



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR SISTEMAS DE
APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA
EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN VIVIENDAS E INSTALACIONES CON
ALTA DEMANDA DEL SUMINISTRO, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Pablo Alberto Quevedo Castillo

Asesorado por el Ing. Emilio Alberto Quevedo Monterroso

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR SISTEMAS DE
APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA
EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN VIVIENDAS E INSTALACIONES CON
ALTA DEMANDA DEL SUMINISTRO, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PABLO ALBERTO QUEVEDO CASTILLO
ASESORADO POR EL ING. EMILIO ALBERTO QUEVEDO MONTERROSO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN VIVIENDAS E INSTALACIONES CON ALTA DEMANDA DEL SUMINISTRO, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 31 de agosto de 2012



Pablo Alberto Quevedo Castillo

San Marcos 6 de Marzo de 2013

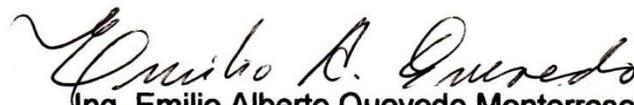
Licenciado
Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Licenciado Guillén.

Le informo que he asesorado el trabajo de graduación PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR SISTEMAS DE APOVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN VIVIENDAS E INSTALACIONES CON ALTA DEMANDA DEL SUMINISTRO, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Pablo Alberto Quevedo Castillo.

Este trabajo ha cumplido con los objetivos propuestos, por tanto doy mi aprobación para el trámite respectivo.

Atentamente.


Ing. Emilio Alberto Quevedo Monterroso
Director del Programa de Agua y Saneamiento
ADIMAM

Emilio Alberto Quevedo Monterroso
Ingeniero Civil
Col. No. 5875



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
19 de marzo de 2013

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN VIVIENDAS E INSTALACIONES CON ALTA DEMANDA DEL SUMINISTRO, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Pablo Alberto Quevedo Castillo, quien contó con la asesoría del Ing. Emilio Alberto Quevedo Monterroso.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Emilio Alberto Quevedo Monterroso y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Pablo Alberto Quevedo Castillo, titulado **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN VIVIENDAS E INSTALACIONES CON ALTA DEMANDA DEL SUMINISTRO, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA,** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2013.

/bbdeb.
 Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN VIVIENDAS E INSTALACIONES CON ALTA DEMANDA DEL SUMINISTRO, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Pablo Alberto Quevedo Castillo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, mayo de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi fortaleza y permitirme culminar esta etapa de mi vida, en la compañía de mis seres queridos.
- Mi padre** Emilio Alberto Quevedo Monterroso, por su apoyo y ser fuente de mi inspiración, humana, espiritual y profesional.
- Mi madre** Ana María del Rosario Castillo Carías, por trasmitirme perseverancia, deseos de superación y ser ejemplo de trabajo, dedicación y entrega.
- Mis hermanos** Yolanda Mariayín, Isidro José y Andrea del Rosario Quevedo Castillo, fieles e incondicionales compañeros de vida.
- Mi familia** Tíos, primos y padrinos, complemento esencial de mi desarrollo y formación.
- Mis amigos** Por acompañarme, cada uno en diferentes etapas de mi vida, entregando lo mejor de sí y permitir entregarme tal como soy, sin mencionarlos ya se saben aludidos.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por facilitar las herramientas académicas necesarias para el desarrollo de esta carrera.
Facultad de Ingeniería	Por preocuparse y proveer una educación técnica y académica de altura, que nos permita desenvolvemos adecuadamente en el ámbito profesional.
Mis compañeros y amigos de la facultad	Por su carisma y ser el complemento ideal de mi desarrollo humano y profesional.
Mis catedráticos	Por compartir sus conocimientos solidariamente.
Inga. Miriam Aquino e Ing. Edgar Weber	Por ser además de grandes amigos, mis principales maestros laborales
Ing. Emilio Quevedo, Lic. Manuel Guillen, Lic. Esperanza Quevedo y Lic. Leonora García	Por ayudar y facilitar cada etapa del desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. SITUACIÓN ACTUAL RECURSOS HÍDRICOS.....	1
1.1. Recursos hídricos.....	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Características.....	1
1.2. Estado y gestión de los recursos hídricos.....	2
1.2.1. A nivel mundial.....	3
1.2.1.1. Usos.....	3
1.2.1.2. Disponibilidad.....	4
1.2.1.3. Gestión.....	4
1.2.2. A nivel nacional.....	6
1.2.2.1. Usos.....	6
1.2.2.2. Disponibilidad.....	8
1.2.2.3. Legislación existente.....	11
1.2.2.4. Gestión.....	12
2. CONSIDERACIONES SOBRE AGUA DE LLUVIA.....	15
2.1. Disponibilidad.....	15
2.2. Calidad.....	16

2.3.	Usos	17
2.3.1.	Riego.....	18
2.3.2.	Manejo de animales	18
2.3.3.	Vivienda	18
2.3.4.	Otras instalaciones	19
3.	SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA	21
3.1.	Definición	21
3.2.	Antecedentes	21
3.2.1.	Internacionales.....	22
3.2.2.	En Guatemala	24
3.3.	Características	26
3.4.	Componentes	26
3.5.	Tipos.....	28
3.5.1.	Riego.....	28
3.5.2.	Manejo de animales	28
3.5.3.	Vivienda.....	30
3.5.4.	Otras instalaciones	31
4.	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA	33
4.1.	Antecedentes	33
4.2.	Evaluación del proyecto.....	34
4.2.1.	Técnica	34
4.2.2.	Económica	37
4.2.3.	Social	38
4.2.4.	Aspectos meteorológicos	39
4.2.5.	Ambiental	41
4.3.	Criterios de diseño	42

4.3.1.	Económicos	42
4.3.2.	Técnicos	43
4.3.3.	Meteorológicos	43
4.3.4.	Calidad del agua	45
5.	EJEMPLO DE DISEÑO DE SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN PROYECTO DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL	47
5.1.	Descripción	47
5.2.	Ubicación	48
5.3.	Criterios de diseño	49
5.3.1.	Meteorológicos	49
5.3.2.	Técnicos	54
5.3.2.1.	Oferta	54
5.3.2.2.	Demanda	54
5.3.2.3.	Dimensionamiento de sistema	55
5.3.2.4.	Mantenimiento	57
5.3.3.	Calidad del agua	58
5.3.4.	Económicos	59
5.4.	Cálculos	63
5.4.1.	Integración y cálculo demanda de agua	63
5.4.2.	Demanda individual de agua (D_i)	64
5.4.3.	Oferta de agua mensual	64
5.4.4.	Almacenamiento	66
5.4.5.	Conducción, distribución y disposición	68
5.5.	Análisis de resultados	68
5.5.1.	Impacto económico	71
5.5.2.	Impacto ambiental	74

CONCLUSIONES 77
RECOMENDACIONES 79
BIBLIOGRAFÍA 81
APÉNDICES 85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución del consumo de agua en una casa	8
2.	Vertientes y cuencas de Guatemala	9
3.	Descensos en los niveles de agua subterránea en el área metropolitana de Guatemala	10
4.	Sistema empírico de captación de agua de lluvia	25
5.	Sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT)	27
6.	Reservorio de agua de lluvia para crianza de ganado.....	29
7.	Aguada artificial Petén, Guatemala	30
8.	Usos de agua de lluvia en vivienda	31
9.	Pozo de absorción de agua de lluvia	32
10.	Diferentes tipos de techos	36
11.	Red de estaciones hidrológicas de Guatemala. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos	40
12.	Datos hidrométricos República de Guatemala, precipitación promedio anual, variación de los caudales medios mensuales, rendimientos y la disponibilidad de agua superficial por cuenca	44
13.	Total de días de lluvia mensual promedio 2002-2011	52
14.	Total de días de lluvia anual promedio 2002-2011	52
15.	Isoyetas medias anuales periodo 1976 – 2003	53

TABLAS

I.	Legislación de Guatemala relacionada con el agua	12
II.	Disponibilidad de agua en el mes más seco, nacional y por vertiente	15
III.	Hogares según tipo de servicio de agua y sectores urbanos y rurales, año 2002	39
IV.	Estación E-15 INSIVUMEH. Acumulados mensuales y anuales de lluvia (mm)	50
V.	Estación E-15 INSIVUMEH. Totales mensuales y anuales de días de lluvia.....	51
VI.	Análisis oferta-demanda de agua de lluvia.....	55
VII.	Coefficientes de escurrimiento (Ce) diferentes materiales área de captación	56
VIII.	Cuadro resumen de cantidades y costos para vivienda de interés social, sin sistema de aprovechamiento de agua de lluvia	61
IX.	Cuadro resumen de cantidades y costos para vivienda de interés social, con sistema de aprovechamiento de agua de lluvia.....	62
X.	Resumen de integración y cálculo de demanda de agua de lluvia por habitante	63
XI.	Amulados y totales mensuales y anuales de lluvia (mm) valores promedio 2002-2011.....	65
XII.	Resumen de resultados precipitación, oferta y demanda de agua de lluvia por mes	66
XIII.	Volumen probable de almacenamiento por día.....	67
XIV.	Diagrama de flujo efectivo anual	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
D	Día
H	Hombre
h	Hora
kg	Kilogramo
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
Σ	Sumatoria
U	Unidad

GLOSARIO

Actividad	Conjunto de operaciones propias de un proyecto.
AMG	Área Metropolitana de Guatemala.
Área de captación	Lugar donde se almacenan los escurrimientos de agua de lluvia, antes de realizar su disposición final.
Balance hidrológico	Balance de la entrada, salida y contenido de agua en una unidad hidrológica como por ejemplo una cuenca de desagüe, un lago, un embalse, un sistema de regadío, una napa freática o una zona determinada del subsuelo.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente.
Construcción	Es la combinación de materiales y servicios para la producción de bienes tangibles.
Consuntivo	Agua eliminada de los suministros disponibles sin retorno a los sistemas de recursos de dicha agua; agua usada en fabricación, agricultura, preparación de alimentos.

Estadística	Ciencia que estudia la técnica o método que se sigue para recoger, organizar, resumir, representar, analizar, generalizar y predecir resultados de las observaciones de fenómenos aleatorios.
Estación hidrológica	En un más amplio sentido esta denominación incluye tanto a las estaciones fluviométricas como a las estaciones limnimétricas, no obstante, generalmente, la denominación hidrológica es sinónima de fluviométrica.
Estructura de captación	Recolectan las aguas en los sistemas de alcantarillado pluvial, se utilizan sumideros o bocas de tormenta como estructuras de captación, aunque también pueden existir descargas domiciliarias donde se vierta el agua de lluvia que cae en techos y patios.
IARNA/URL	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente / Universidad Rafael Landívar.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Imbornales	Elementos cuyo plano de entrada es sensiblemente vertical, por donde se recoge el agua de escorrentía de la calzada de una carretera, de los tableros de las obras de fábrica o de cualquier construcción.

Intensidad de la precipitación	Cantidad de agua recogida durante un intervalo de tiempo dado, por unidad de superficie.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Proyecto	Conjunto de planos y documentos explicativos, con indicación de costes, que se hace previamente a la construcción de una obra.
SAAP	Sistema de Aprovechamiento de Agua Pluvial / de lluvia.
SCAP	Sistema de Captación de Agua Pluvial / de lluvia.
SCAPT	Sistema de Captación de Agua Pluvial en techos.
Sistema de conducción	refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento.

RESUMEN

Desde los inicios de la civilización, los seres humanos han desarrollado sus sociedades en torno a las aguas superficiales disponibles, utilizándolas como medio de transporte, consumo y otras actividades. Su alta disponibilidad, siempre limitó los usos del agua de lluvia. En la actualidad se impulsa a nivel mundial el aprovechamiento de este recurso para usos agrícolas, industriales y domésticos.

Los sistemas de recolección de agua de lluvia no tienen variaciones significativas entre sí, la mayoría constan básicamente de tres componentes: captación, conducción, almacenamiento y distribución. En general la diferencia tiene que ver con su captación (de acuerdo al área, geometría y material de los techos) y el tipo de almacenamiento, según el material escogido para su fabricación. Es necesario entonces, adoptar medidas alternativas que permitan la sostenibilidad del recurso, y conocer las técnicas de su aprovechamiento, que son parte fundamental para lograr este propósito.

El presente trabajo pretende contribuir con el aprovechamiento del agua pluvial en Guatemala, ya que en él se presentan consideraciones y conceptos básicos sobre el tema, así como el diseño y cálculo del sistema para el caso de una vivienda.

OBJETIVOS

General

Proponer una metodología que permita evaluar la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia en viviendas e instalaciones con alta demanda en la República de Guatemala.

Específicos

1. Presentar información actualizada sobre el aprovechamiento de agua pluvial, obtenida de la consulta en diferentes medios.
2. Conocer sobre los diferentes tipos de sistemas de aprovechamiento de agua pluvial que en la actualidad se utilizan, como alternativa para usos no potables: sanitarios, riego de jardines, lavado de patios y áreas comunes, entre otros.
3. Conocer y evaluar los aspectos ambientales significativos en la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia.
4. Evaluar el potencial de ahorro de agua potable, al implementar un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia.
5. Desarrollar un ejemplo práctico, utilizando la metodología propuesta en un proyecto de vivienda de interés social.

6. Elaborar un documento que pueda servir como referencia bibliográfica a los estudiantes, profesionales e interesados en relación al tema.
7. Contribuir con el manejo responsable del recurso agua en la República de Guatemala.
8. Concientizar a la población de realizar un aprovechamiento y consumo racional, inteligente y solidario del agua.

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua dulce es uno de los problemas que afronta la humanidad, este recurso representa del 2,5 al 3% de su totalidad existente en el planeta. La presión existente sobre él, se enfoca principalmente en la demanda actual y su calidad, ya que la mayoría de agua superficial se encuentra contaminada e inadecuada para el consumo humano. La captación de agua pluvial, es un medio que facilita la obtención del vital líquido para consumo.

El presente trabajo ofrece información sobre los recursos hídricos y el aprovechamiento del agua de lluvia. En el capítulo uno se desarrolla el tema de los recursos hídricos y su situación actual, presentado información a nivel nacional e internacional. Dentro del capítulo dos se describen algunas consideraciones importantes sobre el agua de lluvia y los principales usos.

El capítulo tres aborda la temática de los sistemas de agua pluvial, describiendo sus principales usos y características. La metodología para el diseño y evaluación de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia se presenta en el capítulo cuatro.

Por último, en el capítulo cinco se desarrolla una metodología para el diseño de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, para un proyecto ubicado en el área metropolitana de Guatemala -AMG-. Finalmente se incluyen las conclusiones y recomendaciones producto del trabajo realizado, así como la bibliografía consultada.

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La situación actual en la que se encuentren los recursos hídricos al momento de su análisis es determinante para su estudio, utilización y aprovechamiento.

1.1. Recursos hídricos

Generalmente abarca todos aquellos elementos, productos del ciclo hidrológico, que se emplean para satisfacer necesidades del ser humano.

1.1.1. Definición

A todos los cuerpos de agua del planeta: ríos, lagos, lagunas, mares, océanos, manantiales, etc., se les llama recursos hídricos, porque evidentemente tiene una connotación económica. Son útiles para el ser humano, en la medida de su explotación (creación de presas, generación de energías, medio de transporte, etc.). Constituyen uno de los recursos naturales renovables más importante para la vida.¹

1.1.2. Características

Para entender el punto óptimo en la gestión de los recursos hídricos es necesario basar el análisis en tres características fundamentales:

¹http://es.wikipedia.org/wiki/Recurso_h%C3%ADdrico. Consultado el 6 de marzo de 2012 a las 16:00 horas.

- Seguridad de acceso al agua que ofrece el recurso hídrico, este depende proporcionalmente a la intensidad de lluvia y a las condiciones hidrológicas del entorno, que garanticen el uso y consumo del mismo.
- Costo económico y ambiental, indica la sostenibilidad de los diferentes sistemas de abastecimiento de agua, el cual genere impactos positivos al ambiente, al menor costo.
- La calidad del agua, se refiere a las condiciones en que se encuentra respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

Los recursos hídricos en Guatemala son abundantes, si al considerar la disponibilidad por habitante; se producen períodos de escasez en determinadas épocas del año y en determinados locales. Debido a su posición geográfica, Guatemala se encuentra en el tránsito de los vientos húmedos que se originan en el mar Caribe y en el océano Pacífico; y por su cercanía con las fuentes de humedad, la precipitación en el país es abundante en las laderas de las montañas expuestas al tránsito de estos vientos.

1.2. Estado y gestión de los recursos hídricos

La presión existente sobre los recursos hídricos se enfoca especialmente en la demanda actual y su calidad, factores que aumentan con el crecimiento poblacional, impidiendo su disponibilidad en las fuentes de extracción (superficiales, en la mayoría de los casos), generando conflictos entre las poblaciones aledañas.

1.2.1. A nivel mundial

El suministro de agua, el saneamiento y la gestión de los recursos hídricos, forman parte de los objetivos del milenio. Debido a su importancia, existen diferentes organizaciones gubernamentales y no gubernamentales interesadas en el desarrollo y trabajo del tema.

El Consejo Mundial del Agua, es la organización internacional encargada de aglomerar agencias internacionales: prensa, gobiernos, organizaciones no-gubernamentales, instituciones académicas y entidades privadas, para el desarrollo conjunto de los programas, subprogramas y proyectos. Dicho consejo ha elaborado en los últimos años, el Programa Mundial de evaluación de los recursos hídricos, el cual tiene como objetivo desarrollar los instrumentos y competencias necesarios para mejorar la comprensión de los procesos fundamentales, las prácticas de gestión y las políticas que contribuirán a mejorar la calidad y suministro de agua dulce del planeta.

1.2.1.1. Usos

Dependen de las características de cada caso; el uso consuntivo del agua es aquel en el que no se devuelve en forma inmediata al ciclo hidrológico, por ejemplo: el riego es un uso consuntivo. La generación de energía eléctrica, mediante el turbinado del agua de un río, si la descarga es en el mismo río, no es un uso consuntivo.

En la actualidad, cada ser humano de los países desarrollados y en vías de desarrollo consume de 150 a 300 l/hab./día de agua potable, llegando a extremos de 1000 l/hab./día en algunas ciudades de EEUU o Australia. En el cálculo no está incluido el gasto en la agricultura, que supone el 70% (y en

algunas zonas en desarrollo el 90%) del consumo total de agua de un país.

1.2.1.2. Disponibilidad

Se calcula que en la tierra hay un volumen total de agua de 1,4 millones de km³, de los cuales el 97,5% es agua salada. El 2,5% restante es agua dulce y se reparte mayoritariamente en glaciares (aprox. 70%) y aguas subterráneas (aprox. 30%) y sólo el 0,4% corresponde a aguas superficiales (vapor de agua, ríos, lagos y embalses), lo que supone un 0,007% del total de agua del planeta.

En la región de América Latina y el Caribe, el tema del agua es de especial importancia para el desarrollo, a pesar de contar con 30% de los recursos hídricos del mundo, la distribución de la población con respecto a estos es muy irregular e inequitativa. Los mayores problemas relacionados con el agua en América Central tienen que ver con el saneamiento, contaminación, la vulnerabilidad ante los desastres naturales y la explotación del suelo.

1.2.1.3. Gestión

El agua, por ser uno de los elementos que constituyen el subsistema natural, su correcta gestión determina directamente el desarrollo de cada país. La situación de los bienes hídricos se puede evaluar en función de la forma en que éstos interactúan dentro del subsistema natural y con los subsistemas sociales, económicos e institucionales.

Para lograr una correcta gestión de los recursos hídricos, es necesario realizar estudios e investigaciones que garanticen el uso eficiente del mismo:

- La hidrología, determinará su disponibilidad temporal

- La hidráulica, estudiará el comportamiento físico del agua
- La ingeniería, intentará modificar y adaptar la disponibilidad espacial y temporal en función de las necesidades humanas con vistas a su desarrollo, intentando extraer su mayor provecho.
- La ecología, preservará los ecosistemas frágiles, casi siempre relacionados a la presencia o ausencia del agua.
- La administración pública, normará el uso para el bien común
- La investigación operacional, compatibilizará usos conflictivos entre sí
- El derecho, establecerá y afinará normas y convenios internacionales para el uso del agua en cuencas hidrográficas compartidas por dos o más países.
- La defensa civil, controlará eventos catastróficos, muy frecuentemente ligados al agua, cuando hay en exceso, o cuando esta escasea

La mala gestión integral de los recursos hídricos implica deficiencias y limitaciones, que afectan el desarrollo sostenible y por ende el bienestar del ser humano; siendo un indicio para que la sociedad apunte sus esfuerzos de desarrollo por la ruta incorrecta.

Actualmente la presión existente sobre las cuencas hidrográficas es elevada, debido a la alta y concentrada demanda del recurso y al grado de contaminación de las fuentes superficiales.

1.2.2. A nivel nacional

Los recursos hídricos juegan un papel importante en el desarrollo de Guatemala, dentro del complejo contexto nacional agrícola, económico, demográfico, ambiental, energético, industrial, legal, político e institucional.

Aun cuando no se han cuantificado los valores de participación de los recursos naturales en la economía nacional (entre ellos el agua), fácil es suponer que más de la mitad del producto interno bruto (PIB Q 365,136.20 millones, 2011)² de la nación proviene del uso y aprovechamiento de los recursos naturales que posee.

1.2.2.1. Usos

Los recursos hídricos son aprovechados por diferentes sectores y de diferente forma. A continuación se mencionan sus principales usos:

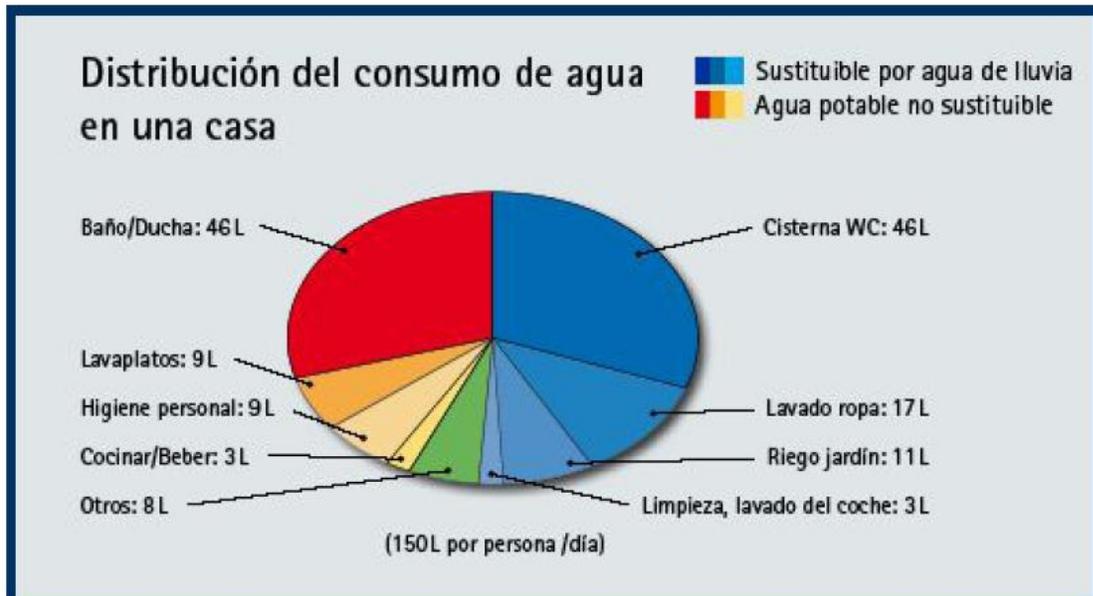
- Cobertura de abastecimiento de agua potable a nivel nacional durante los años de 1996-2000:
 - Área rural 55,0%
 - Área metropolitana 95,0%
 - Área urbana municipal 100,0%

- Cobertura de abastecimiento de agua potable a nivel nacional durante los años 2002-2006:
 - A nivel nacional 75,0%

² http://www.banguat.gob.gt/Publica/guatemala_en_cifras_2011.pdf. Consultado el 13 de marzo de 2013 a las 11:46 horas.

