



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad
Morelia

IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y
ECONÓMICO DERIVADO DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE
CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE
AGUA DE LLUVIA EN DOS ESTUDIOS
DE CASO EN MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

ADRIANA GUADALUPE SALINAS HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. ALFREDO F. FUENTES GUTIÉRREZ

MORELIA, MICHOACÁN

SEPTIEMBRE, 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad
Morelia

IMPACTO AMBIENTAL, SOCIAL Y
ECONÓMICO DERIVADO DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE
CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE
AGUA DE LLUVIA EN DOS ESTUDIOS
DE CASO EN MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

ADRIANA GUADALUPE SALINAS HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. ALFREDO F. FUENTES GUTIÉRREZ

MORELIA, MICHOACÁN

SEPTIEMBRE, 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UNAM
P R E S E N T E.

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la sesión extraordinaria 05 del H. Consejo Técnico de la ENES Unidad Morelia celebrada, el día 24 de junio del 2015, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el Examen Profesional de la alumna **ADRIANA GUADALUPE SALINAS HERNÁNDEZ** con número de cuenta **308717217**, con la tesis titulada: "**Impacto ambiental, social y económico derivado de la implementación de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en dos estudios de caso en México**". Bajo la dirección del Tutor.- **M. en . C. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez** y como co-tutor del Dr. Omar Raúl Masera Cerutti.

Presidente:	Dr. Eduardo García Frapolli
Vocal:	Dr. Fermín Pascual Ramírez
Secretario:	M. en C. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez
Suplente:	Dra. Ilse Ruiz Mercado
Suplente:	Dr. Carlos Alberto García Bustamante

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Morelia, Michoacán a, 03 de julio del 2015.


DRA. DIANA TAMARA MARTÍNEZ RUIZ
SECRETARIA GENERAL

CAMPUS MORELIA
Apartado Postal 27-3 (Santa Ma. De Guido), 58090, Morelia, Michoacán
Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)322.38.05 y (55)56.23.28.05
www.enesmorelia.unam.mx

AGRADECIMIENTOS I

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a todo el personal y comunidad del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, y a la Licenciatura en Ciencias Ambientales por ofrecerme todas las herramientas intelectuales, conceptuales y tecnológicas para mi desarrollo académico, por enseñarme los caminos hacia otras posibilidades y por darme la oportunidad de convivir con gente tan diversa y maravillosa.

El financiamiento otorgado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la Universidad Nacional Autónoma de México (PAPIIT, proyecto IT101512) para el comienzo de esta investigación; y al CONACYT por el apoyo financiero para la culminación de la misma.

Al jurado integrado por Alfredo Fuentes, Ilse Ruiz, Eduardo García, Fermín Pascual y Carlos García por aceptar formar parte de este reto, por su tiempo, esfuerzo, por sus valiosas aportaciones que enriquecieron este trabajo y por todos los consejos y apoyo.

Agradezco a todos mis profesores de la carrera quienes con su esfuerzo, dedicación, inteligencia y cariño me formaron y *re*-formaron, me vaciaron y me llenaron, me humanizaron, cambiaron mis paradigmas, me enseñaron con su ejemplo el valor de la congruencia y que ser una Científica Ambiental es, además de una vocación, un estilo de vida.

AGRADECIMIENTOS II

A mi mamá por brindarme tu amor incondicional, por apoyarme en todas mis decisiones aunque no siempre estés de acuerdo con ellas, por creer en mí y en mis capacidades, por tu trato tan suave y amable, por demostrarme que la dedicación, el esfuerzo y la perseverancia en la vida rinden frutos satisfactorios, por enseñarme a luchar por mis convicciones con dignidad y realismo, porque gracias a ti soy una persona íntegra, por formarme tan humanamente y enseñarme a ser un poquito como tú.

A mi hermana Marce por dedicarme tiempo, por apoyarme siempre de todas las maneras posibles, por tu alegría que se contagia y crea sinergia, por enseñarme el valor de los detalles, por depositar tu confianza en mí, por mostrarme una perspectiva diferente de las cosas, por reconfortarme con tus palabras en mis momentos de flaqueza y motivarme con ellas a seguir adelante y superarme, por demostrar que con la ambición de la buena se logra lo que sea y por amarme, siempre.

A mi papá por apoyarme y ayudarme a lo largo de todos estos años, por los consejos proporcionados para realizar este trabajo, por preocuparte y querer siempre lo mejor para mí, por impulsarme a seguir creciendo y por enseñarme que aunque la vida sea dura siempre hay alternativas para salir adelante.

A mi abuela por el amor y la ternura, por enseñarme el verdadero sentido de la hospitalidad y la solidaridad, por demostrarme que las ganas de disfrutar la vida están en el corazón y el espíritu, no en el cuerpo.

A mis amigos: Alexis, Danny Boy, Nahly, Gio, Chava, Itzel, J.C., Rasta, Migue, Cochi por toda la diversión, las risas y carcajadas, por las pláticas reflexivas, por *la choncha*, por su locura y sabiduría, por la buena música, por los paseos en bici y por aceptarme como soy.

A Mau por caminar juntos durante la carrera en la que me brindaste tanto aprendizaje y cariño, por la confianza para compartir todo tu ser conmigo, por tu misticismo en el que guardas tanta sabiduría, por tu espontaneidad que siempre me saca una sonrisa y por la sinceridad y humildad con las que construyes tu vida.

A Canek por tu paciencia y tu capacidad para esperar, por tu comprensión y esfuerzo para hacer cosas que nunca habías hecho, por tu autenticidad que me cautiva y me nutre, por tu buena vibra que me tranquiliza, por ser un motor de motivación, por llenarme de energía y felicidad, por las fotos, por las miradas, y por tu amor.

A Alfredo por todo el apoyo, ayuda y tiempo, por todas las veces que acudí a ti con preguntas y dudas que con paciencia supiste resolver, por entender y ser tan comprensivo con todas mis confusiones mentales, y por tu tranquilidad para resolver los problemas y decir las cosas.

A Omar por confiar en mí y apoyarme de muchas maneras, por la dedicación, el tiempo y la paciencia conmigo y con el trabajo, por todas las discusiones y debates que me nutrieron mucho, porque cuando creía que no se podía hacer nada más, tú siempre tenías algo nuevo que agregar para enriquecer el trabajo, por tu pasión, por creer con optimismo y realismo en lo que haces y en lo que otros pueden hacer.

A Ernesto Vega por ayudarme cuando más lo necesité, por *prestarme* un lugar en tu laboratorio para trabajar, por la paciencia con la que me escuchaste, por el tiempo que dedicaste para enseñarme lo que ya me habías enseñado, por tu paz tan contagiosa y por tus metáforas tan sutiles y educativas que siempre me motivan.

A Pacho y Alicia Castillo por su tiempo, su ayuda al proporcionar mucha información valiosa, por la pasión dedicada a sus temas y por reconfortarme cuando resolvían mis dudas y me motivaban a seguir adelante.

A todo el equipo de la Unidad de Ecotecnologías y el Laboratorio de Bioenergía (Alfredo, Omar, Gaby, Nahly, Tania, Jorge, Vic, Paulo, Quique, René, Fermín, Raúl, Ilse, Karlita) por su cooperación, por sus críticas constructivas, por su amistad y su buen trabajo en equipo.

Al personal de servicios escolares, especialmente a Alex Rebollar, por su trato tan personal conmigo, por su amabilidad, su gentileza y su buen humor que hacen más llevadero el proceso burocrático.

Agradezco a todo el personal de Isla Urbana, sobre todo a David Vargas y Carmen Franco, por todas las atenciones que tuvieron conmigo, por el tiempo dedicado, por la amabilidad y el trato tan amigable, por su pasión y alegría en hacer lo que hacen. Al personal de Fondo Pro Cuenca por el esfuerzo que dedicaron para que pudiera realizar el trabajo de campo, por su comprensión, y por resolver todas mis dudas.

A las familias de la comunidad de Tehuixtitla y Tecalipac por su ayuda para realizar el estudio, por su sinceridad, por su confianza, por su amabilidad, y por recordarme lo valiosa que es el agua. Agradezco especialmente a la Sra. María Elena Paz por acompañarme en los recorridos para aplicar las encuestas, por dedicarme tiempo, por su trato tan cariñoso y materno, por su confianza, y por ser un ejemplo de líder. A las mujeres de las comunidades de Rincón de Estradas y Mesas de San Martín por su ayuda, por el tiempo que me dedicaron, por su hospitalidad, por su confianza, por su gentileza y por ser, todas ellas, unas guerreras.

CONTENIDO

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I Introducción.....	15
1.1. La crisis ambiental y los Sistemas de Captación de agua de Lluvia.....	14
1.2. Antecedentes	19
1.3. Situación del agua en zonas urbanas y en zonas rurales de México	37
1.4. Justificación	44
1.5. Pregunta de investigación	46
1.6. Objetivos	47
CAPÍTULO II Marco conceptual	49
2.1. Ecotecnología e Impacto.....	49
2.2. Difusión de innovaciones tecnológicas.....	50
2.3. Adopción de tecnologías.....	51
2.4. Uso sostenido de tecnologías	53
CAPÍTULO III Metodología	56
3.1. Enfoque metodológico	56
3.2. Recolección de la información.....	58
3.3. Análisis de la información	61
CAPÍTULO IV Estudios de caso.....	66
4.1. Isla Urbana, A.C.	66
4.2. Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, A.C.	82
CAPÍTULO V Aanalysis y Resultados	97
5.1. Impacto ambiental.....	97
5.2. Impacto social	108
5.3. Impacto económico.....	114
5.4. Factores para la adopción y uso sostenido	117
5.5. Diferencias entre urbano y rural	121
5.6. Difusión y adopción del SCALL	125
CAPÍTULO VI Discusión	128
6.1. Impacto ambiental.....	128

6.2. Impacto social	130
6.3. Impacto económico.....	132
6.4. Adopción y uso sostenido	133
6.5. Recomendaciones para un marco metodológico.....	134
CAPÍTULO VII Conclusiones y recomendaciones.....	136
7.1. Conclusiones.....	136
7.2. Recomendaciones para mejorar el estudio.....	137
REFERENCIAS	140
ANEXOS	149

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Evolución de la cobertura de agua potable	24
Cuadro 2. Evolución de la cobertura de alcantarillado	24
Cuadro 3. Consumo unitario por clase socioeconómica.....	26
Cuadro 4. Fuentes de agua antes y después del SCALL en Xochimilco.....	100
Cuadro 5. Fuentes de agua antes y después del SCALL en Pro Cuenca.....	105
Cuadro 6. Respuestas de los usuarios con respecto al ahorro de tiempo.....	108
Cuadro 7. Otros beneficios percibidos por los usuarios	109
Cuadro 8. Percepción de los usuarios sobre la calidad del agua de lluvia	110
Cuadro 9a. Mantenimiento para la limpieza del agua de lluvia en Xochimilco.....	110
Cuadro 9b. Mantenimiento para la limpieza del agua de lluvia en Pro Cuenca.....	110
Cuadro 10. Percepción de los usuarios sobre el uso y mantenimiento de los SCALL....	111
Cuadro 11. Estimación del grado de difusión de los SCALL.....	112
Cuadro 12. Interés por adquirir el SCALL de Isla Urbana.....	114
Cuadro 13. Respuestas de los usuarios con respecto al ahorro de dinero.....	115
Cuadro 14. Características de la estrategia de difusión.....	125
Cuadro 15. Descripción de los SCALL y la teoría Difusión de Innovaciones.....	126
Cuadro A4.1. Datos requeridos para la estimación de los beneficios.....	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes básicos de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia.....	36
---	----

Figura 2. Componentes del SCALL implementado por Isla Urbana.....	71
Figura 3. Techo de un usuario del SCALL de Isla Urbana.....	72
Figura 4. Canaletas y tubos de un SCALL de Isla Urbana.....	72
Figura 5. Filtro de hojas de un SCALL de Isla Urbana.....	73
Figura 6. Tlaloque y desviador de primeras lluvias de un SCALL de Isla Urbana.....	74
Figura 7. Tanques de almacenamiento de Isla Urbana.....	75
Figura 8. Bombas eléctrica de un SCALL de Isla Urbana.....	75
Figura 9. Filtros prefabricados de un SCALL de Isla Urbana.....	76
Figura 10. Tinacos sobre los techos en Xochimilco.....	76
Figura 11. Ubicación de la Delegación Xochimilco en la Ciudad de México.....	79
Figura 12. Ampliación de la localidad de Tehuixtitla.....	79
Figura 13. Ampliación de la localidad de Tecalipac.....	81
Figura 14. Componentes de un SCALL desarrollado por Pro Cuenca.....	87
Figura 15. Techos de lámina galvanizada de usuarios de Fondo Pro Cuenca.....	88
Figura 16. Canaletas y tubos de un SCALL de Fondo Pro Cuenca.....	88
Figura 17. Filtro de arena de un SCALL de Fondo Pro Cuenca.....	89
Figura 18. Cisterna de ferrocemento de un SCALL de Fondo Pro Cuenca.....	90
Figura 19. Bomba de mecate de un SCALL de Fondo Pro Cuenca.....	91
Figura 20. Pileta y lavadero de un SCALL de Fondo Pro Cuenca.....	91
Figura 21. Ampliación del municipio de Valle de Bravo.....	94
Figura 22. Ampliación del municipio de Villa de Allende.....	95
Figura 23. Consumo familiar y consumo por persona de agua en Xochimilco.....	98
Figura 24. Promedio consumo de agua por tamaño familiar en Xochimilco.....	98
Figura 25. Kruskal-Wallis del promedio de consumo y tamaño familiar en Xochimilco....	99
Figura 26. Principales usos del agua por fuente de abastecimiento en Xochimilco.....	102
Figura 27. Consumo de agua y consumo por persona en Pro Cuenca.....	103
Figura 28. Promedio de consumo de agua y tamaño familiar en Pro Cuenca.....	104
Figura 29. Kruskal-Wallis del consumo y tamaño familiar en Pro Cuenca.....	104
Figura 30. Principales usos del agua por fuente de abastecimiento en Pro Cuenca.....	107
Figura 31. Esquema de cobro y costo al usuarios de los SCALL	115
Figura 32. PRI promedio del SCALL de Isla Urbana	116

Figura 33. PRI promedio del SCALL de Pro Cuenca.....	117
Figura 34. Factores de adopción y uso sostenido de los SCALL.....	117
Figura 35. Decoración del SCALL de una familia en Rincón de Estradas.....	119
Figura 36. Contraste entre Pro Cuenca y Xochimilco en tiempo ahorrado.....	121
Figura 37. Kruskal-Wallis para relación entre el ahorro de tiempo y zona de estudio.....	122
Figura 38. Contraste entre Pro Cuenca y Xochimilco del ahorro económico.....	122
Figura 39. Kruskal-Wallis para ahorro de dinero y zona de estudio.....	123
Figura 40. Consumo familiar de agua con relación a la zona de estudio.....	123
Figura 41. Kruskal-Wallis para el consumo familiar de agua y la zona de estudio.....	124
Figura 42. Inversión inicial del SCALL en relación al contexto rural y urbano.....	124
Figura 43. Kruskal-Wallis para el costo al usuario y zona de estudio.....	125
Figura A5.1. Agua consumida por familia en Xochimilco.....	164
Figura A6.1. Agua consumida por miembro en la familia en Xochimilco.....	165
Figura A7.1. Kruskal-Wallis para consumo familiar de agua y nivel económico.....	166
Figura A7.2. Kruskal-Wallis para el consumo familiar de agua y número de niños.....	166
Figura A8.1. Agua consumida por cada familia en Pro Cuenca.....	167
Figura A9.1. Agua consumida por cada miembro de las familias en Pro Cuenca.....	168
Figura A10.1. Kruskal -Wallis para el consumo familiar de agua y el nivel económico...	169
Figura A10.2. Kruskal-Wallis para el consumo de agua y niños en Pro Cuenca.....	169
Figura A11.1. Actividades para obtener agua en Xochimilco.....	170
Figura A12.1. Mantenimiento realizado por los usuarios del SCALL de Isla Urbana...	171
Figura A13.1. Mantenimiento realizado por las usuarias del SCALL de Pro Cuenca.....	172
Figura A14.1. Aprendizaje sobre uso y mantenimiento del SCALL en Xochimilco.....	173

RESUMEN

Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) se han utilizado desde hace miles de años como una forma de abastecimiento de agua. En las últimas décadas, la creciente escasez de agua y las preocupaciones internacionales para hacer su abasto más sostenible ha detonado un renovado interés por el análisis y difusión de estos dispositivos. Este trabajo de investigación busca identificar los principales impactos ambientales, sociales y económicos generados por el uso de los SCALL, documentar los factores que motivan a los usuarios a adoptar los sistemas, y determinar si la estrategia de difusión de los SCALL influye en el proceso de uso. Se eligieron dos estudios de caso en México: Isla Urbana, A.C. quienes diseñan e implementan SCALL en zonas urbanas y periurbanas de la Ciudad de México; y Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo A.C. quienes implementan SCALL en las comunidades rurales de la región de la Cuenca del Valle de Bravo. Para recolectar la información se realizó una entrevista a los directores de cada asociación, y se aplicaron encuestas a un total de 61 usuarios de los SCALL. La información se analizó a través de un enfoque interpretativista y con la ayuda de algunas herramientas cuantitativas. La investigación demuestra que los SCALL son dispositivos útiles y fáciles de usar que proveen de una fuente importante de abastecimiento de agua durante la temporada de lluvias. Asimismo, las familias mejoran su bienestar personal y familiar al contar con el agua del sistema. En ambos estudios de caso se encontró que más del 50% de los usuarios emplean principalmente el agua de lluvia para tres actividades en el hogar: lavar la ropa, regar las plantas y/o jardín y la limpieza del hogar. Al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis se determinó que no existe diferencia significativa entre el consumo familiar y el tamaño familiar. Por otro lado, dicha prueba muestra que existe una diferencia significativa entre el contexto rural y el urbano con respecto al ahorro de dinero, mayor en la zona urbana, y al ahorro de tiempo, mayor en la zona rural. Por otra parte, la estrategia de difusión empleada por las asociaciones tiene influencia sobre el uso de los SCALL. En este sentido, se determinó que la participación activa de los usuarios en la implementación de los sistemas y el acceso a otras fuentes de agua son factores que apoyan la adopción de esta ecotecnología. El seguimiento por parte de los implementadores es clave puesto que esta labor ayuda a fomentar el uso continuo de los sistemas al resolver dudas de los usuarios y mantener contacto con ellos, y asegurar el buen funcionamiento de los dispositivos.

Finalmente, los hallazgos de esta investigación nos sugieren ahondar en la conceptualización de los procesos de adopción y uso, así como en la elaboración de un marco metodológico integral que permita la evaluación de impactos específicos para estas ecotecnologías.

ABSTRACT

Rainwater Harvesting Systems (RWHS) have been used since thousands of years ago as a water supply technique. In the last decades, there has been a renewed interest in the analysis and diffusion of these devices due to the increasing water scarcity and the international concerns to create a sustainable supply. This investigation research seeks to identify the main environmental, social and economic impacts resulted from the use of RWHS, to document the factors that trigger beneficiaries to adopt the systems, and to determine if the diffusion strategy of RWHS influences the process of use. Two case studies in Mexico were chosen: Isla Urbana A.C. which designs and installs RWHS in urban and periurban areas of Mexico City; and Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo A.C. which installs RWHS in rural areas in the region of Cuenca del Valle de Bravo. In order to gather the information, the directors of each association were interviewed, and 61 RWHS's users were surveyed. The information was analysed through an interpretativist approach and with some quantitative analytic tools. Results show that RWHSs are useful and user friendly devices that provide an important source of water supply during rainy season. Likewise, families who have water from the systems improve their personal and family well-being. In both case studies it was found that more than 50% of the beneficiaries use mainly rain water for three domestic activities: washing clothes, household cleaning, and watering plants/vegetable patch. Kruskal-Wallis test displayed that there is no significant difference between family consumption and family size. On the other hand, this test shows that there is significant difference between urban and rural context in relation to saved money and saved time: In the urban area saved money is higher; and in the rural area saved time is higher. It was found that the diffusion strategy used by the association influences the use of the systems as follows: Active participation of beneficiaries on the implementation of the system and access to other sources of water are factors that favor the adoption of this ecotechnology; the same as monitoring made by the associations, which is key because it

helps to encourage continuous use by solving doubts of the beneficiaries and maintain contact with them to make sure the system is well-operated. Finally, the findings of this research suggest that it is important to make a deep investigation of the conceptualization of the adoption/use processes, as well as the elaboration of an integral methodological framework to evaluate the specific impacts of these ecotechnologies.

CAPÍTULO I

Introducción

En este primer capítulo se hace una breve descripción de la crisis actual en materia ambiental y humana. Se hace una introducción al tema de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia y su investigación. Posteriormente, se presentan datos sobre la situación del agua en el mundo y en México, y se contextualiza geopolíticamente el problema de la escasez de agua en nuestro país. Se muestra la justificación y alcance de la investigación, así como las preguntas que motivaron su realización y los objetivos que persigue.

1.1. La crisis ambiental y los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia

Actualmente, la humanidad experimenta una crisis ambiental, social, cultural, política y económica sin precedentes. Dicha crisis tiene su génesis con la Revolución Industrial, en donde se desarrollaron múltiples procesos, y avances tecnológicos y científicos que impulsaron el modelo económico y moldearon la base del estilo de vida bajo los cuales nos regimos hoy en día. Incluso, algunos pensadores consideran que la crisis ambiental, es una crisis de civilización, una social más que ecológica (PNUMA, 2002) y una que tiene relación con la ética y los valores humanos.

El modelo económico actual está basado en el uso de energías no renovables para la satisfacción de las necesidades, la monopolización en la prestación de servicios, la producción en masa de productos, la globalización, la exclusión de grupos minoritarios y/o vulnerables, puesto que se privilegian los intereses de los más ricos, entre otros. Asimismo, el crecimiento poblacional es otro factor importante en la transformación del planeta (Jardón, 1995). De acuerdo con el Banco Mundial, para el año 2013 el total de población en el mundo se calculó en 7 mil 125 millones de personas, de ellas, el 53% habitaba en zonas urbanas (BM, 2015).

Dadas estas condiciones, las actividades humanas han ejercido efectos negativos sobre los sistemas ecológicos del planeta, poniendo en riesgo los servicios que nos brindan, pues

nuestras prácticas cotidianas aceleran y aumentan problemas como la escasez de agua, la desaparición de bosques y selvas, la pérdida de biodiversidad, la alteración de los ciclos biogeoquímicos, el cambio climático, entre otros (Valdés, 2006).

Adicionalmente, existe la desigualdad social que puede verse reflejada en los contrastes entre países y dentro de los mismos con respecto a la distribución de bienes y servicios. Esta injusticia social está asociada directa o indirectamente con el deterioro ecológico a diferentes escalas (PNUMA, 2002).

En este sentido, alrededor del 13% de la población total en el mundo no tiene acceso a fuentes mejoradas de agua¹; el 39% carece de servicios mejorados de saneamiento² (OMS, 2010); y el 17% carece de electricidad (BM, 2015). Sin embargo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) establece que, en cualquier lugar del globo terráqueo, *“como parte de un contrato social básico entre los ciudadanos y el estado, este último tiene la responsabilidad primordial de extender los servicios sociales a toda la población”* (PNUD, 2014, pág. 6). Asimismo, afirma que la prestación de servicios sociales básicos³ puede aumentar las competencias sociales e igualar las oportunidades entre pobres y no pobres (PNUD, 2014).

Es por ello, que como civilización, nos encontramos en un punto en el que requerimos replantear nuestro paradigma, nuestro estilo de vida y, dentro de éste, las herramientas tecnológicas empleadas para satisfacer nuestras necesidades. Afortunadamente, ya se han logrado avances en el desarrollo de innovaciones tecnológicas para impactar en menor medida el entorno natural y recuperar el equilibrio ambiental, es decir, el equilibrio entre el ser humano y la naturaleza.

¹ Una fuente mejorada de agua potable es una fuente que por el tipo de construcción protege apropiadamente el agua de la contaminación exterior, en particular de la materia fecal (OMS, 2012).

² Un sistema de saneamiento mejorado es el que higiénicamente impide el contacto de los seres humanos con las excretas humanas (*Ibid.*).

³ De acuerdo con el PNUD, los servicios sociales básicos hacen referencia a educación, atención médica, seguridad pública, así como suministro y saneamiento de agua.

En materia de suministro de agua se han llevado a cabo diversas investigaciones para el diseño, implementación e innovación de ecotecnologías⁴, los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL de ahora en adelante), son una de ellas. Los SCALL interceptan el agua de lluvia en un área de captación y la conducen a un depósito de almacenamiento para su uso posterior. Existen diferentes técnicas de captación de agua de lluvia que varían principalmente en el área que se utiliza para captar y el uso que se le dará al agua. Pueden utilizarse para satisfacer la demanda de agua a nivel doméstico, agrícola, ganadero, industrial e institucional. Para esta investigación se han estudiado SCALL de techos para uso doméstico. De acuerdo con Krishna (2003 citado en: TWDB, 2005) y UNATSABAR (2001) las principales ventajas y beneficios del uso de un SCALL son los siguientes:

1. El sistema provee de una fuente alternativa cuando las fuentes convencionales, como el agua subterránea, son de mala calidad;
2. Puede aumentar e, inclusive, reemplazar cantidades limitadas de agua subterránea o de otras fuentes;
3. Hay una reducción en el flujo de escorrentía al drenaje, lo que reduce los costos de operación de plantas tratadoras de agua;
4. El agua del sistema puede emplearse para usos no potables;
5. El agua no tiene costo;
6. Su construcción emplea material y/o mano de obra locales;
7. Es un sistema independiente de la conexión de red pública;
8. El uso final del agua captada está ubicada cerca de la fuente, lo que elimina el uso de sistemas de distribución costosos y complejos, además de reducir el tiempo requerido para recolectar agua.

Esta forma de abastecimiento de agua era practicada por las civilizaciones antiguas, sobre todo en condiciones áridas o islas donde no contaban con cuerpos de agua. Pero, conforme las poblaciones fueron creciendo y dispersando, poco a poco, se convirtió en obsoleta debido a la introducción de tecnología para la infraestructura hidráulica (Durán, s/f).

⁴ Referirse al Capítulo II para la definición de *ecotecnología* empleada en este trabajo.

No obstante, en las últimas décadas el uso de los SCALL ha cobrado fuerza nuevamente ante el escenario de escasez y alta demanda del recurso. Simultáneamente, la investigación en torno a los beneficios y factibilidad, tanto económica como técnica, de estos sistemas ha avanzado. La literatura muestra que los estudios se han llevado a cabo, principalmente, en países en desarrollo como África, India, Tailandia, China, algunos países de América Latina; pero también en Estados Unidos, Australia, entre otros.

En México, se ha realizado bastante investigación con respecto al diseño e innovación de modelos y prototipos de sistemas, así como la transferencia de tecnología. El Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia del Colegio de Postgraduados (CIDECALLI-CP) es un ejemplo del trabajo exitoso realizado en el país que, además, ha ejecutado proyectos para el consumo humano y uso doméstico de agua de lluvia en comunidades indígenas. Por otro lado, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, producto de su investigación, ha implementado sistemas de captación para uso doméstico en comunidades rurales. Adicionalmente, se cuentan con trabajos de tesis de licenciatura y maestría que han aportado información valiosa al tema⁵.

Igualmente, han surgido diversas Asociaciones Civiles (A.C.) que desarrollan e implementan SCALL tanto en zonas urbanas como en zonas rurales. Dependiendo de los contextos, estos sistemas funcionan para uso doméstico y/o para uso agrícola, ganadero y para hortalizas de traspatio. Entre estas asociaciones se encuentra Isla Urbana A.C. que es un proyecto del Instituto Internacional de Recursos Renovables (IRRI por sus siglas en inglés) dedicado a desarrollar una solución al problema de agua en México. Está conformado por un grupo interdisciplinario que diseña e implementa SCALL adaptados especialmente a la Ciudad de México en casas de bajos recursos y donde la escasez de agua es un problema serio (extraído de: <http://www.islaurbana.org/>).

Por otro lado, se encuentra el Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo A.C., organización sin fines de lucro que promueve acciones en favor del rescate y conservación de la región, por

⁵ Tania Arroyo Zambrano, *Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía*, 2010, Universidad Nacional Autónoma de México.

Jesús Hiram García Velázquez, *Sistema de Captación y Aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la ciudad de México*, 2012, Universidad Nacional Autónoma de México.; entre otras.

medio de proyectos que favorezcan la permanencia de los bosques, arroyos, y que permitan el bienestar de sus habitantes (extraído de: <http://procuenca.org/emv/#!/>). Para lograr dichos objetivos, uno de sus proyectos es el de ecotecnias, que incluye un SCALL integral, pues cuenta con un sistema de saneamiento de aguas grises.

A pesar de lo anterior, aún hacen falta estudios para determinar impactos sociales y económicos generados por el uso de los SCALL a nivel doméstico. Este trabajo de investigación pretende, no sólo generar conocimiento sobre algunos de los impactos antes mencionados, sino también, recabar información sobre los factores que motivan a los usuarios a adoptar y usar de manera sostenida los SCALL. Asimismo, se elaboraron recomendaciones para la creación de un marco metodológico que permita la evaluación de impactos de ecotecnologías.

1.2. Antecedentes

El agua en el mundo

El volumen total de agua en el planeta es de aproximadamente 1,386 millones de kilómetros cúbicos (CONAGUA, 2013). Se estima que el 70.8% de la superficie del globo terráqueo es agua y sólo 29.2% es tierra (Lvovich, 1975). Del total de agua, el 97.5% es salada (aproximadamente 1,400 millones de km³) (Carabias *et al.*, 2005) y está contenida principalmente en los océanos. El 2.5% restante del agua es dulce (cerca de 35 millones de km³) (Carabias *et al.*, 2005), pero no toda es accesible para uso humano. El 69.6% está congelada en capas de hielo, glaciares, cobertura de nieve y permafrost; el 30.1% está en el subsuelo y acuíferos alimentados por filtración desde la superficie y; sólo el 0.3% está en lagos, ríos y pantanos (Kingsolver, 2010). Este 0.3% satisface los requerimientos, tanto de los ecosistemas como de los seres humanos (Ávila, 2002).

A nivel mundial existe una distribución desigual de agua, puesto que hay regiones con mejor disponibilidad natural del recurso y fácil acceso a las fuentes de abastecimiento, y otras regiones en donde la disponibilidad es baja y el acceso es difícil (Ávila, 2002). Al mismo tiempo, la disponibilidad de agua está fuertemente relacionada con la oferta de

lluvia, por lo que el agua puede ser insuficiente, ya sea por naturaleza o por la actividad humana (Lanza, 2007). El continente americano cuenta con el 47% del agua mundial, Asia con el 32%, África 9%, Europa 7% y, Australia y Oceanía 6% (Carabias *et al.*, 2005).

Los países de América que concentran la mayor cantidad de agua son Canadá, Brasil, Colombia y Venezuela; en Asia se encuentra en China, Siberia (Rusia), India y Nueva Guinea; en Europa se concentra en los países escandinavos y Rusia; África cuenta con una baja disponibilidad salvo en su franja tropical (Ávila, 2002).

