VI SEREA-Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), 5, 12.
- Becerra Pérez, M. Sáinz Santamaría, J. y Muñoz Piña, C. (2006). Los conflictos por agua en México: diagnóstico y análisis. *Gestión y Política Pública*, XV, 111–143.
- Bisogni, L. Colucci, A. y Gioia, G. (2017). Services, Values and Functions of Peri-Urban Areas in a Nexus Approach. En A. Colucci, M. Magoni, & S. Menoni (Eds.), *Peri-Urban Areas and Food-Energy-Water Nexus*.
- Biswas, B. K. y Mandal, B. H. (2014). Construction and Evaluation of Rainwater Harvesting System for Domestic Use in a Remote and Rural Area of Khulna, Bangladesh. *ISRN Otolaryngology*, 2014, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2014/751952>

- Carrasco, J. (2016). Técnicas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias. Boletín INIA No. 321, 184.
- Castro, R. y Mokate, K. (2003). Evaluación económica y social de proyectos de inversión.
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). (2018). Base de datos climatológica nacional (Sistema CLICOM). Recuperado el 8 de enero de 2018, de <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Cervantes Gutiérrez, O. E. Segura Estrada, I. S. Vázquez Villanueva, S. García Sánchez, L. y Rojas Falcón, A. (2018). Tecnologías apropiadas para el acceso sostenible al agua en el medio rural marginado. Recuperado de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/tecnologias-apropiadas/tecnologias-apropiadas.pdf
- Cisneros Almazán, R. (2003). Apuntes de la materia de Riego y Drenaje. Recuperado de [http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego y Drenaje.pdf](http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego_y_Drenaje.pdf)
- Comision Nacional del Agua. (2016). Atlas del Agua en México 2016, 135. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Metodologías de Evaluación Socioeconómica para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Protección a Centros de Población. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ed.). <https://doi.org/968-817-820-9>
- Comisión Nacional del Agua. (2016a). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Conducciones. Recuperado de <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro10.pdf#page=>
- Comisión Nacional del Agua. (2016b). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Drenaje Pluvial Urbano. Recuperado de

<http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro19.pdf#page=>

Comisión Nacional del Agua. (2016c). Manual de Agua Potable, Metodologías de Evaluación Socioeconómica y Estructuración de Proyectos de Inversión (Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento, Mejoramiento de Eficiencia y Protección a Centros de Población). Recuperado de <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro2.pdf>

Comisión Nacional del Agua. (2016d). Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Humedales Artificiales. Recuperado de <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro30.pdf#page=>

Comisión Nacional del Agua. (2016e). Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado. Recuperado de <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf#page=>

Comisión Nacional del Agua. (2016f). TALLER: Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en zonas rurales (PROCAPTAR). Recuperado de http://www.aneas.com.mx/convencion2016/doc/Presentacion/16_PROCAPTAR/TALLER_ANEAS_2016_PROCAPTAR.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2017). Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR). Recuperado el 16 de junio de 2017, de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecnias-en-zonas-rurales-procaptar>

Delgadillo, O. Camacho, A. Pérez, L. F. y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Recuperado de http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_ag

uas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf%5Cnhttp://www.aguasresiduales.info/revista/libros/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales

Díaz de León Zavala, O. A. (2017). Aplicación de tecnologías apropiadas para mejorar el abastecimiento y la calidad del agua en comunidades rurales. (Tesis Maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dieleman, H. (2017). Urban agriculture in Mexico City; balancing between ecological, economic, social and symbolic value. *Journal of Cleaner Production*, 163, S156–S163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.082>

Fontaine, E. R. (2008). Evaluación Social de Proyectos. <http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/2/33602/SegundoModulo.pdf>. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Guevara Sanginés, A. Soto Montes de Oca, G. y Lara Pulido, J. A. (2010). Pobreza. En B. Jiménez Cisneros, M. L. Torregrosa y Armentia, & L. Aboites Aguilar (Eds.), *El agua en México: cauces y encauces*.

Hernández Flores, J. Á. Martínez Corona, B. Méndez Espinoza, J. A. Pérez Avilés, R. Ramírez Juárez, J. y Navarro Garza, H. (2009). Rurales y periurbanos: una aproximación al proceso de conformación de la periferia poblana, 275–295.