- Riego: se utiliza menos del 10% del área con potencial de regadío (130 000 Ha); la técnica de riego suele ser ineficiente, pues la mayor parte es riego por inundación. De acuerdo con IARNA/URL (2002) se estima (con poca certeza) que en la actualidad se consumen 2 200 Mm³, sobre estimando el tiempo de riego como criterio para compensar los vacíos de información.
- Energía: el Ministerio de Energía y Minas indica que el potencial hidroeléctrico estimado del país es de 10 900 Mw (de los que son aprovechables cerca de 5 000 Mw) y que en el año 2001 se utilizaban 563 Mw, que equivale al uso de aproximadamente 3 067 millones de metros cúbicos. Se estima que el 43% de la energía producida en el país es hidroeléctrica.
- Industria: debido a la escasa información estadística sobre el uso industrial del agua se han hecho estimaciones basadas en el uso del recurso por parte de las principales industrias de bebidas del país, de esta manera el IARNA/URL indica que se estima un rango de uso del agua en el sector industrial entre 425-850 Mm³ * año.
- Pesca, turismo, recreación y transporte: en el país existe poca conciencia sobre la importancia del recurso hídrico para la actividad pesquera, recreativa, turística o de transporte así como escasez de información estadística que refleje la demanda de agua de estos sectores. Aunque para la nación representa ingresos significativos: turismo (US\$ 31.4 millones de dólares, INGUAT, abril de 2012), puerto (Q 90 millones, Puerto Quetzal, agosto 2012).

Figura 1. **Distribución del consumo de agua en una casa**



Fuente: http://www.ojeas.com/ciencia/debe-tener-casa-amigable-ambiente-agua_10405.html.

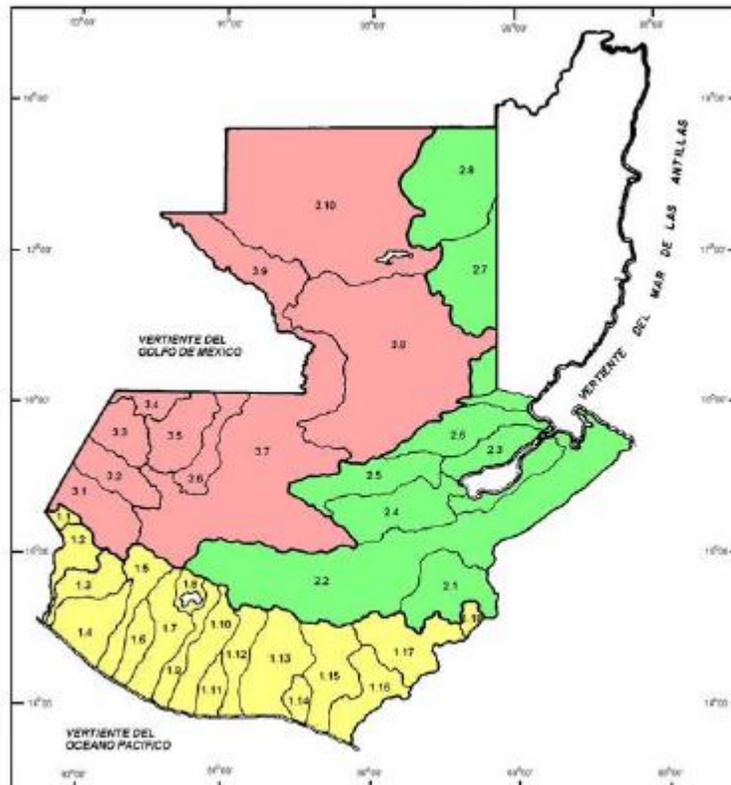
Consulta: 7 de marzo de 2013.

1.2.2.2. Disponibilidad

Guatemala cuenta con una superficie de agua de 950,0 km², existen 23 lagos, 119 pequeñas lagunas y cuenta con más de 191 humedales identificados. Por su relieve, el país está dividido en:

- Vertiente del Golfo de México
- Vertiente del Pacífico
- Vertiente del Mar Caribe

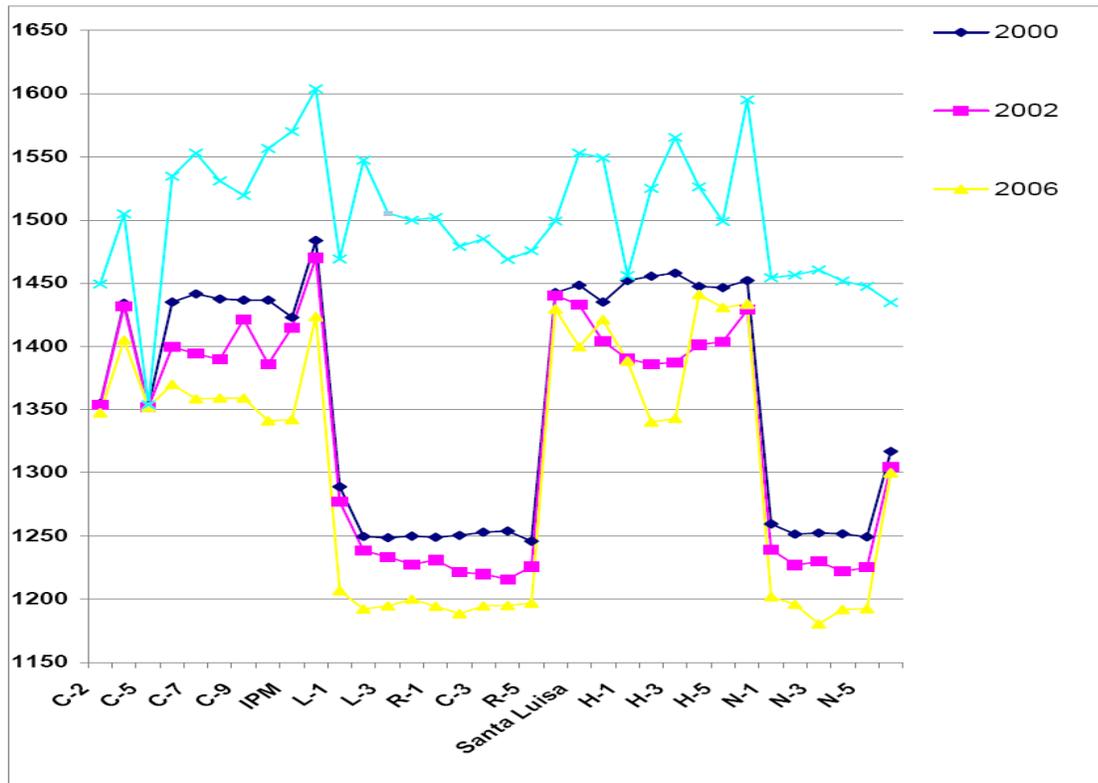
Figura 2. **Vertientes y cuencas de Guatemala**



Fuente: Capital hídrico y usos del agua Guatemala. p. 4.

- La del Golfo de México, que ocupa un 47,0% del territorio nacional y abarca el 62,0% de los recursos hídricos disponibles, 10 cuencas hidrográficas y un caudal promedio de 1377,0 m³/s.
- La del Pacífico que ocupa un 22,0% del territorio nacional y abarca el 15,0% de los recursos hídricos disponibles, 18 cuencas hidrográficas y un caudal promedio de 808,0 m³/s.
- La del mar Caribe que ocupa un 31,0% del territorio nacional y abarca el 23,0% de los recursos hídricos disponibles, 7 cuencas hidrográficas y un caudal promedio de 1 010,0 m³/s.

Figura 3. Descensos en los niveles de agua subterránea en el área metropolitana de Guatemala



Fuente: SEGEPLAN. Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico. p. 27.

El país como un todo parece estar solvente del riesgo hídrico, puesto que tiene una oferta total estimada de 97 120 millones de m³ de agua; aún así, existen zonas en las cuales ya se manifiesta stress hídrico. En los sitios tradicionalmente llamados zonas secas del país, Zacapa, Chiquimula y Jutiapa, y en las partes altas del altiplano, la disponibilidad per cápita es de alrededor 8 000 m³/persona/año. La disponibilidad anual de agua subterránea renovable se estima en 33 699 millones de metros cúbicos.

1.2.2.3. Legislación existente

En Guatemala el marco legal del agua es complicado, pese a que la Constitución Política de la República, declara públicas todas las aguas y manda emitir una ley especial en la materia. En la actualidad no existe una Ley general de aguas y no hay seguridad jurídica en los derechos de uso, más del 40% de la población carece de agua potable, y los ríos y mantos acuíferos cada día están más contaminados. El marco institucional del recurso hídrico se caracteriza por ser sectorial y con la marcada ausencia de un ente rector.

La tarea del Estado es regular el acceso al agua para la vida (consumo humano, alimentos, salud, riesgos y ecosistemas) y al desarrollo (usos agropecuarios, industria, hidroelectricidad y otros) de todos los habitantes del país. Como avance significativo, se puede mencionar que en enero de 2012, se presenta la política nacional del agua de Guatemala y su estrategia, donde se pretende garantizar a sus habitantes: primero, el acceso al vital recurso y segundo, medidas para protegerlo de los impactos producidos por eventos hídricos extraordinarios; pero la limitante radica en que no se ha aprobado como política de estado.

Los Acuerdos de Paz, reconocidos legalmente como compromisos de Estado, se refieren de manera directa y expresa a la regularización y titulación de los derechos de aprovechamiento del agua de las comunidades desarraigadas por el conflicto armado e implícitamente a la necesidad de considerar un conjunto de acciones relativas a la gestión del agua

Tabla I. **Legislación de Guatemala relacionada con el agua**

Tema	Leyes
Propiedad y servidumbres	Constitución Política de la República de Guatemala; Ley de Expropiación, Ley de Reservas Territoriales del Estado, Código Civil (1933, 1963); y Código Penal.
Uso Común	Código Civil de 1963
Aprovechamiento	Constitución Política de la República de Guatemala; Código Civil 1933; Código Municipal; Código de Salud; Ley de Transformación Agraria; Ley de Minería; Ley de Hidrocarburos; Ley de Pesca; Ley General de Energía; y Ley orgánica de INGUAT.
Coservación	Constitución Política de la República de Guatemala; Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente; Ley Forestal; y Ley de Áreas Protegidas.

Fuente: SEGEPLAN. Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico. p. 54.

1.2.2.4. Gestión

Pese a la riqueza de aguas superficial y subterránea a nivel nacional, el acceso a este servicio para fines múltiples, es un problema; siendo su calidad uno de los principales factores que limitan su disponibilidad. De acuerdo con el IARNA/URL (2002) la oferta hídrica neta en Guatemala se estima en 29 747,0 Mm³ al año.

Según el informe sobre gestión del agua, presentado por el Gobierno de Guatemala a la ONU en 2012, la gestión de los recursos hídricos ha mejorado después de que se decidió invertir en ella el 50 por ciento de la recaudación municipal por concepto de agua. Asimismo, destaca la fuerte apuesta de ese país en la generación de energía por medio de fuentes hidroeléctricas, cuya capacidad se ha duplicado entre 1982 y 2011.

Los principales desafíos a la gestión de recursos hídricos en Guatemala incluyen el impacto de la deforestación, su contaminación, la falta de datos hidrológicos y deficiencias en la coordinación institucional.

En el plano institucional, la gestión de los recursos hídricos en Guatemala es compartida por varias agencias e instituciones gubernamentales. La mayoría de estas agencias realizan su trabajo con poca o ninguna coordinación con otros organismos, lo que genera duplicidad de labores y el uso ineficiente de recursos. Además, se necesita promulgar planes de manejo de las cuencas hidrográficas para integrar los diferentes usos del agua, y controlar la deforestación y la calidad de la misma.

2. CONSIDERACIONES SOBRE AGUA DE LLUVIA

Las consideraciones para realizar estudios referentes al aprovechamiento del agua de lluvia, se enfocan en el análisis de su disponibilidad, calidad y uso.

2.1. Disponibilidad

El ciclo hidrológico, es el fenómeno natural que permite a los seres vivos la reutilización del agua. Cada una de sus fases representa una fuente de abastecimiento para plantas, animales y seres humanos, así como la restauración del medio que los rodea.

Se estima que aproximadamente durante el ciclo hidrológico, el agua experimenta de 5 a 6 usos antes de evaporarse y cerrar dicho ciclo. Junto a esta forma natural de su reutilización, ha surgido durante la última década un enorme interés y necesidad por una reutilización planificada.

Tabla II. **Disponibilidad de agua en el mes más seco, nacional y por vertiente**

Vertientes	Área (km ²)	% área	Q medio (m ³ /s)	Q (lt/s/Km ²)	Población 2002	% hab.	Hab. /km ²	Litros/hab./día
Totales	108,889	100.0	3,206.63	30	11,237,196	100.0	103.2	20,706
Pacífico	23,990	22.0	728.47	31	5,897,817	52.5	245.8	10,672
Caribe	34,259	31.5	1,180.53	35	3,450,840	30.7	100.7	29,557
Golfo de México	50,640	46.5	1,297.63	26	1,888,539	16.8	37.3	59,366

Fuente: SEGEPLAN. Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico. p. 13.

No obstante, la distribución espacial de la lluvia es irregular y la disponibilidad natural del agua no coincide con las demandas. Las laderas de las montañas expuestas al tránsito de los vientos húmedos reciben la mayor cantidad de lluvias, sin embargo, las áreas menos expuestas como el altiplano, reciben cantidades de lluvia apreciablemente menores, destacándose el oriente donde la lluvia es la menor en el país (800 mm), ver figura 15.

En las regiones localizadas en las partes altas de las cuencas y que reciben menor precipitación, la ocurrencia de agua como flujo superficial es menor y es ahí en donde precisamente se asienta la mayor cantidad de población del país, como es el caso del Área Metropolitana de Guatemala, 10 cabeceras departamentales y más de 130 cabeceras municipales.

2.2. Calidad

Los factores fundamentales que alteran la calidad del agua son: la suciedad, la luz y el excesivo calor. Sin embargo la calidad del agua de lluvia en cuanto a propiedades físicas y químicas se refiere, son generalmente mejores que las presentadas por fuentes de agua subterránea, las cuales pueden contener minerales que se encuentran en el subsuelo.

En teoría el agua de lluvia es pura, sin embargo al caer se escurre a través de superficies arrastrando contaminantes que pueden ser tóxicos. Por ejemplo, en estudios realizados por Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha comprobado que en algunos techos tanto de zonas urbanas como rurales, han registrado valores altos en plomo, lo que se puede atribuir a la composición de los materiales con los que han sido fabricados. También algunos análisis han detectado niveles altos de coliformes totales y coliformes

fecales, contaminación que puede ser producida por el excremento de las aves, roedores, etc.

En zonas urbanas con alto nivel de polución en el aire, la situación empeora debido a que la atmósfera se contamina de los elementos como: 79% de nitrógeno, 21% de oxígeno y en menor cantidad otros gases o contaminantes naturales y/o producto de la actividad humana. A esto hay que sumarle que en las ciudades las superficies por las que escurre como calles o techos, tienen niveles más altos de químicos, hidrocarburos, basuras y otros contaminantes.

No obstante el agua de lluvia recogida y almacenada adecuadamente, representa una fuente alternativa de agua de buena calidad, utilizable en determinadas aplicaciones, contribuyendo al ahorro de agua potable.

2.3. Usos

El agua de lluvia ha sido desde siempre un recurso hídrico básico para los seres humanos. A lo largo de la historia múltiples civilizaciones han practicado sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia para su posterior uso en épocas más secas.

En Guatemala el sector agropecuario (23% del PIB) depende totalmente del agua, por lo tanto para un eficaz uso del agua de lluvia, la producción agrícola es cíclica. Se siembra al inicio de las lluvias y se cosecha al final de las mismas.

2.3.1. Riego

Lo más habitual, es aprovechar el agua de lluvia para riego; teniendo en cuenta la calidad de la misma para evitar influir de forma negativa en la producción y el suelo. Por tanto, para evaluar la calidad del agua de riego, se han desarrollado índices empíricos que suponen una guía práctica y de uso generalizado.

2.3.2. Manejo de animales

La captación de agua de lluvia se practica principalmente para abastecer a la ganadería y al consumo doméstico. En época de lluvia la colección de este líquido, constituye una alternativa vital durante épocas de extrema sequía, ya que durante muchos años, la crianza de ganado se vio limitada por la falta de agua en ciertas épocas del año.

2.3.3. Vivienda

El agua de lluvia acumulada es susceptible de ser utilizada en viviendas y en exteriores. En el interior de las viviendas hay diversos puntos donde es posible sustituir el agua potable por agua de lluvia: inodoros, lavadoras, lavaderos, tomas de agua para limpieza. Los usos exteriores están relacionados con el riego de zonas verdes y limpieza (calles, edificios, lavado de coches).

De acuerdo a la figura 1 (infra: página 8), se calcula que las descargas de los inodoros suponen del 35% al 40% del gasto de agua potable en un hogar medio. El volumen liberado en cada uso oscila entre 6 y 10 litros, aunque cada vez es más común la instalación de pulsadores de control de descarga o de

corte de flujo. Una lavadora utiliza aproximadamente 17 litros en cada lavado.

Una familia de 4 miembros consume diariamente un mínimo de 125 litros de agua potable susceptibles de ser sustituidos por agua de lluvia, almacenada y filtrada convenientemente.

2.3.4. Otras instalaciones

Resalta la importancia del agua en la economía nacional, al considerar que las principales exportaciones del país, están relacionadas con el aprovechamiento de su riqueza natural. El agua de lluvia se puede aprovechar en usos industriales como los siguientes:

- Limpieza de superficies y vehículos industriales
- Depósito de almacenamiento de agua contra incendios
- Riego
- Servicios sanitarios (únicamente en descargas de inodoros)
- Usos domésticos

3. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA

Surgen a raíz de la necesidad de satisfacer la demanda del recurso hídrico, siendo un método alternativo durante época lluviosa de bajo costo y fácil implementación.

3.1. Definición

- Es la captación de la precipitación pluvial para usarse en la vida diaria. Esta práctica ayuda en gran medida a bajar la explotación de los mantos freáticos.³
- Es la práctica de recolectar y utilizar el agua de lluvia que se descarga de las superficies duras, como los techos o el escurrimiento de suelos. Es una técnica ancestral que está recuperando su popularidad ahora que cada vez más gente, está buscando maneras de usar las fuentes de agua de forma más inteligente.⁴

3.2. Antecedentes

Diversas formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de los siglos, pero estas técnicas se han comenzado a estudiar y a publicar, técnica y científicamente, sólo en época reciente.

³es.wikipedia.org/wiki/Cosecha_de_agua_de_lluvia. Consultado el 6 de marzo de 2013, a las 16:00 horas.

⁴<http://www.dwc-water.com/es/tecnologias/uso-del-agua-de-lluvia/index.html>. Consultado el 6 de marzo de 2013, a las 16:00 horas.

La captación, almacenamiento y aprovechamiento de lluvia es un medio fácil para obtener agua destinada al uso doméstico y/o agrícola. Por tal motivo en muchos lugares del mundo con alta o media precipitación, en donde no se dispone de este vital líquido en cantidad y calidad necesaria, se recurre a este medio como fuente indispensable de abastecimiento.

3.2.1. Internacionales

En los últimos años, cada vez se habla más del aprovechamiento de agua de lluvia, no sólo por motivos medioambientales, sino también por motivos económicos. Hay muchos países de Europa y de otras partes del mundo, que disponen de normativas y legislaciones propias referentes a la captación y al aprovechamiento de las aguas pluviales. Dentro de los países que emplean sistemas de aprovechamiento, se menciona: Alemania, Francia, España o los países escandinavos.

Las razones de su proliferación tienen que ver con diversos factores: por una parte, son potencias económicas que disfrutaban del mayor nivel de industrialización del mundo; tienen larga tradición en la aplicación de criterios de sostenibilidad en arquitectura y una conciencia ecológica y cívica muy desarrollada. También cabe mencionar que el precio del agua potable y el ahorro generado a largo plazo, en esos países es significativo.

- En Alemania, tras su reunificación en 1989, se rehabilitaron miles de edificios y se emprendieron proyectos de instalación de SAAP en viviendas, siendo probablemente el líder mundial en esta materia en la actualidad.

- En España, la normativa vigente (el Código Técnico de la Edificación), de reciente aplicación, prevé la instalación de depósitos de almacenamientos pluviales en edificios públicos.
- En países como Inglaterra, Alemania, Japón o Singapur, el agua de la lluvia se aprovecha en edificios que cuentan con el sistema de recolección, para después utilizarla en los baños o en el combate a incendios, lo cual representa un ahorro del 15% del recurso.
- En la India se utiliza principalmente para regadío, pero cada vez se desarrollan más políticas encaminadas a la captación en ciudades, como Bangalore o Delhi.
- En la República Popular de China se resolvió el problema de abastecimiento de agua a cinco millones de personas con la aplicación de tecnologías de captación de agua de lluvia en 15 provincias después del proyecto piloto “121” aplicado en la región de Gainsu.
- En Bangladesh se detuvo la intoxicación por arsénico con la utilización de SCAP para uso doméstico.
- Brasil tiene un programa para la construcción de un millón de cisternas rurales para aumentar el suministro en la zona semiárida del noreste.
- En las Islas del Caribe (Vírgenes, Islas Caicos y Turcas), Tailandia, Singapur, Inglaterra, EUA y Japón entre otros, existe un marco legal y normativo que obliga a la captación de agua de lluvia de los techos.