La situación del agua en México

En México existe una gran variedad de climas debido a su ubicación geográfica y relieve, estos últimos inciden directamente sobre la disponibilidad del recurso hídrico (CONAGUA, 2012). Si se compara nuestro país con el resto de los del mundo, la condición de disponibilidad potencial⁶ de sus recursos hídricos es buena, de 300,000 a 500,000 m³/km²/año, lo que coloca al país en un rango intermedio, pues la disponibilidad no es crítica, pero tampoco goza de las mayores reservas (Ávila, 2002).

No obstante, en términos del continente americano, y considerando tamaño poblacional y actividades económicas, es uno de los países con más baja disponibilidad, por lo que de acuerdo con otras evaluaciones globales, México se encuentra en un nivel de escasez del recurso (Ávila, 2002). En el año 2004 la disponibilidad natural media⁷ per cápita en México era de 4,500 m³/año, mientras que en Canadá era de 91,600 m³/año (Carabias *et al.*, 2005). Para el año 2010 en México la disponibilidad per cápita disminuyó a 4,069 m³/año (CONAGUA, 2012).

Por otro lado, México recibe 1,489 mil millones de metros cúbicos al año de agua en forma de precipitación. Del total de esta agua, 73.1% se evapotranspira regresando a la atmósfera, el 21.1% se escurre por los ríos y arroyos, y el 4.8% se infiltra al subsuelo recargando los

⁶ Sólo considerando los aspectos físicos relacionados con el agua en una región geográfica determinada, sin incluir población y actividad económica.

⁷ Se denomina disponibilidad natural media anual al volumen de agua dulce renovable que se recibe en forma de precipitación, tomando en cuenta las importaciones y exportaciones de agua con países vecinos (CONAGUA, 2013).

acuíferos (CONAGUA, 2012). De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los valores de la precipitación normal de una región se calculan a partir de los promedios de un periodo uniforme y largo, que debe tener como mínimo 30 años de recabar información. Además, las estimaciones deben comenzar en un año que termine en uno y finalizar en un año que termine en cero (CONAGUA, 2013). En el periodo de 1971-2000 la precipitación normal del país fue de 760 mm, mientras que para el periodo de 1941-2010 el valor corresponde a 776 mm (SMN, 2012).

La distribución espacial del agua en México, al igual que en el mundo, es muy desigual y opuesta a la concentración demográfica y a la actividad económica de mayor relevancia (Lanza, 2007). En la zona norte, centro y noroeste del país se concentra el 76.9% de la población, se genera el 78.86% del PIB nacional y ocurre solamente el 31.74% del agua renovable⁸, mientras que en la zona sur y sureste habita el 23.1% de la población, se genera el 21.04% del PIB, pero ocurre el 68.26% del agua renovable (CONAGUA, 2012).

Aunado al contexto natural anterior, tenemos que el acelerado crecimiento demográfico, la contaminación, la degradación y sobreexplotación de los ecosistemas, el derroche del agua, la falta de planeación, entre otras, han sido las razones por las que el país sufre escasez de agua (Cházaro, 1999). Así mismo, según Lanza (2007), la crisis del agua en México, no es sólo reflejo de la falta de infraestructura, sino que también intervienen factores como una institucionalidad inadecuada, la insuficiencia de recursos financieros destinados al sector, debilidad del marco jurídico, carencia de información sobre los problemas del aprovechamiento del agua y la escasa participación pública.

La gestión y administración de las aguas nacionales

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha identificado 1,471 cuencas hidrográficas en el territorio nacional que se organizan en 37 regiones hidrológicas, y a su vez se agrupan en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA) para el fácil manejo y preservación de las aguas nacionales. Estas 13 regiones son consideradas las unidades básicas de gestión de

⁸ Cantidad de agua máxima que es factible explotar anualmente en una región, esto es, la cantidad de agua que es renovada por la lluvia y por el agua proveniente de otras regiones o países (*Ibíd.*).

los recursos hídricos; sus límites respetan los municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica.

Con respecto a las aguas subterráneas, el país se dividió en 653 acuíferos, de los cuales 100 eran sobreexplotados en 2009 y de éstos se extrae 53.6% del agua para todos los usos. Los ríos y arroyos constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan 50 ríos principales (CONAGUA, 2013). De dichos ríos, lagos y mantos acuíferos del país se extraen aproximadamente 11,100 millones de metros cúbicos de agua anualmente, estos se distribuyen en las redes de agua potable de las ciudades de nuestro país (Segovia *et al.*, 2009).

Por otro lado, en un esfuerzo por conocer la diversidad y el valor biológico de las cuencas hidrológicas y de evaluar las amenazas directas e indirectas, y el potencial para su conservación y manejo adecuado, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), identificó 110 Regiones Hidrológicas Prioritarias. Se elaboró el mapa correspondiente y una ficha técnica para cada región, la cual contiene información general de tipo limnológico, geológico/edáfico, recursos hídricos, biodiversidad, uso de los recursos, aspectos económicos y problemáticas de conservación y uso (CONABIO, 2008).

Con la identificación e información de dichas regiones se establece un marco de referencia para la toma de decisiones y el establecimiento de prioridades en el manejo sustentable de los ecosistemas epicontinentales⁹ de México, tanto para su conservación y explotación, como para su rehabilitación y restauración (CONABIO, 2008).

La Ley de Aguas Nacionales (LAN-2014) declara que corresponde al Ejecutivo Federal la autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos, ejercidos directamente o a través de la CONAGUA. Asimismo, declara de utilidad pública la gestión integrada de los recursos hídricos, tanto superficiales como del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, como prioridad y asunto nacional.

⁹ Se utiliza el término "agua epicontinental" para diferenciar las aguas que se encuentran sobre la superficie de los continentes (ríos, lagos, presas) de aquellas que se ubican debajo de ella, mejor conocidas como aguas subterráneas. Se emplea agua epicontinental en vez de agua dulce debido a que no toda el agua epicontinental es dulce (Alcocer, s/f).

1.2.1. Oferta de agua a nivel residencial

El Registro Público de Derechos del Agua (REPDa) ha dividido el uso del agua en México en 12 rubros, los cuales se clasifican dentro de uso consuntivo¹⁰ y no consuntivo¹¹. Como usos consuntivos se consideran el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y la generación de energía eléctrica (termoeléctrica), excluyendo la hidroeléctrica que representa el mayor porcentaje de uso no consuntivo. Al sector agrícola se le destina el 75.7% de la extracción total, el abastecimiento público cuenta con el 14.6%, la industria autoabastecida el 4.1% y la energía eléctrica 5.5%. La extracción de agua para los usos mencionados anteriormente es 51 mil millones de m³ de fuentes superficiales y el 31.8 mil millones de m³ restantes provienen de fuentes subterráneas (CONAGUA, 2014). Las centrales hidroeléctricas representan el doble del volumen empleado en los cuatro usos mencionados anteriormente (Graizbord y Arroyo, 2004).

El uso consuntivo de abastecimiento público hace referencia al agua suministrada a través de redes de agua potable, los rubros dentro de este uso son los usuarios domésticos y el público urbano, este último incluye a las industrias y otros servicios conectados a dichas redes (CONAGUA, 2013; 2011).

Al respecto, la cobertura de abastecimiento de agua potable y alcantarillado en México ha evolucionado paulatinamente y de manera diferenciada en zonas urbanas y zonas rurales. El Cuadro 1 muestra el progreso en cuanto al primer servicio, mientras que el Cuadro 2 lo muestra para la cobertura de alcantarillado.

¹⁰ Se refiere al agua que es transportada a su lugar de uso y la totalidad, o parte de ella, no regresa al cuerpo de agua (Carabias *et al.*, 2005).

¹¹ Es el agua que se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, por lo que regresa al entorno inmediatamente después de haberse utilizado, aprovechado o explotado, aunque en ocasiones regrese con cambios en sus características físicas, químicas o biológicas (*Ibíd.*).

Cuadro 1. Evolución de la cobertura de agua potable en zonas urbanas y zonas rurales, 1990-2010.

Año	Zonas Urbanas	Zonas Rurales	Total
1990	89.4%	51.2%	78.4%
2000	94.6%	68.0%	87.8%
2005	95.0%	70.7%	89.2%
2010	95.4%	77.2%	91.2%

Fuente: CONAGUA, *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2013.*

Cuadro 2. Evolución de la cobertura de alcantarillado en zonas urbanas y zonas rurales, 1990-2010.

Año	Zonas Urbanas	Zonas Rurales	Total
1990	79.0%	18.1%	61.5%
2000	89.6%	36.7%	76.2%
2005	94.5%	57.5%	85.6%
2010	96.3%	68.9%	89.6%

Fuente: CONAGUA, *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2013.*

Para el cierre del año 2013, de acuerdo con la CONAGUA (2014), el 92.3% de la población nacional contaba con servicio de agua potable¹², (95.4% corresponde a zonas urbanas y 81.6% a zonas rurales) dejando a 8.9 millones de personas sin este servicio. Aguascalientes (99.5%), el Distrito Federal (99.2%) y Coahuila (97.9%) son los estados que presentan el mayor porcentaje de cobertura de agua potable, mientras que Chiapas (78.8%) y Guerrero (74.7%) se colocan en los últimos lugares con las coberturas más bajas.

Con respecto al alcantarillado¹³, el 90.9% de los habitantes contaban con dicho servicio (96.7% de cobertura en zonas urbanas y 71.2% en zonas rurales), lo que significa que 10.5 millones de mexicanos no tienen acceso al servicio de saneamiento. Nuevamente, el Distrito Federal (99.8%) y Aguascalientes (98.4%) encabezan la lista con el mayor

¹² La CONAGUA considera agua potable como el agua entubada dentro de la vivienda; fuera de la vivienda, pero dentro del predio; de la llave pública; o de otra vivienda, y no necesariamente es agua con calidad para consumo humano.

¹³ La CONAGUA considera cobertura de alcantarillado a las personas que habitan en viviendas con conexión a la red de alcantarillado; a una fosa séptica; a un desagüe; grieta; lago o mar.

porcentaje de cobertura de alcantarillado, mientras que Guerrero (78.1%) y Oaxaca (73.1%) se colocan en último lugar.

Con referencia al saneamiento del líquido, las aguas residuales se pueden clasificar en municipales e industriales. Las primeras hacen referencia a las recolectadas en los sistemas de alcantarillado municipal, tanto urbano como rural. Las industriales son las aguas que se descargan directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional.

Tanto a nivel municipal como a nivel industrial, México se ha mantenido rezagado en materia de tratamiento y reúso de aguas residuales, sobre todo, en lo que se refiere al manejo adecuado y construcción de infraestructura. En el año 2012, se recolectaban en alcantarillado 211,100 l/s de aguas residuales a nivel nacional. Para este mismo año se registraron en operación un total de 2,287 plantas que trataban un caudal de 105,935 l/s, equivalente a una cobertura nacional de 50.2% (CONAGUA, 2014).

Los estados de Aguascalientes, Nuevo León y Nayarit cuentan con el 100% de cobertura de tratamiento de aguas residuales, mientras que Hidalgo, Campeche y Yucatán presentan la menor cobertura con 6.3%, 5.3% y 3.3% respectivamente (CONAGUA, 2014).

1.2.2. Demanda de agua a nivel residencial

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define el agua de uso doméstico como el agua usada para todos los fines domésticos, incluyendo el consumo, higiene y preparación de alimentos (WHO, 1993 citado en: Howard y Bartram, 2003). Se sugieren tres categorizaciones para el uso del agua dentro del hogar:

- 1) Consumo: se incluye el agua para beber y para preparar alimento;
- 2) Higiene: incluye la limpieza personal y del hogar; y
- 3) Comodidades (*amenity use*): se considera regar el jardín, lavar el auto, etc.

La cantidad de agua utilizada en el hogar es muy variable, pues depende de factores como el número de habitantes, los hábitos de éstos, el nivel socioeconómico, el clima, entre otros.

Sin embargo, existe un requerimiento fisiológico humano básico de agua para mantener la hidratación. De acuerdo con la Licenciada en Nutrición y Ciencias de los Alimentos, Marcela Salinas, una persona adulta debe consumir 1.5 litros de agua como mínimo para el buen funcionamiento del metabolismo. No obstante, dicho volumen puede ascender a 2 ó 3 litros por persona dependiendo de su actividad física, la dieta, el clima, entre otros (comunicación personal, 10 febrero 2015). Adicionalmente, la OMS establece que cada persona necesita entre 20 y 50 litros de agua sin contaminantes (químicos ni microbianos nocivos), tan sólo para beber y para la higiene (OMS, 2015; UNDP, 2006).

Por otro lado, la CONAGUA ha determinado consumos unitarios domésticos¹⁴ que se clasifican de acuerdo al tipo de usuario (clase socioeconómica): residencial, medio y popular; y al clima o temperatura media anual de la localidad (ver Cuadro 3). El volumen está dado en litros por habitante por día.

Cuadro 3. Consumo unitario por clase socioeconómica.

Clima y temperatura	Residencial	Medio	Popular
Cálido (>22°)	400	230	185
Semicálido (18°-22°)	300	205	130
Templado o frío (<18°)	250	195	100

Fuente: CONAGUA, *Manual de incremento de eficiencia física, hidráulica y energética en sistemas de agua potable*, 2012.

Aunque existen estimaciones promedio de la cantidad de agua necesaria para una persona, los contextos de cada una son muy diversos, por lo que, es complicado determinar un consumo fijo. Mas se ha demostrado que el acceso a agua confiable y limpia, y al servicio de saneamiento son esenciales para el desarrollo humano. Estos servicios extienden las oportunidades, mejoran la dignidad y ayudan en la mejora de la salud y el aumento de la riqueza (UNDP, 2006).

¹⁴ El consumo unitario doméstico indica la cantidad de agua que utiliza un habitante común en un día típico promedio en una población. Para calcular dicho consumo se divide el Consumo total doméstico diario (l/día) entre el número de habitantes servidos de la localidad (CONAGUA, 2012).

1.2.3. Problemática del agua en México

El problema del agua en México es muy complejo y está ligado a cuestiones de gestión y administración del recurso, a negligencia en la infraestructura, a inequidad en la prestación del servicio, entre otros, que en conjunto han generado, no sólo un problema en cuanto a la ineficiencia e incapacidad de asegurar el servicio de agua a los ciudadanos, sino también una degradación de los acuíferos y ecosistemas del país. Esto es, que existe una carencia de agua, tanto en cantidad como en calidad.

Desde una perspectiva del marco legal, la gestión de los recursos hídricos en México defiende la propiedad de éstos como bienes nacionales públicos, sin embargo, favorece la concesión y la transferencia de los derechos en un mercado del agua no regulado ni reconocido abiertamente (Barkin, 2011).

Constitucionalmente, se reconoce a los municipios como responsables de proveer los servicios de agua potable y saneamiento, entre otros servicios públicos, en sus ámbitos territoriales, ya sea directamente o a través de distintas formas de organización (generalmente organismos operadores¹⁵). Normalmente, cada Estado de la república mexicana cuenta con un ente estatal que asume el papel subsidiario así como funciones de carácter normativo, de apoyo técnico y de coordinación para el ejercicio de los recursos financieros provenientes tanto de la Federación como de los propios gobiernos estatales (Aguilar, 2011).

La mayor parte de los organismos locales operadores carece de los recursos financieros para modernizar su infraestructura, así como del personal y de los conocimientos para actualizar sus estructuras administrativas y sus sistemas técnicos; por ende, no están en posibilidades de cumplir con las normas hidráulicas, sanitarias, económicas y sociales establecidas para un servicio adecuado (Barkin, 2011).

De acuerdo con Pineda y Salazar (2011), se da un círculo vicioso en la administración del

¹⁵ Son organismos descentralizados de la administración municipal, organismos intermunicipales, empresas privadas u organizaciones sociales, entre otras (Aguilar, 2011).

servicio de agua potable en el que no se pueden atacar los problemas de infraestructura y contaminación por falta de recursos, y no se cuentan con recursos debido a que la tarifa por el servicio es baja, y sólo alcanza para los gastos inmediatos de la operación del servicio. No se puede aumentar la tarifa porque las deficiencias del servicio no lo justifican, además, los usuarios rechazan cualquier intento de ajuste, al prevalecer la idea de que el gobierno debe proporcionar el servicio de manera prácticamente gratuita.

Por consiguiente, las autoridades mexicanas no pueden asegurar el cumplimiento de las leyes, de los estándares nacionales y de los pagos para el acceso al agua, adicionalmente, existe abuso en la explotación de los acuíferos y ningún control sobre su contaminación. De acuerdo con Barkin (2011), el mayor impedimento para mejorar los servicios de agua, y en general los servicios públicos en México, es la ausencia de un sistema efectivo de regulación, el país carece de una capacidad independiente para vigilar el cumplimiento de la normatividad ambiental, administrativa, técnica y financiera.

Por otra parte, el modelo hidráulico del país, generalmente, recurre a la transferencia de agua entre cuencas y a la construcción de grandes presas de almacenamiento (Barkin, 2011). Existen muchas razones para afirmar que, en la actualidad, este modelo es obsoleto. Una de ellas radica en que los servicios de abastecimiento de agua, drenaje y saneamiento de aguas residuales se manejan de forma individual, sin contemplar la interrelación que existe entre ellos (Breña, 2009).

Aunado a esta falta de integración entre los tres servicios, los sistemas sufren graves problemas de infraestructura, tales como las fugas de agua a lo largo de los sistemas de distribución, los cuales son antiguos, están mal diseñados, instalados con materiales y mano de obra inadecuados y sufren de muchos años de negligencia (Barkin, 2011). Por si fuera poco, el crecimiento poblacional va en acelerado crecimiento.

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO), entre 2013 y 2030 la población se incrementará alrededor de 19 millones de personas, y para el 2030, aproximadamente, 80.4% de esa población se asentará en zonas urbanas (CONAGUA,

2013). Esto es, los sistemas de agua potable y de saneamiento deberán cubrir las necesidades de esta población en crecimiento, sin embargo, es evidente que dadas las condiciones actuales del sistema es poco probable que se cubra la demanda en el futuro.

Desde la perspectiva social, el acceso a los servicios es marcadamente diferenciado por los niveles de ingresos de la población. Esto exacerba la situación de inequidad que provoca que los pobres paguen más por su agua y reciban un servicio de menor calidad que otros grupos sociales. Esto se debe a que estas personas de bajos recursos viven en zonas apartadas, por lo que el agua tiene que pasar por diversos intermediarios y cada uno de ellos añade costos de transporte y comercialización; y cuando llega a estas comunidades los precios son muy elevados (UNDP, 2006).

Generalmente, los servicios en estas zonas marginadas son prestados mediante camiones-cisternas o tomas de agua colectivas de barrio. Y en los peores casos, en donde no existen proveedores privados, las personas, comúnmente las mujeres, deben obtener el agua de arroyos, ríos, manantiales o pozos, actividad que ocupa gran parte de su día (Barkin, 2011).

Contaminación del agua

La contaminación del agua puede ocurrir directamente por la descarga de aguas residuales crudas o tratadas a los cuerpos receptores superficiales; o indirectamente al disponer aguas residuales, excretas o residuos sólidos en el suelo, y por procesos de adsorción, transformación, lixiviación e infiltración, que alteran la calidad microbiológica y química de las aguas subterráneas (Cortés y Calderón, 2011).

Además de las emisiones y descargas asociadas con las actividades económicas, las descargas domésticas representan una de las principales fuentes contaminantes debido al uso indiscriminado de productos para el cuidado personal (shampoo, bloqueador solar, fragancias, etc.); productos de limpieza y uso frecuente (suavizantes, colorantes, condimentos, detergentes, blanqueadores, etc.); fármacos humanos y veterinarios (hormonas, analgésicos, antidepresivos, antiinflamatorios, etc.); y misceláneos (plaguicidas, solventes, hidrocarburos del petróleo, etc.). Los productos anteriores, en conjunto, emergen

como contaminantes que impactan la salud pública, la vida silvestre y el ambiente en general (Cortés y Calderón, 2011).

Por otro lado, la sobreexplotación de los acuíferos también conduce a la baja calidad del agua, debido a la intrusión salina y la presencia de aguas subterráneas salobres. Las aguas salobres se producen en acuíferos localizados en suelos con formaciones sedimentarias antiguas, someras, de origen marino y evaporítico, en donde la interacción del agua subterránea con el material geológico por el cual circula, produce el enriquecimiento con sales (CONAGUA, 2011). Dichos fenómenos son inducidos, primordialmente, por los efectos del bombeo y por la contaminación producida en las ciudades y las zonas agrícolas (Carabias *et al.*, 2005).

La Red Nacional de Monitoreo utiliza tres indicadores para evaluar la calidad de agua, éstos son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno¹⁶ (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno¹⁷ (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales¹⁸ (SST). Los sitios que muestran mayores niveles de DBO₅ son zonas altamente pobladas, principalmente las del centro del país. Los niveles más altos de DQO se encuentran en los mayores núcleos urbanos, sobre todo en las regiones centro y occidente. Finalmente, los sitios con valores mayores de SST se ubican primordialmente en zonas agrícolas (CONAGUA, 2013). La CONAGUA determinó que en el año 2009, 21 cuencas se encontraban fuertemente contaminadas en algún indicador, en dos o en los tres (CONAGUA, 2011). Las RHA con mayor contaminación son Lerma-Santiago-Pacífico y Aguas del Valle de México, las cuales se ubican en el centro del país (CONAGUA, 2013).

1.2.4. Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia

Los primeros asentamientos humanos se encontraban a orillas de cuerpos de agua, ya que el agua superficial fue la fuente principal de abastecimiento y consumo para estas primeras poblaciones. Posteriormente, aprenden a domesticar los cultivos y con ello encuentran la

¹⁶ Determina la cantidad de materia orgánica biodegradable (CONAGUA, 2013).

¹⁷ Mide la cantidad total de materia orgánica (*Ibíd.*)

¹⁸ Mide todos aquellos sólidos que no se disuelven en el agua y quedan suspendidos (*Ibíd.*)

primera aplicación al agua de lluvia, aunque no dependen de ésta para su supervivencia. Conforme las civilizaciones crecieron demográficamente, algunos pueblos tuvieron que poblar zonas áridas y semiáridas del planeta, lo que los llevó a desarrollar formas de captación de agua de lluvia para el riego de cultivos y el uso doméstico, pasando a depender directamente de ella (Ballén *et al.*, 2006).

Por lo tanto, la captación de agua de lluvia es una práctica realizada desde hace miles de años alrededor del mundo. Las primeras estructuras para la recolección y almacenamiento de agua fueron simples hoyos excavados en las rocas. Después se construyeron muros de desviación para crear un área de captación más grande (Mongil y Martínez, 2007). Aunque no se sabe con exactitud dónde tuvo sus orígenes, la mayoría de los autores coinciden en que fueron las civilizaciones de Medio Oriente y Asia las primeras en construir estructuras para la recolección de agua (Ballén *et al.*, 2006; Gould y Nissen, 1999; FAO, 2000).

En India se tiene evidencia de la utilización de sistemas de cosecha de agua, tanto para uso agrícola, como para uso doméstico hace más de 4000 años. En la provincia de Gansu, en China, hace más de 2000 años, se utilizaban jarras de arcilla que servían como depósitos de almacenaje de la escorrentía de agua de lluvia de los techos de las viviendas. Asimismo, se han descubierto cisternas enterradas en forma de botella para almacenar la escorrentía superficial. En África se ha practicado por milenios la captación de agua de lluvia mediante los aleros de los techos o con la utilización de canaletas, que dirigen el agua a jarras y ollas tradicionales (Gould y Nissen, 1999)

Entre los siglos III y IV a.c., en las viviendas unifamiliares de la ciudad de Roma, se instalaban tanques centrales (*impluvium*) para coleccionar el agua de lluvia, la cual entraba por un orificio en el techo (*compluvium*) (Ballén *et al.*, 2006). Se tiene registro de que en Venecia por 1,300 años la recolección y almacenaje de agua de lluvia de techos era la fuente principal de abastecimiento de agua hasta el siglo XVI (Gould y Nissen, 1999).

Las ruinas del palacio de Knossos, que datan del 1710 a.c., en la isla griega de Creta, albergan uno de los sistemas de captación de agua de lluvia en techos y almacenaje en

cisternas más sofisticados y estudiados alrededor del mundo. Las cisternas consistían de pequeñas piscinas en el interior de los palacios y viviendas (Anaya, 1998).

En Estados Unidos y Canadá las cisternas para almacenar agua de lluvia han sido comunes en casas y granjas aisladas desde los primeros asentamientos hasta hoy en día (Gould y Nissen, 1999). Algunos países de América Latina y el Caribe han practicado la recolección de agua de lluvia, tanto de techos como de escurrimientos superficiales, para uso doméstico por más de tres siglos. El almacenamiento se realiza en presas de tierra, estanques, jagüeyes y aljibes, los cuales siguen siendo la fuente principal de agua en algunos ejidos y ranchos (Anaya, 1998).

En Belice y Yucatán, el Imperio Maya se abastecía de agua y regaba sus cultivos a través de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia que consistía en recolectar el agua en un área de 100 a 200 m² y almacenarla en cisternas llamadas *chultuns*. Éstas medían aproximadamente 5 m de diámetro, eran excavadas en el subsuelo y cubiertas con yeso para impermeabilizarlas (Ballén *et al.*, 2006). Los *chultuns* tenían dos funciones, una como cisterna para almacenar el agua de lluvia y, otra, como silos para guardar granos alimenticios en época de secas (Durán, 2010).

Específicamente en México, principalmente en las zonas rurales áridas y semiáridas, se ha registrado, desde la época posterior a la conquista, el uso de jagüeyes¹⁹ empleados como abrevadero para animales (Galindo *et al.*, 2008).

En los siglos XIX y XX los sistemas de captación de agua de lluvia perdieron importancia debido al crecimiento de las ciudades y a los avances tecnológicos que permitieron el suministro de agua potable mediante la acumulación de agua superficial y su distribución por una red centralizada de acueducto. Asimismo, se comenzó con el abastecimiento por medio de la extracción de aguas subterráneas (Ballén *et al.*, 2006).

¹⁹También conocidos como ollas de agua, cajas de agua, trampas de agua, bordos de agua, aljibe, son depresiones sobre el terreno para almacenar agua proveniente de escurrimientos superficiales (SAGARPA, s/a).

No obstante, en las últimas décadas se ha visto un interés renovado en su utilización y en su estudio. Esta práctica se ha extendido no sólo en las zonas áridas e islas donde ya se llevaba a cabo, sino también en regiones semi-áridas y semi-húmedas (Gould y Nissen, 1999; Mongil y Martínez, 2007). De igual manera, se ha ampliado el uso a zonas urbanas y peri-urbanas.

Generalmente, cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy alto, se piensa en alternativas de abastecimiento y, precisamente, en regiones que presentan dichas condiciones se ha documentado la adopción de SCALL. De acuerdo con Ballén *et al.* (2006), actualmente, los sistemas de captación de agua son el resultado de tres factores: 1) las necesidades; 2) los recursos disponibles; y 3) las condiciones ambientales.

Sistemas de Captación de Agua de Lluvia

El objeto de estudio de esta investigación es un sistema de captación de agua de lluvia colectada en techos de viviendas y almacenada en depósitos de diversos materiales para uso doméstico.

Aunque un sistema de captación de agua de lluvia puede integrarse de diversos componentes que brindan beneficios adicionales a los usuarios, existen cuatro áreas básicas en todo sistema (ver Figura 1) (UNATSABAR, 2001; Caballero, 2006; TCEQ, 2007; Thomas y Martinson, 2007):

1) Área de captación

Es la superficie que recolecta el agua de lluvia, en este caso es el techo de la vivienda, el cual debe tener una pendiente adecuada que facilite el escurrimiento del agua hacia el área de conducción.

No todos los materiales de los techos son aceptables para la captación de agua debido a las propiedades inherentes a estos materiales. La palma, paja u hojas de otra planta, así como la

lámina de asbesto no suelen ser recomendables debido a que desprenden materia orgánica que contamina el agua, adicionalmente, los materiales orgánicos no permiten un adecuado escurrimiento del agua (UNATSABAR, 2001; FAO, 2013; Caballero, 2006).

Los materiales de los techos más comunes y recomendables para la captación suelen ser: i) lámina galvanizada, lámina de asbesto; ii) tejas de arcilla; iii) losa de concreto; iv) madera; y v) fibra de vidrio.

2) Sistema de conducción

Es el conjunto de canaletas y tuberías que conducirán el agua captada del techo hacia el depósito de almacenamiento. Comienza con las canaletas que se encuentran en el borde del techo, después los tubos bajantes y finalmente la tubería que llega al tanque de almacenamiento (Worm y Hattum, 2006).

El material utilizado para las canaletas y tubería debe ser liviano, resistente al agua y a la intemperie, y fácil de unir entre sí. Los materiales más usados suelen ser el metal (lámina galvanizada) y plástico (PVC). También pueden ser de bambú o madera, no obstante, se deterioran rápida y fácilmente, por lo que no son muy recomendables (UNATSABAR, 2001; Caballero, 2006; Worm y Hattum, 2006).

3) Interceptor de primeras lluvias (*first-flush*)

Es un dispositivo utilizado para asegurar que sólo el agua de lluvia más limpia se almacene en el tanque. Se utiliza debido a que las primeras lluvias de la temporada y, posteriormente, los primeros minutos de cada lluvia cargan la mayor contaminación de la atmósfera y limpian el techo y la tubería del sistema, por lo que se recomienda desviar esta agua para utilizarla en otras actividades como el riego de plantas, lavado de pisos, etc. (Isla Urbana, s/f; UNEP, 2004; Worm y Hattum, 2006).

Para este depósito, se puede usar un tambo de 200 litros con una llave de desagüe y con un mecanismo de desviación de agua hacia el tanque. Las primeras 4 ó 5 lluvias de la temporada se dejan correr a través del desagüe. Una vez pasadas estas lluvias, se cierra la llave del desagüe y el tambo se comienza a llenar. Los primeros 10 a 15 minutos del

aguacero son los más sucios por lo que esa agua se queda en el interceptor y con la ayuda del mecanismo de desvío de agua, el resto del agua del aguacero, que está más limpia, se almacena en el tanque o cisterna (Isla Urbana, s/f)

4) Tanque de almacenamiento

Es el depósito en donde se almacena el agua de lluvia recolectada. Debe tener la capacidad adecuada con relación al área total de captación, las condiciones de precipitación y la demanda de agua (UNEP, 2004). Es el componente que requiere la mayor inversión de todo el sistema (Worm y Hattum, 2006; Caballero, 2006), aunque depende del lugar donde se instale, ya que en las zonas urbanas depósitos como las cisternas son construidas como parte de las casas y edificios (Anaya, 1998), por lo que no se requiere de otro depósito. Sin embargo, en las zonas rurales lo anterior rara vez es cierto.