Hernández, O. J. y Perera, D. (s/f). La era de las bicimáquinas. *Anfibia*. Recuperado de <http://www.revistaanfibia.com/cronica/la-era-de-las-bicimaquinas/>

Hessel, R. Ouessar, M. Sawadogo, H. Woldearegay, K. Fleskens, L. Stevens, P. y van Steenberg, F. (2016). WAHARA - Report Series. Recuperado de <http://edepot.wur.nl/332036>

INEGI. (2004). Unidades y subunidades de suelo. En *Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica*. Recuperado de

<http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>

INEGI. (2016). Conociendo San Luis Potosí, 30. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/702825217730.pdf

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2017). Tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en el sector rural. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/03/Tecnologías-apropiadas-para-el-manejo.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1985). Capítulo 5: Hidrología. Síntesis geográfica del estado de San Luis Potosí, 25–28.

Ives, C. D. y Kendal, D. (2013). Values and attitudes of the urban public towards peri-urban agricultural land. *Land Use Policy*, 34, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.02.003>

López López, G. Magaña Lira, N. y García Buendía, A. C. (2014). Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio Cultivo de Jitomate. Carta Tecnológica Número 11.

Mahmood, A. y Hossain, F. (2017). Feasibility of managed domestic rainwater harvesting in South Asian rural areas using remote sensing. *Resources, Conservation and Recycling*, 125(October 2016), 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.013>

Martín, L. y Bautista Justo, J. (2015). Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37877/S1500220_es.pdf

Mloza, B. Chikuni, A. y Singa, D. D. (2006). Small scale rainwater harvesting for combating water deprivation at orphan care centres in peri-urban areas of Lilongwe, Malawi. ATPS working paper series.

Naciones Unidas, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, . (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Recuperado de https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf

Organización de las Naciones Unidas. (2015). El derecho al agua. Folleto Informativo N° 35, 64. Recuperado de <http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política. (S. Salcedo & L. Guzmán, Eds.).

Organización Mundial de la Salud. (2015). Informe 2015 del PCM sobre el acceso a agua potable y saneamiento: datos esenciales, 4. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/.

Palacio Castañeda, 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. Universidad de Antioquia Medellín. Recuperado de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>

Parada Molina, P. C. y Cervantes Pérez, J. (2017). Captación de agua de lluvia y niebla en la época de secas en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. Ingeniería del agua, 21(3), 153. <https://doi.org/10.4995/ia.2017.5661>

Robert, J. (2003). Sanitario Ecológico Seco. Recuperado de <http://esac.laneta.apc.org/>

Rodríguez Figueredo, M. Vazquez Cuevas, M. Flores Serrano, M. E. y Hernández Soto, J. A. (2004). Análisis de los rendimientos y comportamiento de las propiedades del suelo la aplicación de la agricultura orgánica biointensiva, (1),

104–109. Recuperado de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=f2672ca6-d66e-44bd-9700-62921e354e93@sessionmgr4004&vid=2&hid=4109>

Rojas Valencia, M. N. Gallardo Bolaños, J. R. y Martínez Coto, A. (2012). Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, 15(1), 16–23. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43228285002>

Russo, P. Tomaselli, G. y Pappalardo, G. (2014). Marginal periurban agricultural areas: A support method for landscape planning. *Land Use Policy*, 41, 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.04.017>

Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural Pesca y Alimentacion. (2009). El huerto familiar biointensivo. *El huerto familiar*, 10.

Secretaria de Desarrollo Social. (2013). Catálogo de localidades. Recuperado el 11 de julio de 2018, de <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=240280277>

Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2016). Oficio número 349-B-214, mediante el cual la Secretaría de Hacienda y Crédito Público autoriza a la Comisión Nacional del Agua, bajo la figura de aprovechamientos, las cuotas por metros cúbicos necesarias para la determinación y pago de la cuota de garant. Recuperado de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/fichaOrdenamiento.php?idArchivo=115017&ambito=FEDERAL&poder=ejecutivo>

Soares, D. y Salazar, H. (2017). Agua y saneamiento en zonas periurbanas. Manual de planeación participativa con enfoque de género. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Ed.). Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12013/1806>

UNESCO. (2015). Manual de diseño y construcción de sistemas de capacitación

de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. (R. Pizarro, A. Abarza, C. Morales, R. Calderón, J. Tapia, P. Garcia, & M. Córdova, Eds.). Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 36.