- En Israel se realiza micro captación de agua de lluvia para árboles frutales como almendros y pistachos.
- En Estados Unidos y Australia, la captación de agua de lluvia se aplica principalmente para abastecer de agua a la ganadería y al consumo doméstico. En algunos estados de ambos países se ha desarrollado regulaciones e incentivos que invitan a implementar estos sistemas.

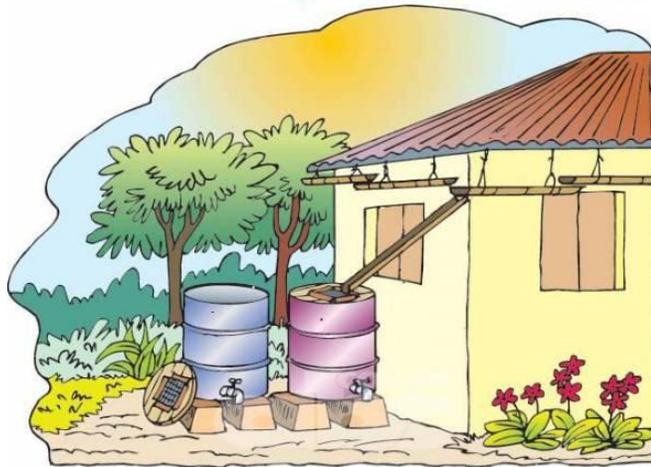
3.2.2. En Guatemala

Debido a distintos factores, en los diseños de proyectos de infraestructura civil pocas veces se toma en cuenta el concepto de desarrollo sostenible como un elemento que define las características de los mismos, la adaptación del entorno y la minimización de impactos negativos.

En Guatemala desarrollar SAAP, no es una práctica habitual y son específicas las regiones donde hay un almacenamiento de ésta (solo una parte ínfima del agua de lluvia es utilizada, sin conducirla por gravedad). Regularmente solo en comunidades rurales, cabeceras departamentales y zonas con limitaciones de abastecimiento de agua potable en el área metropolitana, se emplea algún medio de captación de lluvia empírico, a través de los techos de las viviendas que depositan en tanques generalmente unifamiliares.

No obstante, en la última década, se han dado los primeros pasos para un aprovechamiento tecnificado en zonas geográficas donde la precipitación es prolongada.

Figura 4. **Sistema empírico de captación de agua de lluvia**



Fuente: <http://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/como-almacenar-agua-de-lluvia-162342.html>. Consulta: 11 de marzo de 2013.

De acuerdo a investigaciones, se podría reducir el déficit de abastecimiento en el país si se aprovecharan los métodos de captación y gestión del agua de lluvia. Si se captara toda la lluvia que cae sobre los techos y en algunos suelos, se podría ahorrar de 10% a 15% del agua que se consume en los hogares.

En el sector industrial, agroindustrial y privado es donde se han implementado últimamente SAAP, aunque aún existen pocas empresas que practiquen estos métodos. Posiblemente es desconocido el aprovechamiento tecnificado de agua lluvia en instituciones educativas y comercio, donde el impacto positivo podría ser mayor.

Las aguadas artificiales son aquellas en donde el hombre interviene en su construcción. Para la ubicación de las corrientes de agua se realizan los estudios geológicos que se basan en el estudio de la composición del subsuelo

e impermeables, obteniendo así una serie de datos que permiten determinar la existencia o ausencia de agua subterránea. La construcción de aguadas es una práctica común que se utiliza como medio de aprovisionamiento de este líquido, mayormente en el departamento de Petén.

3.3. Características

Las características de cada sistema varían según sea el uso, lugar, precipitación, diseño y materiales de construcción. Se desarrollan en torno a tres componentes de abastecimiento: métodos de captación, almacenamiento y distribución.

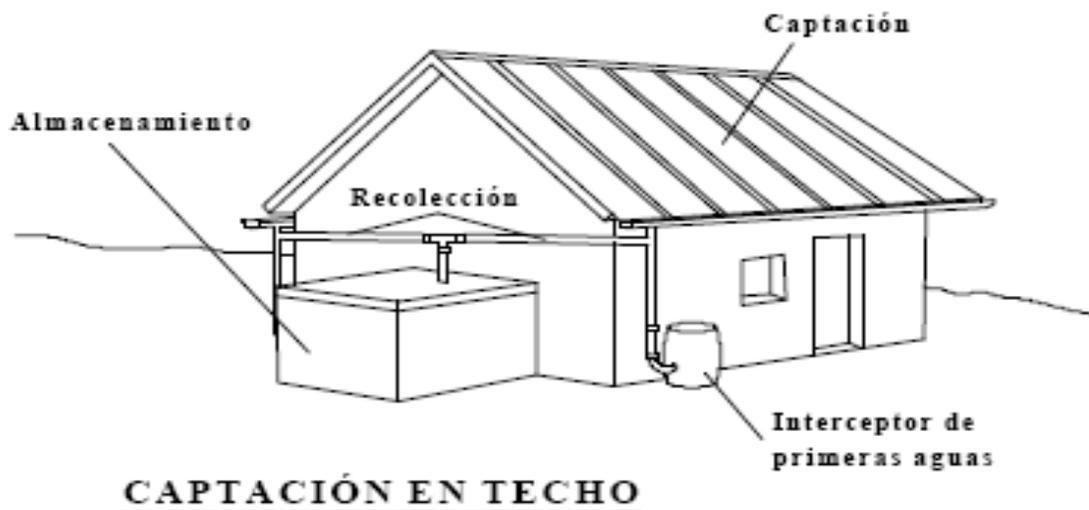
3.4. Componentes

El SAAP está compuesto de los siguientes elementos:

- Captación: está conformado por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección.
- Recolección y conducción: es el conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua de lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado.
- Interceptor: es el dispositivo dirigido a captar la primera agua de lluvia, correspondiente al lavado del área de captación; con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas.

- Almacenamiento: es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua de lluvia para los diferentes usos.
- Distribución: son los diferentes elementos, encargados de llevar en forma eficiente el agua de lluvia a los distintos puntos de consumo: tuberías, válvulas, accesorios, etc.
- Puntos de consumo: generalmente son aquellos en los que no es necesario hacer uso de agua potable, como los son: inodoro, dispositivos de riego, etc.

Figura 5. **Sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT)**



Fuente: UNATSABAR. Guía de Diseño para captación de Agua de Lluvia. p. 6.

3.5. Tipos

Actualmente de acuerdo a su tamaño, existen dos formas de captación de agua pluvial:

- Los SCAPT en casas y edificios, en los que la capacidad de almacenamiento varía de acuerdo al área de captación y el tamaño del recipiente.
- La construcción de obras de mayor escala, como reservorios, lagunetas y presas para captar y almacenar el agua de lluvia que escurre en una ladera o en una microcuenca hidrográfica.

3.5.1. Riego

Se puede utilizar en riego en ciertos jardines que usan agua de la red por medio de la instalación de depósitos de almacenamiento de aguas pluviales, alimentados por las cubiertas de los edificios circundantes. La demanda de agua para riego en todo el país se estima en 2 883 millones de m³.⁵

3.5.2. Manejo de animales

La crianza de ganado vacuno y ovino se basa en un adecuado sistema nutricional, dentro del cual el agua ocupa un rol primordial. La presencia de sales en el agua de bebida del ganado, limita en muchos casos el rendimiento de la producción pecuaria, por lo tanto la implementación de dichos sistemas debe de acompañarse de estudios de laboratorio, para determinar la calidad del

⁵ http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/serie_amb/4.PDF. Consulta: 6 de marzo de 2013 a las 16:00 horas.

agua recogida, aunque en zonas rurales la contaminación es mínima.

Reservorio o estanque es una fosa construida con el objetivo de acumular agua de lluvia. Sirve para su conservación y para utilizarla en el verano, para suministro de agua al ganado o limpieza de instalaciones, para la producción de lechuga para la alimentación de cerdos, para la producción de peces o para varias actividades. Se almacena agua de lluvia tanto en piscinas como en pozos, que van conectadas a los sembradíos y a los establos, lo que ha permitido tener un mejor control en la crianza del ganado.

Figura 6. **Reservorio agua de lluvia para crianza de ganado**



Fuente: <http://aguabolivia.blogspot.com/2011/07/cosecha-de-agua-permite-mejorar-crianza.html>.

Consulta: 6 de marzo de 2013.

La construcción de aguadas es una práctica común, pero la mayoría de las aguadas no abastecen de agua de forma eficiente durante la época seca.

Su construcción es relativamente accesible a los productores ganaderos de bajos ingresos, por lo que predomina su uso para consumo animal, considerando su construcción, no sólo como un medio realista y práctico para suplir las necesidades del ganado, sino también para lograr el alivio de las necesidades familiares de los productores rurales de esta zona, por ser esta la actividad productiva en la que basan la obtención de sus beneficios económicos.

Figura 7. **Aguada artificial Petén, Guatemala**



Fuente: aldea San Pedro, San José, Petén, Guatemala.

3.5.3. Vivienda

Se entiende como aplicación individual aquella que sirve a una sola vivienda, sea aislada, adosada o integrada en un edificio plurifamiliar; caso contrario cuando el sistema de aprovechamiento de pluviales se destina a aplicaciones colectivas.

En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación, minimiza la contaminación del recurso. Adicionalmente, los excedentes pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan complementar la dieta

Figura 8. **Usos de agua de lluvia en vivienda**



Fuente: FERNÁNDEZ PÉREZ, Iván. Aprovechamiento de aguas pluviales. p. 45.

3.5.4. Otras instalaciones

Se conoce amplia variedad de técnicas sobre captación de agua de lluvia de diferentes fuentes (precipitación, niebla, nieve), con diferentes técnicas y para diferentes usos.

Actualmente se están llevando a cabo experiencias interesantes de aprovechamiento del agua de lluvia en otros países. Por ejemplo, en Sudáfrica se está desarrollando un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales para los cultivos en patios de casas.

Otro ejemplo de aprovechamiento de agua de lluvia, es el que se ha desarrollado en México. El prototipo se parece a una red de imbornales tradicional o coladeras fabricadas de material impermeable con una tubería perforada, que en lugar de conectarse a la red de drenaje se sumerge a grandes profundidades del subsuelo. Con este sistema se contribuye a la alimentación de los acuíferos.

Otra posibilidad, es la construcción de pozos de absorción, los que favorecen la percolación del agua infiltrada en el terreno, gracias a la permeabilidad de sus paredes, permitiendo su almacenaje.

Figura 9. **Pozo de absorción de agua de lluvia**



Fuente: <http://www.aguasaludable.net/mantenimientodepozosdeabsorcion.aspx>. Consulta: 6 de marzo de 2013.

4. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA

La metodología para diseñar y evaluar sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia se desarrolla en torno al análisis de la oferta (aspectos meteorológicos), demanda (uso), calidad del agua, impacto económico-social e impacto ambiental.

4.1. Antecedentes

El mayor déficit de agua potable está en la ciudad capital y las cabeceras departamentales más pobladas, Escuintla y Quetzaltenango. Se estima que para cubrir la demanda de la población en el 2025 se requieren aproximadamente 1 210 Mm³, asumiendo la tasa de crecimiento actual, con una dotación de 125,0 l/h/d para el área rural y 180,0 l/h/d para el área urbana.

En una vivienda, únicamente un tercio del agua que consumimos necesita ser potable, pudiendo utilizar agua de lluvia o agua reciclada, para el resto de usos, tales como descarga de cisternas, riego, limpieza de ropa, limpieza de vehículos, etc. Obviamente, el agua potable seguirá siendo imprescindible en usos alimentarios o de higiene personal, pero el objetivo de reducir 2 tercios el uso de agua potable, es beneficioso y a ello están apostando fuertemente gobiernos internacionales, por ello su interés en desarrollar metodologías y manuales que faciliten el desarrollo de SAAP.

4.2. Evaluación del proyecto

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos, ambientales y sociales. Cada uno de estos debe cumplir con los siguientes criterios:

- **Pertinencia o relevancia:** observa la congruencia entre los objetivos del proyecto, las necesidades identificadas y los intereses de la población e instituciones (consenso social).
- **Eficacia:** es el grado en que se han cumplido los objetivos
- **Eficiencia:** indica el modo en que se han organizado y empleado los recursos disponibles en la implementación del proyecto.
- **Sostenibilidad:** establece la medida en que la población y/o las instituciones mantienen vigentes los cambios logrados por el proyecto una vez que este ha finalizado.

4.2.1. Técnica

Los factores a tomar en cuenta en un estudio técnico son: oferta y demanda, así como lo correspondiente a la eficiencia de diseño y construcción del sistema.

La oferta tiene que ver principalmente con la precipitación, que se debe analizar para definir si es, o no factible realizar este tipo de obras. Las características que debe reunir la factibilidad de estos sistemas son: la cantidad, la intensidad, la duración y la distribución de la precipitación. Para obtener la

condición técnica adecuada que facilite el funcionamiento eficiente de una instalación de captación de agua de lluvia, es indispensable contar con los datos meteorológicos necesarios para realizar una planificación objetiva; la cual nos permita conocer la probabilidad de que ocurra cierta cantidad de lluvia en determinadas fechas.

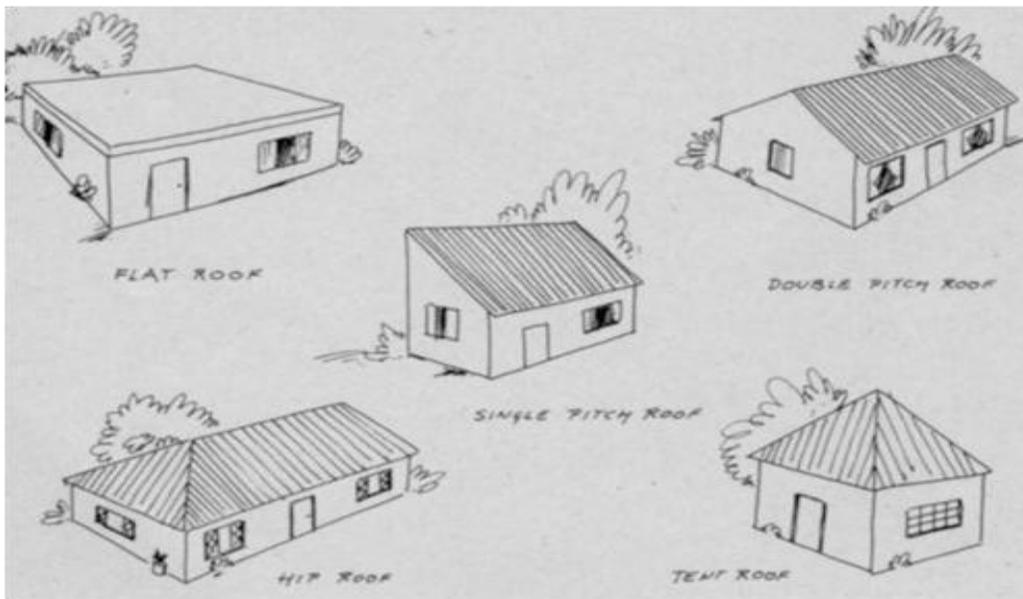
Además se debe tomar en cuenta la selección cuidadosa de los materiales y elementos constructivos de dicho sistema. Asimismo, la demanda tiene que ver con la cantidad requerida y el uso dado por los interesados en cada sistema de recolección.

El uso del agua de lluvia es ideal sí se dispone de techo o áreas grandes para su recolección y almacenamiento, la que posteriormente tendrá un uso en el sistema de abastecimiento de los inodoros y mingitorios. Esto brinda un ahorro considerable en el consumo de agua potable.

- Tipo de depósito: de acuerdo a diferentes factores particulares del proyecto, se pueden utilizar las siguientes alternativas constructivas:
 - Enterrados: los materiales habituales son hormigón (prefabricados) y polietileno. Cuando se opta por instalar un depósito enterrado, se hace necesario realizar un foso y una losa de concreto.
 - Superficiales: son depósitos indicados para ser colocados a la vista, en calles, jardines, patios, garajes o sótanos, pueden ser de polietileno, de concreto (menos habituales) o flexibles, fabricados en poliéster y PVC. El aspecto exterior está más cuidado, y disponen de un aislamiento acorde con las condiciones climáticas que han de soportar.

- Elevados: en el caso de implementar sistemas de distribución por gravedad, por lo general son metálicos, plásticos y de concreto, tienen un costo inicial mayor al de los depósitos convencionales.
- Material superficie de captación: puede parecer que en realidad no existe ningún material que garantice no desprender alguna sustancia potencialmente tóxica. Frente a las cubiertas metálicas, una solución constructiva para neutralizar el agua de lluvia es la de optar por cubiertas tradicionales, como las de teja de concreto u otras, en el caso de las cerámicas y arcillas, no se aprecia efecto alguno; también se debe cuidar que las superficies no sean rugosas para evitar el acumulamiento de sedimentos.

Figura 10. **Diferentes tipos de techos**



Fuente: GALLARDO MONTECINOS, Vicente. Cosecha y almacenamiento de aguas lluvia. p. 4.

- Tipo de material para recolección y conducción (canaletas, canales y bajantes):
 - Bambú o madera: son fáciles de construir pero se deterioran rápidamente.
 - Metal: son los que más duran y menos mantenimiento necesitan, pero su costo es elevado.
 - PVC.: son más fáciles de obtener, durables y sus precios son accesibles.

En el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc. el sistema debe tener mallas que retengan estos objetos para evitar que obstruyan las tuberías.

Los dispositivos de control mecánico como: flotadores mecánicos, válvulas de cierre, válvulas de retención y uniones universales; son indispensables para el adecuado funcionamiento y mantenimiento del sistema.

4.2.2. Económica

Los criterios económicos no deberían tener un peso determinante en lo que se refiere a sistemas que fomenten el uso de recursos naturales, ya que las ventajas no siempre son evaluables en términos monetarios. En lo referente a costes económicos de los diferentes SAAP, existen diferencias en función de los materiales utilizados, los accesorios necesarios, la situación del depósito y las dimensiones del sistema. Por esta razón es determinante integrar el sistema, balanceando el aspecto técnico y económico.

En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 l/h/d, la cual permite satisfacer sus necesidades básicas elementales, debiendo atenderse los aspectos de higiene personal y lavado de ropa de otra fuente.

Los costos cada vez más altos de los combustibles fósiles conllevan a un aumento del precio por metro cúbico de agua tratada y agua residual. Por tal razón, la implementación de SAAP, deberá disminuir significativamente la inversión en la compra de agua potable.

4.2.3. Social

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención. El profesional responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear.

Este análisis debe considerar la conveniencia de adoptar soluciones atractivas individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto.

Tabla III. **Hogares según tipo de servicio de agua y sectores urbanos y rurales, año 2002**

Tipo de Servicio de Agua	Total país	%	Urbanos	%	Rurales	%
Total:	2,200,608	100.0	1,104,994	100.0	1,095,614	100.0
Chorro de uso exclusivo	1,458,480	66.3	880,704	79.7	577,776	52.7
Chorro para varios hogares	93,729	4.3	75,587	6.8	18,142	1.7
Chorro público (fuera del local)	88,808	4.0	32,308	2.9	56,500	5.2
Pozo	337,241	15.3	56,375	5.1	280,866	25.6
Camión o tonel	49,000	2.2	25,886	2.3	23,114	2.1
Río, lago o manantial	106,360	4.8	8,848	0.8	97,512	8.9
Otro tipo	66,990	3.0	25,286	2.3	41,704	3.8

Fuente: Censo de Población y Habitación 2002

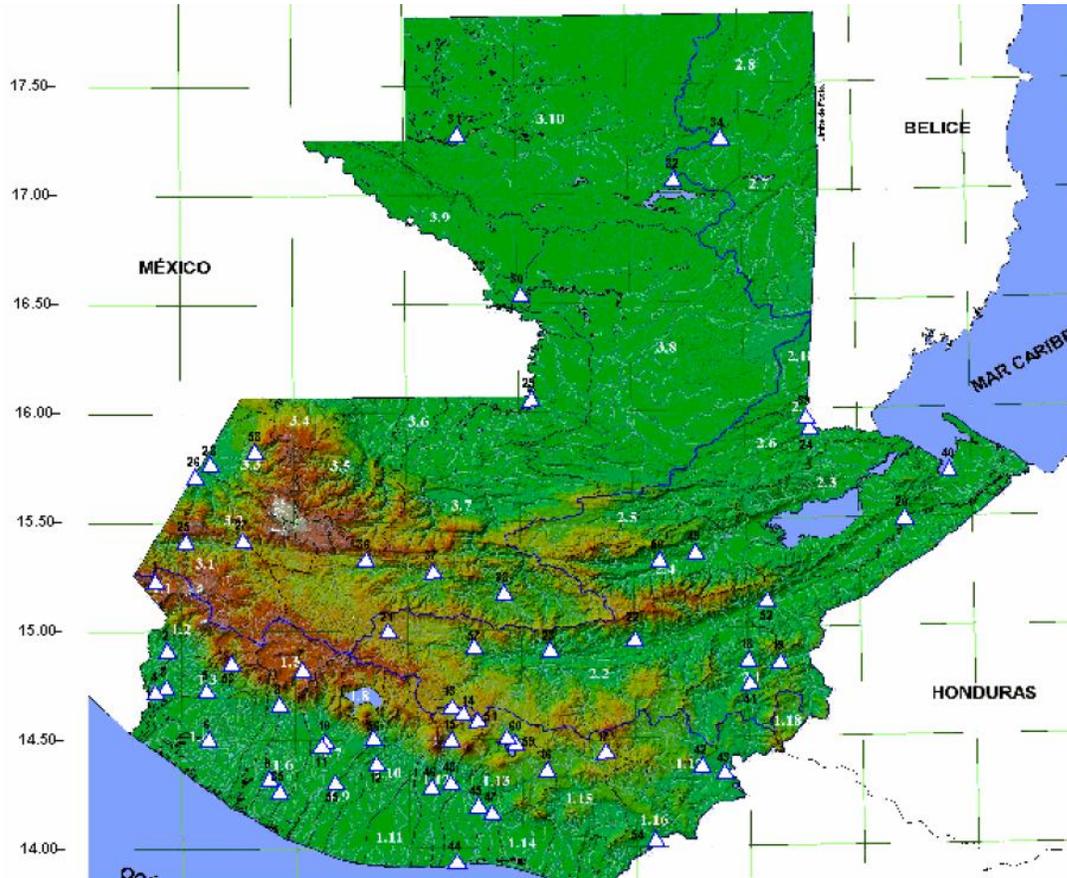
Fuente: SEGEPLAN. Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico. p. 24.

4.2.4. Aspectos meteorológicos

Un elemento fundamental para la gestión apropiada del recurso hídrico lo constituye el sistema nacional de información del agua; capaz de recopilar, analizar, organizar y publicar oportunamente los datos básicos respecto a la situación del agua a nivel de micro cuenca y cuenca.