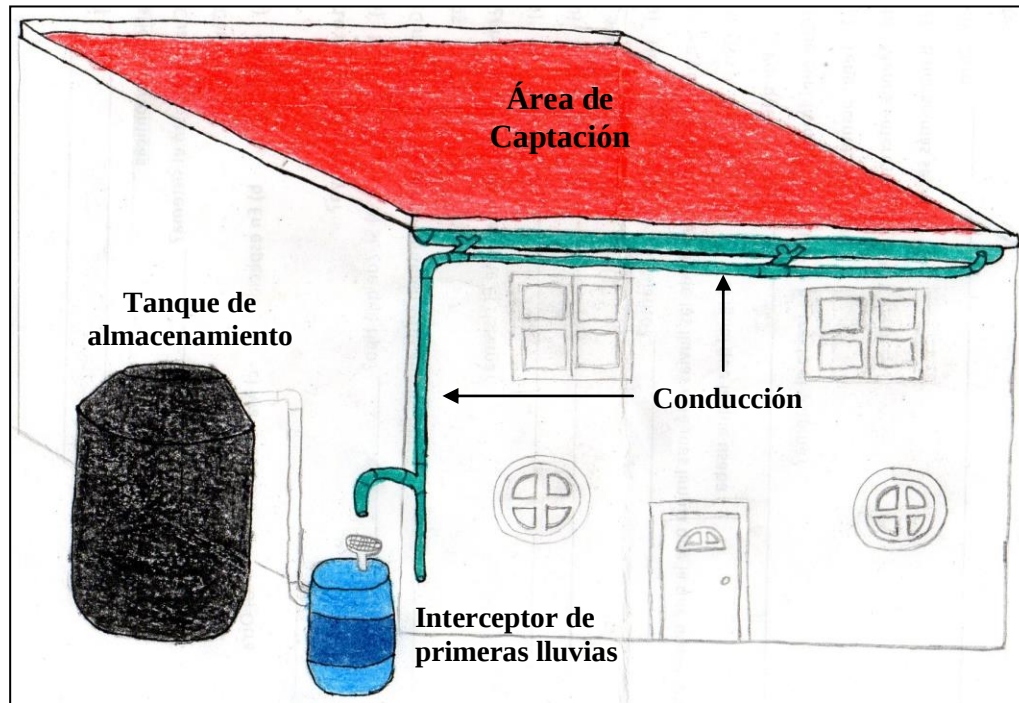
Los materiales para la construcción o fabricación de tanques de almacenamiento son muy diversos, pueden ser ladrillo, madera, mampostería, plástico (PVC), fibra de vidrio, lámina de acero galvanizada, concreto, ferrocemento, entre otros (Worm y Hattum, 2006; Caballero, 2006; UNATSABAR, 2001; UNEP, 2004). Los tanques pueden colocarse en la superficie de la tierra o bajo la tierra, es decir, enterrados. Ambos tanques, superficiales o enterrados, tienen sus respectivas ventajas y desventajas, puesto que requieren de diferentes cuidados y atenciones (UNEP, 2004; Worm y Hattum, 2006).

Sin importar el material del cual esté construido y sea superficial o enterrado, el tanque de almacenamiento de agua de lluvia debe cumplir ciertos requisitos (UNEP, 2004; Anaya, 1998; Caballero, 2006; UNATSABAR, 2001):

- Impermeable para evitar goteos o transpiración.
- Contar con una cubierta (tapa) hermética que impida el paso de insectos, polvo y la luz solar.
- Dispositivo de filtrado, tales como un filtro de grava, arena y carbón activado.
- Un agujero lo suficientemente grande para que una persona pueda entrar a limpiarlo.
- Una llave de paso.

- Un sistema de extracción del agua.
- Un sistema para eliminar demasías.

Figura 1. Componentes básicos de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia



Fuente: Elaboración propia.

Otros componentes

A pesar de que el tanque de almacenamiento incluye filtros, no siempre se consideran en el diseño del sistema, por lo que en este apartado se describen algunos filtros.

- Filtro de hojas

Además de hojas, estos filtros pueden detener el paso de otro tipo de desechos sólidos de gran tamaño. Se colocan en las entradas y/o salidas entre las tuberías bajantes y el depósito de almacenamiento. Generalmente son mallas de acero inoxidable o de materiales sintéticos que detienen los sólidos y hojas, pero dejan pasar libremente el agua. El propósito de este filtro es evitar la entrada de materia orgánica al depósito de almacenamiento (UNEP, 2004; Worm y Hattum, 2006).

- Otros filtros

Además del filtro de hojas, se suele utilizar otro tipo de filtros que remuevan sedimentos pequeños, olores, colores y sabores. El filtro más común contiene grava, arena y carbón activado (UNEP, 2004). También se pueden usar filtros prefabricados de cartuchos de papel plisado y carbón activado (Isla Urbana, s/f).

- Desinfección del agua

Para desinfectar el agua se pueden usar dispositivos como lámparas de luz ultravioleta, plata coloidal o, sencillamente cloro. El cloro y la plata coloidal se pueden colocar en el depósito de almacenamiento, mientras que la luz ultravioleta puede usarse como filtro externo en el punto de uso.

- Bombeo del agua

En la mayoría de las ocasiones el agua almacenada requiere ser bombeada, ya sea hacia otro depósito para después distribuirse a su uso final o, sin tener que pasar a un depósito, bombearla para su uso directo. Lo anterior debido a que, generalmente, el depósito de almacenamiento se encuentra a nivel más bajo que el del uso final del agua y, por lo tanto, no puede ser distribuida por gravedad. Se pueden usar bombas eléctricas, así como bombas de mecate y bicimáquinas.

1.3. Situación del agua en zonas urbanas y en zonas rurales de México

El agua y las zonas urbanas

En México, el crecimiento económico del siglo XX, dado principalmente por la industrialización, permitió la transformación de un país mayormente rural entre 1930 y 1940 a uno primordialmente urbano en el 2000 (Garza, 2002; INEGI, 2010). El Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI), determina que las zonas urbanas son aquellas en donde habitan más de 2,500 habitantes. El último Censo de Población y Vivienda 2010, contabilizó un total de 3,651 localidades urbanas equivalentes a 1.9% del total, en donde habitan 76.8% de la población del país (INEGI, 2010).

Debido a este proceso tan acelerado de urbanización, la demanda de servicios va en aumento, desde vías de comunicación, vivienda y transporte urbano, hasta agua potable, drenaje, entre otros. Sin embargo, los servicios asociados con el abastecimiento de agua, drenaje y saneamiento, mantienen coberturas muy irregulares debido al manejo inadecuado del agua (Breña, 2007). Adicionalmente, las ciudades mexicanas contemporáneas han crecido sin contemplar como estrategia básica la disponibilidad y calidad de las fuentes de abastecimiento de agua. Las ciudades en las zonas áridas y semiáridas del norte y centro del país son un claro ejemplo de lo anterior, ya que el crecimiento urbano se ha dado en espacios geográficos en donde el líquido es un recurso limitado (Ávila, 2007).

El modelo hidráulico de las ciudades tiene como soporte tecnológico la extracción de las aguas subterráneas; la construcción de grandes presas de almacenamiento y líneas de conducción y distribución; la importación de agua desde otras cuencas y su bombeo; y el manejo y disposición final de las aguas residuales a otras regiones (Ávila, 2007). Este modelo se ha considerado que funciona de forma individual e independiente, sin contemplar las interrelaciones entre los tres servicios (Breña, 2007).

Problemas con el suministro de agua a ciudades mexicanas

En una ciudad, el crecimiento urbano no puede ser infinito, dado que hay límites naturales que lo impiden, tales como la disponibilidad de agua y la capacidad de asimilación de los ecosistemas para absorber los desechos que se generan en dichos espacios. Sin embargo, los límites pueden expandirse gracias a la implementación de tecnologías, a la importación de agua de otras cuencas o la exportación de los desechos a otras cuencas lejanas (Ávila, 2002).

Las ciudades del país han sobrepasado su capacidad de carga y han provocado el deterioro de las cuencas hidrológicas. Las grandes metrópolis del país (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey) han recurrido a la exportación de agua de otras cuencas y/o han construido kilómetros en acueductos para cubrir la demanda de agua, afectando a su paso zonas naturales y regiones agrícolas (Ávila, 2002).

Los niveles de agua subterránea en las ciudades pueden disminuir debido a la extracción excesiva y a las grandes superficies impermeables que impiden la infiltración y la recarga de dichas aguas. Esta extracción amenaza la función de otros ecosistemas, reduciendo su capacidad de ofrecer servicios como agua río abajo, hábitat para la biodiversidad, entre otros. Por otra parte, la baja infiltración en las zonas urbanas altera la corriente río abajo incrementando la posibilidad de inundaciones (UNEP, 2009).

A nivel macro, la escasez de agua en las ciudades se aprecia notablemente en la demanda urbana que crece exponencialmente, mientras que la disponibilidad natural del recurso se mantiene constante o disminuye. A nivel micro, se observa en la segregación socioespacial de las ciudades que requieren condiciones diferenciales de provisión de infraestructura y equipamiento urbano, lo que supone un abastecimiento deficiente de agua, sobre todo en los asentamientos populares en donde habitan los pobres urbanos (Ávila, 2007).

Los servicios de agua en la mayoría de las zonas urbanas de mayor población en México son brindados por organismos públicos descentralizados, pero al no contar con la respuesta del Estado para proporcionarles los servicios necesarios, los pobres urbanos comienzan un proceso de gestión urbana del agua. El vacío del Estado es cubierto por otros actores sociales como líderes y partidos políticos, organizaciones urbanas, vendedores de agua o pipas. Las respuestas de estos actores sociales se convierten en la solución de los problemas asociados a la urbanización, mas no siempre suelen ser respuestas eficientes (Ávila, 2007).

Captación de agua de lluvia en zonas urbanas

Muchas de las ciudades y de las zonas periurbanas de los países en desarrollo, no cuentan con fuentes mejoradas de agua. En muchas ocasiones, aunque cuenten con algún tipo de suministro de agua, éste suele ser intermitente y/o muy costoso. Por lo anterior, la colecta de agua de lluvia suele ser una fuente suplementaria valiosa para el agua de uso doméstico (Gould y Nissen, 1999).

Sin embargo, en el contexto urbano actual, la captación de agua de lluvia no es una práctica muy común. A partir del año de 1990 ha habido un creciente interés por los sistemas de captación de agua pluvial en estas regiones. De acuerdo con Gould y Nissen (1999) algunos de los principales factores, independientemente del acceso al agua, que impiden el uso y adopción de los SCALL en las ciudades son los siguientes:

- el precio unitario del agua suele ser muy bajo a diferencia de las zonas rurales, donde los SCALL representan una opción rentable a comparación de otras fuentes de agua;
- los niveles de contaminación atmosférica son mayores dentro y alrededor de las ciudades, lo que provoca que la calidad del agua de lluvia no sea adecuada para ciertos usos;
- los espacios son reducidos y los precios del terreno son altos, por lo que la instalación, sobre todo de los depósitos de almacenaje, puede ser impráctica y costosa.

No obstante, cabe mencionar, que los SCALL representan diversas ventajas secundarias dentro de una ciudad. De acuerdo con la UNEP (2002; 2009), estas ventajas incluyen:

- pueden co-existir y ser un buen suplemento a otras fuentes de agua, reduciendo la presión sobre las mismas;
- pueden reducir el riesgo de inundaciones en las calles de las ciudades;
- pueden proveer una oferta de agua extra en casos de emergencia, tales como desastres naturales o fallas en los sistemas públicos de suministro de agua;
- ahorro de energía al reducir el bombeo del agua de las presas a las tuberías de distribución;
- los usuarios de los sistemas de captación suelen ser los dueños quienes operan y manejan el sistema, por lo tanto, tienen control sobre el mantenimiento de éste y sobre el volumen de agua usada y;
- las tecnologías de los SCALL son flexibles y pueden ser construidas para casi cualquier requerimiento.

El agua y las zonas rurales

El 84% de la población mundial que no tiene acceso a una fuente mejorada de agua vive en zonas rurales. Por otro lado, siete de cada 10 personas sin acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas viven en zonas rurales (OMS, 2010). Las fuentes de agua potable no mejoradas incluyen: pozos excavados no protegidos, manantiales no protegidos, aguas superficiales, agua distribuida por un vendedor, agua distribuida por un camión cisterna. Las instalaciones de saneamiento no mejoradas pueden ser letrinas de pozo sin losa o plataforma o pozo abierto, letrinas suspendidas, defecación al aire libre, tanques sépticos (OMS, 2012).

En la región de América Latina y el Caribe, la mayoría de las personas sin acceso a los servicios de agua potable y saneamiento son pobres y viven en zonas rurales. Los principales problemas para la dotación de estos servicios se deben a la escasa capacidad y cultura de pago y, a los altos costos de construcción y operación, puesto que estas zonas se encuentran lejos de las redes existentes y en áreas topográficamente más complicadas. Generalmente, las soluciones tecnológicas de abastecimiento de agua y desalojo de aguas residuales en las zonas rurales, no aseguran un nivel adecuado de calidad o funcionalidad de los servicios (Jouravlev, 2004).

Algunos expertos han clasificado en tres grupos a las localidades: 1) las localidades de menos de 10,000 habitantes, 2) las localidades entre 10,000 y 50,000 habitantes y 3) las localidades mayores a 50,000 habitantes. El tamaño de localidad determina, de cierta manera, la capacidad para administrar y gestionar las prestaciones de servicios de agua potable y saneamiento, por lo que, la cobertura de los servicios disminuye con el tamaño de la localidad (Aguilar, 2011).

En México, de acuerdo con el INEGI, se considera que una zona es rural cuando habitan en ella 2,500 o menos habitantes. El Censo de Población y Vivienda determinó que en el 2010 existían un total de 188,593 localidades rurales que representan un 98.1% de las localidades del país y concentran tan sólo el 23.2% de la población (INEGI, 2010).

Problemas con el suministro de agua a las zonas rurales

El problema principal del modelo hidráulico en el país son sus altos costos ambientales, sociales y económicos que se expresan claramente en el impacto negativo que tienen sobre los espacios rurales al desviar agua de buena calidad hacia las ciudades, recibir los desechos urbanos en sus ríos y cuerpos de agua, y ver limitadas sus posibilidades de desarrollo regional (Ávila, 2007).

Adicionalmente a la disparidad cuantitativa de cobertura de los servicios de agua entre zonas urbanas y rurales, existen diferencias en las características cualitativas que reflejan inequidad. La cobertura de agua potable en áreas rurales se determina principalmente por viviendas que cuentan con el servicio fuera de la vivienda, pero dentro del predio, mientras que en las ciudades se determina por viviendas que cuentan con el servicio al interior de éstas. Con respecto a la cobertura de drenaje, se determina que en zonas rurales el servicio está cubierto si la vivienda cuenta con fosa séptica, en contraste con las zonas urbanas en donde está determinado únicamente por las viviendas conectadas a la red pública de alcantarillado. Esta situación representa un efecto importante en la salud de las familias que habitan en zonas rurales bajo estas condiciones (Aguilar, 2011).

Los organismos operadores que gestionan la administración y distribución del agua potable concentran su atención en las cabeceras municipales y en ciudades de tamaño medio y grande. La atención a localidades rurales y ciudades pequeñas se lleva a cabo a través de los entes estatales. Sin embargo, las leyes estatales que regulan la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento han evolucionado para fortalecer la prestación de éstos a las cabeceras municipales y otras ciudades medias, incluidas las metrópolis, dejando, nuevamente, desprotegidas a las zonas rurales que no son atendidas por las organizaciones públicas ni privadas (*Ibíd.*).

Cabe mencionar lo establecido por el PNUD: *“la prestación universal de servicios sociales básicos se basa ante todo en la premisa de que todos los seres humanos deben estar facultados para vivir una vida que valoren, y que el acceso a ciertos elementos básicos de una vida digna debe desvincularse de la capacidad de pago de las personas”* (PNUD,

2014, pág. 94).

Captación de agua de lluvia en zonas rurales

En las zonas rurales la captación de agua pluvial se ha dado de forma tradicional a lo largo del tiempo. Actualmente, el interés por esta práctica se ha expandido rápidamente tanto en las zonas rurales donde ya se llevaba a cabo como en las zonas donde no se conocía (Gould y Nissen, 1999).

Antes del año de 1970 los sistemas de captación de agua de lluvia eran de uso casi exclusivo en zonas rurales que carecían de formas alternativas de suministro, como islas y zonas áridas aisladas que no contaban con fuentes superficiales o subterráneas de agua. Después de este mismo año, diversos factores permitieron la implementación de SCALL en zonas rurales sin o con poco suministro de agua, dichos factores incluyen (Gould y Nissen, 1999):

- el acceso a materiales impermeables para el techo, tales como tejas o lámina corrugada reemplazando materiales tradicionales como paja o palma;
- el desarrollo de cisternas de bajo costo, ferrocemento, por ejemplo;
- problemas con las fuentes de agua subterráneas y superficiales, como salinización y contaminación;
- el incremento de la demanda de agua en las áreas rurales debido al crecimiento poblacional;
- un creciente énfasis en el desarrollo rural para evitar que el rápido crecimiento de la población alcanzara las zonas urbanas;
- el fracaso de sistemas convencionales de abastecimiento de agua derivado de problemas con la operación y el mantenimiento.

En las comunidades rurales, generalmente, el agua se requiere para uso doméstico y para uso agrícola, pecuario y/o acuícola. La captación de agua de lluvia permite a las personas de las comunidades manejar su propia agua y satisfacer las necesidades para estos usos.

Esta práctica puede suministrar agua que ayude a acelerar el desarrollo social y económico de las familias en las áreas rurales; reducir la pobreza y generar ganancias mediante el mejoramiento del rendimiento agrícola, modificar el método de producción, promover la conservación ambiental, entre otras (UNEP, 2009).

1.4. Justificación

El acceso al agua fue declarado por la ONU en el 2010 como un derecho humano. Sin embargo, existen millones de personas en México sin acceso a agua potable ni a sistemas de saneamiento. Estas personas gastan grandes cantidades de dinero o tiempo en conseguir dicho recurso, y bajo las estrategias convencionales no tendrán una solución en el corto ni mediano plazo. Se deben entonces encontrar opciones eficientes, económicas, descentralizadas, así como social y ambientalmente sustentables para que las personas sin acceso a agua resuelvan esta necesidad.

Los SCALL son opciones que han tenido bastante difusión y presentan características que los hacen atractivos como fuente de suministro de agua. Actualmente, existen diversas asociaciones, organizaciones, instituciones, universidades, instancias gubernamentales, entre otras, que apoyan y ayudan, a las personas que así lo requieran o deseen, a implementar SCALL. En México, han logrado reconocimiento, inclusive internacional, dos asociaciones civiles, por sus numerosos casos de éxito: Isla Urbana, A.C., que es un proyecto del Instituto Internacional de Recursos Renovables, A.C. (IRRI por sus siglas en inglés); y Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, A.C.

Se ha adquirido bastante conocimiento de la eficacia, utilidad, practicidad económica y ventajas del uso de los SCALL. Sin embargo, no es suficiente con la implementación de estas tecnologías, ya que los beneficios y mejoras en el bienestar de las personas se perciben sólo si existe un uso sostenido de la ecotecnología. Por ello, aún hace falta profundizar la investigación sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos, tanto directos como indirectos, que se generan a mediano y largo plazo por el uso de estos sistemas. Asimismo, hay una carencia en la información sobre la adopción y el uso

sostenido de estos sistemas, pues se desconocen las motivaciones de los usuarios por apropiarlos. Esta investigación pretende comenzar a llenar el vacío de información con respecto a lo mencionado anteriormente para ser el parteaguas de investigaciones subsecuentes, y de la creación de un marco metodológico aplicable a la evaluación de ecotecnologías.

Este trabajo analiza dos estudios de caso, ambas asociaciones civiles, que han trabajado en el diseño, innovación e implementación de SCALL para uso doméstico en localidades que viven con escasez de agua en México. El primer estudio de caso es Isla Urbana, quienes, desde hace 5 años, instalan SCALL en zonas urbanas y periurbanas marginadas en la Ciudad de México con la ayuda financiera de diversas instituciones y recursos provenientes de su propia empresa. El estudio se llevó a cabo en dos localidades de la Ciudad de México en la Delegación Xochimilco, Tehuixtitla y Tecalipac. El SCALL que implementan cuenta con un sistema de pretratamiento de agua, éste incluye una trampa de hojas y un sistema de desvío de primeras lluvias llamado “Tlaloque”, innovación patentada y diseñada por ellos mismos. Además, incorpora filtros prefabricados, uno de papel plisado y otro de carbón activado. El depósito de almacenamiento empleado es un tinaco de plástico. El sistema es instalado por personal capacitado de la asociación y los usuarios suelen aportar del 10% al 20% del costo del sistema, en algunas ocasiones, contribuyen en especie o con comida para los instaladores.

El segundo, es Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo (Pro Cuenca de ahora en adelante), quienes construyen SCALL en comunidades rurales de la Cuenca del Valle de Bravo-Amanalco²⁰ desde hace 10 años, y lo hacen con la ayuda de donativos, tanto de instituciones como de público en general. El estudio se realizó en dos comunidades rurales, Rincón de Estradas localizada en el municipio de Valle de Bravo, y Mesas de San Martín ubicada en el municipio de Villa de Allende. El sistema que construyen incluye un lavadero, una pileta y un sistema de saneamiento de aguas grises. La cisterna que construyen es de ferrocemento enterrada. También, cuentan con un filtro de arena y una

²⁰ La Subcuenca del Valle de Bravo-Amanalco forma parte de la Cuenca del Balsas ubicada al poniente del Estado de México. El territorio de la subcuenca ocupa ocho municipios mexiquenses: Valle de Bravo, Amanalco, Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria, Temascaltepec, Zinacantepec y Almoloya de Juárez (extraído de: <http://portal2.edomex.gob.mx/>).

bomba de mecate para extraer el agua de la cisterna a la pileta. Los usuarios participan en grupos de trabajo en donde aprenden a construir su sistema; por lo tanto, contribuyen al sistema con la mano de obra y en especie.

1.5. Pregunta de investigación

Existe un rico acervo de experiencias en México sobre ecotecnologías, en particular sobre aquellas que tratan el tema del agua²¹. Sin embargo, la mayor parte de la información existente versa sobre las características de los dispositivos, los enfoques de los grupos y el número de dispositivos instalados o vendidos. Se cuenta, por el contrario, con poca información sistematizada sobre el uso y el monitoreo de las ecotecnias, actividades críticas, pues no basta con desarrollar, difundir e implementar la ecotecnología: si ésta no es adoptada y usada de manera sostenida no habrá impactos en la vida de los usuarios ni en el ambiente (Ortiz *et al.*, 2014).

Las experiencias muestran que la mayoría de los proyectos e iniciativas que implementan ecotecnologías, terminan el compromiso en cuanto el dispositivo es entregado al usuario, sin darle un seguimiento y, como consecuencia, sin tomar datos de los impactos derivados del uso a mediano y largo plazo generados por el uso de los dispositivos (Ortiz *et al.*, 2014).

Esta situación se ha constatado también para los SCALL, y surgen algunas preguntas de investigación relevantes en torno a ellos. Específicamente, la pregunta central de este estudio es: ¿qué impacto ambiental, social y económico se genera por el uso del SCALL en las familias que lo adoptan? De dicha pregunta surgen otras: ¿cuáles son los factores que inciden en la adopción y uso sostenido de los SCALL? ¿Son los impactos diferentes en el contexto urbano y en el rural? ¿El modelo de difusión de la tecnología influye en la adopción y uso de los SCALL?

²¹ Para una revisión del tema, consultar Ortiz, J., Masera, O. y Fuentes, A., *La ecotecnología en México*, 2014.

1.6. Objetivos

Objetivo General

Evaluar los impactos ambientales, sociales y económicos derivados de la adopción y uso de los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en dos estudios de caso en México.

Objetivos Específicos

Impacto ambiental

- Calcular el porcentaje de autosuficiencia: porcentaje de las necesidades domésticas de agua que se cubren con el agua captada por el sistema.
- Determinar la captación promedio: capacidad de captación promedio de los sistemas en los hogares.

Impacto social

- Determinar el grado de difusión de los sistemas de captación de agua pluvial: relación entre el total de viviendas y el total de sistemas implementados.
- Determinar cantidad de personas que usan el sistema: relación entre el total de sistemas muestreados y los que se usaban en el momento del estudio.
- Conocer la facilidad de operación de los sistemas: practicidad en el uso y mantenimiento de los sistemas.
- Identificar las cuestiones culturales asociadas al saneamiento del agua de lluvia: sistemas que cuentan con algún tipo de purificación de agua (filtros), así como la percepción de los usuarios en cuanto a la pureza del agua de lluvia.

Impacto económico

- Estimar los costos del sistema: costos de inversión y costos de operación (materiales, implementación, mano de obra, mantenimiento) de los SCALL.
- Calcular el tiempo de recuperación de la inversión: tiempo en que las familias tardan en recuperar el costo inicial de inversión.

Factores para la adopción y uso

- Analizar los indicadores de cada impacto para identificar factores que influyen en la adopción y uso de los sistemas.

Diferencias entre contexto urbano y rural

- Comparar los indicadores más relevantes entre los estudios de caso para identificar diferencias entre ambos contextos.

Difusión de tecnología y adopción de SCALL

- Identificar la estrategia de difusión empleada en cada estudio de caso y analizar con respecto a la adopción de la ecotecnia para determinar relaciones entre ellas.

Marco metodológico

- Formular recomendaciones para la creación de un marco metodológico de investigación que permita la evaluación de impactos generados por el uso sostenido y la adopción de los SCALL, que también pueda desarrollarse y aplicarse a ecotecnologías en general.

CAPÍTULO II

Marco conceptual

En el presente capítulo se definen algunos conceptos y teorías clave que permiten la comprensión del objeto de estudio y de los principales procesos que se investigan en este estudio.

2.1. Ecotecnología e Impacto

El concepto de ecotecnología aún no tiene una definición específica, es un término relativamente nuevo. Generalmente, en la literatura científica la definición hace referencia a la ingeniería ecológica (Ortiz *et al.*, 2014) y a dispositivos y tecnologías que tienen un impacto menor sobre el ambiente. Sin embargo, los avances más recientes sobre el tema se encuentran en la publicación de Ortiz, J., Masera, O. y Fuentes, A. (2014), de la cual se toma la siguiente definición de ecotecnología: “dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente y buscan brindar beneficios sociales y económicos tangibles a sus usuarios, con referencia a un contexto socio-ecológico específico”.

En este sentido, se entiende al sistema de captación de agua de lluvia como una ecotecnología dado que es un dispositivo que genera beneficios sociales y económicos a los usuarios de un contexto determinado, además de que tiene implicaciones positivas en el ambiente.

Por otro lado, el concepto de impacto es muy amplio y se utiliza en múltiples áreas. Para fines de este estudio se toma como referencia la definición empleada por la Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos (IAIA por sus siglas en inglés), la cual determina que un impacto es “la diferencia entre lo que pasaría con la acción y lo que ocurriría sin ella” (IAIA, 2009). En este caso, son las condiciones que cambian, tanto en el ambiente como en la vida de las familias a nivel económico y de bienestar, después de adquirir un sistema de captación de agua de lluvia.

Asimismo, se ha incluido el concepto de adopción y uso sostenido. El estudio de ambos criterios permite un mejor entendimiento del proceso como las personas aceptan una tecnología nueva y mantienen su uso a lo largo del tiempo. Esto a su vez permite que todos los actores involucrados en la difusión e implementación de ecotecnologías mejoren e innoven el diseño, funcionamiento, difusión, y las estrategias de monitoreo de éstas. A continuación se describen brevemente dichos conceptos y teorías.

2.2. Difusión de innovaciones tecnológicas

Esta teoría elaborada por Rogers en 1983, hace referencia a la forma en que las nuevas ideas, en este caso ecotecnologías, son presentadas y transmitidas a través de ciertos canales de comunicación en un periodo de tiempo entre los miembros de un grupo social. Cuando se habla de innovación, o de algo nuevo, se entiende que existe un grado de incertidumbre, pues ésta implica la falta de previsibilidad, de estructura, y de información. De hecho, ésta última es una de las vías por las cuales se puede reducir la incertidumbre. Una innovación tecnológica debe proveer e incluir información, por lo tanto, reduce la incertidumbre sobre la relación de causa-efecto en la solución de problemas.

El autor considera que una innovación debe presentar ciertas características que le permitan explicar su grado de adopción, éstas son:

- a) Ventaja relativa, es el grado en que una innovación es percibida como mejor que la idea que sustituye.
- b) Compatibilidad, es el grado en que una innovación es percibida como congruente con los valores, las experiencias pasadas y las necesidades de los usuarios potenciales.
- c) Complejidad, es el grado en que una innovación es percibida como difícil de entender y usar.
- d) Capacidad de prueba, es el grado en que una innovación puede probarse, o experimentarse con ella de manera limitada.
- e) Visibilidad, es el grado en que los resultados de una innovación son visibles para otras personas.

Los canales de comunicación por los que una innovación se transmite son diversos. Por ejemplo, los medios de comunicación masiva son, quizás, los más rápidos y efectivos en los que una innovación puede transmitirse. Sin embargo, la comunicación interpersonal, es decir, cara a cara, puede ser la mejor manera de persuadir a alguien de adoptar una nueva idea al compartir experiencias de quienes ya adoptaron con los que no han adoptado la idea. En este sentido, la difusión en sí misma da lugar a un cambio social, entendiendo éste como un proceso por el cual una alteración ocurre en la estructura y funcionamiento de un sistema social (Rogers, 1983).

Finalmente, Rogers enfatiza la importancia de estudiar las consecuencias resultantes de las innovaciones, las cuales describe como los cambios que le ocurren a un individuo o a un sistema social como resultado de la adopción o rechazo de una innovación. Esta definición es similar a aquella sobre impacto descrita párrafos arriba, de esta manera podemos darnos cuenta de la interrelación entre la adopción de una tecnología y las consecuencias (o impactos) que trae consigo, ya que dichas consecuencias son el fin último de la difusión de una innovación.

2.3. Adopción de tecnologías

Dentro de su teoría, Rogers (1983) define el grado de adopción como la velocidad relativa en la que una innovación es adoptada por los miembros de un sistema social. Generalmente, la adopción se mide con respecto al número de individuos que adoptan la tecnología en un periodo de tiempo determinado. El autor clasifica a los adoptadores dentro de las siguientes categorías conforme éstos van adoptando la tecnología a través del tiempo:

- 1) Innovadores, o agentes de cambio, son aquellos quienes adoptan la innovación por primera vez y la introducen al sistema social;
- 2) Adoptadores tempranos, son los líderes dentro de un sistema social, son a quienes los demás miembros del grupo social acuden para recibir consejo e información sobre la nueva tecnología, sirven como modelo a seguir para el resto de los miembros;
- 3) Mayoría temprana, estas personas adoptan la nueva idea antes de que la mayoría de

los miembros de su grupo social lo hagan, no son quienes prueban la nueva idea, pero tampoco son los últimos en adquirirla;

- 4) Mayoría tardía, son aquellos quienes adoptan la innovación después de que la mayoría de los miembros de su grupo social lo hacen, pues suelen ser escépticos ante lo nuevo, por lo general, no cuentan con muchos recursos; y
- 5) Rezagados, son las últimas personas en adoptar la innovación dentro de su grupo social porque no confían en las innovaciones ni en los agentes de cambio, sus ideas y valores son tradicionalistas y no adoptan la tecnología hasta estar seguros de que tendrá éxito y no desperdiciarán sus recursos.