El sistema nacional de control meteorológico no cubre las necesidades reales de información para la toma de decisiones locales. Existen diversas bases de datos y sistemas de información hidrometeorológica en el INSIVUMEH, MAGA, INDE, MEM, MARN y las organizadas por entidades privadas como la gremial de cañeros y cafetaleros, aun cuando no forman parte de una red o sistema nacional de información de los recursos hídricos ni su información puede ser consultada por todos.

Figura 11. Red de estaciones hidrológicas de Guatemala.
Departamento de Investigación y Servicios Hídricos



No	Estación	No	Estación	No	Estación	No	Estación	No	Estación	No	Estación
1	Cunlaj	11	San Miguel moca	21	Chiché	31	San Pedro Mactún	41	Vado Hondo	51	Sn Juan Gascon
2	Malacatán	12	Puente Coyolate	22	Puente Orellana	32	Chachacún	42	Las Lechuzas	52	Gualán
3	Pajapita	13	Puente de Itzapa	23	Panajax	33	Bethel (M)	43	Las Cruces	53	Corral Grande
4	Meléndrez II	14	Sn Luis Las Carretas	24	Modesto Méndez	34	Tikal (M)	44	Pto. Quetzal	54	El Jobo
5	Coatepeque	15	Alotenango	25	Cuilco	35	La Franja	45	Amatillo	55	Patutul
6	Caballo Blanco	16	El Pino	26	Chojil	36	Río Blanco	46	Cenizas	56	Panibaj
7	Cantel	17	El Portezuelo	27	Xemal	37	Puente Chocox	47	Guacalate	57	Concua II
8	Candelaria	18	Petapilla	28	La Laguna	38	Xococ	48	Guacamayas	58	Nenton
9	La Máquina	19	Camotán	29	Sn Agustín Chixoy	39	Sn Pedro Cadenas	49	Telemán	59	Villa Canales
10	Monte Cristo	20	Morales	30	El Porvenir	40	Sto. Tomas de Castilla	50	Maticuy	60	Alpas Altas (M)

Fuente: SEGEPLAN. Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico. p. 93.

4.2.5. Ambiental

La creciente conciencia medioambiental y la normativa europea fomentan una nueva cultura del agua y respeto por los entornos naturales. Así como el uso responsable y eficaz, buscando soluciones que optimicen su aprovechamiento, reduciendo los efectos violentos y enfermedades ocasionados por las lluvias.

Según sea la magnitud del SAAP y el impacto provocado, así deberá realizarse el estudio de impacto ambiental correspondiente, tomando en cuenta el artículo 3 del Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental vigente, el cual se define como: “Documento que determina el contenido mínimo, lineamientos y alcances técnicos administrativos que orientan la elaboración de los instrumentos de evaluación, control y seguimiento ambiental”. El contenido de este documento, es de rigurosa observancia para el diseñador como guía o manual en el proyecto de evaluación ambiental y es requisito para la aceptación del estudio.

Para la evaluación ambiental, la información disponible en el país sobre la ocurrencia y disponibilidad de agua superficial y subterránea presenta limitaciones; la relativa a patrones de uso y consumo, fuentes y cargas contaminantes, evolución de la calidad proveniente de ríos y acuíferos, prácticamente no existe. Por ello para un mejor análisis de la información se debe tomar en cuenta si durante el período contemplado se presentaron los fenómenos de El Niño y La Niña, pues estos intervienen con la disponibilidad de agua de lluvia, ya sea porque ésta se vuelva escasa o abundante. Así mismo, se deben realizar pruebas de laboratorio físicas, químicas y bacteriológicas, que sustenten dicho análisis.

4.3. Criterios de diseño

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores económicos, técnicos y sociales. Además es necesario tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Precipitación en la zona: se debe conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años.
- Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación.
- Número de personas beneficiadas.
- Demanda de agua.

4.3.1. Económicos

Al existir una relación directa entre la oferta y la demanda (las cuales inciden en el área de captación y el volumen de almacenamiento), se encuentra que ambas consideraciones están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, e imposibilita el acceso a un sistema de abastecimiento de esta naturaleza.

Los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio prestado.

4.3.2. Técnicos

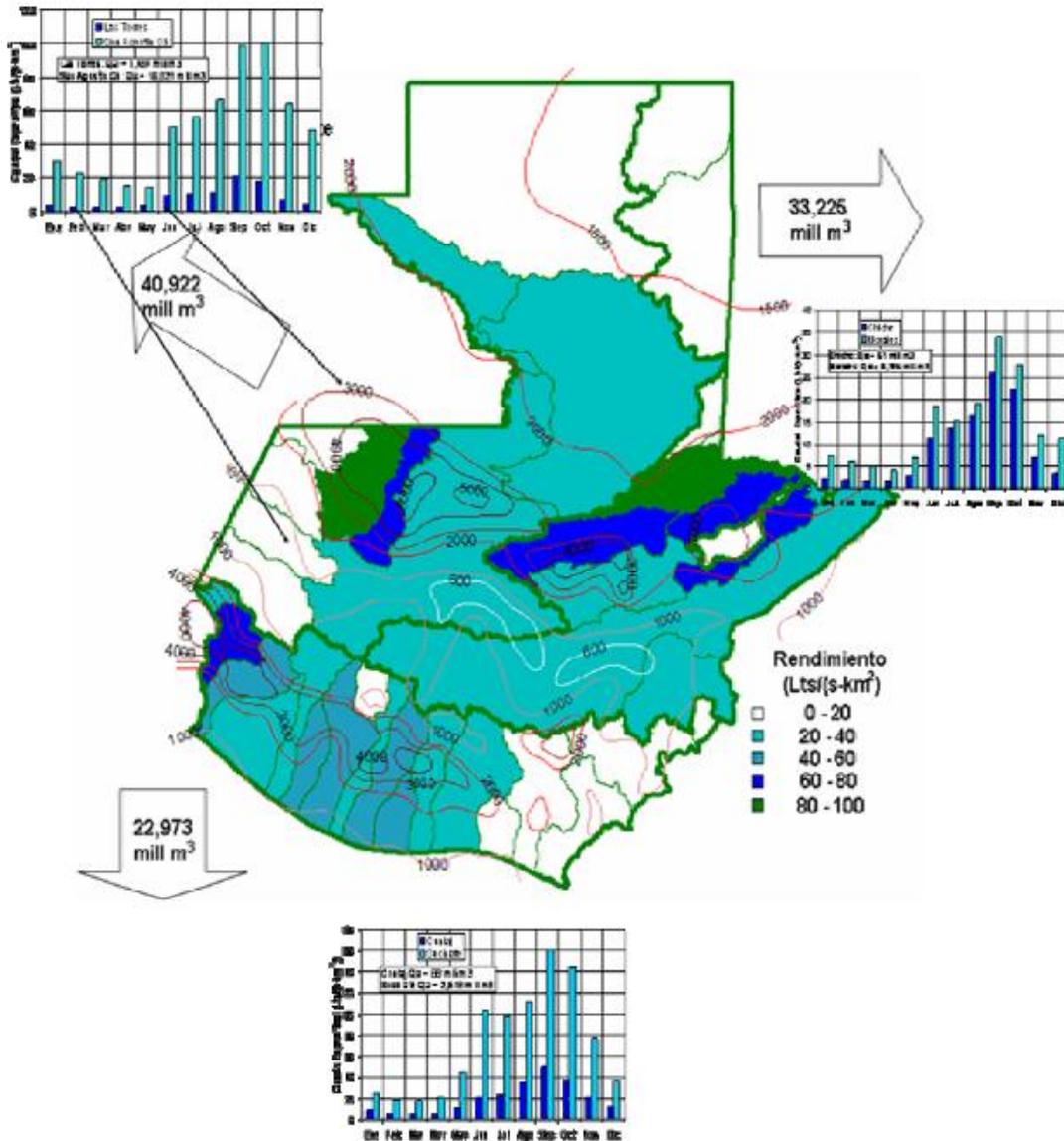
Los parámetros más importantes dentro del diseño eficiente de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia son:

- La determinación de los volúmenes de almacenamiento
- Potencial de ahorro de agua potable, tomando como base la oferta y demanda.
- Sistema de distribución de agua de lluvia

4.3.3. Meteorológicos

Para tener mayor confiabilidad en el diseño se debe tener la información pluviométrica de la zona, se recomienda de diez (10) años consecutivos. En la siguiente figura se muestra información sobre la precipitación promedio anual a nivel nacional, la variación de los caudales medios mensuales en dos estaciones para cada una de las tres vertientes, los rendimientos por cuencas y la disponibilidad de agua superficial por cuenca (litros/segundo/km²).

Figura 12. Datos hidrométricos República de Guatemala, precipitación promedio anual, variación de los caudales medios mensuales, rendimientos y la disponibilidad de agua superficial por cuenca



Fuente: SEGEPLAN. Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico. p. 14

4.3.4. Calidad del agua

El agua de lluvia en su mayoría, puede no ser apta para el consumo humano. La calidad depende de las superficies de captación (el plomo y el cobre, por ejemplo, están descartados), del método de almacenamiento y del tratamiento biológico.

Generalmente el agua de lluvia y los sistemas de captación presentan las siguientes características:

- Es limpia
- Gratuita
- Es blanda
- Ligeramente ácida
- Tiene poco olor y sabor (a no ser que el tejado contenga contaminantes como el alquitrán).

- Puede contener microorganismos, debido a materias fecales de pájaros o ratones, depositadas en la superficie de los techos.

5. EJEMPLO DE DISEÑO DE SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN PROYECTO DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Se desarrollará tomando como base los requerimientos del capítulo 4, recordando que el procedimiento y datos de diseño pueden variar según sean las condiciones y consideraciones del proyecto.

5.1. Descripción

Actualmente la presión existente sobre las cuencas hidrográficas, debido a la alta demanda del recurso y al grado de contaminación de las fuentes superficiales, ha ocasionado un alto grado de desabastecimiento de agua potable en el área metropolitana. El diseño se plantea como respuesta a la reducción de la oferta hídrica en algunos municipios de Guatemala, debido a la contaminación del agua superficial y al proceso de degradación que sufren las cuencas

Para mitigar el problema, en este capítulo se propone un Sistema de Aprovechamiento de Agua Lluvia de bajo costo, fácil implementación y mantenimiento, como alternativa para el ahorro de agua potable, posibilitando un consumo consiente, inteligente, racional y solidario, lo que disminuye los gastos relacionados al consumo y al uso eficiente del recurso, en viviendas de interés social ubicadas en zonas urbanas. Dicho sistema está conformado por:

- Superficie de captación (techo de lámina)

- Canales recolectores de concreto y PVC
- Tanque elevado de concreto y mampostería
- Red de distribución por gravedad
- Accesorios de distribución y consumo

La variante significativa en comparación al SCAPT tradicional, es la distribución por gravedad, que elimina el bombeo, destinado a distribución o almacenamiento, generando beneficios económicos, operativos y de mantenimiento.

Para el diseño de la vivienda, fue necesario realizar una serie de modificaciones a la vivienda original, que permitiera la distribución por gravedad, sin salir del régimen de interés social. Al final del trabajo se incluyen planos técnicos de la vivienda, donde se indican la distribución, dimensionamiento y especificaciones del sistema propuesto.

5.2. Ubicación

Para el desarrollo del sistema se seleccionó un proyecto de vivienda de interés social ubicado en Asentamiento Villalobos 2 Anexo, municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala, Guatemala. El sector cuenta con servicios de alcantarillado y electricidad, pero tiene limitaciones en el servicio municipal de agua potable, debido a la construcción empírica de la red de distribución, originando pérdida de carga en las partes altas del sector. Esto regularmente divide el sector en dos zonas, donde una posee agua potable durante todo el día y la otra solo en horarios de 8:00 pm a 5:00 am. Al no satisfacer la demanda, en algunos casos el abastecimiento del vital líquido se hace mediante la compra a través de recipientes (toneles).

5.3. Criterios de diseño

El diseño consta principalmente de la determinación de su demanda, la oferta relacionada con la precipitación de la zona, el volumen de almacenamiento del agua lluvia, el interceptor de las aguas de lavado del techo, el filtro y la red de distribución de agua de lluvia.

La red de distribución intradomiciliar de agua de lluvia es paralela a la de agua potable. Esta solo abastece al sanitario y al chorro de la pila, sin mezclarse con agua potable, mediante la colocación de llaves de compuerta.

5.3.1. Meteorológicos

Están estrechamente ligados con la oferta, ya que estos parámetros determinan la cantidad, intensidad y frecuencia esperada de la lluvia, durante un periodo anual. Para el caso en estudio los datos relevantes son los siguientes:

Tabla IV. **Estación E-15 INSIVUMEH. Acumulados mensuales y anuales de lluvia (mm)**

2000	0.4	0.0	0.2	40.9	231.4	306.0	62.1	130.4	220.2	41.5	14.5	1.6	1049.2
2001	1.1	4.8	2.6	4.1	129.5	162.8	175.1	223.3	152.7	137.6	19.6	1.3	1014.5
2002	0.0	6.6	0.0	12.7	76.4	208.4	163.7	109.3	242.9	108.6	83.6	0.2	1012.4
2003	0.9	14.4	20.3	36.8	159.9	303.1	186.8	109.4	374.2	42.1	18.6	2.0	1268.5
2004	0.2	0.5	23.9	5.2	24.3	314.5	197.2	97.6	228.2	165.9	2.9	0.2	1060.6
2005	2.0	0.0	6.7	2.6	141.9	211.8	415.1	278.3	180.2	128.7	23.0	2.5	1392.8
2006	11.3	0.4	6.3	32.6	153.5	449.8	192.6	94.3	211.7	216.9	39.2	9.1	1417.7
2007	1.4	0.0	0.9	31.2	84.8	206.7	219.6	333.0	287.0	114.4	2.1	1.5	1282.6
2008	3.3	11.9	3.4	22.4	169.6	460.3	410.6	187.3	354.8	67.4	0.0	0.0	1691.0
2009	0.0	4.0	0.0	17.3	161.0	189.6	94.4	141.5	90.2	81.2	130.5	29.5	939.2
2010	0.0	1.3	0.0	108.2	427.4	376.9	317.4	470.8	342.9	26.8	6.4	0.0	2078.1
2011	0.0	7.2	13.4	15	102	223	238.6	414	247	385	14.2	1.5	1659.5

Fuente: boletines INSIVUMEH.

http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/Insivumeh/Lluvia_Insivumeh.htm. Consulta: 6 de marzo de 2013.

Tabla V. **Estación E-15 INSIVUMEH. Totales mensuales y anuales de días de lluvia**

2000	2	0	2	3	17	23	13	14	23	10	6	3	116
2001	2	4	2	2	14	14	20	17	22	12	3	2	114
2002	0	2	0	3	9	21	15	15	25	12	7	1	110
2003	1	2	4	2	14	21	15	13	24	14	8	1	119
2004	1	1	3	2	19	17	22	15	24	16	3	1	124
2005	2	0	5	1	15	23	24	20	18	13	7	3	131
2006	5	2	2	7	17	29	21	18	21	19	8	8	157
2007	4	0	3	11	7	20	19	19	27	19	4	1	134
2008	2	1	3	5	10	25	24	22	25	17	0	0	134
2009	0	2	0	1	13	20	15	16	15	15	10	3	110
2010	0	1	0	11	18	22	25	29	21	6	5	0	138
2011	0	3	3	2	11	20	26	21	21	17	7	2	133

Fuente: boletines INSIVUMEH.

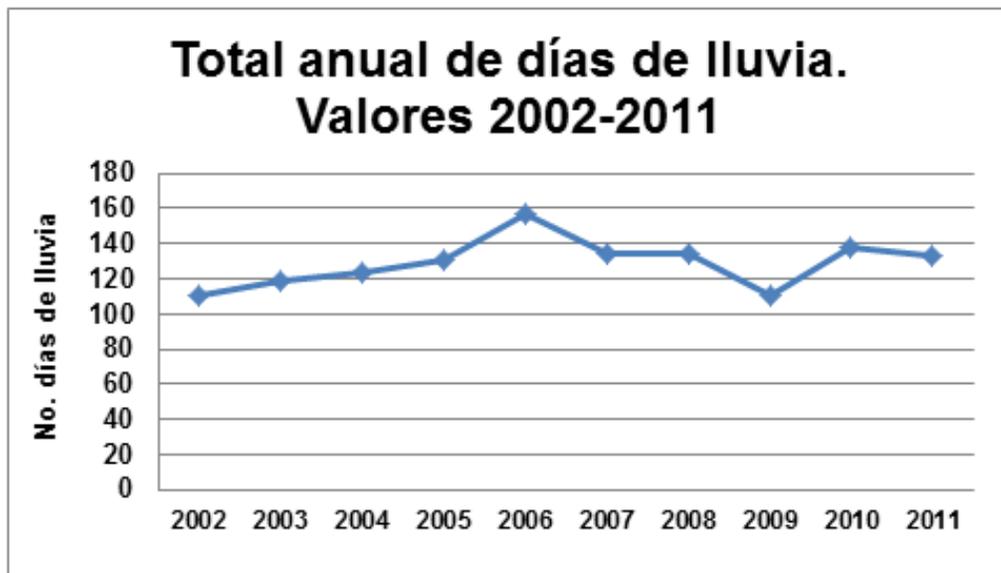
http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/Insivumeh/Lluvia_Insivumeh.htm. Consulta: 6 de marzo de 2013.

Figura 13. Total de días de lluvia mensual. Promedio 2002-2011



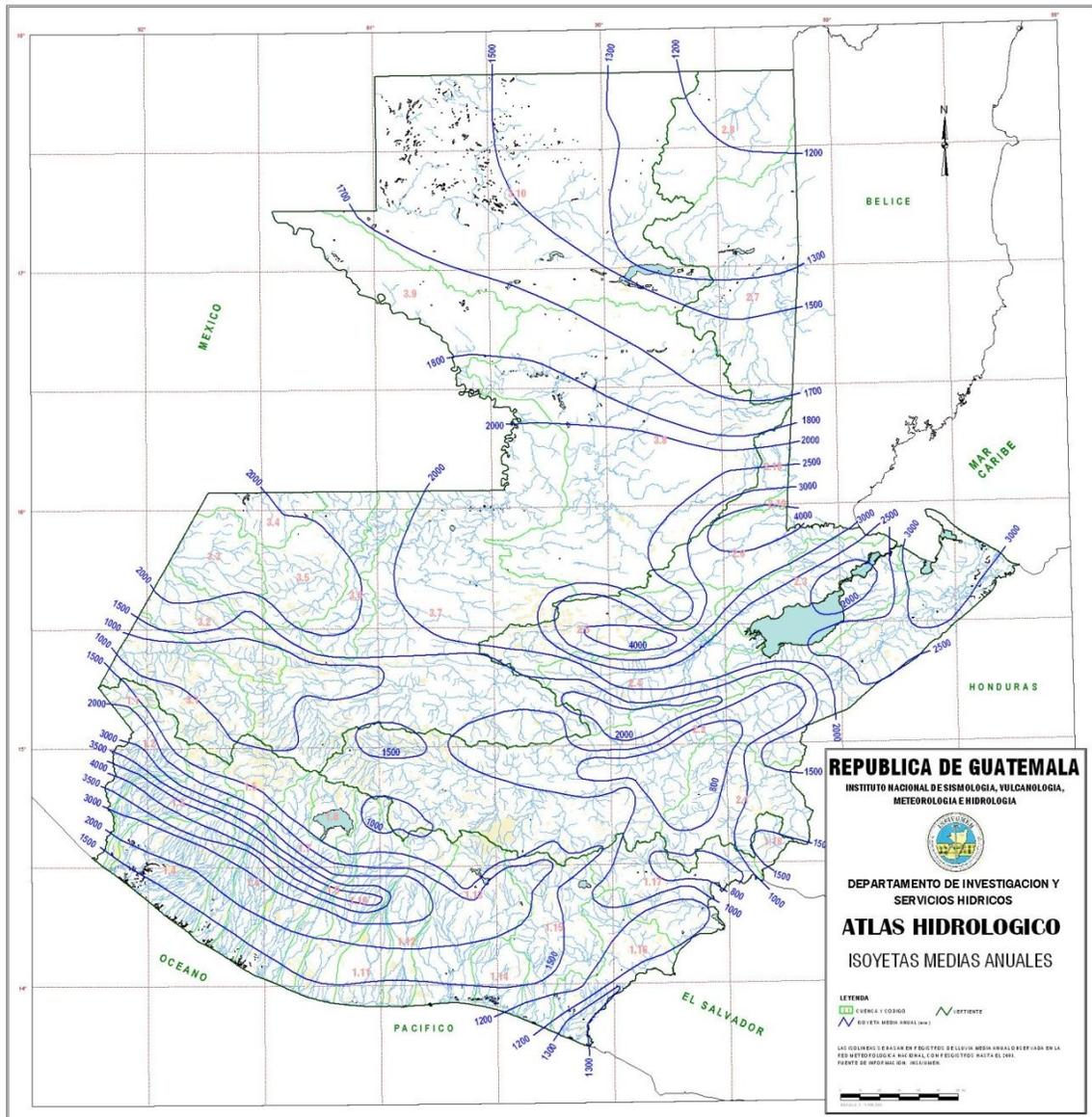
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Total de días de lluvia anual. Promedio 2002-2011



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Isoyetas medias anuales. Período 1976 – 2003



Fuente: Atlas Hidrológico de Guatemala INSIVUMEH.

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLÓGICO/Atlas_Hidrológico/isoyetas.jpg. Consulta: 6 de marzo de 2013.

5.3.2. Técnicos

Los criterios técnicos se enfocan principalmente en la eficiencia del funcionamiento en la infraestructura del sistema.

5.3.2.1. Oferta

Una primera aproximación a la manera como se utilizará el agua lluvia en las viviendas, se hace calculando el volumen de agua lluvia que puede captar la cubierta (oferta) y compararlo con la necesidades de agua de los habitantes (demanda).

$$Opd = \frac{Pa * Ac}{N * 365}, \text{ ecuación (1), donde:}$$

- Opd (m³/hab/día): oferta promedio diario de agua lluvia
- PA (m³): precipitación media multianual
- Ac (m²): área de captación
- N: número de habitantes

5.3.2.2. Demanda

Depende de las necesidades del interesado, puede estar representada por solamente el agua para algunos servicios y necesidades básicas, hasta llegar a disponer de agua para consumo humano. Para el presente ejemplo se toman los siguientes parámetros:

- Dotación de agua 175,0 l/hab./día
- Población: 5 habitantes por vivienda

La demanda individual de agua lluvia (D_i) se obtiene de la suma correspondiente a los usos que puede cubrirla; pero no debe superar la oferta promedio diaria (O_{pd}), se tienen los siguientes casos:

Tabla VI. **Análisis oferta-demanda de agua de lluvia**

Resultados	Comentario
Oferta Promedio Diaria (O_{pd}) < Demanda individual (D_i)	No se recomienda el sistema
Oferta Promedio Diaria (O_{pd}) = Demanda individual (D_i)	Se recomienda el sistema
Oferta Promedio Diaria (O_{pd}) > Demanda individual (D_i)	

Fuente: elaboración propia.

5.3.2.3. Dimensionamiento de sistema

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos:

- Captación
- Recolección y conducción
- Almacenamiento (tanque elevado)
- Distribución por gravedad

- Captación

El área de captación corresponde a los techos de la vivienda de interés social, la cual equivale aproximadamente a 36 m^2 , en este caso los techos tienen regular pendiente, entre 10 y 21 %. Asimismo el tipo de superficie facilita el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección.

- Tipo material área de captación: lámina de zinc (coeficiente de esorrentía 0,9).
- Coeficiente de rendimiento sistema 0,85

Tabla VII. **Coeficientes de escurrimiento (Ce) diferentes materiales área de captación**

Tipo de Captación	Ce
Cubiertas superficiales	
Concreto	0.6 - 0.8
Pavimento	0.5 - 0.6
Geomembrana de PVC	0.85 - 0.90
Azotea	
Azulejos, teja	0.8-0.9
Hojas de metal acanaladas	0.7-0.9
Orgánicos (hojas con barro)	< 0.2
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 10%	0.0-0.3
Superficies naturales rocosas	0.2-0.5

Fuente: GALLARDO RECIO, Juan. Sistemas de Aprovechamiento de agua pluviales. p. 51.

- **Recolección y conducción**

Los implementos utilizados para la recolección del agua de lluvia son canales y bajantes, los se diseñan para conducir el caudal generado por la intensidad máxima característica de lluvia.

Los canales van adosados en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo. El material de los canales es PVC en la parte frontal y concreto armado alisado en la parte posterior.

- Almacenamiento

El objetivo del cálculo es encontrar un volumen óptimo de almacenamiento que cubra el mayor tiempo posible las necesidades a las cuales se ha destinado el agua lluvia, esto se puede realizar de diferentes formas de acuerdo a la información con que se cuente.

Tomando en cuenta aspectos técnicos y económicos para el almacenamiento (aéreo) se utilizará losa de concreto armado, respetando el tipo de acero y concreto empleado por FOGUAVI. Las variables involucradas en el cálculo del volumen máximo de almacenamiento son las siguientes:

- Pt (mm): precipitación diaria
- Ac (m²): área de captación
- N : número de habitantes de la vivienda
- t (días): tiempo
- Dt (m³): demanda total de agua lluvia en un día
- Rt (m³): volumen de agua lluvia
- St (m³): volumen de agua en el almacenamiento
- S_{max} (m³): volumen máximo de almacenamiento

5.3.2.4. Mantenimiento

Es necesario llevarlo a cabo cuando empieza la temporada lluviosa. Comienza con la revisión de todos los componentes del sistema desde el área de captación o techo, hasta los depósitos de agua, pasando por las canaletas, tuberías, etc.

- Limpieza y reparación (esta se efectúa al principio de la temporada).
 - Limpiar la superficie donde el agua será captada.
 - Limpiar canales, tuberías y rebalse del sistema.
 - Limpieza de los sedimentos, almacenados en el fondo del tanque o cisterna por lo menos 2 veces al año (al inicio y al final de la temporada de lluvia).

- Monitoreo y mantenimiento
 - Monitorear los niveles de agua del tanque.
 - Reparar posibles goteras que aparezcan durante la temporada de lluvia en techos con materiales adecuados no contaminantes.

 - Monitorear periódicamente que el agua fluya sin problemas por los canales o tuberías, reparando posibles daños en ellas.

 - Revisar periódicamente las mallas o coladeras que retienen hojas y sólidos mayores.

 - Revisar el correcto funcionamiento de las bombas electromecánicas o sistemas de elevación si este las incluye.

5.3.3. Calidad del Agua

Para determinar la calidad del agua de lluvia, es necesario realizar los análisis de laboratorio tanto físico-químico como bacteriológico, para luego ser comparado con la norma COGUANOR NGO 290001.

Para el caso en estudio, no se tomará en cuenta el agua de lluvia como potable, debido a la alta contaminación ambiental (emisiones atmosféricas, cuenca río Villalobos, suelo, basura, etc.), parámetros que limitan el uso únicamente a servicios sanitarios, domésticos, industrial y de riego.

5.3.4. Económicos

Según parámetros indicativos de la Encuesta Nacional de Condición de Vida ENCOVI 2011, la población de Villalobos 2 Anexo se encuentra dentro los niveles de pobreza no extrema, teniendo ingresos anuales por familia arriba de Q. 9,030.00.⁶

El sistema de suministro de agua potable, es administrado por EMPAGUA y tiene un precio de servicio por consumo de:

- Rango de consumo por metro cúbico 1 a 20: Precio del metro cúbico (sin IVA) Q1.88 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cargo fijo sin IVA).
- Rango de consumo por metro cúbico 21 a 40: Precio del metro cúbico: Q2.95 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cargo fijo sin IVA).
- Rango de consumo por metro cúbico 41 a 60: Precio del metro cúbico (sin IVA) Q3.75 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cargo fijo sin IVA).
- Rango de consumo por metro cúbico 61 a 120: Precio del metro cúbico (sin IVA) Q7.51 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cargo fijo sin IVA).

⁶ <http://www.ine.gob.gt/np/encovi/encovi2011.htm>. Consulta: 6 de marzo de 2013 a las 18:00 horas.

- Rango de consumo por metro cúbico de 121 a más: Precio del metro cúbico (sin IVA): Q9.39 + 20% (alcantarillado) + Q23.52 (cuota fija sin IVA).
- Precio de sesión de derecho de servicio de agua y emisión de título de agua Q100.80.
- Precio de instalación domiciliar Q1,136.00

Para los casos en que no hubiere acceso al servicio de agua o alguna irregularidad en el mismo, se adquiere el suministro por medio de toneles con un precio unitario de Q10.00

Tabla VIII. Cuadro resumen de cantidades y costos para vivienda de interés social sin sistema de aprovechamiento de agua de lluvia

DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
TRABAJOS PRELIMINARES				
Limpieza y trazo	MI	36.00	Q5.50	Q198.00
CIMENTACION				
Zanjeo (a mano)	MI	36.00	Q10.00	Q360.00
Cimiento Trapezoidal	MI	36.00	Q54.50	Q1,962.00
Relleno compactado a mano	MI	36.00	Q2.00	Q72.00
SOLERAS				
Solera intermedia "U"	MI	31.80	Q30.00	Q954.00
Solera de Corona "U"	MI	36.00	Q30.00	Q1,080.00
LEVANTADO DE MUROS				
Levantado de muro de block visto de 25 kg/cm2	M2	83.00	Q125.00	Q10,375.00
COLUMNAS				
Columnas C-1	UNIDAD	9.00	Q150.00	Q1,350.00
Columnas C-2	UNIDAD	13.00	Q50.00	Q650.00
Columnas C-3	UNIDAD	2.00	Q125.00	Q250.00
FUNDICION DE PISO				
Fundicion de piso de 0.05m.	M2	35.00	Q68.00	Q2,380.00
ESTRUCTURA DE TECHO				
Enlaminado de zinc cal 28	M2	36.00	Q100.00	Q3,600.00
PUERTAS Y VENTANAS				
Fabricacion e instalacion de puertas	Unidad	2.00	Q350.00	Q700.00
Fabricacion e instalacion de ventanas	Unidad	2.00	Q200.00	Q400.00
INSTALACIÓN HIDRAULICA				
Instalación de artefactos, cajas, pila y llave de paso	Global	1.00	Q960.00	Q960.00
INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
Instalación de artefactos	Global	1.00	Q1,376.00	Q1,376.00
GRAN TOTAL				Q26,667.00

Fuente: elaboración propia

Tabla IX. Cuadro resumen de cantidades y costos para vivienda de interés social con sistema de aprovechamiento de agua de lluvia

DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
TRABAJOS PRELIMINARES				
Limpieza y trazo	MI	36.00	Q5.50	Q198.00
CIMENTACION				
Zanjeo (a mano)	MI	36.00	Q12.00	Q432.00
Cimiento Trapezoidal	MI	30.00	Q54.50	Q1,635.00
Cimiento Corrido	ML	6.00	Q68.70	Q412.20
Relleno compactado a mano	MI	36.00	Q2.00	Q72.00
SOLERAS				
Solera Hidrofuga "U"	MI	6.00	Q30.00	Q180.00
Solera intermedia "U"	MI	31.80	Q30.00	Q954.00
Solera de Corona "U"	MI	36.00	Q30.00	Q1,080.00
LEVANTADO DE MUROS				
Levantado de muro de block visto de 25 kg/cm2	M2	88.00	Q125.00	Q11,000.00
COLUMNAS				
Columnas C-1	UNIDAD	12.00	Q150.00	Q1,800.00
Columnas C-2	UNIDAD	11.00	Q50.00	Q550.00
TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
Solera superior	ML	6.00	Q40.00	Q240.00
Solera Inferior	ML	6.00	Q40.00	Q240.00
CUBIERTA	M2	2.80	Q100.00	Q280.00
Losa	M2	2.80	Q200.00	Q560.00
Acabados	GLOBAL	1.00	Q200.00	Q200.00
FUNDICION DE PISO				
Fundicion de piso de 0.05m.	M2	35.00	Q68.00	Q2,380.00
ESTRUCTURA DE TECHO				
Enlaminado de zinc cal 28	M2	32.50	Q100.00	Q3,250.00
Canal de recolección fundido	ML	6.00	Q50.00	Q300.00
Canal de recolección PVC	M2	12.00	Q40.00	Q480.00
PUERTAS Y VENTANAS				
Fabricacion e instalacion de puertas	Unidad	2.00	Q350.00	Q700.00
Fabricacion e instalacion de ventanas	Unidad	2.00	Q200.00	Q400.00
INSTALACIÓN HIDRAULICA				
Instalación de artefactos, cajas, pila y llave de paso	Global	1.00	Q1,482.80	Q1,482.80
INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
Instalación de artefactos	Global	1.00	Q1,376.00	Q1,376.00
GRAN TOTAL				Q30,202.00

Fuente: elaboración propia.

5.4. Cálculos

Se desarrollarán las ecuaciones que permitan determinar: oferta, demanda y volumen de almacenamiento requerido.

5.4.1. Integración y cálculo demanda de agua

De acuerdo a lo establecido en el capítulo 2, el agua de lluvia se usará en limpieza de pisos, inodoros o excusados, limpieza de ropa, riego de plantas, limpieza de autos y otros. Con estos datos se establece el consumo personal y multiplicando por el número de integrantes de la familia (5), se tendrá el consumo diario familiar.

Tabla X. **Resumen integración y cálculo demanda de agua lluvia por habitante**

Uso	Porcentaje (%)	Demanda individual agua lluvia D_i (%)	Cantidad de agua estimada (m^3) = dotación * D_i	Demanda total agua lluvia (m^3) = D_i * N
Lavado de Ropa	27,1	-	-	-
Sanitario *	19,9	19,9	0,035	0,175
Ducha	20,9	-	-	-
Lavado de Platos *	4,9	4,9	0,009	0,045
Aseo de Vivienda *	4,9	4,9	0,009	0,045
Consumo Propio	3,9	-	-	-
Lavado de Manos	3,7	-	-	-
Lavado de Auto *	1,5	1,5	0,003	0,015
Riego *	2,5	2,5	0,004	0,020
Total	100,0	33,7%	0,060	0,300

Fuente: elaboración propia, con base en: GALLARDO RECIO, Juan. Sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales.

5.4.2. Demanda individual de agua (D_i)

Se puede estimar de diferentes maneras; una de ellas, como lo plantea el CEPIS, es la siguiente: a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de las personas a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$D_i = \frac{Nu \cdot Nd \cdot Dotacion \cdot 0,33}{1000}, \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

- D_i : demanda mensual (m^3)
- Nu: 5 habitantes por vivienda
- Nd: número de días del mes analizado (30)
- Dot: 175,0 l/hab./día
- 33% = factor usos agua de lluvia
- $D_i = 8,7 \text{ m}^3$ por mes, equivalente a $0,290 \text{ m}^3$ por día

5.4.3. Oferta de agua mensual

Se debe tener en cuenta el volumen de agua de lluvia que puede captar el techo, el promedio de precipitación mensual de la zona y el coeficiente de escorrentía.

Es necesario considerar que no toda el agua es susceptible de captarse, ya que al caer la lluvia en superficie normal, va a existir filtración, evaporación y otros fenómenos que dan pérdidas y que no es posible captar. De acuerdo a los boletines del INSIVUMEH correspondientes a la Estación meteorológica E-15 (INSIVUMEH) en el período 2002-2011, se obtuvo la siguiente información.

Tabla XI. **Acumulados y totales mensuales y anuales de lluvia (mm)**
valores promedio 2002-2011.

Acumulados mensuales y anuales de lluvia (mm)												
Valores promedio 2002-2011												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
1,9	4,6	7,5	28,4	150,1	294,4	243,6	223,6	255,9	32,1	133,7	4,7	1380,2
Totales mensuales y anuales de días de lluvia												
Valores promedio 2002-2011												
1,6	1,5	2,3	4,2	13,7	21,3	19,9	18,3	22,2	14,2	5,7	2,1	126,7

Fuente: elaboración propia.

La oferta de agua de lluvia para el proyecto se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}, \text{ ecuación (3)}$$

Donde:

- A_i : oferta de agua en el mes "i" (m^3)
- P_{pi} : precipitación promedio mensual (l/m^2)
- A_c : área de captación (m^2) = $5,96 \text{ m} \times 5,96 \text{ m} = 35,52 \text{ m}^2$
- C_e : Coeficiente de escorrentía (lámina zinc) = 0,9

Tabla XII. **Resumen de resultados precipitación, oferta y demanda de agua de lluvia por mes**

Resultados precipitación, oferta y demanda de agua de lluvia por mes												
/	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm/m ²)	1,9	4,6	7,5	28,4	150,1	294,4	243,6	223,6	255,9	32,1	133,7	4,7
Oferta (m ³)	0,061	0,147	0,240	0,908	4,798	9,411	7,787	7,148	8,181	1,026	4,274	0,150
Demanda (m ³)	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70
Relación Oferta/demanda (%)	0,70	1,69	2,76	10,44	55,15	108,17	89,51	82,19	94,03	11,79	49,12	1,72

El área sombreada indica el periodo de aprovechamiento de agua de lluvia.

Fuente: elaboración propia.

Mediante la tabla XIII, se puede determinar que el sistema será funcional desde finales de mayo a septiembre, pues en estos la demanda estará cubierta o necesitará un mínimo de agua potable para solventarla.

5.4.4. Almacenamiento

Una vez conocida la cantidad de metros cuadrados de techo que sirven para captar lluvia, el uso, la duración que se pretende tenga el agua y los integrantes de la familia. Se procede a calcular el tamaño óptimo del volumen útil (Vu) de la cisterna de agua pluvial, la cual debe ser una proporción equilibrada entre cantidad de agua pluvial y necesidad de agua de servicio.

Para propósitos del estudio se decidió utilizar un tanque de almacenamiento, ubicado en el área de techo del servicio sanitario. Partiendo de las dimensiones internas (1.2m x 1.86m) se procedió a calcular la altura necesaria para cubrir con la cantidad de almacenaje requerida.

Tabla XIII. **Volumen probable de almacenamiento por día**

Resultados Almacenamiento por día												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm/m ²)	1,9	4,6	7,5	28,4	150,1	294,4	243,6	223,6	255,9	32,1	133,7	4,7
Número de días lluvia	1,6	1,5	2,3	4,2	13,7	21,3	19,9	18,3	22,2	14,2	5,7	2,1
Cantidad de lluvia / día de lluvia	1,206	3,087	3,329	6,811	10,981	13,855	12,231	12,249	11,545	9,438	5,656	2,232
Volumen de almacenamiento diario (m ³)	0,043	0,111	0,120	0,245	0,395	0,499	0,440	0,441	0,416	0,340	0,204	0,080
Volumen almacenamiento mínimo por vivienda (en base a la demanda) = 0,340 m ³												
Volumen almacenamiento máximo por vivienda (en base a la demanda) = 0,499 m ³												

El área sombreada indica el periodo de aprovechamiento de agua de lluvia.

Fuente: elaboración propia.

$$H_{min_{rebalse}} = \frac{0.340 \text{ m}^3}{(1.2 \times 1.86) \text{ m}^2} = 0.15 \text{ m}, \text{ ecuación (4)}$$

$$H_{max_{rebalse}} = \frac{0.499 \text{ m}^3}{(1.2 \times 1.86) \text{ m}^2} = 0.22 \text{ m}, \text{ ecuación (5)}$$

Para el sistema en estudio se prefirió tomar una altura de rebalse mayor de 0.22m por razones de mantenimiento y dar una mayor capacidad de almacenamiento; en el caso de que en periodos poco lluviosos se requiera el sistema como cisterna de agua potable.

$$H_{rebalse} = 0.30 \text{ m}, \text{ ecuación (6)}$$

5.4.5. Conducción, distribución y disposición

Se incluyen las redes de conducción, distribución y drenajes del agua de lluvia. Para calcular la capacidad de conducción de la red se emplearon ecuaciones racionales como la de Manning⁷ de acuerdo a las características de cada tubería (diámetro, materiales, condiciones de servicio con sus correspondientes coeficientes de rugosidad).

El sistema posee llaves de compuerta en el área de inodoros que impiden la mezcla de agua de lluvia con agua potable.

5.5. Análisis de resultados

El sistema de manejo de agua de lluvia propuesto es una solución económicamente viable, técnicamente factible y que, además, puede adaptarse a distintas condiciones sociales y ambientales. A continuación se presenta el análisis del diseño del sistema de captación agua de lluvia.

- El sistema se plantea, como una alternativa para reducir el consumo de agua potable en viviendas de interés social. La metodología utilizada puede ser aplicada en cualquier región del país, de acuerdo a las condiciones particulares en cada caso.
- Las condiciones pluviométricas de la zona donde se ubica el proyecto, la cantidad de días de lluvia durante el período del 2002-2011 es variable,

⁷La fórmula de Manning es una evolución de la fórmula de Chezy para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, propuesta por el ingeniero irlandés Robert Manning, en 1889. <https://sites.google.com/site/0902ricardom/Home/ecuacion-de-manning>. Consulta: 6 de marzo de 2013 a las 20:00 horas.

según el mes que se considere, como se puede ver en las gráficas y tablas elaboradas, con un total de 127 días de lluvia como promedio.

- Se observa que los meses de septiembre (22 días), junio (21 días), julio (20 días), agosto (18 días), octubre (14 días) y mayo (14 días) son los que tienen la mayor precipitación pluvial, el resto tienen menos de 5 días de lluvia cada uno.
- Para calcular la demanda de agua de lluvia se definieron los usos que tendrá. Estos son: servicio sanitario (19,9%), lavado de platos (4,9%), aseo de vivienda (4,9%), lavado de autos (1,5%) y riego (2,5%) equivalente al 34% (60-80 litros) del total de la dotación de la vivienda (175 l/hab./día).
- La oferta es variable de acuerdo al mes que se considere, como se puede ver en las gráficas y tablas elaboradas. En los resultados obtenidos se observa que durante los meses de mayo (53,6%), junio (108,7%), julio (89,9%), agosto (79,9%), septiembre (94,4%) y noviembre (49,3%) respectivamente, se satisface al menos el 50% de la demanda, el resto de los meses no cubre más del 10% de la demanda calculada.
- Instalaciones de captación, conducción, distribución y disposición del agua de lluvia que incluyen los siguientes componentes:
 - Las canaletas serán de PVC, de manera que no se altere la calidad del agua recolectada. Tendrán un ancho mínimo de 75mm y un máximo de 150mm. Deberán estar fuertemente adosadas a los bordes más bajos del techo.

- El techo deberá prolongarse hacia el interior de la canaleta, como mínimo en un 20% del ancho de la canaleta. Además la distancia que debe mediar entre la parte superior de la canaleta y la parte más baja del techo debe ser la menor posible para evitar la pérdida de agua.
- Almacenamiento del agua de lluvia: se plantea el uso de un tanque de almacenamiento elevado, el cual permite aprovechar una distribución por medio de gravedad.
 - La parte superior del tanque no deberá estar a menos de 0,30 metros con respecto al punto más bajo del área de captación.
 - Las tapaderas serán de 0,64 x 0,48m para facilitar la limpieza o el mantenimiento.
 - Drenaje de fondo para la eliminación del agua de rebalse y lavado
 - Llave de compuerta, para limpieza y llenado, debe estar a 0,005m por encima del nivel de rebalse.
 - El ingreso del agua de lluvia de almacenamiento no deberá ser menor de 75mm de diámetro.
- Sistema de distribución agua de lluvia: la red de tuberías debe ser totalmente independiente del sistema de agua potable.

5.5.1. Impacto económico

Se realiza un análisis financiero para examinar si el proyecto es rentable o no, donde el periodo de evaluación será igual a la vida útil estimada del sistema. Para esto se realiza un flujo de fondos del proyecto, que contemple los siguientes aspectos:

- Inversión inicial: Q. 3,535.00
- Costo mensual de agua potable administrado por la Municipalidad de Guatemala, según la demanda mensual por familia: Q. 118.13 ($26.25m^3$).
- Costo mensual de suministro de agua por toneles: Q. 40.00 (Q. 10.00/tonel).
- Ahorro anual de agua potable: Q. 480.32
- Tasa de inflación (BANGUAT 2013): 6%

Mediante la ecuación:

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right), \text{ ecuación (7)}$$

Dónde:

- A: Ahorro anual
- P: Inversión inicial
- i: Inflación
- n: número de años

Despejando “n”, de la ecuación (7), obtenemos el número de años que tomaría recuperar la inversión inicial:

n = Aproximadamente 10 años

Cabe mencionar que se asume lo siguiente:

- El precio del agua no aumenta y el ahorro anual es constante, durante el tiempo de recuperación de inversión.

Tabla XIV. **Diagrama de flujo efectivo anual**

Impacto Económico del Sistema del Sistema de Aprovechamiento de Agua de Lluvia														
No.	Descripción	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	ANUAL
1	Volúmen de agua para consumo (m3)	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	315.000
2	Volúmen de agua de lluvia (m3)					4.798	9.411	7.787	7.148	8.181		4.274		41.599
3	Volúmen de agua para consumo, menos volúmen de agua de lluvia	26.250	26.250	26.250	26.250	21.452	16.839	18.463	19.102	18.069	26.250	21.976	26.250	273.401
4	Inversión inicial	Q3.535.00												
5	Precio de agua potable requerida	Q 118.13	Q 118.13	Q 118.13	Q 118.13	Q 101.14	Q 63.19	Q 66.85	Q 68.29	Q 65.96	Q 118.13	Q 103.00	Q 118.13	Q1,177.18
6	Precio tonel	Q 40.00	Q 40.00	Q 40.00	Q 40.00						Q 40.00		Q 40.00	Q 240.00
7	Precio total	Q 158.13	Q 158.13	Q 158.13	Q 158.13	Q 101.14	Q 63.19	Q 66.85	Q 68.29	Q 65.96	Q 158.13	Q 103.00	Q 158.13	Q1,417.18
8	Ahorro	Q -	Q -	Q -	Q -	Q 56.98	Q 94.94	Q 91.27	Q 89.83	Q 92.16	Q -	Q 55.13	Q -	Q 480.32

El área sombreada indica el periodo de aprovechamiento de agua de lluvia.