Además de los atributos de una innovación descritos con anterioridad, Rogers (1983) considera otros factores contextuales importantes para explicar el grado de adopción:

- I. El tipo de decisión con respecto a la innovación: hace referencia al número de personas involucradas en la toma de decisión de adoptar o no una idea. Afirma que entre mayor sea el número de personas involucradas, más lento será el grado de adopción.
- II. Medios o canales de comunicación: éstos influyen en el grado de adopción en la forma en la que la nueva idea es transmitida, si se usa un medio de comunicación erróneo el grado suele ser lento.
- III. Las características del sistema social: que se refiere a las normas dentro de ésta y a las redes de comunicación interpersonal que existen entre los miembros de este sistema.
- IV. El alcance de la promoción-difusión por parte de los agentes de cambio: la relación entre este factor y el grado de adopción no es directo ni linear, pero tiene relevancia, pues los agentes de cambio son los encargados de difundir la innovación y elegir personas clave, como líderes, para aumentar las probabilidades de éxito en cuanto a la adopción de la innovación.

Por otro lado, Revoredo *et al.* (1995) consideran que dentro del proceso de adopción existen diferentes tipos de ésta: a) adopción potencial, entendida como la adecuación de una

propuesta tecnológica a los recursos y características del lugar donde será implementada; b) adopción de la tecnología, es el proceso mental por el cual pasa un individuo desde el primer momento en que oye hablar de una tecnología, hasta su adopción final; y c) adopción final, el grado de uso de una tecnología en el largo plazo después de que se tiene completa información sobre dicha tecnología y su potencial.

En el estudio sobre adopción y uso sostenido de estufas mejoradas de leña, Ruiz-Mercado *et al.* (2011) mencionan que el proceso de adopción comienza cuando el usuario acepta la construcción o instalación de la estufa, pero es con el uso a largo plazo que la decisión de adoptar el dispositivo se traduce en acción. A través del periodo de tiempo, la variedad y la regularidad de uso se determina la magnitud de adopción. A nivel de una población, identifican tres etapas en el proceso de adopción: 1) aprendizaje - adaptación; 2) estabilización - uso sostenido; y 3) abandono de la tecnología.

2.4. Uso sostenido de tecnologías

Dentro de la literatura, el uso sostenido de una tecnología también se entiende como apropiación de tecnología o post-adopción, en la región escandinava, inclusive, se le denomina domesticación²² (Overdijk y Diggelen, 2006; Ylipulli *et al.*, 2014). La diferencia entre adopción y uso sostenido de una tecnología radica en los criterios que toma en consideración cada una: la primera tiene que ver con el *periodo de tiempo* en el que se adopta; y en la segunda es el *tiempo de uso* y las *formas variadas* en las que la tecnología se usa.

Es decir que para el uso sostenido los intereses son la forma en que el uso de la tecnología va evolucionando a lo largo del tiempo (regularidad y variedad de usos), el uso continuo, o por el contrario, el abandono, además de los resultados del uso de la tecnología (el impacto, la integración de la tecnología a la vida de los usuarios, entre otros) (Shih y Venkatesh, 2004). Es precisamente este último aspecto, por lo que el uso sostenido es un proceso

²² En esta región el marco utilizado para estudiar la apropiación tecnológica se ha desarrollado en torno a la adopción de tecnologías en hogares, por ello se le denomina domesticación. También, se habla de conceptos como “re-domesticación” al volver a usar una tecnología y “de-domesticación” al dejarla de usar (Ylipulli *et al.*, 2014).

mucho más largo que el de la adopción, pues sólo a largo plazo es cuando se pueden visualizar los beneficios esperados para los cuales la tecnología fue diseñada (Ruiz-Mercado *et al.*, 2011).

De acuerdo con Overdijk y Diggelen (2006), la apropiación de una tecnología ocurre cuando alguien la usa para realizar una actividad específica, mientras que las propiedades de la tecnología y las acciones para realizar dicha actividad con la ayuda de la nueva tecnología, aún no son familiares las unas con las otras. Por ello, la apropiación de la tecnología implica un cambio no sólo en el conocimiento y las habilidades del usuario, sino también en las propiedades de la tecnología. Es decir, existe una influencia mutua entre ambos “actores”. La apropiación tecnológica implica un proceso de construcción social en el que las acciones y pensamientos del usuario se van moldeando por el uso de la tecnología, y el sentido y efecto de la tecnología se moldean por las acciones del usuario. En este sentido, el enfoque socio-constructivista afirma que las tecnologías se moldean por la sociedad, y la tecnología toma su forma y sentido en la interacción, pues no es un artefacto estable con características independientes de la práctica.

Por otro lado, la psicología clásica afirma que percibimos los objetos en tanto que distinguimos sus propiedades o cualidades. Pero para Gibson (1986) lo que percibimos cuando vemos un objeto no son sus propiedades ni cualidades, sino lo que ese objeto puede ofrecernos. La teoría desarrollada por Gibson, se aplica en materia ambiental, postula que las oportunidades (*affordances*) del ambiente son lo que éste ofrece al animal, lo que le puede proveer o suministrar, ya sea para bien o para mal. Menciona que el proceso de percepción de dichas oportunidades radica en la identificación de un objeto con un valor ecológicamente alto. Las oportunidades de una cosa no cambian conforme cambian las necesidades del observador. Esto es, una oportunidad, la cual es invariante, no es otorgada a un objeto por la necesidad de un observador o su percepción, por el contrario, “*el objeto ofrece lo que ofrece porque es lo que es*” (Gibson, 1986, p. 129), es decir, que la oportunidad que ofrece la tecnología siempre está ahí para ser percibida sin importar quién sea el observador y su necesidad.

Para DeSanctis y Poole (1994) el impacto de una tecnología puede entenderse a través de que ésta permite la disponibilidad de ciertas reglas y recursos, que sin la tecnología sería difícil de obtener, y los cuales se pueden usar en el proceso de estructuración de un grupo social. La estructuración hace referencia al proceso en el cual los sistemas son producidos y reproducidos por el uso que le dan los miembros de un grupo social a las reglas y recursos de una tecnología. Bajo el enfoque de su teoría de Estructuración Adaptativa, los autores definen la apropiación de una tecnología como el modo en que un grupo usa, adapta y reproduce una estructura.

Ylipulli (2014), y Overdijk y Diggelen (2006) coinciden en que la apropiación es un proceso en el que los usuarios “le dan sentido” a las propiedades de la herramienta tecnológica para realizar una actividad determinada. Esto significa que el usuario adapta e integra la innovación a sus actividades diarias, lo que permite el cambio en la propia tecnología, el usuario y su contexto.

CAPÍTULO III

Metodología

En este capítulo se presenta brevemente la perspectiva metodológica elegida para llevar a cabo la investigación. Asimismo, se describe el proceso de recolección de la información y las herramientas utilizadas para ello, además de la estructura de cada una. También, se explica la forma en la que se obtuvo cada indicador para su análisis.

3.1. Enfoque metodológico

De acuerdo con Taylor y Bogdan (1987) la metodología hace referencia a cómo nos enfocamos al problema de investigación y la manera en que buscamos las respuestas. El enfoque metodológico es la perspectiva o paradigma que guía la investigación. Para este estudio se empleó la investigación cualitativa basada en el enfoque interpretativista. Bajo dicho enfoque, la realidad se define a través de las interpretaciones de los participantes respecto a sus propias realidades (Hernández *et al.*, 2010), por lo que las preguntas de investigación buscan respuesta a través de la perspectiva de los propios actores (Taylor y Bogdan, 1987). El investigador identifica las experiencias de las personas con respecto a un fenómeno en particular tal como éstas lo describen (Creswell, 2003).

Como se mencionó, la investigación cualitativa se basa en la interpretación, es decir, el investigador hace una interpretación de los datos. Esto se lleva a cabo desarrollando una descripción del individuo o escenario/ambiente, analizando los datos por temas o categorías y, finalmente, interpretando y/o elaborando conclusiones sobre su significado personal y/o teórico (Creswell, 2003). Por esta razón y por la cualidad de las muestras, los datos en este tipo de investigación no pueden estar sujetos a análisis estadístico. Sin embargo, el hecho de que no se puedan hacer declaraciones estadísticas, no significa que los resultados sean inválidos.

Asimismo, se eligió el enfoque cualitativo debido a que es el ideal cuando el tema de investigación ha sido poco explorado, o no se ha hecho investigación al respecto en un

grupo de personas específico (Hernández *et al.*, 2010), ambas afirmaciones ciertas para el caso del presente estudio. La metodología cualitativa recolecta datos descriptivos, es decir, las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable, lenguaje no verbal (Taylor y Bogdan, 1987). Esta manera de hacer investigación es inductiva, esto es, el conocimiento y entendimiento se generan a partir de los propios datos, y no recolectando datos para probar hipótesis, evaluar modelos o teorías preconcebidos (Taylor y Bogdan, 1987).

Cuando se habla de validez (algunos investigadores la llaman rigor) en la investigación cualitativa, surgen diversos conceptos, algunos de ellos son *credibilidad*, *autenticidad*, *confiabilidad*, *transferencia de resultados*, entre otros. La validez de los resultados en la investigación cualitativa ocurre durante los pasos de todo el proceso de investigación (Creswell, 2003). De acuerdo con Vasilachis (2006), la validez de la investigación cualitativa se evalúa con referencia al tema que se estudia, por lo que reposa en el origen de los resultados, y se logra cuanto menos se tergiversen las acciones y palabras del sujeto estudiado.

Otros autores mencionan diversas estrategias que el investigador puede realizar para lograr validez y credibilidad de sus datos. Algunas de ellas, y las que se usaron en este estudio, son: i) descripciones amplias y detalladas para transmitir los resultados, es decir, de los sujetos de estudio, el contexto y condiciones en que se llevó a cabo la investigación; ii) presentar información discrepante o “negativa”; iii) justificación y explicación clara del modo de proceder durante la investigación; y criterios de selección de los participantes y herramientas de recolección de datos (Creswell, 2003; Hernández *et al.*, 2010).

Tal como lo mencionan Drury *et al.* (2010), las investigaciones cualitativas se enfocan en la calidad de los datos asociados a cada sujeto estudiado, más que en el número de sujetos estudiados; reconociendo que las generalizaciones estadísticas son no más que una vía por la cual el diseño de la investigación puede representar a una población. Los problemas que este enfoque estudia permiten el surgimiento de ciertos resultados, y la forma que éstos

toman y las cuestiones que éstos desarrollan son los que pueden ser transferidos a otros contextos, mas no sus patrones cuantitativos y relaciones estadísticas.

3.2. Recolección de la información

Revisión bibliográfica

En primera instancia, se realizó investigación sobre la situación del agua en el mundo y, posteriormente, en México a partir de artículos científicos, datos censales, libros, tesis y páginas de internet. Asimismo, se hizo una revisión de literatura sobre la historia y antecedentes de los SCALL en general y, particularmente, en zonas urbanas y rurales. Lo anterior con el propósito de conocer la situación actual de la implementación de los sistemas en cada zona y contextualizar ambos estudios de caso. Igualmente, se hizo una revisión de literatura para definir y describir los conceptos y teorías explicados en el Capítulo II que sirvieron de base para elaborar la discusión.

Entrevista

La entrevista es una herramienta utilizada en investigaciones de carácter cualitativo con el fin de conversar e intercambiar información entre una persona y otra, u otras (Hernández *et al.*, 2010). Se eligió dicho instrumento por su flexibilidad, facilidad económica y de aplicación.

Se elaboró la entrevista con preguntas estructuradas dirigidas a los directores de las asociaciones (ver [Anexo 1](#)). En el caso de Isla Urbana se entrevistó a David Vargas, presidente de servicio y productos; y en Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo se entrevistó a Ignacio Gómez Urquiza, quien en el momento del estudio ocupaba el cargo de director general. Posteriormente, el director general fue Sandro Cusi con quien se coordinó el trabajo de campo. Las entrevistas se llevaron a cabo en lugares públicos aptos para la grabación de audio, es decir, lugares libres de interrupciones y buena acústica.

Con fines de sistematización, la entrevista se estructuró bajo cuatro ejes propuestos por Ortiz *et al.* (2014): desarrollo, validación, difusión y monitoreo. Esta categorización se usó por los autores para describir ecotecnias y actores involucrados en ellas, para el caso de este estudio se tomó como base para exponer el proceso de trabajo realizado por las asociaciones, sin perder de vista la intención de cada categoría. El *desarrollo* hace referencia al surgimiento de la asociación y del propio proyecto de los SCALL, los actores que forman parte del proyecto, los objetivos que persiguen, su forma de organización, y los planes a futuro. También se describen los SCALL que cada asociación implementa, sus características técnicas, económicas y los beneficios conocidos que genera su uso. La *validación* se refiere a certificaciones y pruebas de funcionamiento o calidad de agua. La *difusión* examina el proceso de promoción, financiamiento, estrategias de difusión e implementación de la ecotecnia. El *monitoreo* documenta las actividades de seguimiento realizadas por las asociaciones en los sitios donde se implementaron los sistemas.

Trabajo de campo: Encuesta

La encuesta recabó datos tanto cuantitativos como cualitativos. Generalmente, la encuesta o cuestionario se considera un diseño de la investigación cuantitativa. Sin embargo, es válido hacer uso de herramientas cuantitativas en estudios cualitativos, pues esto no significa que los datos recolectados sean sometidos a análisis estadístico y no necesariamente tiene ver con el enfoque de la investigación (Hernández *et al.*, 2003, citado en: Cohen, 2014).

La encuesta se aplicó sólo a usuarios de los SCALL, ésta se elaboró con preguntas, tanto abiertas como cerradas (Hernández *et al.*, 2010). Para determinar las categorías o alternativas de respuesta a las preguntas cerradas, se tomó como base la información que los directores dieron durante la entrevista y lo antes ya investigado en la revisión de literatura. Por ello, se adecuó la encuesta a cada estudio de caso, pues presentan ligeras diferencias, principalmente, en las características técnicas del SCALL (Ver [Anexo 2a](#) y [Anexo 2b](#), respectivamente). Se realizó, también, un registro fotográfico de cada sistema como apoyo para evaluar el estado general del sistema y para tener evidencia visual de los sistemas.

La encuesta se organizó en siete secciones descritas a continuación:

1. Características generales de la vivienda: esta sección recolecta datos sobre las características del hogar estudiado en cuestión, incluyendo, materiales de construcción, número de miembros en la familia, cantidad de agua consumida, entre otros.
2. Características del sistema implementado: se identifica el sistema implementado a partir de los componentes que lo conforman, evaluación visual del estado general en el que se encuentra el sistema, etc.
3. Agua almacenada: hace referencia al agua de lluvia almacenada en la cisterna/tinaco del sistema y si se mezcla con agua de otra fuente, y el tiempo que tardan los usuarios en hacer uso de dicha agua.
4. Prácticas de uso y mantenimiento: esta sección contiene información sobre las labores de mantenimiento que realizan los usuarios, la forma en la que aprendieron a usar y mantener el sistema, los problemas que han tenido con el sistema, entre otros.
5. Características económicas del sistema: se preguntaron cuestiones relacionadas con el pago del sistema y los gastos realizados para mantenerlo.
6. Beneficios percibidos por los usuarios: se preguntó por los beneficios económicos, ahorro de tiempo, otros beneficios percibidos por los usuarios, entre otros.
7. Monitoreo: en esta sección se preguntó sobre las visitas que han recibido después de adquirir el sistema y qué hacer cuando se tiene algún problema con éste.

En ambos estudios de caso se eligieron muestras no probabilísticas o dirigidas, es decir, la muestra no pretende ser estadísticamente representativa, sino que los casos nos proporcionen los datos suficientes para la comprensión del ambiente y el propio problema de investigación. Por esto, el tamaño de muestra no es relevante desde el punto de vista probabilístico, ya que no se desea generalizar los datos a una población más amplia (Hernández *et al.*, 2010). Se puede decir que son muestras homogéneas, es decir, que los casos seleccionados poseen un mismo perfil, características, o rasgos similares, el propósito es que sirvan para la investigación del tema (Hernández *et al.*, 2010).

Los sitios de estudio en el caso de Isla Urbana fueron propuestos por el personal de la asociación, ya que con esas comunidades no habían realizado ninguna evaluación al respecto y les pareció pertinente comenzar con la ayuda de este estudio. Las dos comunidades están ubicadas en la Delegación Xochimilco en el Distrito Federal, una de ellas es Tehuixtla y la otra Tecalipac. Isla Urbana nos facilitó una lista con las instalaciones realizadas en dichas comunidades, a partir de la cual se fueron aplicando las encuestas. De los 29 sistemas instalados en Tehuixtla se muestrearon 27, esto con la valiosa ayuda de la líder comunitaria, María Elena Paz, quien me condujo a cada una de las casas de sus vecinos. En Tecalipac sólo se muestrearon cinco SCALL de 22 instalados, esto debido a que las características geográficas, sociales y económicas son similares a las de Tehuixtla. Por lo tanto, para este estudio de caso se muestrearon 32 hogares.

En el caso de Pro Cuenca, dado que ya se tenía la experiencia de aplicar las encuestas a los beneficiarios de Isla Urbana, se dialogó previamente con el personal de la asociación para determinar que los usuarios tuvieran por lo menos un año con el SCALL. Las comunidades elegidas fueron Rincón de Estradas, que pertenece al municipio de Valle de Bravo; y Mesas de San Martín, perteneciente al municipio de Villa de Allende, ambos municipio localizados en el Estado de México. En la primer comunidad se muestrearon 15 SCALL de 63 construidos y en la segunda, 14 de 83. Por consiguiente, se muestrearon 29 hogares. En las dos comunidades, la aplicación de la encuesta a las usuarias —todas las personas encuestadas fueron mujeres— se realizó por medio de “*recorridos*” (como lo llama la asociación y las usuarias) en los que todas las mujeres se reúnen en un punto determinado y van visitando, recorriendo, cada una de las casas de las usuarias en compañía del personal de trabajo de campo de la asociación.

3.3. Análisis de la información

Entrevistas

La información recabada en las entrevistas se transcribió literalmente a partir del audio grabado y, posteriormente, se sistematizó en el Capítulo IV, en donde se describió cada

estudio de caso bajo los cuatro ejes anteriormente descritos. Dado que sólo se realizaron dos entrevistas, no fue necesario el uso de software para su análisis.

Encuestas

Para el análisis de las encuestas se empleó el programa Microsoft Excel 2010 en el cual se capturó la información en bases de datos para después clasificarla y organizarla de acuerdo a los objetivos planteados. Todas las respuestas se vaciaron en las bases de datos ajustando columnas con cada categoría de respuesta y las filas correspondiendo a cada usuario encuestado. Primero, se realizaron hojas para cada uno de los usuarios y, después, se integraron todos los usuarios encuestados por cada estudio de caso.

Para el análisis de datos cualitativos se incluyeron herramientas de tipo cuantitativo, pues se hizo un conteo de frecuencias, pero dada su condición cualitativa se enfocó más al análisis interpretativo. Los datos cuantitativos se analizaron, principalmente, con estadística descriptiva, como promedio, mediana, porcentajes.

Para el análisis de algunos indicadores se empleó el programa estadístico R el cual es un software que permite la manipulación de datos, y el despliegue de cálculos y gráficas (Venables *et al.*, 2015). En dicho programa se elaboraron gráficas de dispersión y diagramas de caja. También se empleó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Las pruebas no paramétricas se utilizan cuando las muestras no se ajustan a un modelo de distribución determinado, como la distribución normal o de Gauss, sino que se ajustan a un rango amplio de diferentes distribuciones. Se llaman métodos o pruebas *no paramétricas* porque su cálculo no se realiza con parámetros específicos, tales como el promedio o la varianza, sino sólo con la distribución de las variables (Sokal y Rohlf, 1969). La prueba de Kruskal-Wallis sirve para comparar dos o más muestras. Funciona a través del *ranqueo* de los datos, es decir, se jerarquizan los valores y se hacen rangos, por lo que la prueba no trabaja directamente con los valores de los datos sino con los rangos en los que se acomodaron los datos (Vega, E., comunicación personal, 19 junio 2015).

A continuación se describe brevemente el proceso por el cual se obtuvo cada uno.

Impacto Ambiental

- i) Consumo de agua: se empleó el programa estadístico R para estimar la prueba de Kruskal-Wallis y determinar diferencias entre variables. Asimismo, se elaboraron gráficas de dispersión entre la variable de respuesta y las variables explicativas.
- ii) Porcentaje de autosuficiencia: para calcular el porcentaje de demanda de agua cubierta por el agua de lluvia, se utilizó el dato sobre la fuente de la cual los usuarios obtienen el agua para cada uno de los siete usos domésticos preguntados. Estos usos son: 1) excusado; 2) regadera (bañarse); 3) lavar ropa; 4) limpieza general del hogar; 5) regar plantas; 6) cocinar alimentos; y 7) beber. Para cada uso se contabilizó la frecuencia absoluta con respecto al tipo de agua utilizada y se convirtió a frecuencia relativa.
- iii) Captación promedio: para calcular este promedio, se empleó la fórmula registrada en la publicación del Instituto Politécnico Nacional (IPN) *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico*, escrito por Tertuliano Caballero en 2006 (ver [Anexo 3](#)). Los datos necesarios para la estimación de la captación promedio son los siguientes: a) tamaño del área de captación, obtenido de la información proporcionada en las encuestas; b) la precipitación normal de la zona, obtenida del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), específicamente de las estaciones climatológicas más cercanas a las zonas de estudio, para el caso de Isla Urbana se tomaron datos de la estación Moyoguarda; para el caso de Pro Cuenca se tomaron datos de la estación Valle de Bravo para Rincón de Estradas, mientras que para la comunidad de Mesas de San Martín, la de Villa de Allende; y c) el coeficiente de escurrimiento del material del techo, obtenido de distintas publicaciones. De esta manera se obtuvo la captación de cada casa, para después integrarlo y estimar la captación promedio por estudio de caso.

Impacto Social

- i) Uso de los sistemas: para estimar este dato se hizo una relación entre el número de SCALL muestreados y, de ellos, la cantidad que se usaba en el momento en que se realizó el estudio.
- ii) Grado de difusión: se calculó el dato teórico del grado de difusión a través de la división del total de viviendas en cada sitio de estudio y, de ellas, el total de viviendas con un SCALL.
- iii) Facilidad de operación y mantenimiento de los sistemas: se estimó la frecuencia absoluta de cada categoría de respuesta para la facilidad de uso y la facilidad de mantenimiento. Después, se convirtió en frecuencia relativa para elaborar gráficas de pastel. Estos datos se utilizaron también para analizar el grado de adopción.
- iv) Calidad del agua de lluvia: se identificaron los sistemas que cuentan con dispositivos de purificación o tratamiento del agua. Adicionalmente, se estimó la frecuencia absoluta de las categorías de respuesta con respecto a la percepción de la calidad del agua de lluvia. Este dato también se tomó en cuenta para el análisis del grado de adopción.
- v) Ahorro de tiempo: se estimó la frecuencia absoluta de cada categoría de respuesta. De los usuarios que contestaron con una cifra exacta, se obtuvo el promedio.

Impacto económico

- i) Costos del sistema: se obtuvo el promedio del costo del sistema que los usuarios reportaron en la encuesta. Se estimó un costo total del sistema, es decir, se sumó el precio que los usuarios afirmaron haber pagado más los costos de mantenimiento que requiere el sistema.
- ii) Ahorro económico: se estimó la frecuencia absoluta de cada categoría de respuesta y de aquellas respuestas con cifra exacta se calculó el promedio.
- iii) Periodo de Retorno de Inversión (ver [Anexo 4](#)): se calculó el tiempo en que los usuarios recuperan la inversión inicial del sistema. Para ello se dividió la inversión inicial entre el Flujo Neto de Efectivo (FNE), es decir, los beneficios (ganancias) menos los costos de mantenimiento (gastos).

Factores para la adopción y uso sostenido

- i) A partir de las teorías estudiadas, de algunos trabajos de investigación, y de los datos encontrados en este estudio, se proponen factores determinantes en la adopción y uso de los SCALL.

Diferencias entre contexto urbano y rural

- i) De acuerdo con los indicadores más relevantes del estudio, se elaboró un análisis comparativo de las principales diferencias de los impactos generados por el uso del SCALL. Se empleó el programa estadístico R para elaborar gráficas de caja y bigotes, así como para estimar diferencia estadística entre ambos contextos empleando la prueba de Kruskal-Wallis.

Difusión de tecnología y adopción de SCALL

- i) Tomando como base las teorías descritas en el Capítulo II, se elaboró un análisis para determinar la influencia de la estrategia de difusión empleada en cada asociación sobre la adopción y uso de los sistemas. Se elaboró un cuadro comparativo entre los dos estudios de caso, y las características de la estrategia de difusión.

Marco metodológico

- i) Se formularon recomendaciones para la realización de investigaciones subsecuentes en torno al estudio de impactos de SCALL, a partir de las observaciones y limitaciones que se encontraron al realizar esta investigación, con el fin de crear un marco metodológico para la evaluación de impactos, adopción y uso sostenido de ecotecnologías.

CAPÍTULO IV

Estudios de caso

En el siguiente capítulo se describen los estudios de caso con respecto a los cuatro ejes estructurales planteados. Se exponen las características de los sistemas de captación de agua de lluvia que cada asociación implementa, sus especificaciones técnicas, económicas, de mantenimiento, etc. Asimismo, se dan a conocer las características de los sitios de estudio donde se aplicaron las encuestas y algunos datos en referencia a los usuarios encuestados.

4.1. Isla Urbana, A.C.

Desarrollo

Isla Urbana, A.C. surgió como un proyecto de tesis de licenciatura conjunta de Enrique Lomnitz y Renata Fenton, quienes estudiaron en la Escuela de Diseño de Rhode Island en Estados Unidos. La idea de la tesis fue desarrollar un proyecto de sustentabilidad en las zonas populares de la Ciudad de México. Dicho trabajo se llevó a cabo en la zona del Ajusco medio en la delegación Tlalpan, donde la problemática principal es la escasez de agua. Por ello, propusieron los sistemas de captación de agua de lluvia como solución sustentable a la falta de agua para familias de bajos recursos o zonas marginadas de la ciudad. Posteriormente, la delegación ayudó en la implementación de 800 sistemas.

Desde un principio, la idea fue tener un proyecto híbrido, por una parte un negocio comercialmente sustentable y, por otro lado, la asociación civil que ayuda a las familias de bajos recursos, el trabajo simultáneo hace crecer a las dos partes. La visión de Isla Urbana es desarrollar un modelo escalable y replicable para la captación de lluvia. Con ello, también pretenden cambiar la manera en la que se maneja el agua en el país y, pronto, en toda América Latina, instalando SCALL y ofreciendo soluciones integrales y sustentables. Además, intentan bajar los costos lo más posible para encontrar el mercado y el nicho para los SCALL.

Los mercados principales de Isla Urbana para la implementación de SCALL son, por un lado, las familias que no tienen agua; quienes en su mayoría son de bajos recursos y ocupan mucho tiempo tratando de conseguir el líquido. Por otro lado, son las familias que no tienen agua y tienen que pagar mucho para obtenerla, por ejemplo, comprar pipas privadas. En el sector privado del negocio, pasa algo similar, las familias, empresas, escuelas, hospitales, etc. tienen que comprar agua a precios muy altos y con la captación de agua dejan de invertir en ese aspecto. Hasta ahora, llevan instalados, aproximadamente, 1,500 sistemas.

Hace cinco años se consolidó como asociación civil y pasó a formar parte del IRRI. Se fueron anexando diversos profesionales, entre ellos, David Vargas quien se convirtió en el socio de Enrique. Actualmente, el equipo de trabajo es muy diverso, trabaja una administradora quien maneja las cuentas de ambos lados; una diseñadora industrial que se encarga del diseño gráfico, la promoción y el diseño de nuevos productos; una trabajadora social y una urbanista que hacen los trabajos sociales en campo con las familias y coordinan las juntas comunitarias; un ingeniero encargado del lado de la empresa junto con David; Enrique; tres trabajadores que se encargan de la entrega de materiales y; aproximadamente, 30 personas capacitadas para la instalación de los sistemas.

Actualmente, además de su negocio y de su trabajo en zonas urbanas, están trabajando en una comunidad rural Huichol de Jalisco y en el estado de Hidalgo en colaboración con diversas empresas. Adicionalmente, están a la espera de un par de proyectos en colaboración con el gobierno de la Ciudad de México, incluyendo la implementación de 10,000 sistemas con la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación. De esta manera, pueden comenzar a colocarse en proyectos masivos que los harán crecer y seguir impulsando proyectos privados. Pretenden estar siempre innovando, mejorando y cambiando el proceso para lograr sus proyectos; sus productos y servicios y; su trabajo como asociación civil, para lograr cada vez mayor aceptación.

Validación

Isla Urbana aún no cuenta con una certificación oficial de sus sistemas. Sin embargo, han trabajado en ello presentando el proyecto al Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC), en donde la certificación es voluntaria. Esperan poder trabajar en conjunto con instituciones como la CONAGUA y otras entidades gubernamentales para desarrollar juntos los sistemas de captación y estar todos de acuerdo y, de esta manera, normalizar y certificar su implementación de forma oficial e, idealmente, a través de una norma.

Asimismo, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ha colaborado con estudios de aceptación y adopción para saber si las familias están usando el sistema y si lo hacen correctamente. Además, han realizado estudios muy básicos de calidad de agua con un sistema implementado en las instalaciones de Ciudad Universitaria, donde encontraron que el agua sale potable tan sólo con el sistema de pretratamiento, aunque aún deben realizar mayor investigación para poder publicar información con certeza.

Difusión

El proceso de difusión por el lado de la asociación civil implica mucho trabajo comunitario, convivir con las familias, trabajar con ellas y conocerlas para saber qué es lo que necesitan y quieren. Participan en juntas comunitarias y trabajan en conjunto con los líderes comunitarios y personas clave de la comunidad. Por parte de la empresa, la difusión se hace a través de la prensa, ya que tienen mucho éxito con becas, reconocimientos y congresos, por lo que Isla Urbana no invierte en ello.

Una vez dentro de la comunidad, Isla Urbana como asociación civil acude a las casas de las familias que quieren participar en el proyecto para revisar la infraestructura y confirmar si la instalación del sistema es posible. Generalmente, las familias pagan del 10% al 20% del costo total del SCALL, algunas veces aportan en especie, mano de obra o en comida para los instaladores, no obstante, es generalmente el personal capacitado de la asociación quien

realiza la instalación, pues con ello aseguran que no haya ninguna falla en el proceso y que el sistema funcione adecuadamente desde un inicio.

Cuando se trata de una implementación por parte de la empresa, visitan el lugar donde se quiere la instalación del sistema, realizan una cotización y escriben una propuesta. En este caso, el solicitante paga el costo total del sistema y no participa en la instalación del mismo.

Monitoreo

La asociación efectúa diferentes formas de monitoreo y seguimiento a los sistemas. Cada año, antes de la temporada de lluvias, estiman un porcentaje de adopción, es decir, si los sistemas se están usando, si están funcionando y si los usuarios le están dando mantenimiento. Sin embargo, de acuerdo con David, la adopción del sistema depende principalmente de la zona y de la necesidad de agua. Han notado que entre más necesidad de agua existe, mayor es la aceptación y adopción de los sistemas. Por su parte, distinguen dos barreras para la adopción: 1) la necesidad de agua y 2) el funcionamiento del sistema desde un principio, es decir, desde su instalación.

Tienen cuantificado el número de SCALL implementados y a partir de ello han estimado el volumen de agua captada por temporada de lluvia. Asimismo, se tienen estimaciones del volumen de agua ahorrada y la reducción de emisiones de carbono por el uso de los sistemas. En cuanto a la cuestión económica, han elaborado encuestas para conocer la cantidad de dinero que las familias ahorran al disminuir la compra de pipas y/o diferentes tipos de fuentes.

Además, realizan visitas a los hogares para asegurarse que los sistemas se encuentren en buen estado y resolver dudas de las familias. A través de las encuestas y de las visitas, perciben errores en el modelo y han ido mejorándolo e innovándolo.

4.1.1. Características del Sistema de Captación de Agua de Lluvia implementado por Isla Urbana, A.C.

Técnicas

Como modelos de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, Isla Urbana utiliza una herramienta de mercadotecnia llamada *bonding* en donde se juntan varios productos y se crean paquetes. De esta manera, idearon tres kits para las diferentes necesidades de los usuarios. El Kit Bronce es para uso de riego y el más económico; el Kit Plata es para uso doméstico, el agua no es potable, pero puede ser de contacto humano y; el Kit Oro contiene lo necesario para proveer al usuario de agua 100% potable. Cuando se trata de instalaciones por parte de la asociación civil, se maneja el Kit Plata y cuando es por parte de la empresa, depende del cliente.

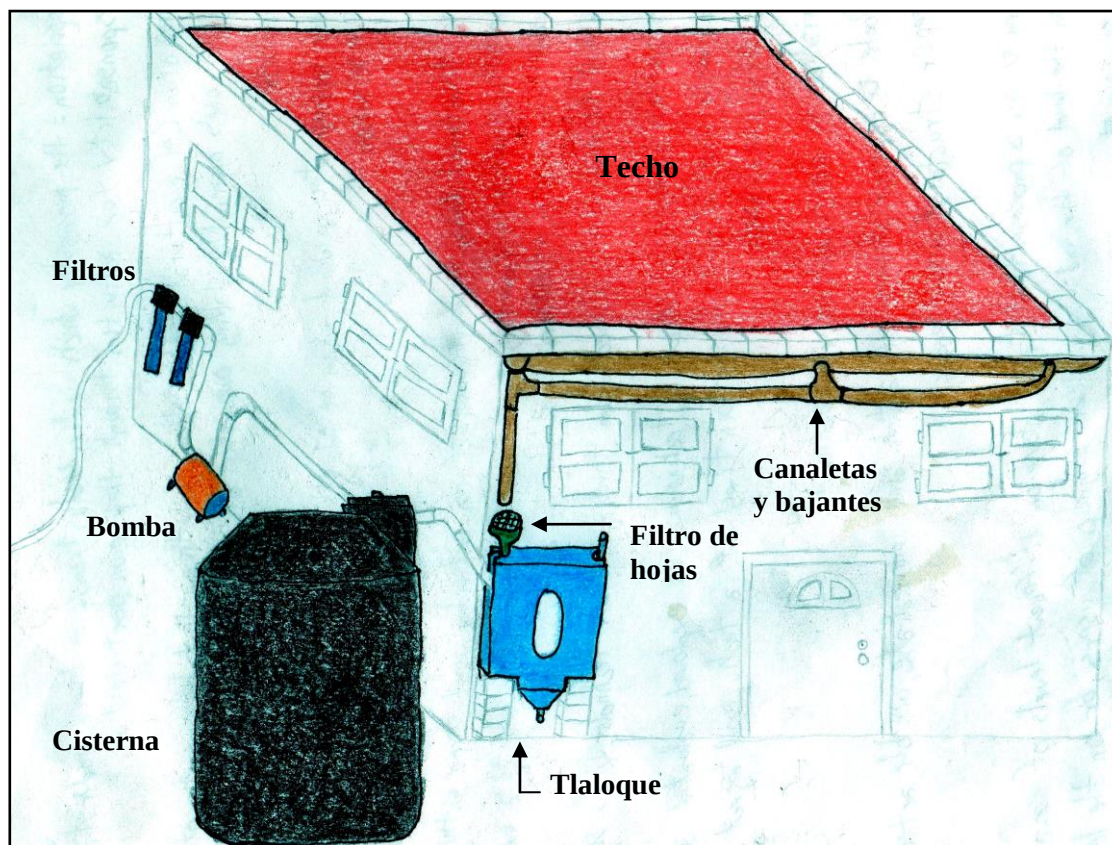
Cuentan con manuales impresos y uno en DVD que se les proporcionan a los usuarios para explicarles el funcionamiento y mantenimiento del sistema, además se les explica directamente después de haberse instalado.

La asociación maneja un sistema de pretratamiento, esto es, que el mismo sistema cuenta con dispositivos en donde el agua se filtra antes de ser almacenada. De esta manera, la calidad del agua se eleva y cuesta menos trabajo sanearla, que si se filtra una vez habiendo recorrido todos los componentes del sistema. Los componentes de pretratamiento en el SCALL de Isla Urbana son el filtro de hojas y el interceptor de primeras lluvias.

A pesar del sistema de pretratamiento, la asociación no recomienda beber el agua de lluvia a menos que se cuenten con filtros adicionales. Aunque afirman que la calidad del agua cambia dependiendo del lugar en donde se instale el sistema y del mantenimiento que la familia le proporcione, pues en zonas urbanas existen mayores niveles de contaminación que en zonas rurales.

El agua captada en el techo escurre hacia las canaletas y bajantes, pasa por el filtro de hojas, luego va hacia el Tlaloque o separador de primeras lluvias. Una vez que el agua más sucia de cada aguacero se almacena en el separador, el agua limpia pasa a la cisterna donde se almacena. Después, se bombea hacia su uso final, pasando antes por los filtros (ver Figura 2).

Figura 2. Componentes del SCALL implementado por Isla Urbana.



Fuente: Elaboración propia con base en los manuales de Isla Urbana.

A continuación se describe el SCALL de Isla Urbana que se estudió en esta investigación, también se muestran imágenes de los sistemas muestreados.

a) Techo

El material de los techos de las casas en la zona de Xochimilco es mayormente losa (ver Figura 3) y, en su minoría, lámina galvanizada y lámina de asbesto. Estos materiales son

aceptables, aunque la lámina de asbesto suele desprender materia inorgánica. En cualquiera de los casos, es importante mantener la superficie siempre limpia.

Figura 3. Casa con techo de losa de un usuario del SCALL implementado por Isla Urbana.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas

b) Canaletas y bajantes

Las familias instalan las canaletas, las cuales pueden ser de PVC o de lámina. La tubería que instala la asociación es de tuboplus o polipropileno (ver Figura 4), ésta se va adaptando a través del sistema para que el agua fluya hacia cada uno de los componentes. La mayoría de los hogares en Xochimilco no cuenta con tinaco, por lo que adaptan una manguera posterior a los filtros para obtener directamente el agua.



Figura 4. Canaletas y tubos para conducir el agua captada del techo hacia el separador de primeras

Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

c) Filtro de hojas

El dispositivo utilizado como filtro es un embudo con una malla en la parte superior. La malla utilizada puede ser malla mosquitero (ver Figura 5) o malla de acero inoxidable.



Figura 5. Malla tipo mosquitero utilizada como filtro para evitar el paso de hojas al separador instalado por Isla Urbana.

Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

d) Tlaloque o interceptor de primeras lluvias

En la comunidad de Tecalipac, el interceptor de primeras lluvias está compuesto por un tambo de plástico de 200 litros (ver Figura 6 der.) con el arreglo para desviación de agua limpia a la cisterna y en Tehuixtitla, el interceptor es el Tlaloque (ver Figura 6 izq.), producto patentado por Isla Urbana. El Tlaloque está diseñado para ajustar el volumen de agua que se desea separar, esto depende del tamaño del techo (área de captación). No es necesario colocarlo en un nivel más alto que la cisterna, pues cuenta con un respiradero ajustable. Además, integra una llave de desvío a drenaje y se drena antes de cada lluvia para facilitar su limpieza y funcionamiento. El desvío de agua limpia a la cisterna funciona con una pelota flotante, la cual se va elevando conforme el Tlaloque se va llenando de agua de lluvia. Una vez que el agua llega al nivel ajustado anteriormente, la pelota sirve como tapón para que el agua más limpia corra hacia la cisterna.



Figura 6. Tlaloque (izq.) y desviador de primeras lluvias (der.) instalados por Isla Urbana.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

e) Cisterna

Isla Urbana instala un tinaco de 5,000 litros que funge como cisterna, es decir, almacena el agua (ver Figura 7 izq.). No obstante, algunos hogares en las comunidades de Xochimilco tienen una cisterna enterrada en el predio en la cual se almacena el agua (ver Figura 7 der.) y, posteriormente, se conduce a un tinaco sobre el techo, de donde se distribuye, por lo que se puede prescindir del tinaco proporcionado por la asociación.

Dentro del tinaco, se coloca el reductor de turbulencias que evita que al entrar el agua se revuelva y ensucie. También se encuentra la pichancha flotante que al estar a nivel del agua, extrae con la ayuda de la bomba la de arriba que está más limpia que la de abajo.



Figura 7. Tinaco implementado por Isla Urbana (izq.) empleado como tanque de almacenamiento. Cisterna enterrada (der.) utilizada para almacenar el agua, en lugar del tinaco.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

f) Bomba

La bomba instalada funciona con energía eléctrica y es centrífuga (ver Figura 8).

Figura 8. Bombas eléctricas para transportar el agua de la cisterna al uso final en un SCALL de Isla Urbana.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

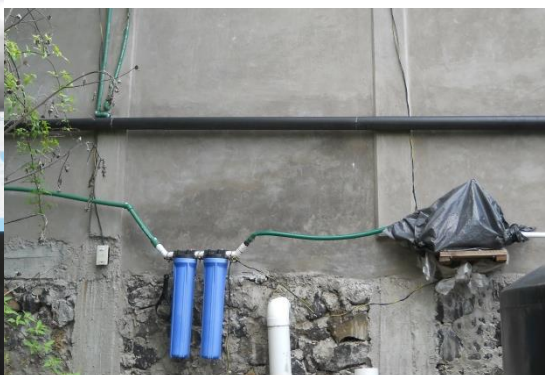
g) Filtros

Los filtros son prefabricados de cartucho, uno de ellos es hilado o plisado, el cual detiene sedimentos menores a 5 micras, y el otro es de carbón activado, que detiene cloro, sedimentos orgánicos y otros contaminantes (ver Figura 9). El cartucho que se debe

cambiar es el de carbón activado, cada seis meses aproximadamente, mientras que el hilado o plisado puede lavarse.



Figura 9. Filtros de papel plisado y carbón activado utilizados en un SCALL instalado por Isla Urbana.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

h) Tinaco

En las comunidades de Xochimilco, generalmente, las casas carecen de tinaco sobre el techo (ver Figura 10), por lo que, el agua pasa de la cisterna a los filtros y de ahí se usa directamente.



Figura 10. Dos de los pocos tinacos sobre los techos en Xochimilco.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

Labores de mantenimiento

Las labores de mantenimiento que la asociación enseña a los usuarios son las siguientes:

- i. Mantener el techo limpio, es decir, lavarlo con agua y cloro antes de cada temporada de lluvias y barrerlo durante la temporada. Implica también no tener animales, plantas ni usar el techo como bodega. Podar árboles que estén cercanos para evitar la caída de las hojas y los excrementos de los pájaros.
- ii. Limpiar y mantener libres de hojas y cualquier tipo de basura las canaletas y bajantes.
- iii. Asegurarse de que el filtro de hojas esté libre de éstas y demás residuos orgánicos. Mantenerla malla en buen estado, si se rompe reemplazarla.
- iv. Después de cada lluvia, drenar el Tlaloque o el depósito de desvío de primeras lluvias. Una vez al año llenarlo con agua y cloro, dejarlo reposar por una hora y drenarlo por el desvío.
- v. Limpiar con jabón y cloro la cisterna antes de cada temporada de lluvias o una vez al año. Poner un litro de cloro al agua de lluvia para mantenerla limpia y que no se eche a perder.
- vi. Cambiar cada 6 meses a 1 año el cartucho de carbón activado. El cartucho hilado o plisado se puede lavar.

Económicas

Los sistemas que Isla Urbana instala como asociación civil en promedio cuestan \$8,000.0 MXN, incluyendo mano de obra y cisterna, si no se tiene la cisterna el precio aumenta. El tiempo de retorno de inversión para las familias es muy variable, pues depende de la forma en la que se abastecían antes de tener el SCALL. Cuando las familias cuentan con conexión a la red potable de agua, básicamente no hay retorno, pero si lo hay se puede apreciar en 30 o 40 años. Por otro lado, cuando se abastecían comprando pipas, el retorno puede ser de uno y medio a ocho años.

Los gastos de mantenimiento que una familia debe realizar son el cambio del cartucho de carbón activado, el cual cuesta alrededor de \$220 MXN y el cloro para verter en la cisterna cuyo precio es reducido.

4.1.2. Sitios de estudio

Tehuixtitla

La localidad de Tehuixtitla se encuentra al sur del Distrito Federal y pertenece a la Delegación Xochimilco. De acuerdo con la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT), Tehuixtitla es un asentamiento humano irregular²³ que se encuentra en suelo de conservación (PAOT, 2011).

Sin embargo, la localidad se puede ubicar dentro del espacio periurbano²⁴ dadas sus condiciones. Originalmente, los terrenos eran ejidales, no obstante, los respectivos dueños los han vendido, por lo que ahora son pequeñas propiedades privadas.

Actualmente, habitan 498 familias, hay 198 niños menores de 12 años y 5 recién nacidos. Dado que el uso de suelo no es habitacional, oficialmente, no cuentan con ningún servicio público. Sin embargo, los vecinos han negociado un convenio con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el suministro de electricidad. De la misma manera, han llegado a un convenio con la delegación Xochimilco para que ésta les suministre carros cisterna gratuitos. Por cada lote corresponden cuatro tambos de 200 litros de agua a la semana. No cuentan con drenaje, pero descargan sus aguas negras y grises a fosas sépticas²⁵ (M.E. Paz, comunicación personal, 7 noviembre 2014).

²³ Un asentamiento humano irregular es la ocupación de un conglomerado humano de un suelo o tierra determinada sin autorización y al margen de las leyes y de los planes de desarrollo urbano, lo que genera un problema de carácter urbano por la falta de servicios públicos o por incumplimiento de requisitos mínimos en vialidades y superficies, y otro de carácter legal que consiste en la disputa por la posesión de los predios que no cuentan con un título de propiedad (SEDESOL, 2010).

²⁴ El periurbano se define como un proceso de extensión continua de la ciudad que conlleva la absorción paulatina de los espacios rurales que la rodean (Ávila, 2009).

²⁵ De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-006-CNA-1997, la fosa séptica se define como un elemento de tratamiento diseñado y construido para recibir las descargas de aguas residuales domiciliarias que al proporcionar un tiempo de permanencia adecuado (tiempo de retención), es capaz de separar parcialmente los sólidos suspendidos, digerir una fracción de la materia orgánica presente y retener temporalmente los lodos, natas y espumas generadas.

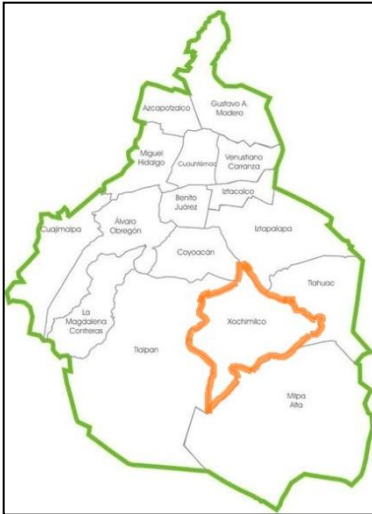


Figura 11. Ubicación de la Delegación Xochimilco en la Ciudad de México

Fuente: modificado de Delegaciones de la Ciudad de México DF, s/f.

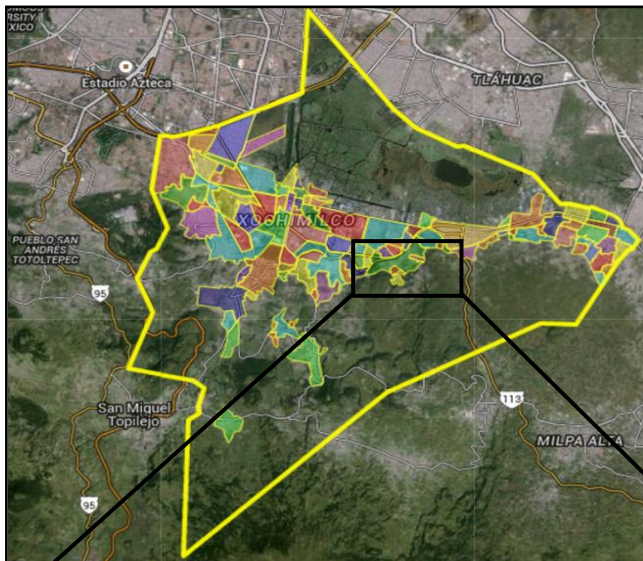
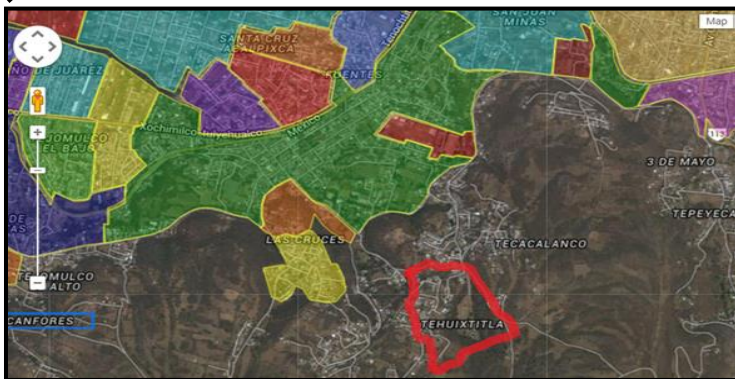


Figura 12. Ampliación de la localidad de Tehuixtitla dentro de la delegación Xochimilco en la Ciudad de México.



Fuente: modificado de El DeFe. La Ciudad de México a través de sus colonias, s/f.

Tecalipac

La localidad de Tecalipac se encuentra dentro de la Delegación Xochimilco. De acuerdo con el INEGI (s/a) se considera una comunidad rural, aunque, al igual que Tehuixtitla, se puede ubicar dentro de un área periurbana.

En un inicio, los terrenos eran ejidales, posteriormente los dueños los vendieron, por lo que actualmente son pequeñas propiedades privadas, aunque la comunidad está dentro de una zona ecológica.

Se desconoce el total de habitantes de Tecalipac, sin embargo, se sabe que existen 100 lotes en la localidad y en cada uno vive una familia. De la misma manera que en Tehuixtitla, el uso de suelo no es habitacional, por lo que no cuentan con servicios públicos. La comunidad negoció un convenio con el antes llamado Luz y Fuerza, ahora CFE, para que les proporcionara electricidad, y con la delegación de Xochimilco para que ésta les suministre carros cisterna de agua gratuitos. Dado que no cuentan con drenaje, descargan sus aguas negras y frises a fosas sépticas (T. Portillo, comunicación personal, 19 mayo 2015).

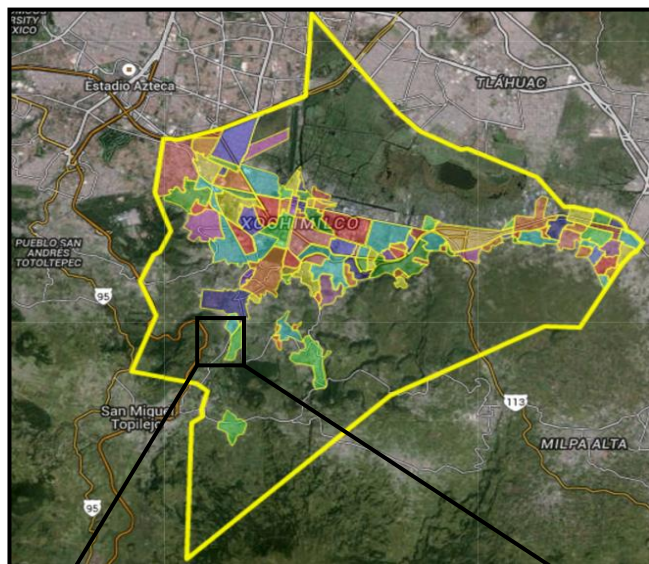
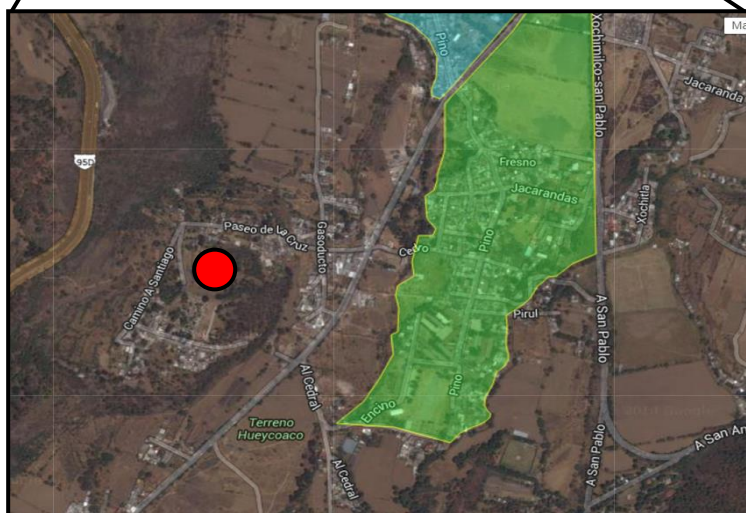


Figura 13. Ampliación de la localidad de Tecalipac dentro de la delegación Xochimilco en la Ciudad de México.



Fuente: modificado de El DeFe. La Ciudad de México a través de sus colonias, s/f.

4.1.3. Características generales de las localidades de Xochimilco

De acuerdo con la estación climatológica Moyoguarda del SMN, las localidades presentan una temperatura media normal de 15.3°C y una precipitación normal de 776.3 durante el periodo de 1951-2010.

Del total de encuestados en ambas localidades, el 78.1% de las personas encuestadas correspondían al sexo femenino y el resto, 21.9%, eran del sexo masculino. El 78.1% de encuestados pertenecen a una clase socioeconómica media, mientras que 21.9% a una clase baja. El promedio de miembros en la familia es de 5 personas, con 4 adultos y 1 niño por casa. Como se mencionó anteriormente, el 78.1% de los techos están contruidos de losa, 15.6% son de lámina galvanizada, 3.1% de lámina de asbesto y 3.1% de lámina de fierro. Las fuentes de donde las familias obtienen el agua son la pipa delegacional, el agua recolectada en bidones, pipa privada, agua de lluvia por medio de un pequeño sistema de captación rudimentario²⁶, y llave vecinal, es decir, van a casa de algún pariente que cuente con conexión a la red de agua potable.

El servicio de una pipa privada de 10,000 litros cuesta entre \$1,000.00 \$1,200.00 MXN. Para el caso de Tehuixtitla, el agua de los bidones proviene de una llave pública de OOAPAS que se encuentra a una distancia aproximada de 1 ó 2 km de la comunidad. El acarreo de esta agua se hace con la ayuda de un burro que carga 4 bidones de 20 litros cada uno, esto es, 80 litros en total, el viaje cuesta \$80.0 MXN en promedio.

4.2. Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, A.C.

Desarrollo

Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, A.C., surge como una iniciativa tanto de ciudadanos de Valle de Bravo como de visitantes de la región inquietos por el deterioro y la degradación de los ecosistemas y, en consecuencia, de la captación de agua, en tanto a calidad y cantidad. Este grupo de personas se unió para crear una solución, dicha solución tomó forma en una evaluación para identificar el problema en la cuenca y decidir las acciones a tomar.

La evaluación se transformó en el primer Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial (POET) a nivel de cuenca en el país. En un principio fue la asociación la que empezó el

²⁶ El agua captada del techo pasa a un depósito, generalmente un tambo de 200 litros, del cual ésta se usa directamente para los diversos servicios.

proyecto, pero conforme se fue entendiendo la dimensión y tamaño del problema se fueron involucrando las autoridades, e inclusive, la iniciativa privada, y así se comenzaron a delinear y priorizar las acciones.

La misión de Pro Cuenca es restaurar y conservar los ecosistemas de la cuenca a través de diversos proyectos, así como lograr el bienestar de sus habitantes. Se trabaja con las comunidades que habitan en la parte alta y media de la cuenca para mejorar y cambiar la relación que tienen con el entorno, sobre todo con el bosque y el agua. La asociación visualiza ser aliada de las comunidades para permitirles acceder a un nivel de productividad, rentabilidad y de mejora a su calidad de vida, desde una perspectiva de ellos mismos. Se busca, más que la autosuficiencia, una participación en los mercados, para desarrollar una visión sustentable hacia el futuro.

Actualmente, existen tres áreas estratégicas con las que trabaja la asociación: Comunidades, Bosques y Agua. Desde hace 10 años, dentro de las comunidades, se colabora con las familias implementando diversas ecotecnologías. Se han implementado Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, Fogones, Baños Secos y Huertos de Traspatio. Generalmente, las ecotecnias las implementan en paquetes, es decir, instalan las 4 ecotecnias en cada casa. En cuanto a los SCALL, han implementado aproximadamente 2,500 sistemas.

Para la parte de Bosques y Suelos han realizado reforestaciones; manejo de suelos; recuperación de la fertilidad de las parcelas; protección contra erosión y; elaboración de cajones de lombriz. En el área de Agua se realiza monitoreo de la capacidad de almacenamiento de la presa de Valle de Bravo y de las precipitaciones anuales en la misma. También se capacita a las familias para hacer monitoreo de calidad de agua en sus ríos, arroyos y lagos.

Este año se está actualizando el POET para visualizar y mapear el total de familias con las que aún falta trabajar. Un proyecto que se tiene a futuro es la implementación del primer corredor biológico del centro del país, Corredor Michoacán-Cuenca-Nevado.

Validación

Fondo Pro Cuenca tampoco cuenta con una certificación oficial. No obstante, desde hace 5 años han trabajado con el Colegio de Posgraduados de Chapingo (COLPOS) quienes realizan investigación y desarrollo sobre la eficiencia y utilidad del Sistema de Captación de Agua de Lluvia implementado por la asociación. Cuentan con diversos reconocimientos, como el de Iniciativa México y finalistas del Gran Premio Kioto de Agua 2009 en Turquía.

Difusión

En cuanto a su trabajo con las comunidades, su visión es subsidiaria, tienen claro que quieren evitar constituirse como una asociación asistencialista. Pretenden formar una alianza y colaboración con las familias para desarrollar y detonar capacidades en ellas y se vean a sí mismas como individuos capaces de cambiar y mejorar su futuro.

En un principio la asociación se acercó a un número limitado de comunidades a escuchar y conocer sus necesidades, fue así como se plantearon las acciones enfocadas a las ecotecnologías. Posteriormente, fueron las comunidades las que se acercaron a la asociación para pedir su apoyo, pues se percataron del impacto positivo que generaron estas acciones en las familias de las comunidades aledañas.

Una vez que las familias hacen el primer acercamiento con la asociación, ésta les explica los requisitos y condiciones bajo los cuales trabaja. Los requisitos y condiciones que debe cumplir la comunidad son: a) la participación de mínimo 15 familias; b) que los miembros que afirman integrar una familia, realmente conformen la misma; c) que la familia viva permanentemente en la comunidad y no esporádicamente, ya que la inversión no lo justifica; d) que aporten parte del material; e) que asistan a todas las reuniones de trabajo; f) que se comprometan a terminar el trabajo y a usar los dispositivos y; g) que permitan que la asociación entre a sus hogares para verificar que los sistemas están funcionando.

Monitoreo

El equipo de trabajo que realiza los monitoreos es de aproximadamente 13 personas. Ellos salen constantemente a campo a visitar a las familias para comprobar el uso adecuado de los dispositivos y resolver dudas.

Dado que son miles de sistemas los que se necesitan monitorear, el año pasado realizaron un muestreo aleatorio de comunidades. Eligieron 10 comunidades en donde se cuantificaron el total de SCALL que se construyeron y de ese total verificaron los sistemas que se estaban usando adecuadamente y en cuántos de ellos hubo éxito en el proceso de apropiamiento.

Los resultados del muestreo aleatorio mostraron un 73% de éxito en la adopción de los SCALL. En este sentido, han notado que el hecho de que las comunidades sean quienes se acerquen a ellos es un precedente relevante en el éxito de la adopción de los sistemas. Además, este hecho permite que las familias asuman un rol más responsable y comprometido con el trabajo. La asociación considera que una de las barreras que evitan la adopción de los sistemas es la mentalidad de las familias, que hace referencia al uso y manejo que le dan a los sistemas, puesto que si las comunidades están dispuestas a manejar correctamente los SCALL, van a funcionar y seguir operando tanto como ellos quieran.

Actualmente, están estimando el impacto ambiental de la labor que han realizado, sobre la recarga de agua en la cuenca.

4.2.1. Características del Sistema de Captación de Agua de Lluvia implementado por Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo

Técnicas

Se ha hecho una parte muy importante de investigación alrededor del SCALL que Pro Cuenca ha desarrollado e implementado con las comunidades. Por esta razón, es el mismo

sistema que siempre han difundido, pues a lo largo de los años han comprobado que funciona adecuadamente para las necesidades de las familias.