Fuente: elaboración propia

Los principales impactos que reporta el ahorro de agua potable, que supondría el aprovechamiento de agua de lluvia son:

Individuales

- Reducción de gastos de consumo agua potable en un 25,77% anual
- Reducción de gastos en salud, mediante el acceso continuo al agua, mejorando sus condiciones de higiene y saneamiento.
- Inversión inicial relativamente alta, respecto a familias en pobreza extrema y pobreza no extrema. Por lo que no es atractiva.

Colectivos

Estos impactos se lograrían al implementar este sistema en serie.

- Preservación de los recursos hidrológicos para las generaciones futuras
- Por cuanto se contaría con un sistema de agua continuo, los índices de morbilidad disminuirían.
- Reducción de demanda sobre la red de abastecimiento de agua
- Reducción de construcción de nuevos embalses
- Menor consumo de agua en los sistemas de abastecimiento municipales
- Ahorro de energía, evitando el proceso de extracción, bombeo, conducción y distribución de agua, los cuales demandan una gran cantidad de recursos energéticos.
- Tiene un costo menor, que el de las redes hidráulicas públicas, tanto en la inversión primaria como en el costo de mantenimiento, reparación y

ampliación del sistema de redes.

- Reducción en el tratamiento y desinfección de agua potable a nivel municipal, el cual anualmente tiene un costo aproximado de Q 1,4 millones para EMPAGUA

Los impactos antes mencionados, si bien no reflejan un impacto económico positivo directo individual, si lo hacen indirectamente. Pues la disminución del consumo de agua potable de forma colectiva, generaría ahorro directo en los recursos destinados a la administración, producción y distribución de agua potable, por parte de EMPAGUA. Así la gestión municipal, podría destinar estos recursos a otras obras de desarrollo.

5.5.2. Impacto ambiental

Partiendo de lo general a lo particular, se observa que la creciente urbanización, es un proceso normal del desarrollo económico. El reto es hacer que este crecimiento sea sustentable, eficiente y equitativo. Los sistemas de captación de agua de lluvia contribuyen en la medida de lo posible a alcanzar aquello.

Los sistemas de captación de agua de lluvia tienen sin lugar a dudas muchos beneficios ambientales:

- Se reduce el daño por escorrentías que perjudican la capa fértil del suelo.
- En general los sistemas municipales se abastecen por medio de pozos de agua subterránea. Este sistema permite la recarga del manto freático

al disminuir su explotación en un 79% durante época de lluvia.

- La implementación de SAAP generara conciencia ambiental en los usuarios.
- Se disminuyen las inundaciones en las partes bajas de las cuencas, causadas por la acumulación de escorrentías

CONCLUSIONES

1. Para determinar la factibilidad de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia, es indispensable realizar los estudios propuestos y de esta manera garantizar el funcionamiento óptimo y eficiente del mismo.
2. La información recabada acerca de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, demuestra la importancia que tienen y la perspectiva ascendente, como medio de ahorro económico y bienestar ambiental.
3. Un sistema de aprovechamiento de agua pluvial, puede variar dependiendo de sus características; estas son: intensidad de lluvia, área de captación, sistema de distribución y consumo.
4. Al evaluar el SAAP en estudio, se observa cómo la inversión en él, es poco atractiva, pues el tiempo de retorno de la inversión, es prolongado.
5. La probabilidad de que los SAAP, generen beneficios económicos significativos, aumentarán proporcionalmente con el número de sistemas implementados o que se enfoquen como proyectos colectivos y de alta demanda.
6. Técnicamente el SAAP propuesto es eficaz y eficiente, tomando en cuenta la implementación de un sistema de distribución por gravedad y el aprovechamiento del área cubierta para la captación, este a su vez posee una superficie lisa que permite una fácil recolección de agua de lluvia.

7. El agua de lluvia se recolecta y almacena cerca del edificio o casa donde se consume, lo cual elimina la necesidad de sistemas de distribución costosos y complejos.

8. Implementar SAAP en viviendas unifamiliares, involucra directamente a los usuarios, despertando el interés y la conciencia ambiental, paralelamente a los beneficios que esto conlleva, mediante la conservación de los recursos naturales.

RECOMENDACIONES

Principalmente a las autoridades municipales y gubernamentales:

1. Impulsar la aceptación y participación de la creciente población urbana, en la implementación de sistemas individuales y colectivos de captación de agua pluvial, adaptados a sus necesidades y posibilidades.
2. Agregar a las normas de agua potable y alcantarillado y reglamentos de construcción, soluciones que incluyan la implementación de SAAP.

A las autoridades de la Facultad de Ingeniería:

3. Incorporar en la formación del estudiante de ingeniería civil, conocimientos y habilidades sobre el aprovechamiento del agua de lluvia.
4. Promover estudios similares, que permitan ver los beneficios de los SAAP a nivel colectivo.

A los estudiantes de ingeniería:

5. Considerar las siguientes ideas, como posibles puntos de tesis:
 - 5.1. Aprovechamiento de agua de pluvial en sistemas con alta demanda de agua potable para servicios.

5.2. Impacto de la captura y aprovechamiento de agua de lluvia, como medio de disminución de inundaciones ocasionadas por escorrentías, en las partes bajas de las cuencas.

5.3. Diseño de SAAP en Centros Educativos

A la iniciativa privada:

6. Investigar y ofrecer productos que generen aprovechamiento de agua pluvial, económicamente atractivos, viables y factibles

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR TUMAX, Carlos Humberto. *Utilización de aguas grises tratadas y aprovechamiento de aguas pluviales en edificaciones un enfoque eco energético*. Trabajo de graduación de Postgrado en Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 2010. 75 p.
2. FERNÁNDEZ PÉREZ, Iván. *Aprovechamiento de aguas pluviales*. Barcelona: Escuela Politécnica Superior de Edificación. 2009. 86 p.
3. GALLARDO RECIO, Juan; CORNEJO SÁNCHEZ José Ignacio. *Sistemas de Aprovechamiento de aguas pluviales*. Máster Universitario en Ingeniería del Agua. Sevilla: Universidad de Sevilla, Grupo TAR. 2010. 59 p.
4. GALLARDO MONTECINOS, Vicente. *Cosecha y almacenamiento de aguas lluvia*. Chile: Cooperativa de trabajo para el desarrollo sustentable TerritorioSur. 2002. 12 p.
5. GONZÁLEZ HERRERA, Manuel Adalberto. *Evaluación de campo de los materiales de los proyectos ejecutados para la captación de agua de lluvia, en los departamentos de Alta Verapaz y Chiquimula*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2009. 152 p.

6. Informe Nacional Sobre Desarrollo Sostenible. República de Guatemala, C. A. Décimo Octava Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, New York, USA. Guatemala, noviembre de 2009. 104 p.
7. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Registros históricos datos mensuales*. En línea. Guatemala, Guatemala, www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/INSIVUMEH%20PARAMETROS.htm. Consulta: 10 de febrero de 2013.
8. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente; Universidad Rafael Landívar; Asociación Instituto de Incidencia Ambiental. *Perfil ambiental de Guatemala: Tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Guatemala: IARBA; URL; IIA. 2006. 250 p.
9. Instituto Nacional de Estadística. *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida ENCOVI*, Guatemala: INE. 2011. 24 p.
10. LÓPEZ CHOC, Fernando. Capital hídrico y usos del agua. Guatemala: Comité Regional de Recursos Hidráulicos; Asociación Mundial del Agua Centroamérica. 2002. 16 p.
11. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental: Acuerdo Gubernativo 23-2003*. Guatemala: MARN. 2003. 10 p.

12. MORALES DE LA CRUZ, Marco. *Cuando un país con agua se puede morir de sed. Recursos hídricos de Guatemala y apuntes sobre la región. Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales.* Madrid: Universidad Politécnica de Valencia. Madrid. 2004. 16 p.
13. PALACIO CASTAÑEDA, Natalia. *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. Escuela Ambiental. Medellín. 2010. 60 p.
14. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia; Gobierno de la República de Guatemala; Banco Interamericano de Desarrollo. *Estrategia para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala.* Diagnóstico. Guatemala: SEGEPLAN. 2006. 86 p.
15. UNIDAD DE APOYO TÉCNICO EN SANEAMIENTO BÁSICO RURAL, *Guía de Diseño para captación de Agua de Lluvia.* Lima: (UNATSABAR). 2001. 18 p.

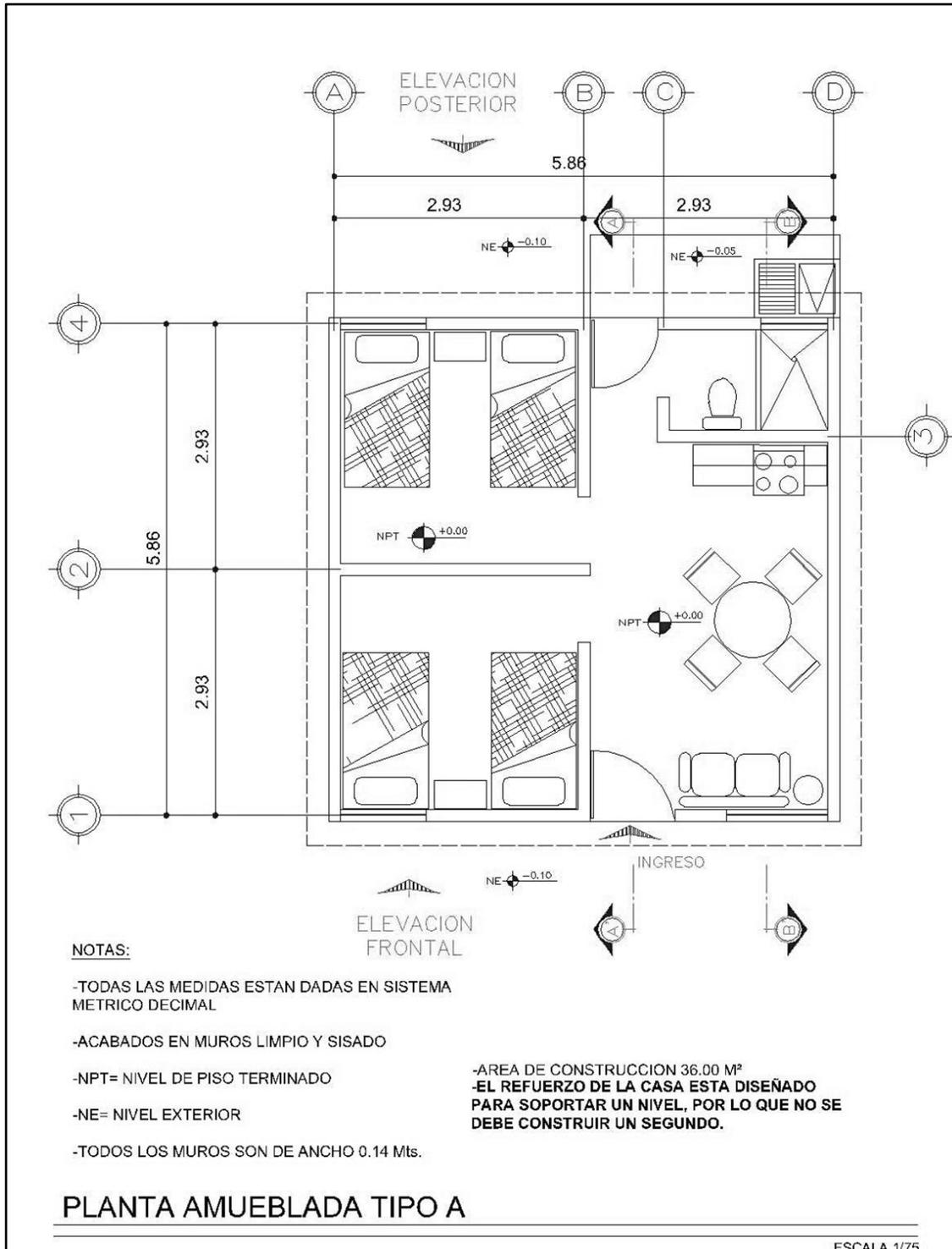
APÉNDICES

A continuación se presentan 17 planos los cuales fueron proporcionados por el Fondo Guatemalteco para la Vivienda FOGUAVI. Estos en su mayoría fueron modificados con el fin de proveer las características de funcionamiento necesarias del SAAP diseñado en el Capítulo 5, respetando materiales, uso, desempeño y modulación original.

La diferencia con la vivienda tipo “A” ST-02-09, radica principalmente en la implementación de un depósito de concreto apoyado en la parte superior del servicio sanitario. Este recolecta el agua de lluvia de los techos para luego ser distribuida a las conexiones de consumo.

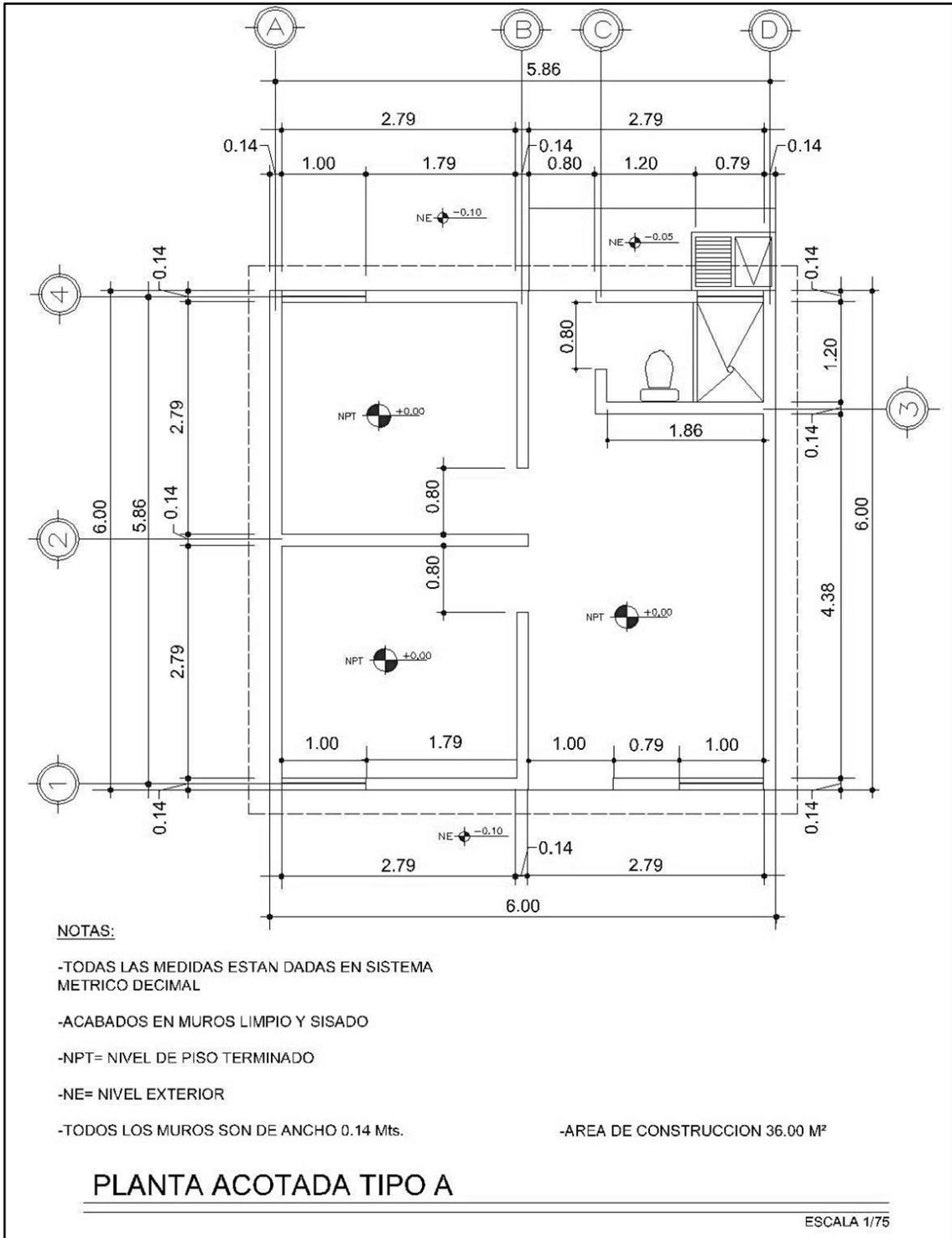
Los planos fueron elaborados con el programa Auto Cad 2012, el diseño se modificó acorde a los requerimientos del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia.

PLANTA ARQUITECTONICA



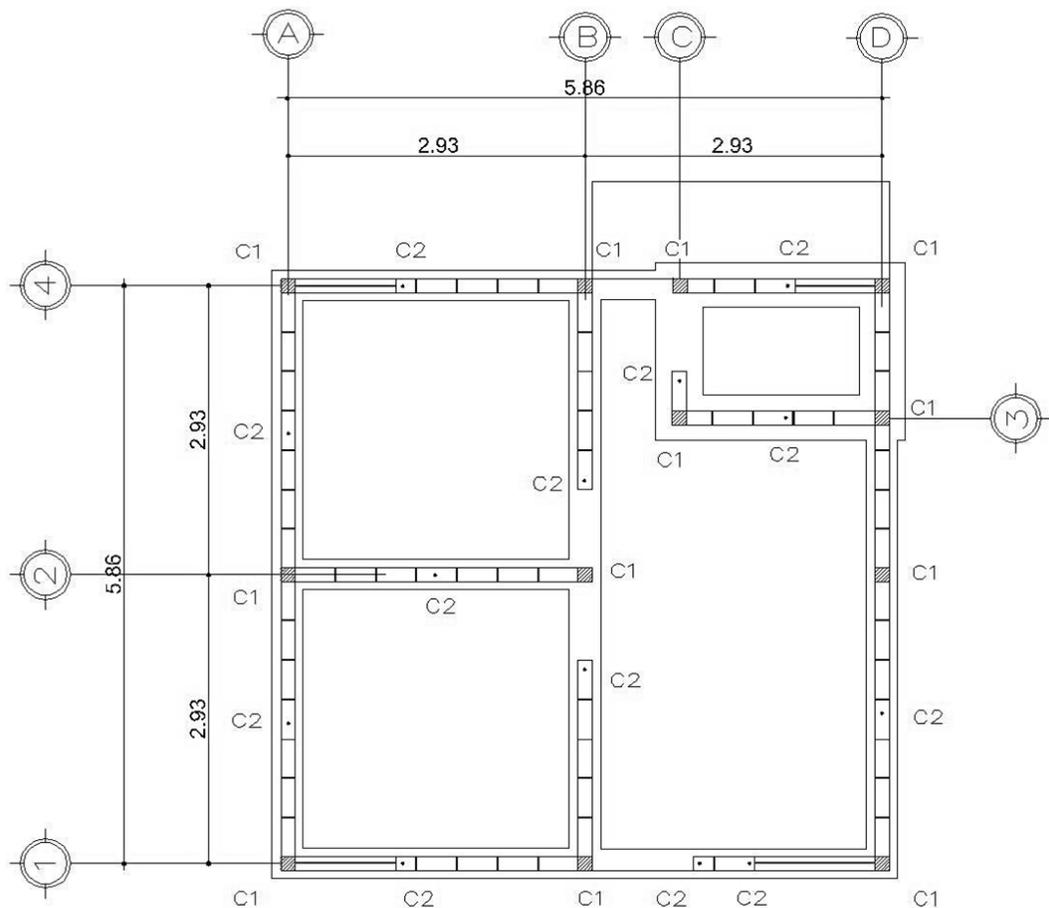
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009.

PLANTA ACOTADA



Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009.

PLANTA DE CIMENTACIONES Y COLUMNAS



ESPECIFICACIONES:

-BLOCK MEDIDA 0.14x0.19x0.39 RESISTENCIA 25 Kg/ cm²

-ACERO DE REFUERZO MILIMETRICO

-TRASLAPES DE ARMADURA= 0.30 mts. MINIMO.

-RECUBRIMIENTOS: EN CIMENTOS, EN SOLERAS Y COLUMNAS
MINIMO 0.025 mts.