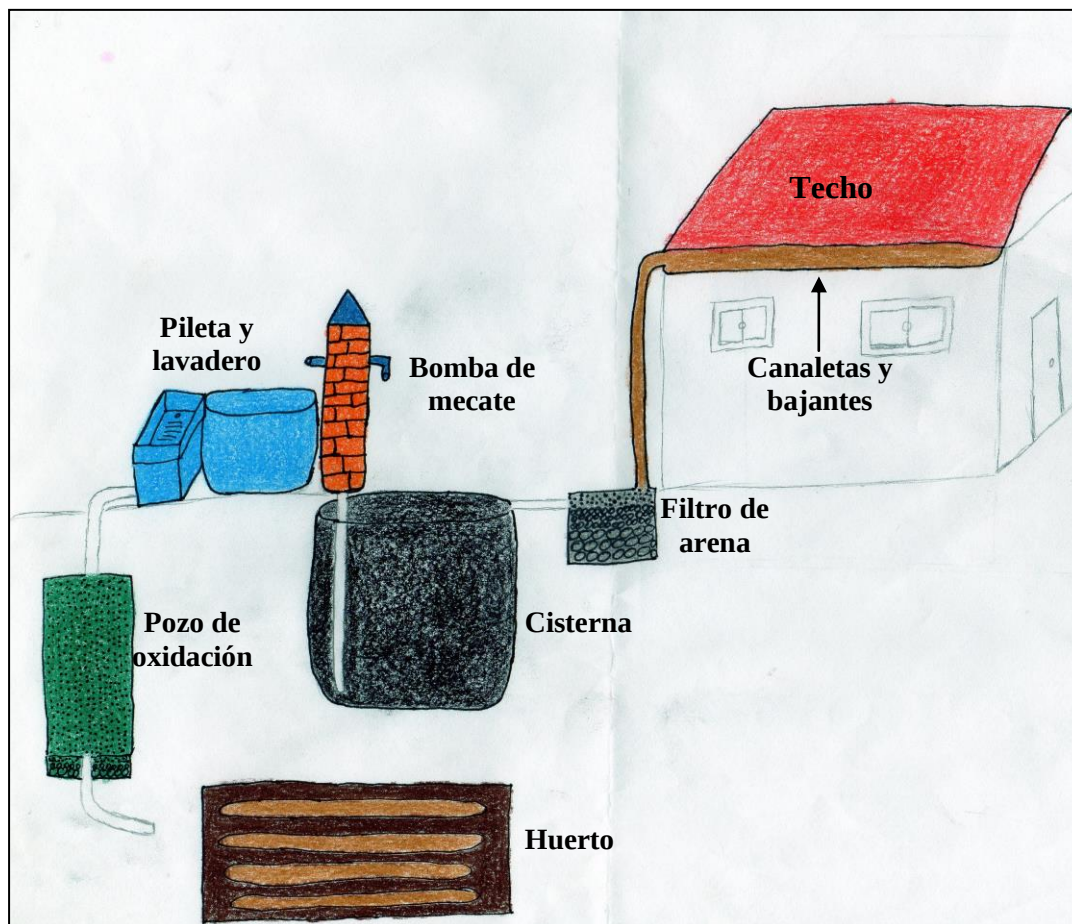
Una vez que las comunidades aceptan las condiciones y requisitos de la asociación, ésta última verifica en campo el cumplimiento de dichos requisitos. Posteriormente, el grupo de trabajo se reúne en la casa de uno de los participantes y todos ayudan a construir una etapa de la ecotecnia. De esta manera, todos aprenden el proceso para poder replicarlo en sus propios hogares. La próxima visita que hace el equipo de trabajo de campo de la asociación es para revisar los avances en cada casa de la etapa que aprendieron y para enseñar la siguiente etapa en el proceso de construcción.

Es en estas juntas de trabajo en donde se les explica y enseña a los usuarios el funcionamiento y mantenimiento de los sistemas. Dado que son los mismos usuarios los que construyen e instalan los sistemas, no requieren que ningún miembro de la asociación acuda a ayudarlos si algo falla.

De acuerdo con Pro Cuenca, el agua del sistema se puede beber debido a que primero pasa por el filtro de arena y, después, en la cisterna se coloca cal y un pedazo de cobre, lo cual le confiere cierta pureza.

El sistema de Pro Cuenca funciona de la siguiente manera: del techo del inmueble, el agua fluye por la canaleta y bajantes hacia el filtro de arena, de ahí pasa a la cisterna de donde se bombea hacia una pileta. Junto a la pileta hay un lavadero cuya descarga de aguas grises termina en un pozo de oxidación y dicha agua se utiliza para el riego de los huertos de traspatio, si es el caso (ver Figura 14).

Figura 14. Componentes del SCALL desarrollado por Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia con base en la entrevista con Ignacio Gómez.

A continuación se describe el Sistema de Captación de Agua de Lluvia de Fondo Pro Cuenca que se estudió en esta investigación.

a) Techo

El material de construcción predominante de los techos en las dos comunidades es la lámina de fierro (ver Figura 15), en menor proporción se encuentra la losa y la teja. Estos materiales son bastante aceptables para la colecta de agua pluvial.



Figura 15. Techos de lámina galvanizada en la comunidad de Rincón de Estradas.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

b) Canaletas y bajantes

La canaleta en la orilla del techo suele ser de lámina galvanizada, la cual se conecta a los tubos bajantes que son de PVC (ver Figura 16). La tubería se va adaptando para conectar cada uno de los componentes entre sí y permitir el flujo del agua.



Figura 16. Canaletas y tubos de conducción del techo hacia el filtro de arena de un SCALL de Fondo Pro Cuenca.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

c) Filtro de arena

El filtro de arena (ver Figura 17 izq.) consta de tres diferentes capas: la capa que se encuentra en el fondo del contenedor, la cual es la de mayor tamaño, es de piedras de río; la que se coloca encima es una capa de grava y; la última capa, la de menor tamaño, es de granzón²⁷ (ver Figura 17 der.).



Figura 17. Filtro de arena cerrado con tapa (izq.) y filtro de arena abierto (der.) donde se observa la capa de granzón en la comunidad de Mesas de San Martín.

Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

d) Cisterna

Las cisternas están construidas con ferrocemento (ver Figura 18). Este material es parecido al concreto (mortero de grava, arena y cemento), pero se elimina la grava y se refuerza con malla de alambre, la cual puede ser malla hexagonal o de gallinero, electrosoldada, entre otras. Las cisternas que implementa Pro Cuenca tienen una capacidad de 10,000 litros y están enterradas para hacer un uso eficiente del espacio en el predio. Dentro de la cisterna se coloca cal y un pedazo de cobre para mantener el agua limpia. Se recubren con pintura natural hecha a base de baba de nopal. La asociación consideraba que el tiempo de vida de las cisternas era de 10 años, sin embargo, han verificado algunas que llevan 8 años en uso y siguen en excelentes condiciones, por lo que probablemente se alargue el tiempo de vida.

²⁷ Son pedazos relativamente gruesos de mineral que no pasan por la criba (RAE).



Figura 18. Cisterna enterrada de ferrocemento con tapa de herrería de un SCALL de Fondo Pro Cuenca.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

e) Bomba

El dispositivo utilizado para bombear el agua de la cisterna a la pileta es una bomba de mecate, la cual es mecánica y manual. Se utiliza una cuerda; pedazos de llantas o cualquier material que funcione como pistones; el rin de una bicicleta; una manivela y; un tubo de PVC o material parecido (ver Figura 19). Los pedazos de llanta se colocan separados unos de otros a lo largo de la cuerda haciendo la función de pistones que permitan el agarre de la cuerda al rin para que el agua pueda subir. La cuerda se pasa alrededor del rin y se coloca dentro del tubo, el cual bajará hasta el fondo de la cisterna. La manivela se adapta a un costado del rin para hacerlo girar.



Figura 19. Bomba de mecate para extraer el agua almacenada en la cisterna hacia la pileta en la comunidad de Rincón de Estradas.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

f) Pileta y lavadero

La pileta tiene una capacidad de 3 m³ (3,000 lts). Junto a la pileta se encuentra el lavadero (ver Figura 20) que las familias usan para lavar los trastes y la ropa. El tubo de descarga de las aguas grises del lavadero termina en un pozo de oxidación.



Figura 20. Pileta y lavadero de un SCALL de Fondo Pro Cuenca, donde las familias lavan ropa y trastes.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

g) Pozo de oxidación y huerto

El pozo de oxidación o absorción tiene capacidad de 1.5 m³, éste recibe las aguas grises que se generan en el lavadero. Funciona como una trampa de jabones, grasas y aceites que se retienen en las piedras contenidas en él. Las piedras se colocan en capas de mayor a menor tamaño, de la misma manera que el filtro de arena, terminando en una capa de grava y tierra, sobre la cual se coloca pasto, plantas o árboles para aprovechar la humedad que se genera. El agua pasa por éste y la limpia para terminar regando el huerto.

Labores de mantenimiento

El mantenimiento que los usuarios deben llevar a cabo para mantener en buen estado su sistema de captación de agua de lluvia, es el siguiente:

- i. Mantener las canaletas y tubos bajantes libres de hojas y materia orgánica.
- ii. Lavar las piedras del filtro de arena cada inicio de temporada de lluvias.
- iii. Lavar la cisterna con jabón y cloro antes de cada temporada de lluvias. Colocar cal y un pedazo de cobre dentro de la cisterna para mantener el agua de lluvia limpia. Bombear el agua de la cisterna a la pileta para mantenerlas limpias.
- iv. Asegurarse que el mecate, ring y la cámara de bicicleta no estén desgastados, si es así, reemplazarlos.
- v. Lavar constantemente la pileta con jabón y cloro.

Económicas

El sistema que Fondo Pro Cuenca implementa cuesta \$13,000 MXN. Las familias aportan la mano de obra y parte de los materiales, Pro Cuenca aporta el resto de lo requerido. Para ellos, la inversión es fondo perdido, es decir, no existe retorno de inversión. Es importante mencionar que la asociación se sostiene mayormente por medio de donativos de los aliados que creen en la causa.

Para el mantenimiento del sistema, las familias no invierten dinero, pues sólo se requieren los utensilios y líquidos para lavar la pileta, filtro y cisterna, los cuales de cualquier forma adquirirían para el resto de la limpieza del hogar.

4.2.2. Sitios de estudio

Rincón de Estradas

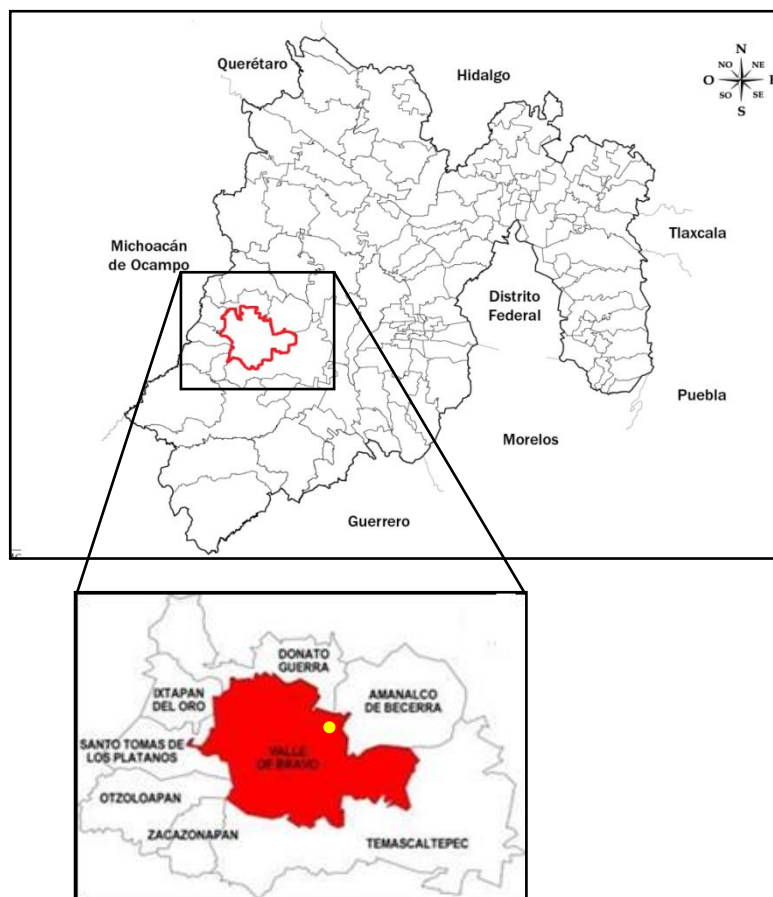
La comunidad de Rincón de Estradas forma parte del municipio de Valle de Bravo en el Estado de México y es considerada una localidad rural. Se localiza al nororiente del municipio, aproximadamente a 5 km del centro de Valle de Bravo, a 2,000 msnm. Su población total es de 446 habitantes, de los cuales 218 son hombres y 228 mujeres. De acuerdo con la SEDESOL (2013) el grado de marginación²⁸ es alto y el grado de rezago social²⁹ es bajo.

Existen 91 viviendas particulares habitadas, de ellas no disponen de agua entubada 22 y de drenaje 16 (SEDESOL, 2013).

²⁸ La marginación se entiende como un problema estructural de la sociedad, en donde no están presentes ciertas oportunidades para el desarrollo, ni las capacidades para adquirirlas. El índice o grado de marginación establece un parámetro analítico que permite entender cuándo un sector de la sociedad se encuentra en dicha situación de incapacidad; es una herramienta para medir, cuantificar y determinar a las personas que se encuentran en esta categoría (De la Vega *et al.*, 2010).

²⁹ El índice o grado de rezago social es una medida ponderada que resume cuatro indicadores de carencias sociales: educación, acceso a servicios de salud, servicios básicos y, calidad y espacios en la vivienda (CONEVAL, 2014).

Figura 21. Ampliación del municipio de Valle de Bravo en el Estado de México. El círculo en color amarillo representa la localización de la comunidad de Rincón de Estradas.



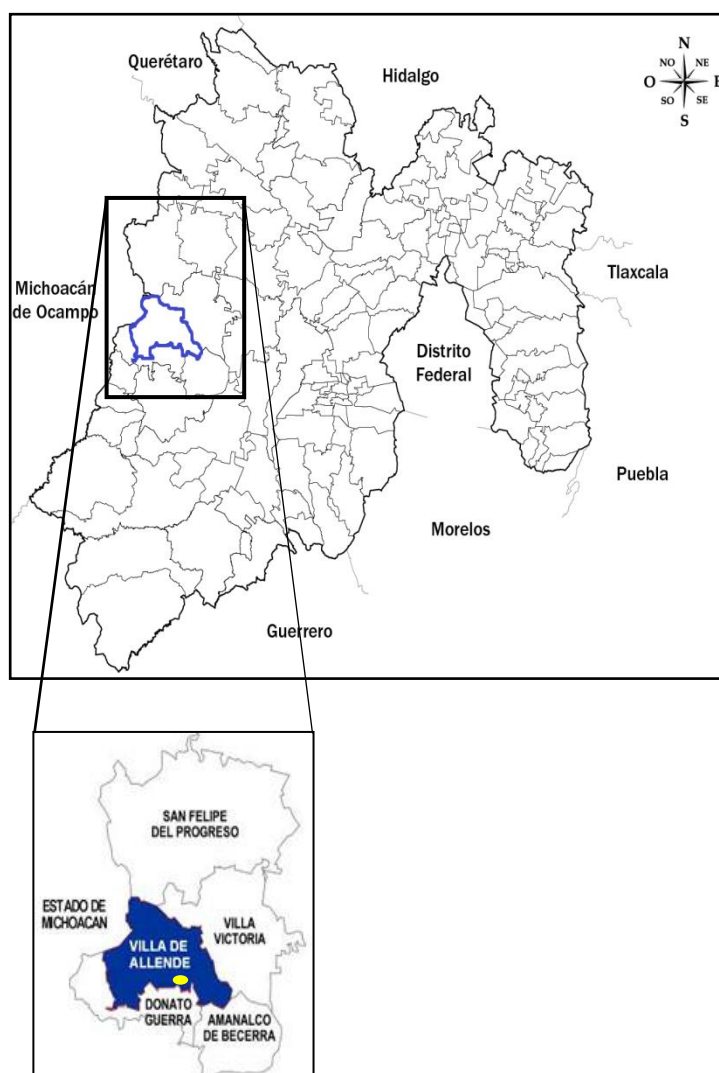
Fuente: modificado de Montenegro, Tecnología en Educación, s/f; y de Gobierno del Estado de México, s/f.

Mesas de San Martín

Considerada una localidad rural, la comunidad de Mesas de San Martín se encuentra en el municipio de Villa de Allende en el Estado de México. Está ubicada al sur de dicho municipio a 2680 msnm. La población total es de 422 habitantes, de ellos 204 son hombres y 218 son mujeres. El grado de marginación de la localidad es alto y el grado de rezago social es medio (SEDESOL, 2013).

El total de viviendas particulares habitadas es de 110, de éstas 56 no cuentan con agua entubada, 72 no disponen de drenaje, 10 no tienen acceso a energía eléctrica y 42 no tienen sanitario (SEDESOL, 2013).

Figura 22. Ampliación del municipio de Villa de Allende en el Estado de México. La ubicación de la comunidad de Mesas de San Martín está representada por el círculo de color amarillo.



Fuente: modificado de Montenegro, Tecnología en Educación, s/f; y de Gobierno del Estado de México, s/f.

4.2.3. Características generales de las localidades del Estado de México

La estación climatológica Valle de Bravo, la cual es la más cercana a la comunidad de Rincón de Estradas, registró una temperatura media anual de 17.7°C y una precipitación

normal de 1,005.2 mm. Mientras que la estación climatológica Villa de Allende, más cercana a la comunidad de Mesas de San Martín, sólo registró una precipitación normal de 978 mm. Dichos registros durante el periodo de 1951-2010.

Del total de encuestados en ambas localidades, el 100% de las personas encuestadas correspondían al sexo femenino. El 55.2% de encuestados pertenecen a una clase socioeconómica media, mientras que 44.8% a una clase baja. Contrario a lo que se esperaba, el promedio de miembros en la familia fue menor que en Xochimilco, con 4 miembros por familia, 3 adultos y 1 niño. Como se mencionó anteriormente, el 48.3% de los techos son de lámina de fierro, 27.6% son de losa y 24.1% de teja.

Las fuentes de abastecimiento de las familias en ambas comunidades son el manantial, agua de una llave pública, agua de pipa privada, agua de la red pública, llave vecinal, y agua de lluvia captada por ellos mismos.

El manantial de donde las mujeres acarrean agua y lavan su ropa, se encuentra a 1 hora caminando. Organizan su semana de manera que unos días se dedican a acarrear agua y otro día lavan la ropa, pues cuando hacen esta última labor no les alcanza el tiempo para hacer la primera. Algunas de ellas, en especial las mujeres de la comunidad de Mesas de San Martín, acarrean el agua con la ayuda de un burro o un caballo. La llave pública pertenece a OOAPAS. El servicio de pipa es privado, pero se desconoce el precio de éste. Algunas casas, sobre todo las de Mesas de San Martín, cuentan con la infraestructura necesaria que les permite la conexión a la red pública de agua potable. Sin embargo, el suministro es por tandeo, esto es, sólo una vez por semana reciben agua. Una de las familias que se abastece de agua en una llave vecinal, acude con su pariente. La llave de la cual se abastece la otra familia, pertenece al patrón para el que trabaja la mujer. Sólo una familia captaba agua de lluvia, rudimentariamente, antes de contar con el SCALL de Fondo Pro Cuenca.

CAPÍTULO V

Análisis y Resultados

A continuación se describen y analizan los resultados encontrados en las encuestas aplicadas a los usuarios de ambos casos de estudio. El capítulo está estructurado bajo los tres diferentes impactos y los puntos más relevantes en torno a los hábitos de consumo de agua, los impactos en la vida socioeconómica y a la salud de éstos, la percepción de los usuarios con respecto a la calidad de agua de lluvia, la adopción y el uso sostenido de los SCALL.

Se hará referencia al primer estudio de caso, es decir Isla Urbana, como Xochimilco; y al segundo estudio de caso, Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, como Pro Cuenca.

5.1. Impacto ambiental

Xochimilco

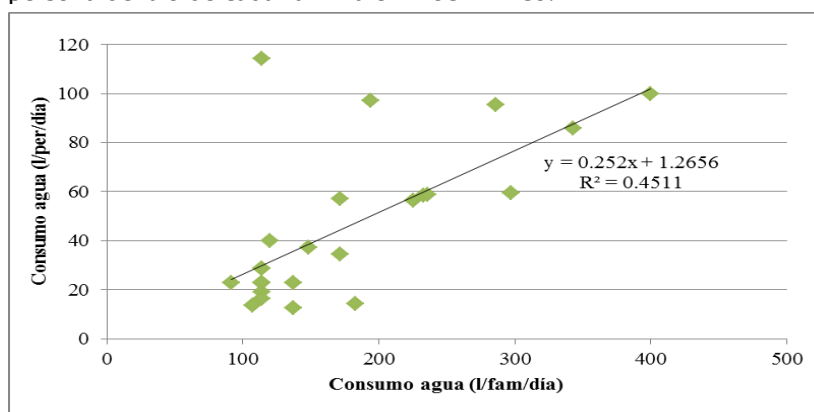
Consumo de agua

Debido a que se encontraron valores de consumo muy extremos se reporta la mediana y no el promedio. De los 32 usuarios encuestados se eliminaron los valores de consumo familiar de agua más altos debido a que representaban valores extremos y para mantener consistencia en los valores se eliminó el mismo número de datos con consumos más bajos. Se estimó que la mediana de consumo familiar de agua es 137 l/fam/día (ver [Anexo 5](#)), mientras que para el consumo *per cápita* es de 18 l/per/día (ver [Anexo 6](#)). Comparando este último consumo con lo sugerido por la OMS, se encuentra por debajo del rango. Si se compara con los consumos unitarios domésticos de la CONAGUA, considerando las características de la localidad, el consumo de las familias está muy por debajo de lo recomendado.

En la Figura 23 se presentan los consumos de agua por familia, que van de 91 a 400 l/día, y el consumo *per cápita* dentro de cada familia, que varía de 13 a 100 l/día. Se observa que el

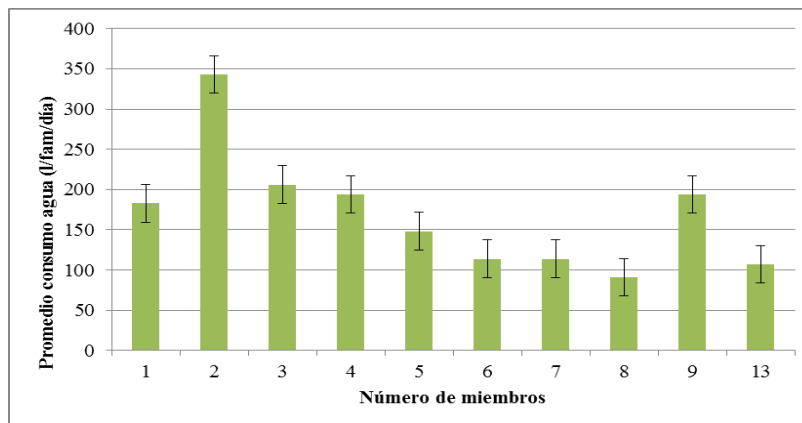
45% de la variación en el consumo familiar de agua puede explicarse por la variación del consumo por persona. En la Figura 24 se observa que un tamaño familiar grande no necesariamente presenta un consumo de agua alto. Aunque la Figura 24 sugiere una diferencia entre, por lo menos, el consumo de agua de dos miembros en la familia y el resto de los tamaños familiares, al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis se observa que no hay diferencia significativa entre los promedios de consumo de agua y el tamaño familiar (ver Figura 25). La cantidad de agua consumida por familia no tiene relación con el nivel económico ni con la presencia de niños dentro de la familia (ver [Anexo 7](#)). Quizás tenga relación con los hábitos de consumo dentro del hogar, es decir, cuestiones referentes al reúso y reutilización del agua, así como a otras actividades que requieran agua y que no se registraron en la investigación.

Figura 23. Relación entre consumo familiar de agua y el consumo por persona dentro de cada familia en Xochimilco.



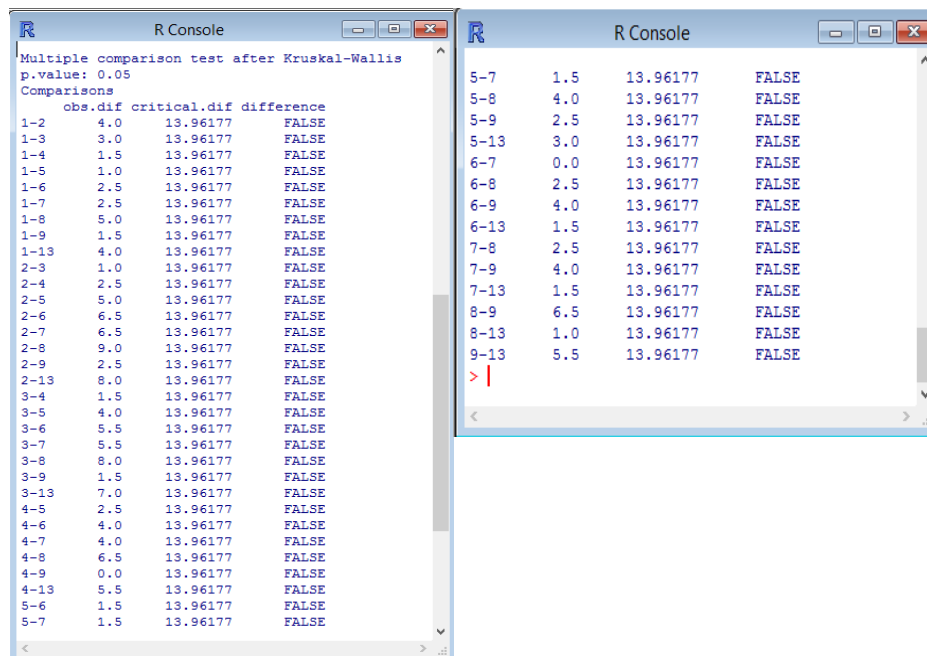
Fuente: Elaboración propia con base en 26 datos del presente

Figura 24. Promedio consumo familiar de agua por cada tamaño familiar en Xochimilco.



Fuente: Elaboración propia con base en 26 datos del presente trabajo.

Figura 25. Prueba Kruskal-Wallis para el promedio de consumo de agua en relación a cada tamaño familiar encontrado en Xochimilco.



Fuente: Elaboración propia.

Fuentes de abastecimiento de agua

Observamos un cambio en el suministro de agua en cuanto al tipo de fuente empleada. El Cuadro 4 muestra las fuentes de agua y el porcentaje de usuarios que usaban cada una de ellas antes y después de contar con el SCALL. Los porcentajes no suman 100 debido a que algunos encuestados obtienen agua de dos fuentes diferentes. Lo más notable es la reducción del uso de agua de los bidones y de la llave vecinal. Del total de personas que compraban agua de bidones (12), 75% dejó de comprar y lo reemplazó por agua de la pipa delegacional, 17% siguió usándola, y 8% ya no obtenía agua de ninguna fuente más que la captada por el SCALL. Las dos personas que se abastecían de agua de llave vecinal, dejaron de hacerlo y sólo usan agua de lluvia del sistema.

Cuadro 4. Porcentaje de usuarios usando cada tipo de fuente de agua antes y después de adquirir el sistema.

Fuente de agua	Antes del SCALL	Después del SCALL
Pipa delegacional	75%	81%
Bidones	38%	6%
Pipa privada	9%	9%
Llave vecinal	6%	0%
Lluvia	9%	3%

Fuente: Elaboración propia.

Después de contar con el SCALL, 91% de los encuestados usan el agua de lluvia en conjunto con otra fuente de agua. Sólo 9.4% de los usuarios (3 hogares) utilizan el agua captada del sistema como única fuente de abastecimiento. Sin embargo, en estos últimos hogares, el sistema se instaló tan sólo unos pocos meses antes de realizar la encuesta, por lo que aún contaban con agua de lluvia almacenada en la cisterna, pero desconocían la cantidad de meses que esta agua les duraría una vez terminada la temporada de lluvias.

Captación promedio de agua de lluvia en los hogares

Dado que la capacidad de captación de un sistema radica, principalmente, en el tamaño del techo, uno de los datos requeridos para obtener esta estimación fue el área del techo de los hogares muestreados. La capacidad de captación promedio de los sistemas en Xochimilco es de 36 m³ al año. Este volumen es, en la mayoría de los casos (84% del total de encuestados), menor al volumen de agua consumida por familia al año, por lo tanto no se puede considerar como única fuente para el abasto total del agua que necesitan las familias. Adicionalmente, la capacidad de almacenamiento de los tinacos del sistema es de 5 m³, por lo que, aunque una familia consumiera menos agua de la que capta, necesitaría un depósito de almacenamiento mayor o adicional al que la asociación les proporciona.

Para los casos en los que el volumen promedio de agua captada es mayor al volumen de agua consumida anualmente, es decir, 16% de los encuestados, se observan factores que pudieran influir en dichos resultados, éstos son: un área de captación muy grande, un consumo de agua bajo y/o un tamaño familiar menor a 4 personas.

No obstante, de acuerdo con Isla Urbana, el sistema de captación pretende ser “una segunda fuente de agua para las familias.” Considerando la premisa anterior, el SCALL implementado por Isla Urbana cumple su propósito, pues el agua de lluvia se usa en conjunto con otras fuentes de agua, proporcionando una opción práctica y barata de abastecimiento de agua.

Porcentaje de autosuficiencia con el agua de lluvia

Resultó complicado preguntar en las encuestas la cantidad de agua que los usuarios empleaban para cada uno de los usos domésticos. Por lo que solamente se preguntó la fuente de agua empleada para cada uso (ver Figura 26). Al respecto, se encontró lo siguiente:

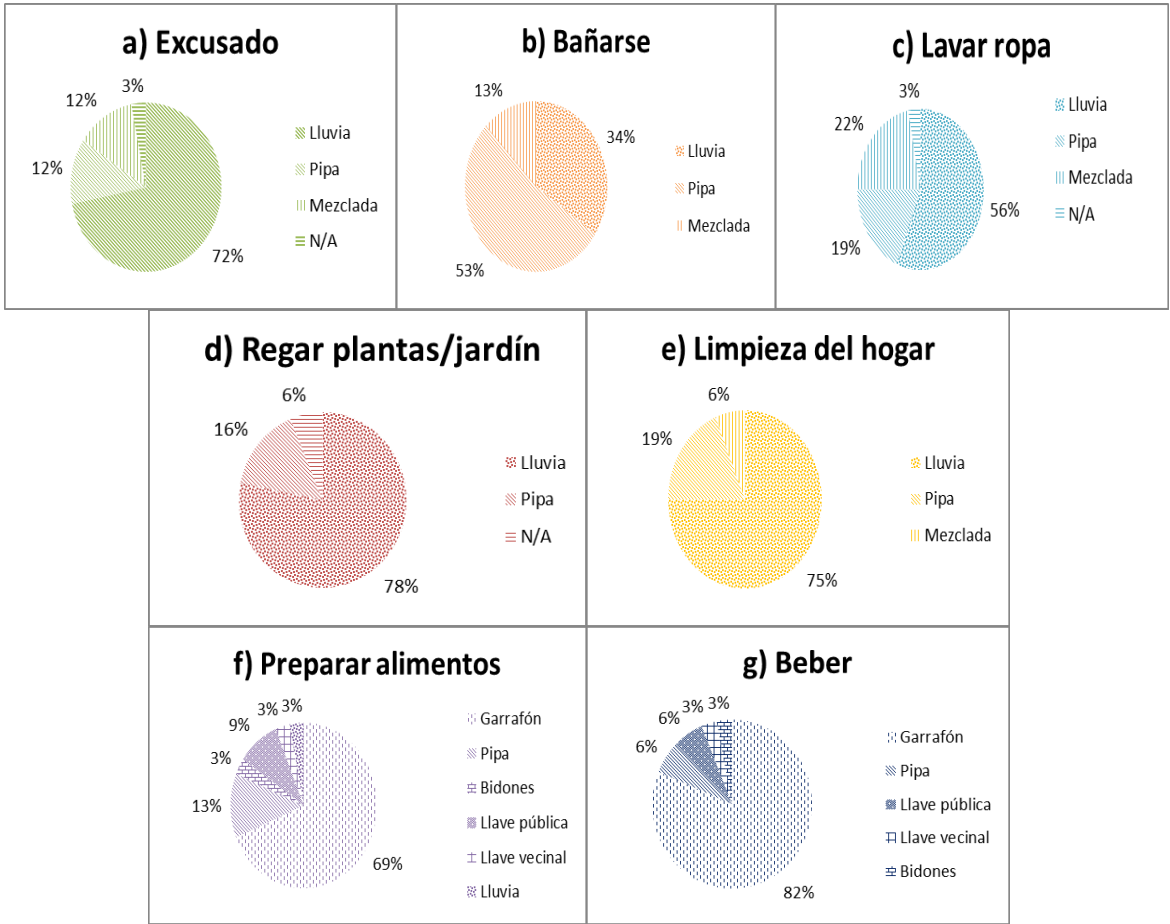
- Para el excusado la mayoría de los usuarios utilizan agua de lluvia. Es interesante mencionar que un hogar cuenta con Sanitario Ecológico Seco.
- Para bañarse los usuarios prefieren el agua de la pipa delegacional. La mayoría de las familias no cuentan con regadera y se bañan con cubetas.
- Para lavar la ropa la mayoría de los encuestados utilizan el agua de lluvia. Sólo hay una familia que no lava en el predio, sino que mandan a lavar.
- Para regar plantas y/o jardín las familias emplean el agua de lluvia principalmente.
- Para la limpieza general del hogar, incluyendo el lavado de trastes, los encuestados utilizan agua de lluvia en su mayoría.
- Para la preparación de alimentos y para beber las familias optan por consumir agua de garrafón.