-CONCRETO ESTRUCTURAL = 210 Kg/ cm²

**-EL REFUERZO G60 6.2MM Y 4.5MM PODRA SER
SUSTITUIDO POR VARILLAS G40 3/8 Y 1/4 O SU
EQUIVALENTE EN ARMADURA.**

PLANILLA DE COLUMNAS

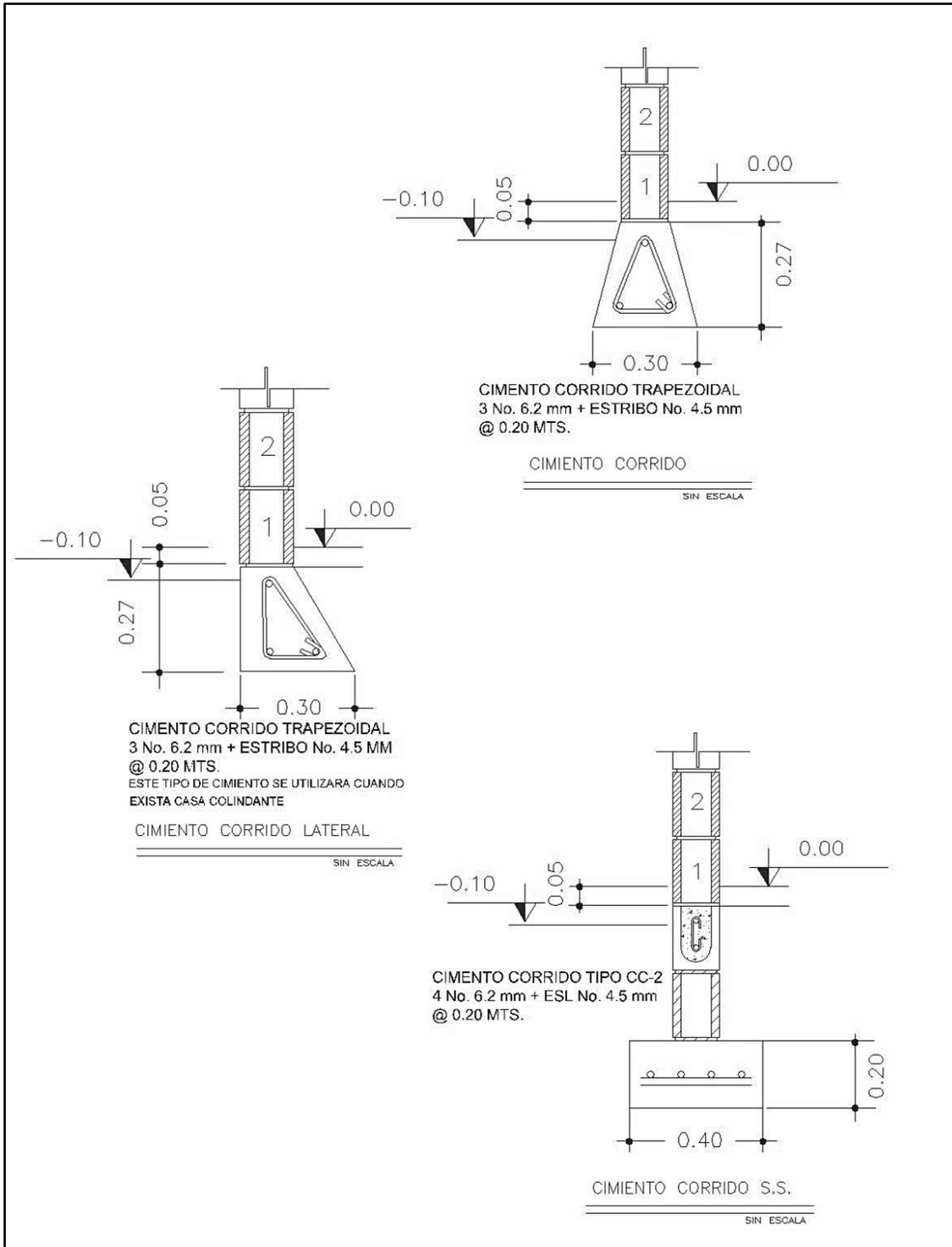
TIPO	CANTIDAD	SECCION	NUMERO DE VARILLAS	REFUERZO VERTICAL Ø VERTICAL Ø	REFUERZO VERTICAL Ø GRADO 40	REFUERZO VERTICAL Ø ARMADURA	REFUERZO
C-1	12	0.14 X 0.14	4	6.2 mm	3/8	EQUIVALENTE	ESTR. No.4.5 mm @ 0.20 Mts.
C-2	13	DENTRO DEL BLOCK	1	6.2 mm	3/8	EQUIVALENTE	PIN
C-3	0	DENTRO DEL BLOCK	3	6.2 mm	3/8	EQUIVALENTE	ESL. No. 4.5 mm EN C/ HILADA

PLANTA CIMENTACION Y COLUMNAS TIPO A

ESCALA 1/75

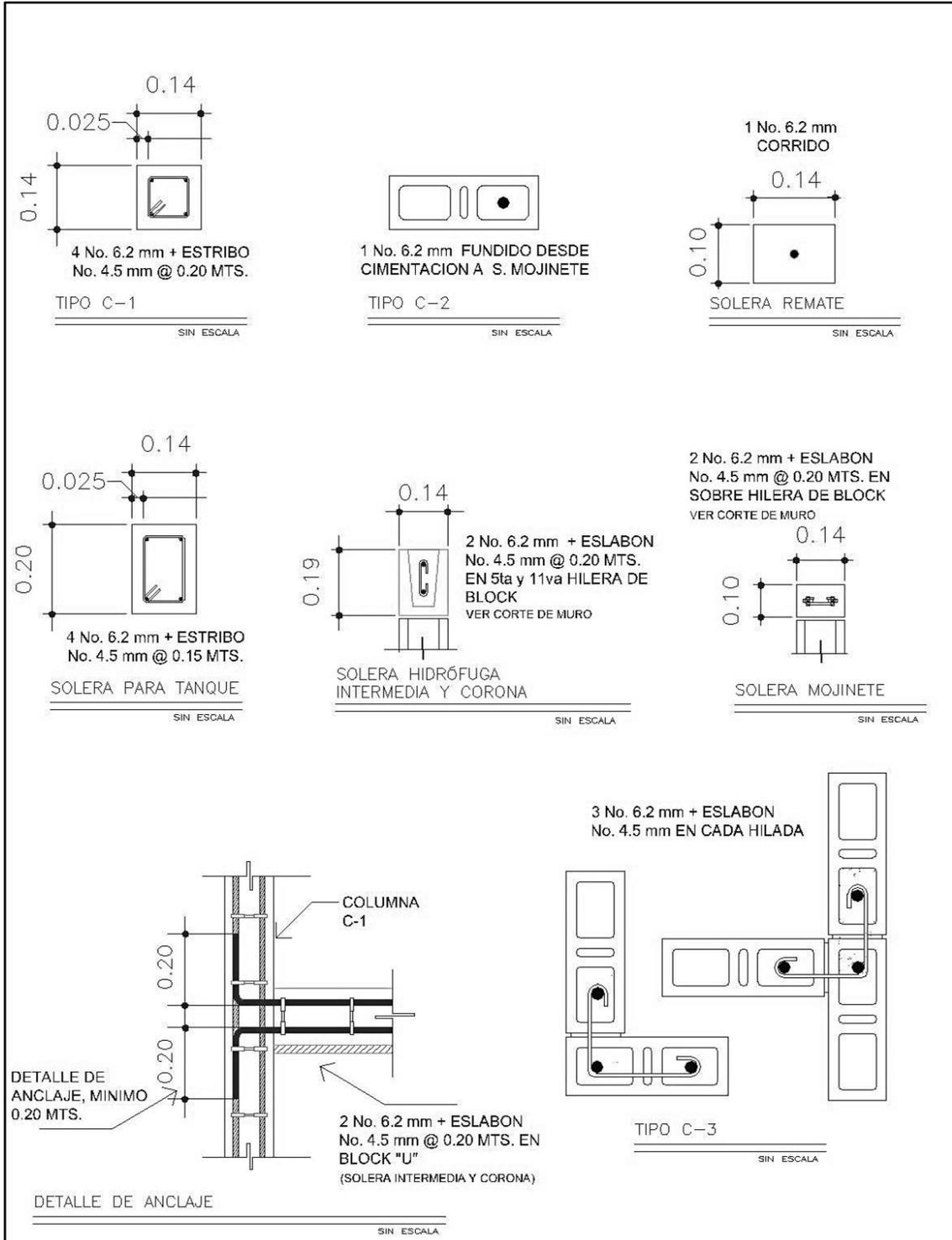
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

DETALLES DE CIMENTACIÓN



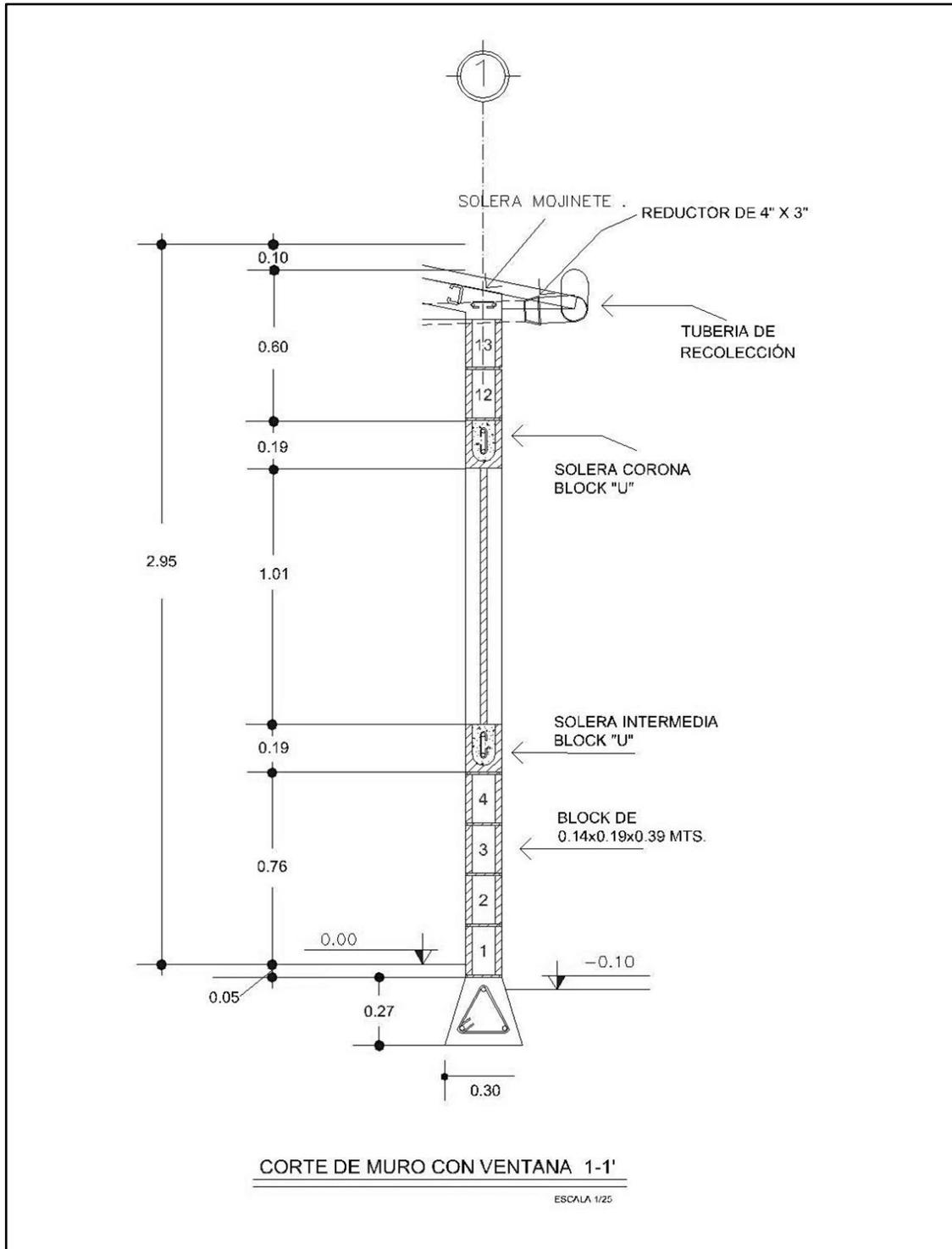
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

DETALLES DE COLUMNAS Y SOLERAS



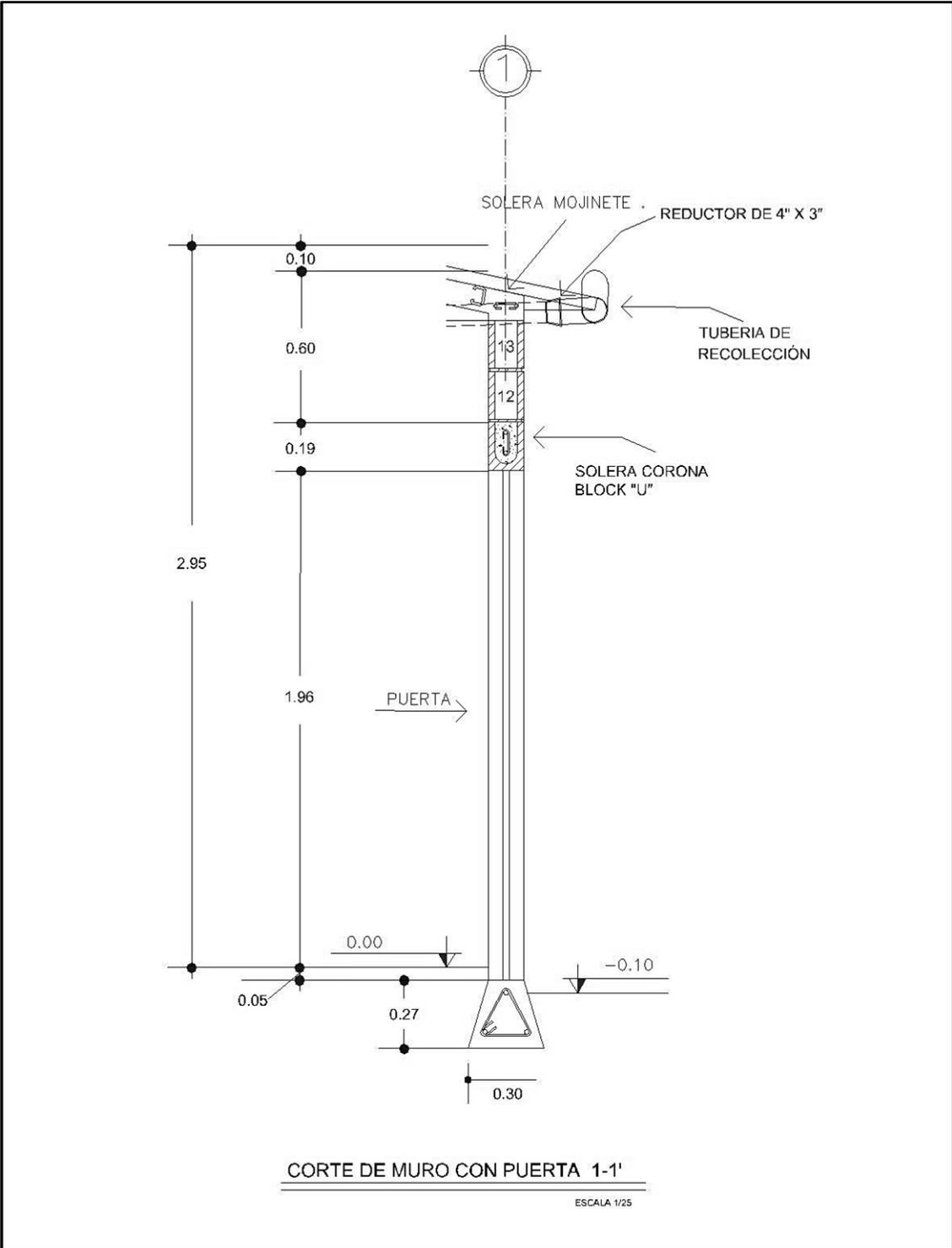
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

CORTE DE MURO CON VENTANA 1-1'



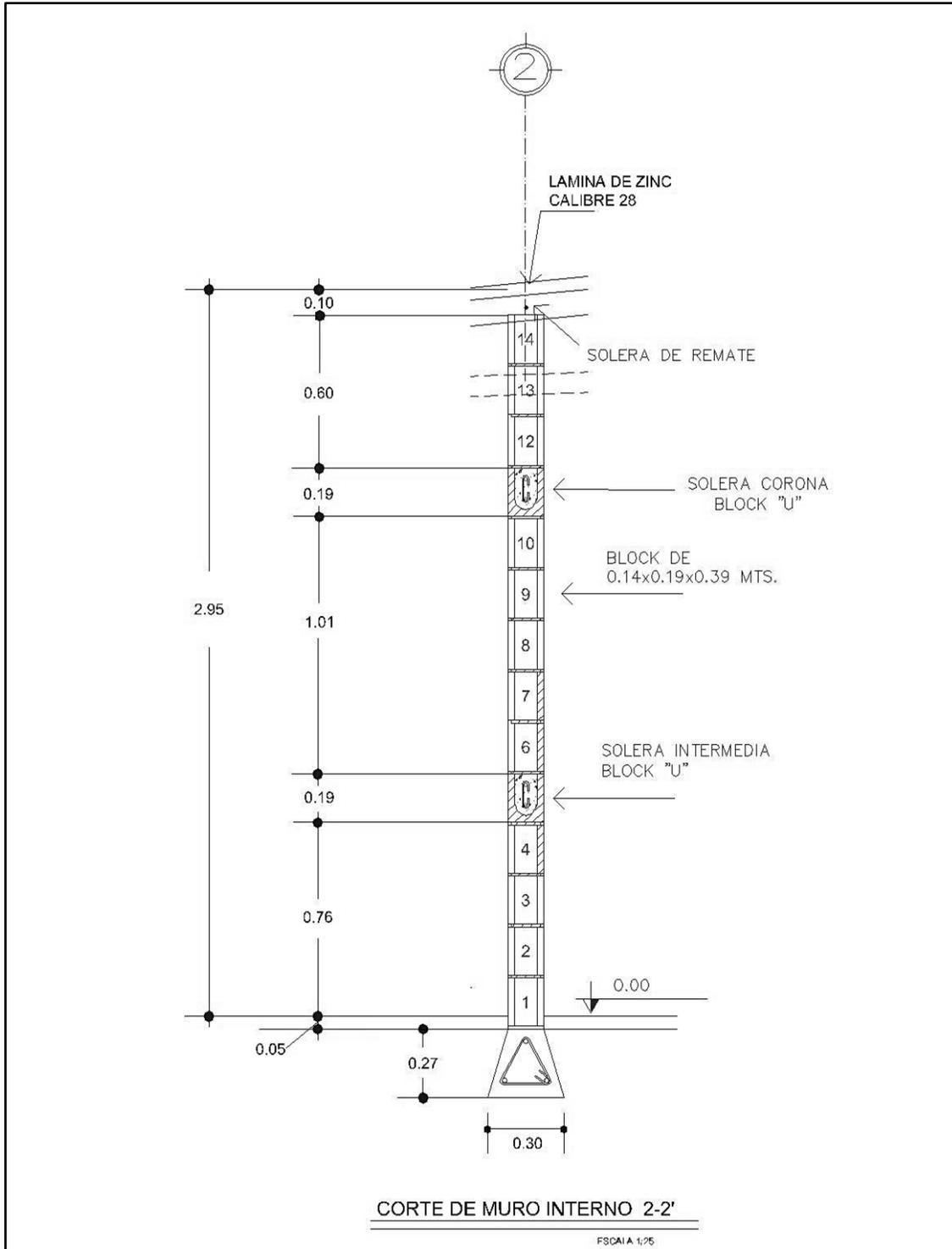
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

CORTE DE MURO CON PUERTA 1-1'



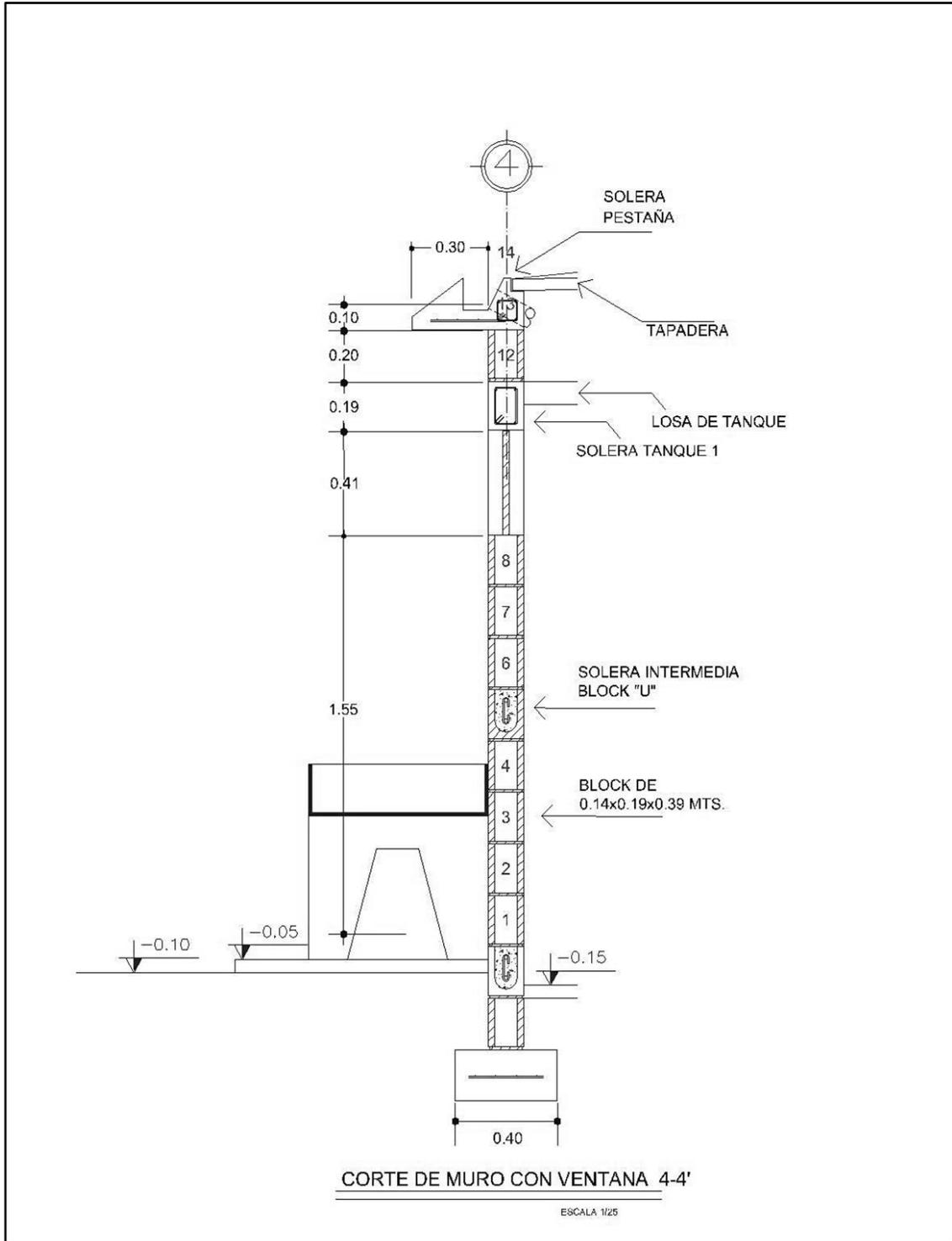
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

CORTE DE MURO INTERNO 2-2'



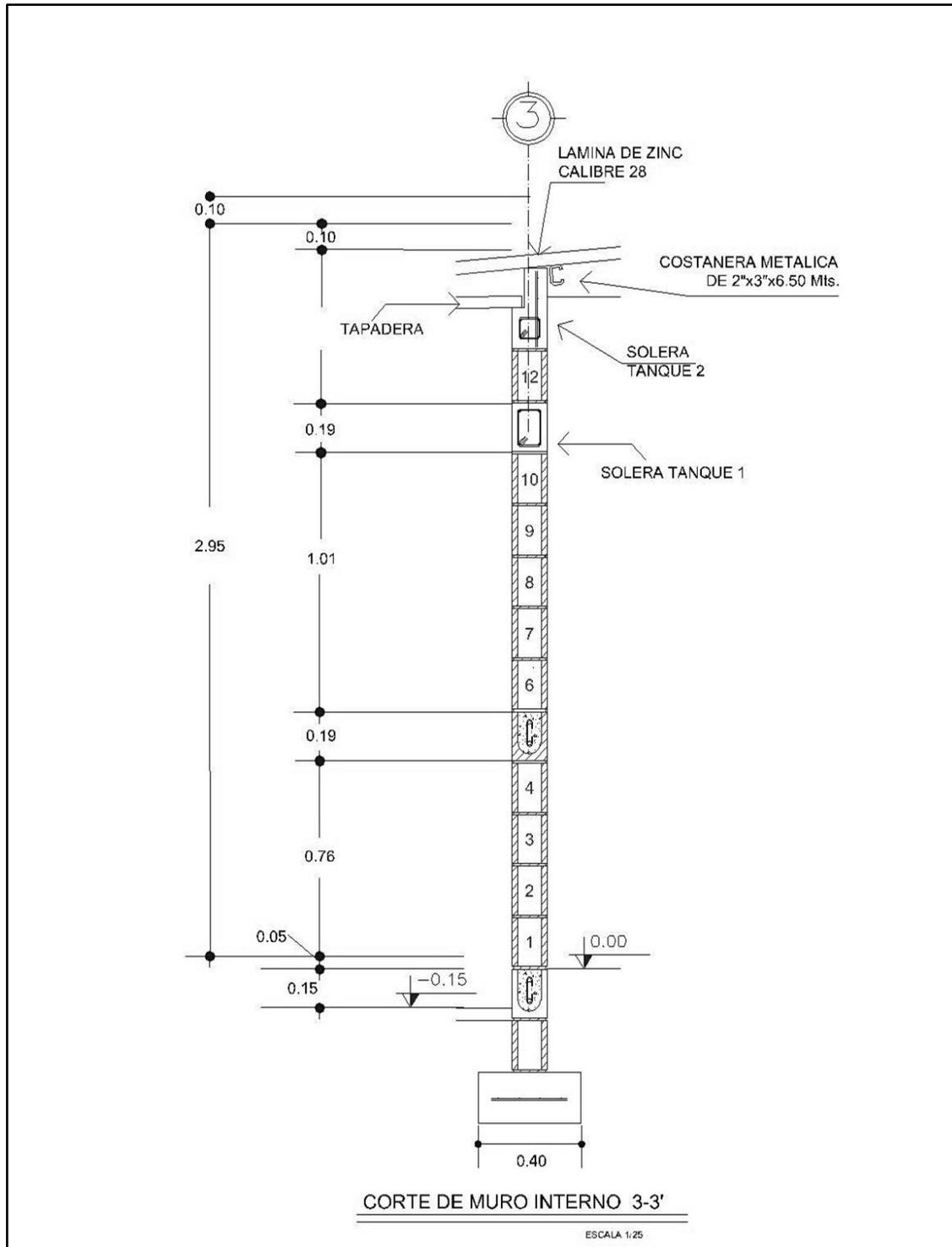
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

CORTE DE MURO CON VENTANA 4-4'



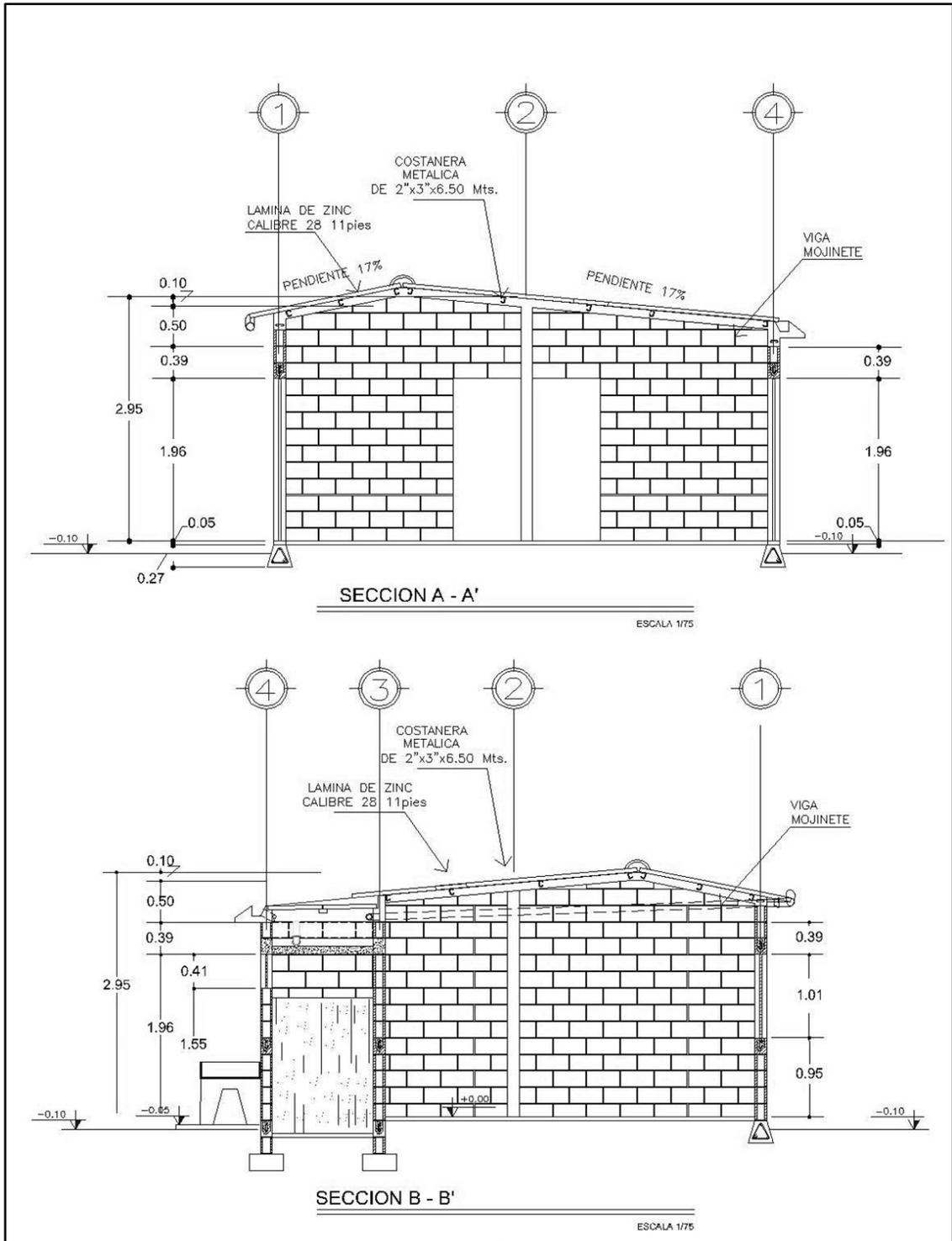
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

CORTE DE MURO INTERNO 3-3'



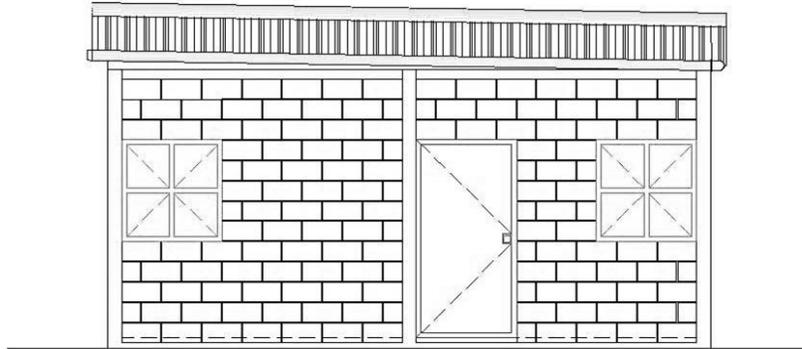
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

SECCIONES A-A' Y B-B'



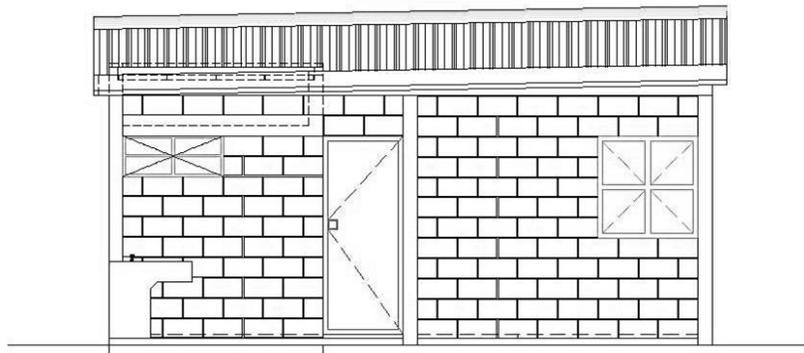
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

FACHADAS



ELEVACION FRONTAL TIPO A

ESCALA 1/75

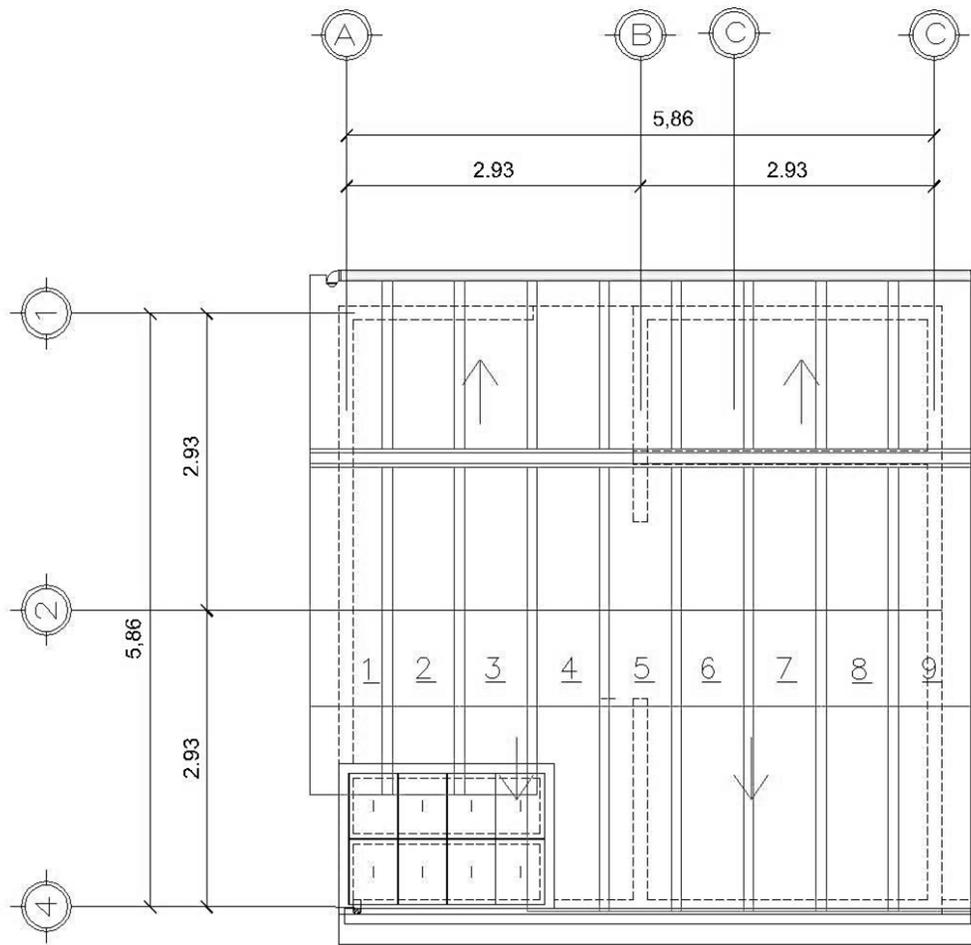


ELEVACION POSTERIOR TIPO A

ESCALA 1/75

Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

PLANTA DE TECHOS

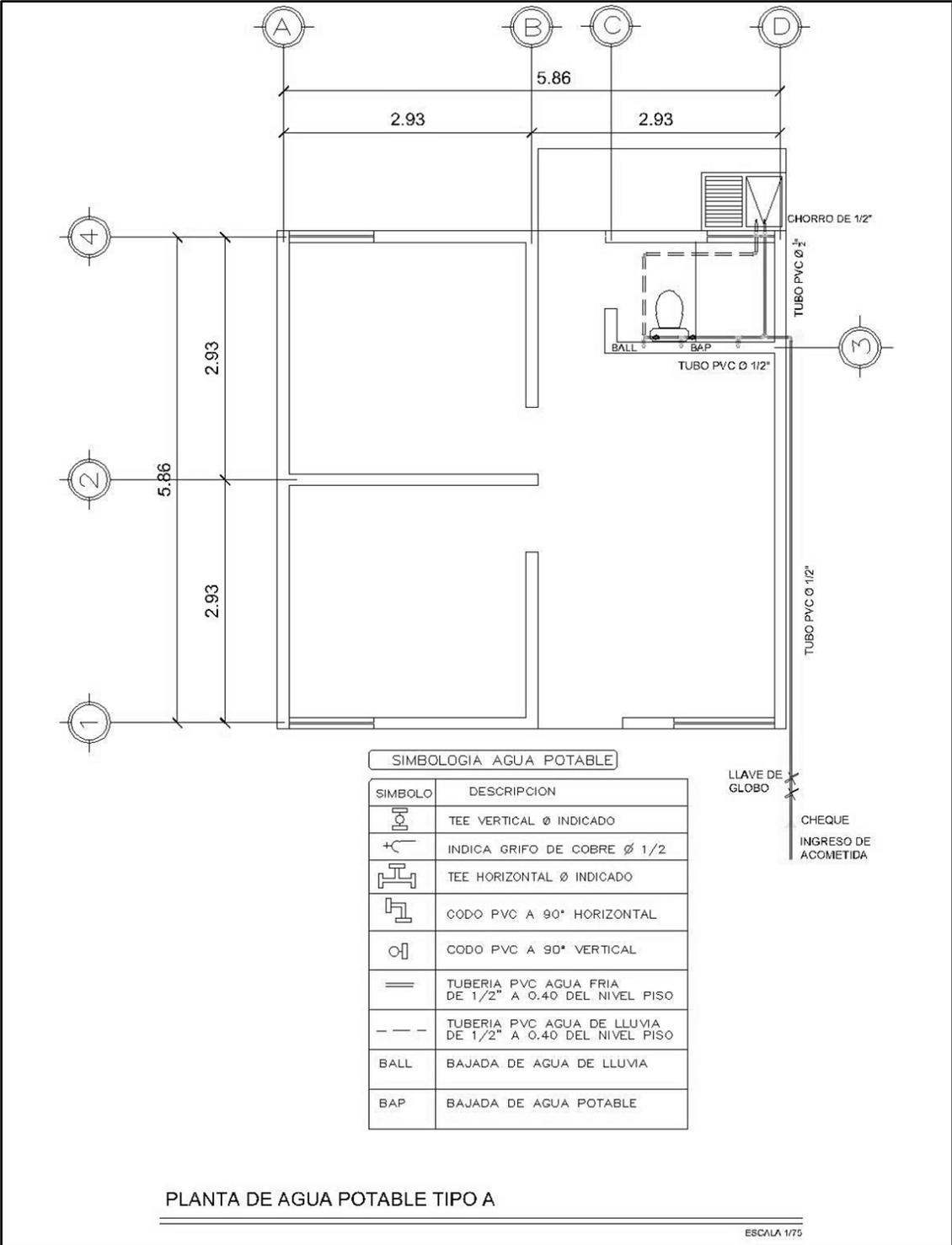


PLANTA DE PENDIENTES DE TECHOS TIPO A

ESCALA 1:75

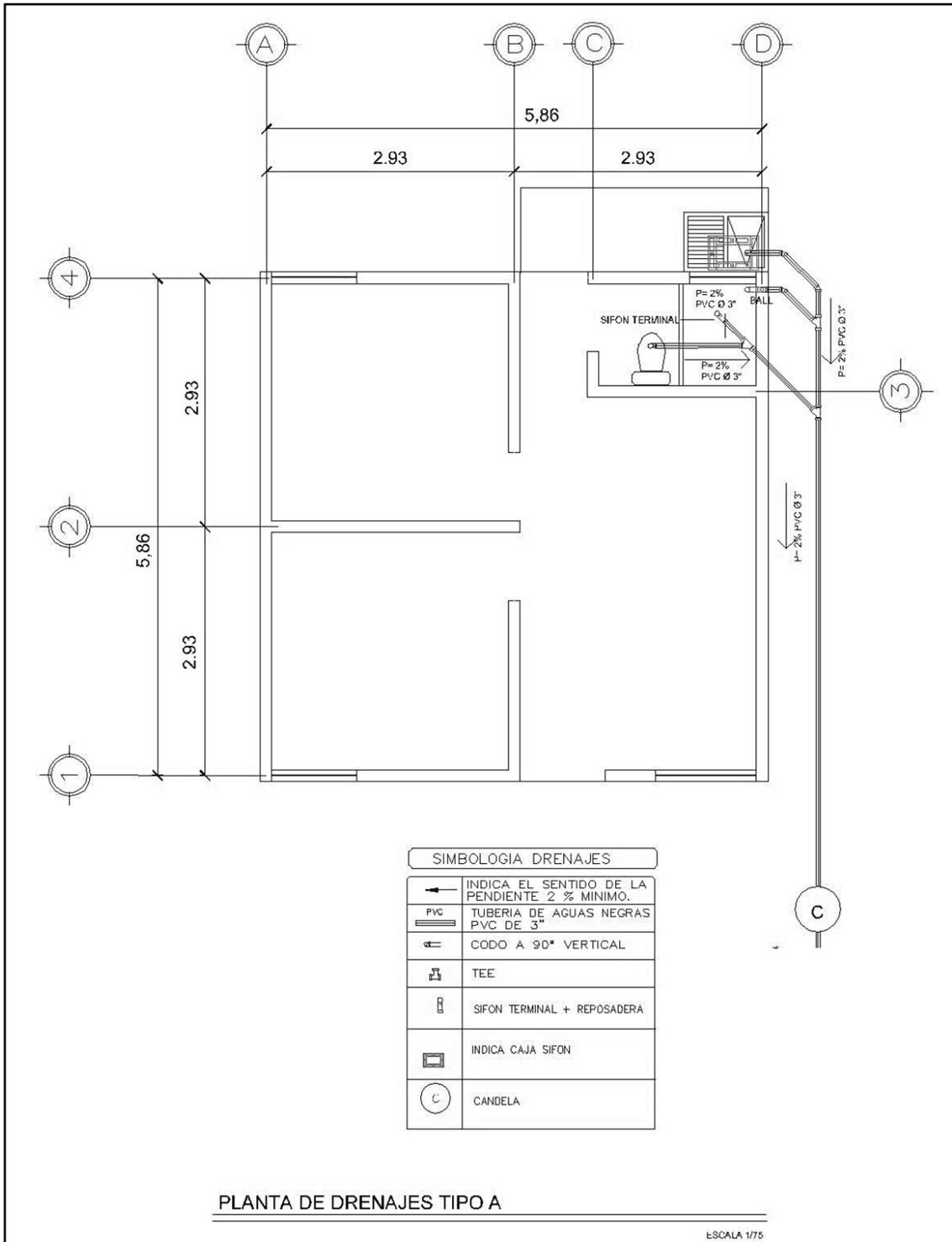
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

PLANTA DE AGUA POTABLE



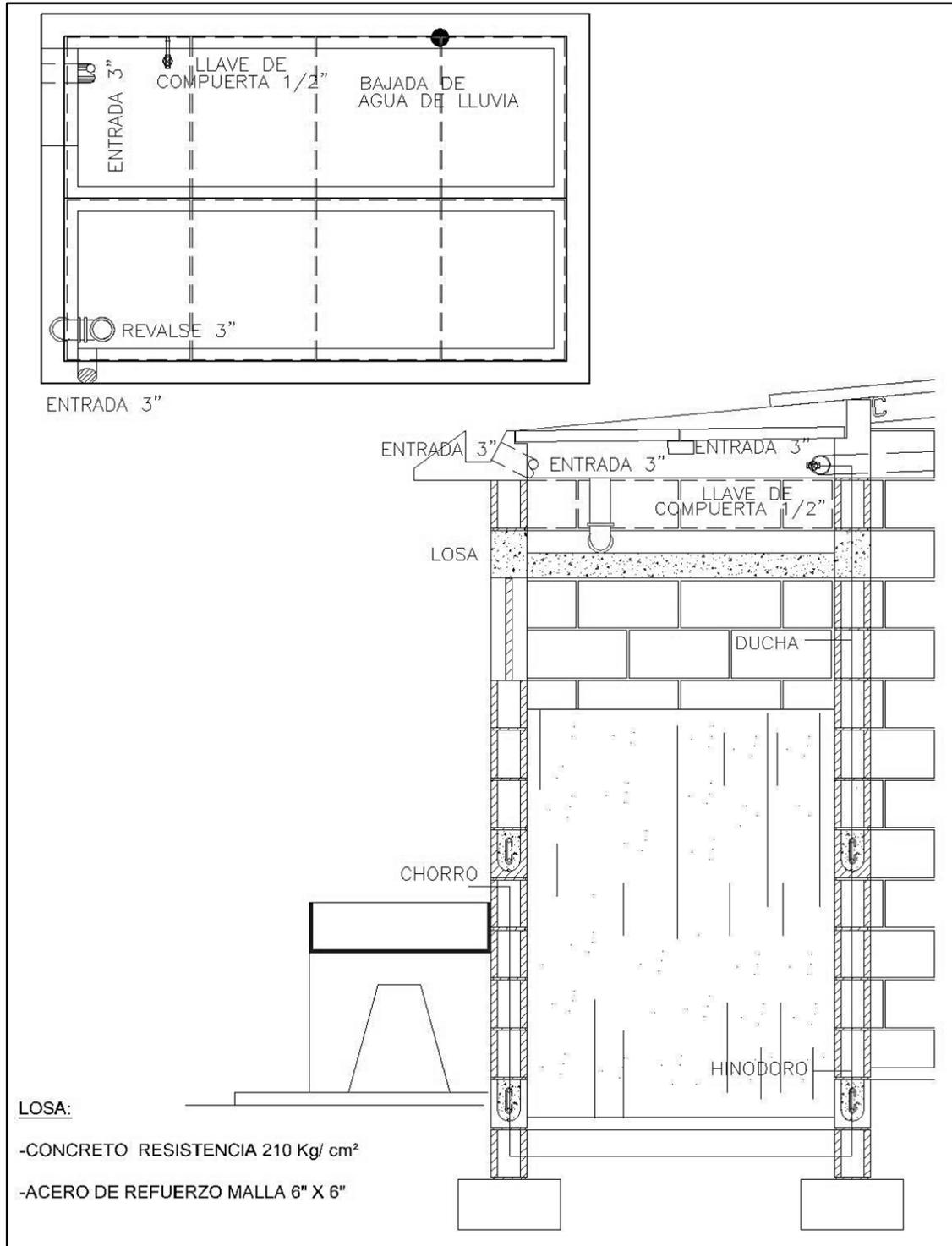
Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

PLANTA DE DRENAJES



Fuente: FOCUAVI, planos de vivienda tipo "A" ST-02-09, 2009 y elaboración propia.

DETALLES DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO



Fuente: elaboración propia.