El 59% de las familias reutilizan el agua de lluvia para algunas de las necesidades, principalmente para el excusado y regar las plantas y/o jardín.

De los siete usos domésticos, cuatro destacan por el uso de agua de lluvia como fuente principal, es decir, en estos 4 usos, más de la mitad de los usuarios recurren al agua de lluvia para satisfacer dichas necesidades. Los usos son: el excusado con 72% de los

usuarios usando agua de lluvia, el lavado de ropa con 56%, regar plantas y/o jardín con 78% y la limpieza del hogar con 75%. El 50% de los usuarios utilizan agua de lluvia para los 4 usos juntos.

Figura 26. Distribución de los principales usos del agua por fuente de abastecimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Pro Cuenca

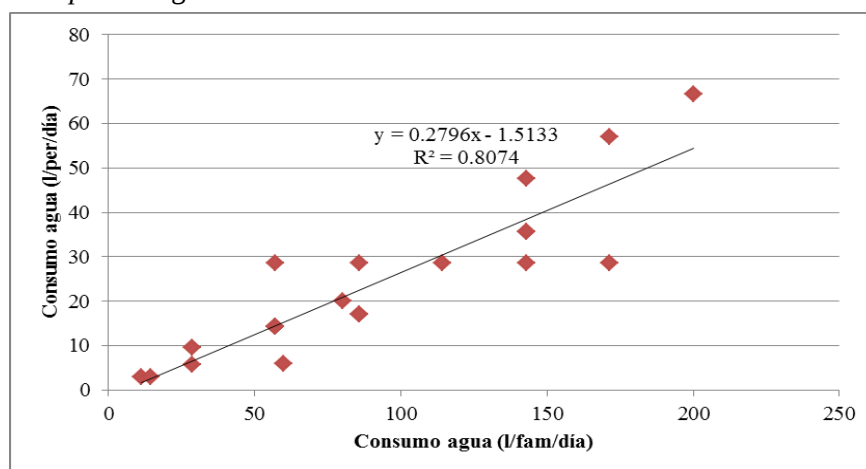
Consumo de agua

De las 29 usuarias encuestadas, 3 de ellas no pudieron contestar con exactitud cuántos litros de agua consumía su familia. Además, se descartaron los dos datos con mayor y con menor consumo de agua debido a que los primeros representaban datos extremos y los segundos se eliminaron para mantener constancia entre la eliminación de valores. Por lo anterior, la

mediana de consumo de agua se elaboró con 22 datos, éste resultó en 83 litros por día (ver [Anexo 8](#)) y para el consumo de agua *per cápita* es de 19 litros por día (ver [Anexo 9](#)). Este volumen está por debajo del rango señalado por la OMS; y aún más bajo si se compara con los volúmenes de consumo unitario sugeridos por la CONAGUA.

En la Figura 27 se muestra el consumo de agua por familia, que presenta un rango de 11 hasta 200 litros por día, en relación al consumo *per cápita*, que varía de 3 a 67 litros por día. El 80% de la variación en el consumo familiar de agua está explicado por la variación en el consumo de agua por persona en cada familia, es decir, estas dos variables están relacionadas una con la otra.

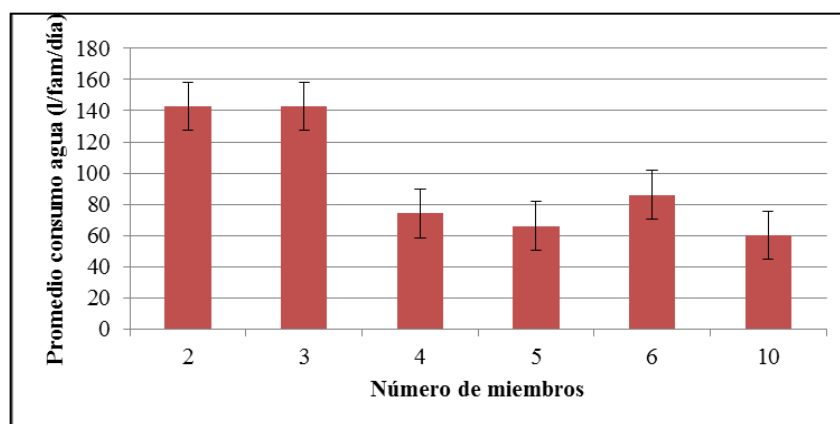
Figura 27. Relación entre consumo familiar de agua y consumo *per cápita* de agua en Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia con base en 22 datos del presente trabajo.

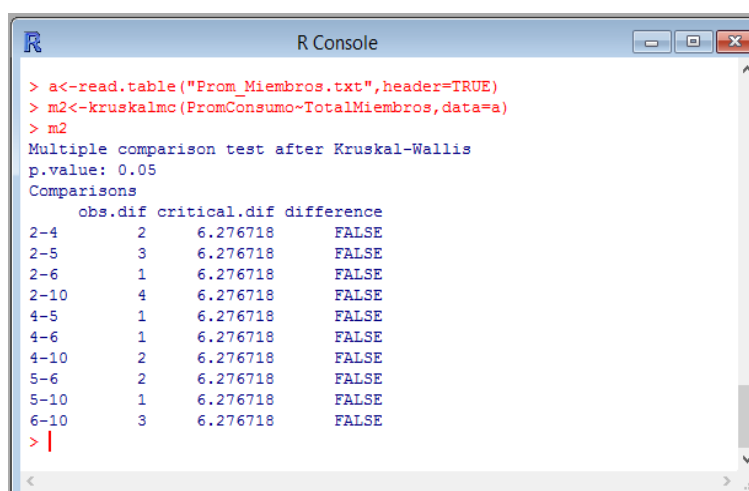
La Figura 28 muestra el tamaño familiar con su respectivo promedio de consumo de agua. Ésta sugiere una diferencia entre el consumo de agua de familias con 2 y 3 miembros y el consumo del resto de los tamaños familiares. Sin embargo, en la Figura 29 se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa con respecto a los consumos de agua y el tamaño familiar. Asimismo, el consumo familiar no está relacionado con el nivel económico ni con la presencia de niños en la familia (ver [Anexo 10](#)). Igualmente, puede estar vinculado con la reutilización, reúso del agua, y hábitos de ahorro de agua.

Figura 28. Promedio de consumo familiar de agua en cada tamaño familiar en Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia con base en 22 datos del presente trabajo.

Figura 29. Prueba Kruskal-Wallis para el promedio de consumo familiar de agua con respecto a cada tamaño familiar encontrado en Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Fuentes de abastecimiento de agua

Las fuentes de agua empleadas por los usuarios en este estudio de caso son más variadas que en Xochimilco, y de igual manera cambió la fuente principal de abastecimiento después de que los usuarios construyeran su SCALL. En el Cuadro 5 se muestran las fuentes de las cuales las familias se abastecen de agua y el porcentaje de usuarios que utilizan cada tipo de fuente antes y después de tener el sistema. Los porcentajes no suman 100 porque algunas

mujeres mencionaron el uso simultáneo de dos fuentes. Podemos observar que todas las mujeres que acudían al manantial dejaron de hacerlo y la mayoría de ellas reemplazó esa fuente por agua de la conexión a la red, por ello los usuarios de dicha fuente aumentaron después de contar con el sistema.

También se muestra que la mayoría de los usuarios se abastecen sólo del agua de lluvia captada, no obstante ocurrió lo mismo que en el caso de Xochimilco, esto es, las usuarias llevaban muy poco tiempo utilizando su sistema y la encuesta se aplicó durante la temporada de lluvias, por lo que aún contaban con agua de lluvia almacenada en la cisterna y desconocían los meses que les duraría dicha agua cuando comenzara la temporada de estiaje. Sin tomar en cuenta a las usuarias que afirmaron utilizar sólo el agua de lluvia, el 45% de los usuarios utilizan el agua de lluvia en conjunto con otra fuente de agua.

Cuadro 5. Fuentes de abastecimiento de agua y porcentaje de usuarios que emplean cada una de ellas antes y después de construir su SCALL en Pro Cuenca.

Fuente de agua	Antes del SCALL	Después del SCALL
Manantial	52%	0%
Llave pública	24%	3%
Pipa privada	17%	0%
Red	10%	39%
Llave vecinal	7%	3%
Lluvia	3%	0%
SCALL	0%	55%

Fuente: Elaboración propia.

Captación promedio de agua de lluvia en los hogares

La capacidad de captación promedio de los sistemas de Pro Cuenca, con respecto al área del techo, es de 18 m³. Para el 69% de los usuarios, dicho volumen de agua captada es menor al consumo de agua necesaria. El 31% de los usuarios restantes, consumen un volumen de agua menor al volumen que pueden captar en sus casas, por lo que el agua de lluvia podría considerarse como única fuente de abastecimiento. Sin embargo, habría que emplear un depósito de almacenamiento adicional al que ya construyeron en su sistema, pues éste tiene una capacidad de 10 m³.

Se observó que ese 31% de las familias tienen un techo de lámina galvanizada o teja con un coeficiente de escurrimiento muy alto, 0.9. Además, el volumen de agua consumida al año es muy bajo, éste no supera los 25 m³. El tamaño familiar no tiene relación en estos casos, pues se encuentran desde 2 hasta 10 miembros por familia.

El trabajo que Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo realiza tiene una visión a gran escala, donde la recuperación y restauración de la Cuenca de Valle de Bravo es el objetivo principal. Las ecotecnias que implementan son un primer paso para alcanzar la meta y comenzar un trabajo de concientización con las comunidades que habitan en la zona de la cuenca. Por lo tanto, las ecotecnias tienen como objetivo, en primer lugar, atender las necesidades inmediatas de las familias, para que en consecuencia, y como segundo lugar, éstas mejoren la relación que tienen con todos los recursos naturales. En este sentido el SCALL implementado por Fondo Pro Cuenca logra la mejora en el abasto de agua siendo éste más razonable al que tenían antes. Asimismo, las familias comienzan a racionar el agua de manera eficiente, logrando a largo plazo una mejora en las condiciones de los recursos.

Porcentaje de autosuficiencia con el agua de lluvia

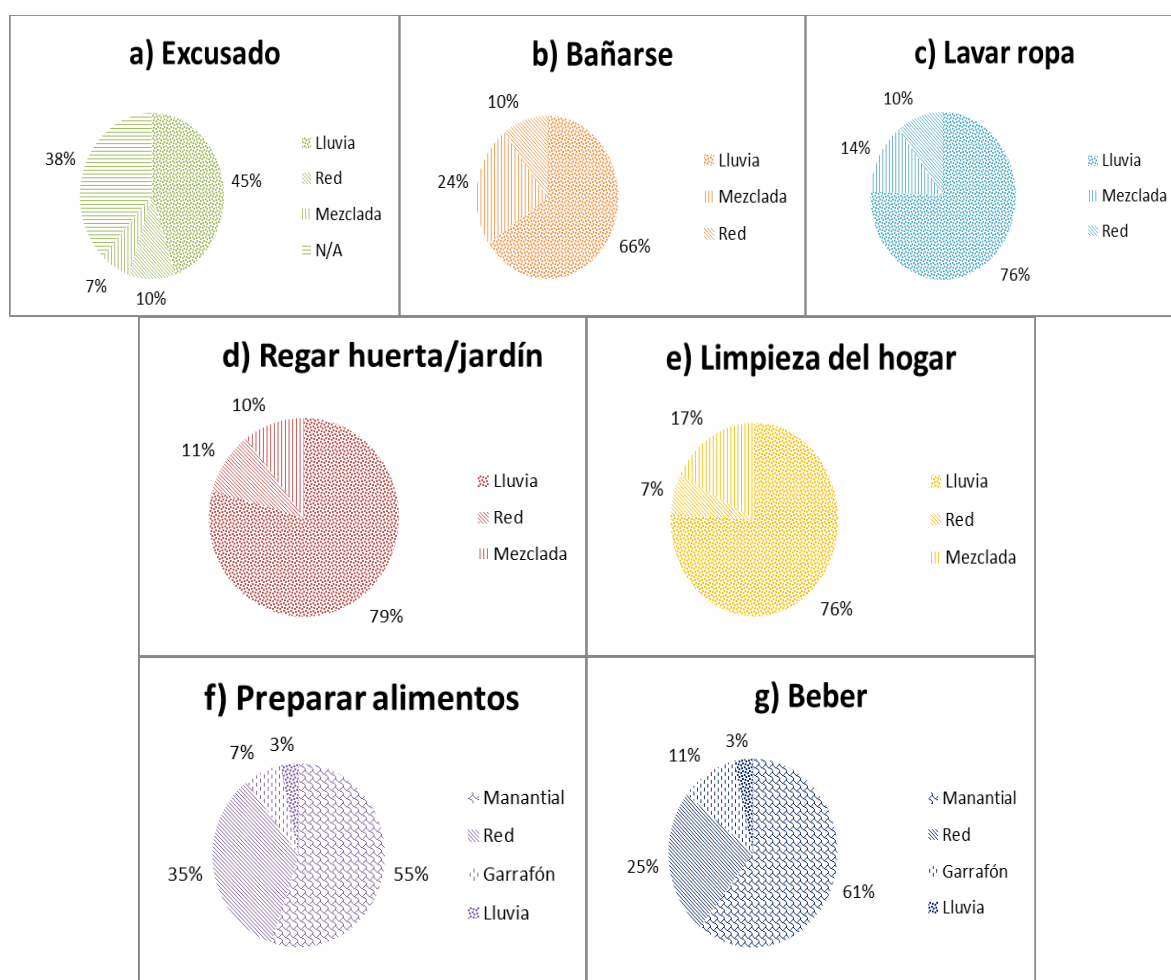
A continuación se presentan las fuentes de agua utilizadas para satisfacer cada una de las necesidades a nivel doméstico (ver Figura 30):

- Para el Excusado se encontró que 38% de los usuarios cuentan con SES. De los encuestados que cuentan con baño de agua, la mayoría utilizan agua de lluvia.
- Para Bañarse las familias prefieren el agua de lluvia como fuente principal. De la misma manera en que lo hacen en Xochimilco, la mayoría de las familias se bañan con cubetas, no cuentan con regadera.
- Para Lavar la ropa las mujeres utilizan agua de lluvia en su mayoría.
- Para Regar huerto y/o jardín la mayoría de las familias emplean el agua de lluvia.
- Para la Limpieza del hogar, igualmente, las encuestadas mencionaron que utilizan agua de lluvia en su mayoría.

-Para la Preparación de alimentos y para beber, la mayoría de las usuarias prefieren el agua de manantial y en menor proporción el agua de garrafón.

En cuatro de los siete usos del agua, más de la mitad de los usuarios emplean el agua de lluvia como fuente principal. Los usos son: bañarse con 66% de los encuestados; lavar ropa con 76% de los usuarios; regar huerto y/o jardín con 79%; y la limpieza del hogar con 79% de las familias. A pesar de que el excusado no presenta más del 50 por ciento de las familias usando agua de lluvia, puesto que el 38% de las familias tienen SES, este tipo de agua es la fuente principal para dicho uso cuando cuentan con baño de agua. El 62% de las familias usan agua de lluvia para los cuatro usos en conjunto, y 41% de ellas utiliza agua de lluvia para los cuatro usos más el excusado.

Figura 30. Distribución de los principales usos del agua por fuente de abastecimiento.



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Impacto social

Ahorro de tiempo

Como parte de los beneficios que se generan por el uso del sistema, está el ahorro de tiempo para las familias. En las comunidades de Xochimilco, el ahorro de tiempo se debe a diversas razones dependiendo de la forma en que la familia se abastecía de agua antes de adquirir el SCALL (ver [Anexo 11](#)). 27 de los encuestados afirmaron que ahorran tiempo ahora que cuentan con el sistema, 4 de ellos mencionaron que sí ahorran tiempo, pero no saben con exactitud cuánto, y 5 dijeron que no ahorran tiempo. De los encuestados que contestaron con afirmación, se estimó la mediana que resultó en 3 horas al día.

En las comunidades de Pro Cuenca el ahorro de tiempo se debe a que las mujeres dejan de trasladarse al manantial a acarrear agua y a lavar ropa allá; ahora lo hacen en sus propias casas. Después de contar con el SCALL, la mayoría de las usuarias afirmaron que ahorran tiempo al contar con el agua de lluvia en sus hogares (ver Cuadro 6). La mediana de ahorro de tiempo ahorrado en las comunidades es de 4 horas al día. La mediana está dada en horas a la semana. El equivalente monetario considera el salario mínimo de cada zona y está dado a la semana.

Cuadro 6. Respuestas de los usuarios con respecto al ahorro de tiempo después de adquirir un SCALL de Isla Urbana y Fondo Pro Cuenca, respectivamente.

	Xochimilco	Pro Cuenca
Sí	56%	93%
No	19%	7%
Sí, no sé cuánto	25%	---
MEDIANA	3	4
Equivalente monetario	\$158	\$200

Fuente: Elaboración propia.

Otros beneficios del SCALL percibidos por los usuarios

Asimismo, se les preguntó a los usuarios otros beneficios que percibieran que traía consigo el sistema de captación. Lavar más seguido es el beneficio más mencionado en ambos estudios de caso; sobre todo hacen referencia al lavado de cosas grandes y/o pesadas, o que no se suelen lavar muy seguido como cortinas, ropa de cama, zapatos, entre otras. Bañarse más seguido hace referencia sobre todo a los niños. Los porcentajes no suman el total de encuestados debido a que algunos usuarios mencionaron dos beneficios (ver Cuadro 7).

Cuadro 7. Otros beneficios percibidos por los usuarios de ambos estudios de caso.

Beneficio	Xochimilco	Pro Cuenca
Lavar más seguido	41%	69%
Bañarse más seguido	16%	55%
Menos enfermedades	13%	24%
Disponibilidad de agua	22%	10%
Más higiene	22%	3%
Otros	25%	17%

Fuente: Elaboración propia.

Percepción de la calidad del agua de lluvia

En este indicador se observa un contraste entre los dos estudios de caso. La mayoría de los usuarios de Xochimilco consideran el agua de lluvia de la misma calidad que otras fuentes de agua³⁰. En Pro Cuenca la mayoría de las mujeres encuestadas perciben el agua de lluvia de mejor calidad que otras fuentes³¹ (ver Cuadro 8). Lo anterior quizás se deba a que Isla Urbana no recomienda el consumo directo del agua de lluvia, a menos de que se tengan filtros adicionales. En Pro Cuenca, esto puede deberse a que, como se mencionó en el capítulo anterior, las mujeres lavan ropa a orillas del manantial y pueden observar directamente como el agua se ensucia con el jabón.

Sin embargo, cuando se observan las fuentes de agua empleadas para cada uso doméstico, los usuarios no emplean el agua de lluvia para beber ni para cocinar alimentos; inclusive, en

³⁰ Para este caso se comparó con la calidad del agua de la pipa delegacional.

³¹ En este caso se hizo énfasis en comparar la calidad del agua de lluvia con la del manantial.

Xochimilco no es común que se use el agua de lluvia para la higiene personal (bañarse), y en Pro Cuenca el agua para beber y cocinar es la del manantial, aunque es más común que se utilice el agua de lluvia para bañarse.

Cuadro 8. Percepción de los usuarios sobre la calidad del agua de lluvia con respecto a otras fuentes en ambos estudios de caso.

	Xochimilco	Pro Cuenca
Igual	63%	28%
Mejor	31%	62%
Peor	6%	10%

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se identificaron labores realizadas por los usuarios para mantener limpia el agua de lluvia. Para Xochimilco, éstas son colocar cloro al agua de lluvia almacenada en la cisterna y cambiar el cartucho de carbón activado del filtro (ver Cuadro 9a); mientras que para Pro Cuenca son limpiar las piedras del filtro de arena, y colocar cal y un pedazo de cobre en la cisterna (ver Cuadro 9b).

La mitad de los usuarios en Xochimilco aún no han cambiado el cartucho de carbón activado, esto se debe a que el cartucho aún no ha alcanzado su tiempo de vida.

Cuadro 9a. Labores de mantenimiento para la limpieza del agua de lluvia en Xochimilco.

	Xochimilco	
	Cloro en la cisterna	Cambiar filtro
Sí	59%	47%
No	38%	50%
N/A	3%	3%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9b. Labores de mantenimiento para la limpieza del agua de lluvia en Pro Cuenca.

	Pro Cuenca	
	Limpiar filtro	Cal y cobre
Sí	86%	52%
No	14%	48%

Fuente: Elaboración propia.

Percepción sobre la facilidad de uso y mantenimiento

Se identificaron todas las labores de mantenimiento que realizaban las familias (ver [Anexo 12](#) y [Anexo 13](#)). Proporcionar mantenimiento al sistema permite que el agua no se ensucie a su paso por todos los componentes del sistema y que el sistema funcione correctamente.

Se preguntó por la facilidad de uso y mantenimiento del sistema. Asimismo, se identificó la manera en la que los usuarios aprendieron a usar el sistema y a darle mantenimiento. En Xochimilco, la mayoría de los encuestados aprendieron por medio de la comunicación directa por los técnicos instaladores junto con otra forma, como el manual o el DVD (ver [Anexo 14](#)). Mientras que en Pro Cuenca todas las mujeres encuestadas aprendieron sobre el funcionamiento y mantenimiento del sistema a través de los grupos de trabajo, es decir, aprendieron por medio de capacitaciones en donde el personal de la asociación enseña a los usuarios sobre estos aspectos.

En ambos estudios de caso, la mayoría de los usuarios consideran que, tanto el uso como el mantenimiento del sistema es fácil de hacer. Ningún usuario dijo que estas actividades le parecían muy difíciles de realizar (ver Cuadro 10).

Cuadro 10. Percepción de los usuarios sobre el uso y mantenimiento de los SCALL.

	Xochimilco		Pro Cuenca	
	Uso	Mantenimiento	Uso	Mantenimiento
Muy fácil	34%	25%	7%	7%
Fácil	63%	56%	93%	76%
Difícil	3%	19%		14%
No sé	--	--	--	3%

Fuente: Elaboración propia.

Difusión de los SCALL

Para evaluar la difusión de los sistemas, se tomó en consideración el total de personas en las localidades y el total de sistemas implementados, así como el año en que el primer

sistema fue instalado/construido. En Xochimilco, se estima que durante 3 años que han transcurrido desde la primera instalación hasta el momento de la investigación, tan sólo 6% de la población total de Tehuixtitla ha adquirido el SCALL. Para el caso de la localidad de Tecalipac, se estimó que durante 3 años el 22% de la población total ha adquirido el SCALL. Para Pro Cuenca, en Rincón de Estradas se estimó que durante el transcurso de 8 meses el 69% de la población ha construido el sistema. En la comunidad de Mesas de San Martín, los años de construcción son mucho más variados, el primer sistema se construyó en 2010, por lo que durante estos 4 años el 76% de la población total ha construido el SCALL (ver Cuadro 11).

Cuadro 11. Estimación del grado de difusión de los SCALL en cada uno de los sitios de estudio.

	Xochimilco		Pro Cuenca	
	Tehuixtitla	Tecalipac	Rincón de Estradas	Mesas de San Martín
Total de viviendas	498	100	91	110
Total de SCALL implementados	29	22	63	83
Primer año de instalación de los sistemas muestreados	2012	2012	2014	2010
% de población con SCALL	6%	22%	69%	76%

Fuente: Elaboración propia.

Adopción y uso de los sistemas

Una vez que pasa la etapa de difusión de la ecotecnología, se evalúa la adopción o el abandono de ésta. Para realizar dicha evaluación, se estimó el porcentaje de usuarios que utilizaban su sistema en el momento de la investigación. En Xochimilco, de los 32 usuarios encuestados, 3 de ellos no utilizaban su SCALL, por lo tanto, el porcentaje de uso corresponde al 90.6%. Sin embargo, es relevante mencionar que las razones de no uso se deben a cuestiones ajenas al sistema *per se*. Esto es, en uno de los casos el usuario había desconectado el sistema debido a una construcción que se estaba llevando a cabo en su

hogar. En otro, el usuario había desconectado los tubos de la cisterna para cambiarla de lugar, puesto que necesitaba el espacio, y llevaba aproximadamente 3 días sin conectarla. En el último caso, el usuario había construido en el predio y lo tuvo que desconectar, sin embargo, llevaba 6 meses sin poderlo instalar porque no sabía cómo hacerlo y no había contactado a la asociación. Es decir, lo dejaron de usar por otras cuestiones particulares ajenas al sistema.

En Pro Cuenca, el 100% de las encuestadas usaba su sistema al momento del estudio. En ambos estudios de caso, los usuarios afirmaron haber usado su sistema cada temporada de lluvias previa y seguirlo usando en las temporadas posteriores.

Interés de los usuarios por adquirir el SCALL en Xochimilco

Estas preguntas sólo se añadieron en la encuesta aplicada a los usuarios en Xochimilco por sugerencia e interés de la asociación, éstas fueron:

1. ¿Cómo le presentaron el proyecto?

- a) Como cisterna b) Como SCALL c) Otro

Y la segunda:

2. ¿Por qué le interesó el proyecto?

- a) Por la cisterna b) Por todo el sistema c) Otro

La razón por la que le interesaba conocer estos datos, fue que al presentar el proyecto ante los líderes comunitarios, hubo una confusión y el proyecto se entendió sólo como la implementación de una cisterna de almacenamiento y no como todo un sistema de captación de agua de lluvia. Por lo tanto, quería conocer la razón por la que las familias habían adquirido el SCALL. El Cuadro 12 muestra el interés en obtener el SCALL. Los números entre corchetes indican el número de menciones que tuvo cada interés, por lo que no suman el total de encuestados. La mayoría de los usuarios se interesaron en el programa debido a la escasez y/o por tener agua y, más que por tener sólo la cisterna de almacenamiento, les interesó por el sistema completo.

Cuadro 12. Interés de los usuarios por adquirir el sistema de captación de agua de lluvia de Isla Urbana.

Interés	Número de usuarios
Por la escasez y/o tener agua	13
Por todo el sistema	12
Por la cisterna	5
Por el ahorro económico	4
Para aprovechar el agua de lluvia	2

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Impacto económico

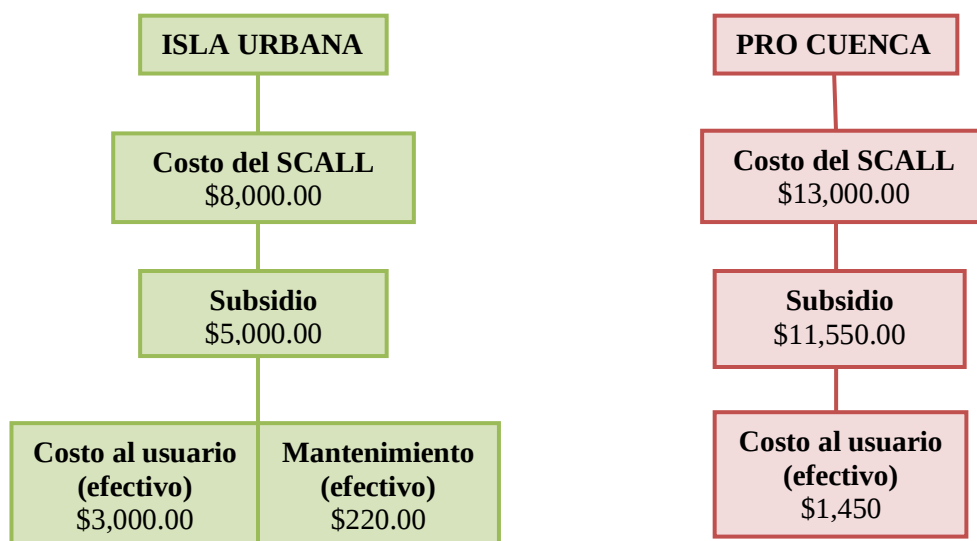
Costo del sistema a los usuarios

Los estudios de caso presentan diferentes esquemas de *cobro* a los usuarios. Es decir, cada uno tiene diferentes formas en las que pide al usuario realizar una contribución para el sistema. La Figura 31 ilustra los esquemas de contribución del usuario al SCALL en cada estudio de caso. El sistema implementado en Xochimilco tiene un costo total de aproximadamente \$8,000.00 MXN que incluye materiales y mano de obra; mientras que el de Pro Cuenca es de \$13,000.00 MXN incluyendo sólo materiales, sin mano de obra. Isla Urbana pide a sus usuarios la contribución del 10% al 20% del costo total del sistema, es decir, los usuarios deben pagar máximo \$1,600.00 MXN.

Sin embargo, se encontró que los usuarios en Xochimilco pagan alrededor de \$3,000.00 MXN, pagando una parte cuando se acepta la instalación y la otra parte se paga a los técnicos después de que instalan el sistema. Esto significa que los usuarios están pagando alrededor del 40% del costo total del sistema. Pro Cuenca pide a sus usuarios contribuir al sistema con los metros cúbicos de arena y grava, además de la mano de obra. El metro cúbico de los dos materiales de construcción tiene un costo aproximado de \$290.00 MXN, son 5 metros cúbicos los necesarios para la construcción del sistema, por lo que, los usuarios aportan en efectivo \$1,450.00 MXN, que representa el 11% del costo total del SCALL.

Por otro lado, en Xochimilco el gasto que los usuarios hacen para el mantenimiento del sistema es de \$220.00 MXN. En Pro Cuenca no se considera el gasto por mantenimiento debido a que es muy bajo y las labores son inusuales.

Figura 31. Esquema de cobro y costo al usuarios de los SCALL implementados por los estudios de caso.



Fuente: Elaboración propia.

Ahorro de dinero

Los usuarios en los dos estudios de caso afirmaron ahorrar dinero al adquirir el SCALL. Sin embargo, en Xochimilco la mediana de ahorro de dinero corresponde a \$113 MXN a la semana. En Pro Cuenca, la mediana de ahorro de dinero se estimó en \$0 MXN a la semana, es decir, el ahorro de dinero no es muy usual, por lo que inclusive la mediana no alcanzó a representar ningún valor monetario (ver Cuadro 13). La mediana está dada a la semana.

Cuadro 13. Respuestas de los usuarios con respecto al ahorro de dinero después de adquirir un SCALL.

	Xochimilco	Pro Cuenca
Sí	72%	41%
No	16%	45%
Sí, no sé cuanto	12%	14%
MEDIANA ahorro	\$113	\$0

Fuente: Elaboración propia.

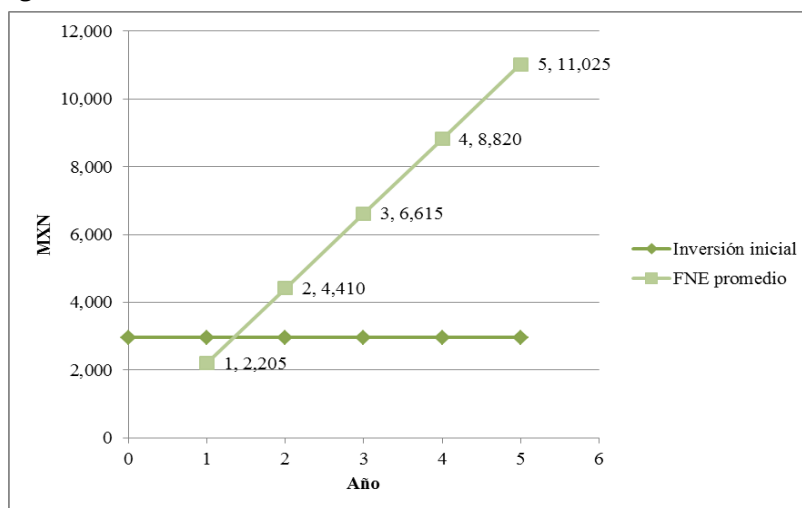
Periodo de Retorno de Inversión (PRI)

Una de las limitaciones que se encontraron durante la realización de la investigación y, posteriormente, en el análisis de la información, fue el poco tiempo transcurrido entre la construcción del sistema y la aplicación de la encuesta. Esto, debido a que los usuarios aún no habían usado su SCALL por lo menos dos temporadas de lluvias y desconocían parte de la información preguntada. Como se mencionó en el Capítulo III, se dialogó con el personal de Pro Cuenca para determinar que los usuarios a los que se les aplicaría la encuesta llevaran usando el sistema por lo menos un año, sin embargo, este tiempo sigue siendo limitado para que los usuarios conozcan a fondo la dinámica de uso del sistema.

Por lo anterior, se eliminaron ciertos casos para estimar el PRI, así que este cálculo se realizó sólo para 15 usuarios en Xochimilco y 10 usuarias en Pro Cuenca. Adicionalmente, en Xochimilco se descartó un caso para calcular el promedio, puesto que su PRI resultó en 175 años, dato extremo.

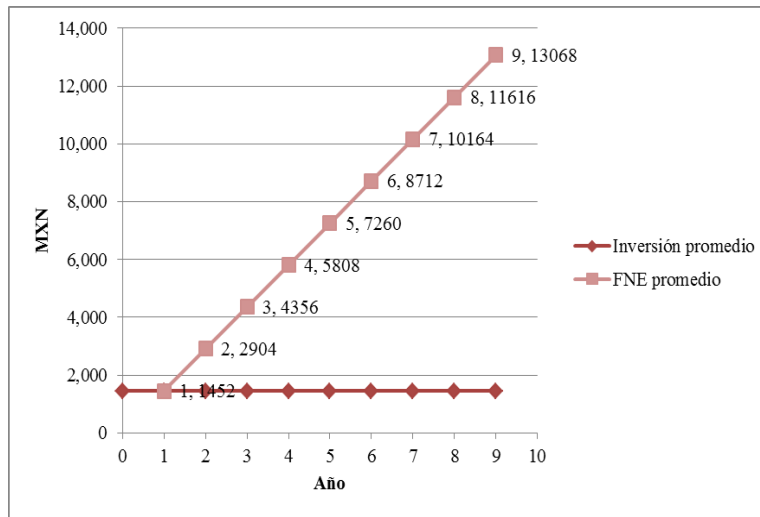
En Xochimilco, se estimó el promedio del PRI en 1.3 años, es decir, 1 año 4 meses aproximadamente (ver Figura 32); mientras que en Pro Cuenca, el promedio resultó en 1 año (ver Figura 33).

Figura 32. Periodo de Retorno de Inversión del SCALL de Isla Urbana.



Fuente: Elaboración propia con base en 14 datos del presente trabajo.

Figura 33. Periodo de Retorno de Inversión promedio del SCALL de Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia con base en 10 datos del presente

5.4. Factores para la adopción y uso sostenido

En la Figura 34 se presentan los factores encontrados en esta investigación que tienen relación con la adopción y uso sostenido de los sistemas en ambos estudios de caso.

Figura 34. Factores relacionados con la adopción y uso sostenido de los SCALL en Xochimilco y Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

1) Accesibilidad a otras fuentes de agua

El nivel de accesibilidad al agua en las comunidades tiene repercusión en la adopción del sistema. Las familias en Xochimilco cuentan con fácil acceso al agua de la pipa delegacional gratuita, por lo que tienden a no depender del agua de lluvia tanto en comparación con la pipa. El agua de lluvia cubre una buena proporción de la demanda de agua para usos no potables en los hogares durante la temporada de lluvias, pero debido a la accesibilidad y cero costo del agua de pipa, aunado a la desconfianza hacia la calidad del agua de lluvia, prefieren emplear el agua de pipa para los usos potables. En Pro Cuenca ocurre que para los usos no potables las mujeres dejan de trasladarse al manantial por agua porque la sustituyen por la captada del SCALL, complementando el suministro con la proveniente de la red pública. El suministro de agua de la red es intermitente y tiene un costo fijo mensual de \$100.0 MXN, es decir, que usen o no usen agua de la conexión siempre pagan esa cantidad. Lo anterior nos demuestra que a pesar de lo inconstante que es el suministro de la red pública, su accesibilidad permite su uso, evitando así el traslado al manantial.

2) Esquema de implementación

Este tema hace referencia a la estrategia por la cual la asociación implementa el sistema y cómo este proceso se relaciona con los usuarios. Se encontró que entre mayor es la participación de los usuarios en la implementación del sistema, mayor aceptación tendrá y será mucho más fácil que lo continúen usando. Se observó que los usuarios en Pro Cuenca, quienes construyen su propio sistema, saben cómo funciona y cómo reparar cualquier daño sin depender de la ayuda de la asociación. El hecho de que sean ellos mismos quienes lo construyan genera consciencia del esfuerzo que requirió el proceso de construcción, además, lo adaptan a su gusto, por ejemplo en los dibujos que pintan en la bomba y la pileta (ver Figura 35), lo que permite que se sientan más identificados y relacionados con el sistema.

Figura 35. Pileta y bomba de mecate pintadas y decoradas por una familia en Rincón de Estradas, Valle de Bravo.



Fuente: Fotografía Adriana Salinas.

Por otro lado, en Xochimilco los usuarios no se involucran en la instalación del SCALL, es el personal capacitado de la asociación quien se hace cargo de dicha actividad. Por esta razón cuando tienen algún problema con el funcionamiento del sistema, generalmente tienen que esperar a que la asociación visite la comunidad o contactarlos para que ésta les brinde ayuda. Lo anterior no significa que las familias en Xochimilco no valoren el sistema, pues pueden identificar con facilidad las ventajas y beneficios, y se sienten satisfechos con éste, más bien hace referencia a la falta de independencia con la asociación. A manera de ejemplo, se encuentra la familia que llevaba alrededor de 6 meses sin conectar su sistema debido a la falta de conocimiento del proceso de instalación. Esta familia contaba con el servicio de pipa gratuita y recolectaban rudimentariamente agua de su techo almacenándola en unos tambos, por lo que la desconexión del SCALL no representaba escasez de agua para sus actividades. Se ha explicado con anterioridad que Isla Urbana implementa el sistema por personal capacitado, así aseguran su buen funcionamiento desde el inicio, evitan fallas y abandono en el uso del sistema por parte de la familia.

3) Percepción sobre la calidad de agua de lluvia

Este factor repercute en la adopción y uso del sistema puesto que entre mejor sea percibida la calidad del agua, ésta se empleará para más actividades dentro del hogar. Es el caso de los usuarios de Pro Cuenca quienes además de utilizar el agua del sistema para usos no potables, también la utilizan en contacto directo al bañarse. Por el contrario, los usuarios en Xochimilco sólo emplean el agua de lluvia para usos no potables.

Se esperaría que al contar con fácil acceso al agua de lluvia los usuarios la utilizaran para cubrir su demanda, sin embargo, como ya se ha mencionado, el agua empleada para usos potables sigue siendo de otras fuentes, el garrafón y pipa para el caso de Xochimilco y el manantial en Pro Cuenca.

Lo anterior nos indica que la percepción de una buena calidad del agua de lluvia, permitirá con mayor facilidad el uso sostenido del sistema. El contar con la confianza de utilizarla para todos los usos a nivel doméstico, dicho suministro se considerará importante para cubrir la demanda de consumo de agua.

4) Seguimiento por parte de las asociaciones

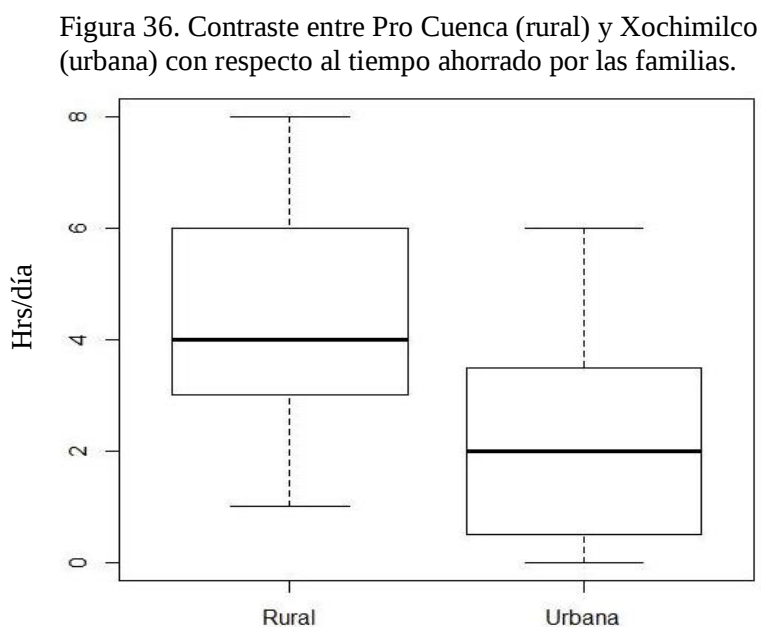
Se ha explicado la razón por la que el seguimiento es la parte más relevante en los proyectos de ecotecnologías. El seguimiento es una forma de acompañamiento para los usuarios, por lo que se debe realizar constantemente y no abandonarlo una vez terminada la implementación del sistema. Estos estudios de caso no son la excepción, pues las visitas que ambas asociaciones realizan a las comunidades permiten que los usuarios mantengan el funcionamiento y uso adecuado de los sistemas, además de que ayudan a resolver cualquier duda. Adicionalmente, la interacción constante entre asociación y usuarios forma relaciones de confianza y comunicación que a largo plazo propician la ampliación de la difusión del proyecto.

El caso de la familia que no ha usado su sistema por más de 6 meses en Xochimilco, nos indica que las visitas a esa comunidad no han sido frecuentes, por lo que no se han

percatado del abandono de dicho sistema. Sin embargo, es importante recalcar que la asociación proporciona directamente a los usuarios teléfonos fijos y móviles para que ellos se contacten con la asociación. Por lo tanto, el uso del sistema es una responsabilidad compartida entre asociación y usuarios, asimismo, el trabajo de la asociación debe ser, también, identificar las razones por las que los sistemas se abandonan.

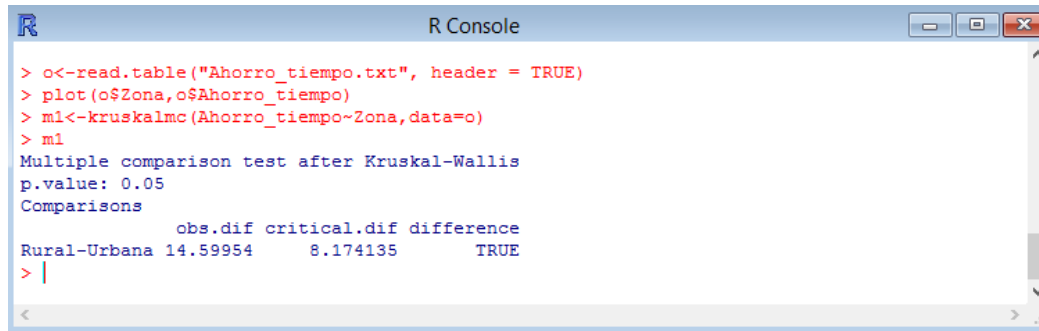
5.5. Diferencias entre urbano y rural

Existen diferencias entre los impactos que se generan en el contexto urbano y rural, además de otras variables como el consumo de agua y la inversión inicial. Los impactos más relevantes son en cuanto al ahorro de tiempo y el ahorro de dinero. En la Figura 36 se contrasta Pro Cuenca (zona rural) y Xochimilco (zona urbana) con respecto al ahorro de tiempo. Se observa que en ambas zonas la variación de ahorro es amplia, no obstante, en la zona rural se ahorra más tiempo que en la zona urbana. La prueba de Kruskal-Wallis (ver Figura 37) muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el contexto rural y urbano con respecto al tiempo ahorrado por las familias



Fuente: Elaboración propia.

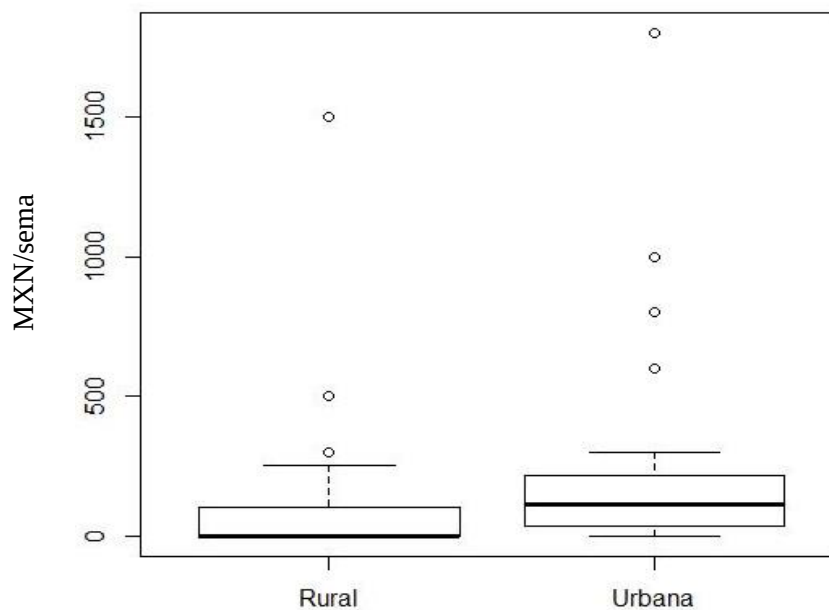
Figura 37. Prueba Kruskal-Wallis para estimar relación entre el ahorro de tiempo y la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 38 se muestra la relación entre el ahorro económico y la zona de estudio. En ambos estudios de caso se presentaron datos extremos (*outliers*), es decir, valores que están alejados de la media calculada. En ambos estudios de caso se observa que la variación de ahorro es reducida y la mediana no se aleja mucho una de otra, aunque en la zona urbana las familias ahorran más dinero que aquellas en las zonas rurales. Lo anterior se confirma con la prueba de Kruskal-Wallis (Figura 39) que muestra una diferencia significativa entre las zonas de estudio con referencia al ahorro de dinero.

Figura 38. Contraste entre Pro Cuenca (rural) y Xochimilco (urbana) con referencia al ahorro económico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Prueba Kruskal-Wallis para el ahorro de dinero con respecto a la zona de estudio.

```

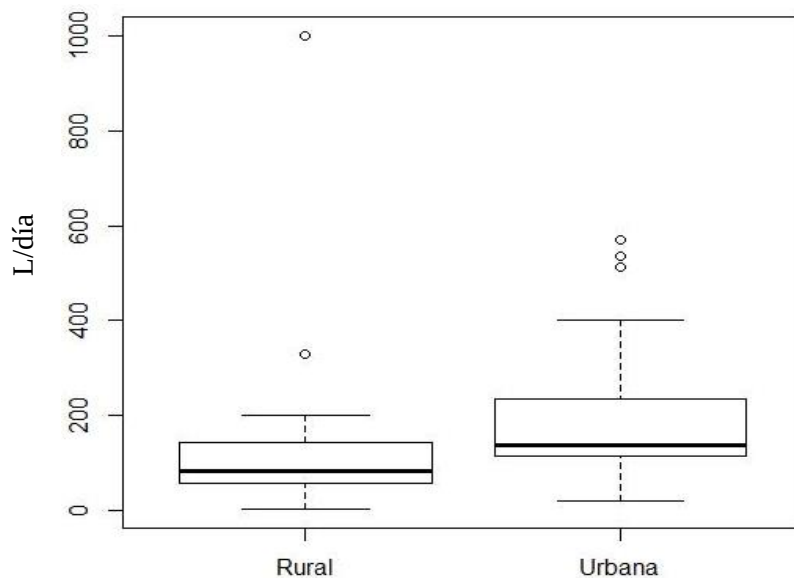
R Console
> plot(o$Ahorro_dinero,o$Zona)
> plot(o$Zona,o$Ahorro_dinero)
> m1<-kruskalmc(Ahorro_dinero~Zona,data=o)
> m1
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
      obs.dif critical.dif difference
Rural-Urbana 11.73571      8.328776      TRUE
> |

```

Fuente: Elaboración propia.

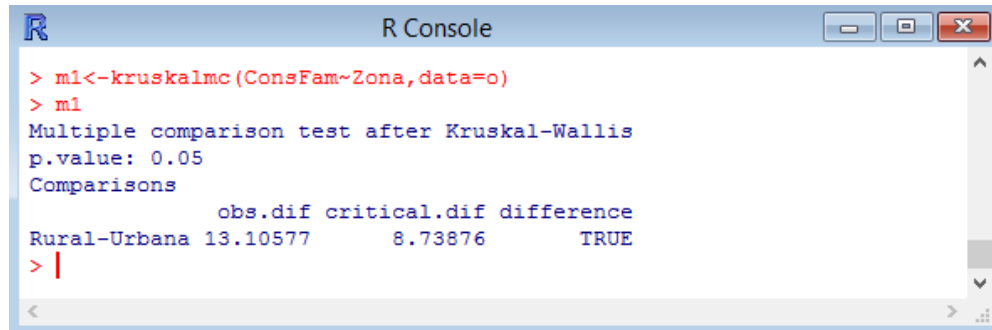
Por otro lado, el consumo de agua presenta una diferencia importante entre las dos zonas de estudio. La Figura 40 muestra el consumo familiar de agua con respecto a la zona. En ambos estudios de caso se presentan valores extremos. Se observa que el rango de consumo de agua en la zona urbana es más amplio que en la zona rural, a pesar de que la mediana no sugiere mucha diferencia. Sin embargo, en la Figura 41 se observa la prueba Kruskal-Wallis que nos indica la diferencia significativa de consumo de agua entre las dos zonas.

Figura 40. Consumo familiar de agua con relación a la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

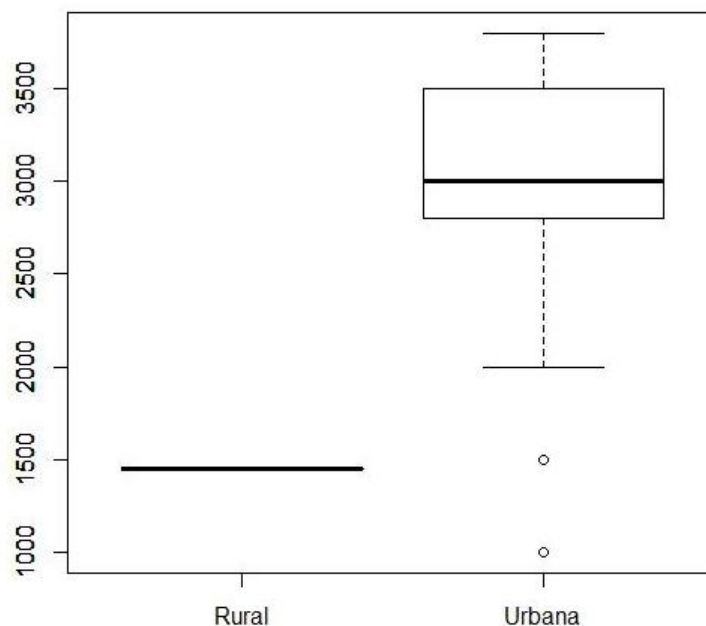
Figura 41. Prueba Kruskal-Wallis para el consumo familiar de agua con respecto a la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el costo del SCALL en ambos contextos es muy marcado como se observa en la Figura 42. La inversión que los usuarios aportan en Pro Cuenca (rural) es igual para todos, por lo que no presenta variación. En contraste, el costo a los usuarios en Xochimilco es variado e, inclusive, presenta outliers. Para confirmar diferencia entre los estudios de caso, se aplicó la prueba Kruskal-Wallis (Figura 43) la cual es positiva ante la diferencia.

Figura 42. Inversión inicial del SCALL en relación al contexto rural y urbano.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Prueba Kruskal-Wallis para el costo al usuario con respecto a la zona de estudio.

```

R Console
> o<-read.table("Costo_SCALL.txt",header=TRUE)
> plot(o$Zona,o$Costo)
> m1<-kruskalmc(Costo~Zona,data=o)
> m1
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
      obs.dif critical.dif difference
Rural-Urbana 28.59375      8.92091      TRUE
> |

```

Fuente: Elaboración propia.

5.6. Difusión y adopción del SCALL

Las estrategias de difusión de los estudios de caso presentan varias diferencias en el proceso. Algunas características de estas estrategias promueven y favorecen la adopción de los sistemas. En el Cuadro 14 se sintetiza el proceso de difusión de Xochimilco y Pro Cuenca.

Cuadro 14. Características de la estrategia de difusión de los estudios de caso.

	Xochimilco	Pro Cuenca
Información proporcionada	Juntas vecinales, manuales, DVD	Grupos de trabajo
Canales de comunicación	Interpersonal	Medios de comunicación masiva, interpersonal
Alcance difusión de los agentes de cambio	Líderes comunitarios	La comunidad se acerca a la asociación
Forma de implementación	El sistema lo instala personal capacitado	El sistema lo construyen los usuarios
Sistema social	Redes de comunicación personal deficientes	Redes de comunicación personal estrechas

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos más relevantes que influyen en la adopción del sistema son la información proporcionada, la forma de implementación y el sistema social. En Xochimilco, la transmisión de información se hace a través de las juntas vecinales para dar a conocer el

SCALL, una vez implementado, los técnicos explican el funcionamiento del sistema y se le proporcionan a los usuarios un manual y un DVD que contienen información sobre el uso y mantenimiento que se le debe dar al sistema. En Pro Cuenca, la información es transmitida durante el proceso de construcción en los grupos de trabajo, lo que permite que el aprendizaje sea teórico-práctico, a diferencia de Xochimilco en donde es teórico.

La implementación del sistema en Xochimilco es ajena a los usuarios, pues ellos no participan en la instalación, mientras que en Pro Cuenca son los usuarios quienes construyen su propio sistema. Como se mencionó anteriormente, eso tiene repercusiones en la adopción en el sentido de que los usuarios en Pro Cuenca no dependen de la asociación para la reparación del sistema y pueden hacerlo ellos mismos, mientras que los usuarios en Xochimilco son más dependientes de la asociación para componer cualquier falla en el sistema, obstaculizando la adopción total del sistema.

La comunicación entre los vecinos en Pro Cuenca, sobre todo entre las mujeres, es muy estrecha, lo que permite que los beneficios del SCALL sean percibidos con mayor intensidad por aquellos que no han adoptado aún un SCALL. En Xochimilco, sucede lo contrario, por lo que las ventajas y beneficios de los sistemas no suelen percibirse con facilidad entre los vecinos de la comunidad.

Por otro lado, en el Cuadro 15 se muestran las características del SCALL implementado por cada estudio de caso con respecto a lo planteado en la teoría de la difusión de innovaciones.

Cuadro 15. Descripción de los SCALL implementados por los estudios de caso con respecto a las características planteadas en la teoría Difusión de Innovaciones.

	Xochimilco	Pro Cuenca
Ventaja relativa	Mejor que los bidones y pipa privada	Mejor que el manantial
Compatibilidad	Buena para cubrir necesidades no potables	Excelente para cubrir necesidades no potables
Complejidad	Fácil de usar y mantener	Fácil de usar y mantener
Capacidad de prueba	Mala, no se experimenta/prueba el SCALL antes de adquirir	Mala, no se experimenta/prueba el SCALL antes de adquirir
Visibilidad	Regular, los beneficios se perciben con dificultad	Buena, los beneficios se perciben con facilidad

Fuente: Elaboración propia.

La ventaja relativa y la compatibilidad se relacionan con las necesidades de agua que cubre el SCALL, por lo tanto, en ambos estudios de caso se considera mejor que las fuentes que sustituye, pues el agua captada se emplea para usos no potables. En Pro Cuenca se considera la compatibilidad excelente dado que el agua de lluvia se usa también para bañarse. En ambos casos, la capacidad de prueba es mala porque el usuario no tiene oportunidad de probar el SCALL antes de aceptar implementarlo de manera permanente. Sin embargo, esta característica se compensa con la ventaja relativa, la información proporcionada y el trabajo de diseño e innovación realizado por las asociaciones. La percepción de las ventajas del sistema en Xochimilco se ven obstaculizadas por la comunicación deficiente entre los vecinos de las comunidades. Por el contrario, en Pro Cuenca las características del sistema social fomentan la visibilidad de los beneficios del SCALL.

CAPÍTULO VI

Discusión

En este capítulo se desarrollan y discuten los puntos más relevantes de cada área de impacto e indicador estudiado. En el [Anexo 15](#) se presentan los detalles básicos de los trabajos de investigación citados en esta sección.

6.1. Impacto ambiental

Cambio en las fuentes de agua

De acuerdo con los resultados de este estudio se observa que al utilizar los SCALL existe un cambio en la fuente principal de suministro de agua utilizada. Durante la temporada de lluvias la fuente principal de abastecimiento proviene de los SCALL y la demanda se complementa con otras fuentes, mientras que en temporada de secas los usuarios se abastecen como lo hacían antes de contar con el SCALL (pipa, llave vecinal, etc.).

En este sentido, coincidimos con Ruiz-Mercado *et al.* (2011) al afirmar que una nueva tecnología no sustituye a los otros dispositivos (fuentes convencionales de agua), sino que se integra o se usa en conjunto con los otros, aunque para este caso depende del contexto social, económico y, principalmente, estacional.

De acuerdo con el estudio realizado por Awuah *et al.* (2014), el agua de lluvia de un SCALL doméstico implementado en una zona de las periferias de Ghana, puede utilizarse como complemento para lavar y bañarse. Por otro lado, Smith *et al.* (2014) afirman que cuando se cuentan con múltiples fuentes de agua, la captada de un SCALL es la fuente preferida para los residentes cuando está disponible, lo que coincide con lo observado en este estudio.

Si bien el tiempo de duración del agua de lluvia se puede obtener con una fórmula³² muy sencilla, existen 4 factores que están relacionados con el tiempo que durará el agua captada y que deben considerarse antes de la implementación de un sistema:

- 1) La demanda/consumo de agua: es importante conocer la cantidad de agua que se consume dentro del hogar por habitante por día, para ello se pueden emplear fórmulas ya determinadas³³. Este cálculo nos dará una idea del total de agua que se necesita captar y almacenar.
- 2) El tamaño del área de captación: el área de captación determinará cuánta agua de lluvia es posible interceptar. En este caso se está hablando del área del techo, pero si esta superficie no es suficiente, se puede utilizar el espacio de un patio, una terraza, etc. También existen fórmulas para determinar dicha capacidad de captación como la empleada en esta investigación³⁴.
- 3) El tanque de almacenamiento: para calcular el tamaño que debe tener el depósito de almacenamiento también se emplean fórmulas muy básicas que dependen de la forma que tendrá el tanque, es decir, si será cúbico, cilíndrico, esférico³⁵.
- 4) La precipitación en la región: este factor es el único del cual no tenemos control. Los valores de precipitación se dan, generalmente, en milímetros y para México se pueden obtener del SMN, el cual se basa en las condiciones especificadas por la Organización Meteorológica Mundial.

Considerando los elementos anteriores, es posible construir un sistema que satisfaga las necesidades de agua de una familia durante todo el año. Sin embargo, lo más importante a considerar es la precipitación y su distribución en el año, y las condiciones tanto económicas como de tiempo, dispuestas para la implementación del proyecto.

³² Se divide el volumen de agua captada anualmente entre el volumen de agua consumida al año por la familia.

³³ Consultar: *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico*, Caballero, 2006, págs.: 46-47; 47-52. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*, UNATSABAR, 2001, pág.: 12. *Rainwater harvesting for domestic use*, Worm y Hattum, 2006, págs.: 27; 28-31, entre otros.

³⁴ *Ibidem*.

³⁵ *Ibidem*.

Lo anterior no significa que las asociaciones deban modificar el diseño de sus SCALL para adaptarlos a la demanda específica de cada familia, puesto que cumplen con su propósito principal de proporcionar una alternativa práctica, efectiva y de bajo costo para el suministro de agua. Además de que cada asociación trabaja constantemente en los diseños de los sistemas de manera que han comprobado en la práctica su buen funcionamiento. Por el contrario, es precisamente en este punto donde entraría la participación e iniciativa de los usuarios para sacar mayor provecho del sistema. Es decir, a partir de la forma en la que va evolucionando la necesidad de agua de las familias y la manera en la que van adaptando el sistema a sus actividades diarias, ellos pueden modificar el sistema, sin alterar su funcionamiento original, para beneficio y satisfacción de sus propias necesidades.

6.2. Impacto social

Percepción de la calidad de agua de lluvia y usos domésticos

En este tema se encontraron algunas discrepancias entre las respuestas de los usuarios. Para el caso de Xochimilco los usuarios mencionaron que consideraban el agua de lluvia de igual calidad que la de otras fuentes. No obstante, al observar los resultados sobre los usos dados al agua de lluvia, ésta se emplea sólo para usos no potables en el hogar, mientras que para beber, para preparar alimentos e, inclusive, para bañarse emplean el agua de garrafón y/o de la pipa delegacional. Esto se puede deber a diversos factores:

1. El más relevante es que la misma asociación les recomienda no utilizar el agua de lluvia para consumo a menos que cuenten con filtros adicionales, tales como luz ultravioleta, iones de plata, entre otros. La asociación ha llevado a cabo estudios de calidad de agua en uno de sus sistemas y han encontrado que tan sólo con el sistema de pretratamiento, esto es, el filtro de hojas y el desvío de primeras lluvias, el agua cuenta con una calidad aceptable para el consumo humano. Sin embargo, desean realizar investigaciones más profundas y significativas para asegurar a sus usuarios el consumo de esta agua.
2. Otra cuestión puede ser que, dada su ubicación geográfica, los usuarios en estas zonas periurbanas tienen fácil acceso a garrafones y el costo no es muy elevado, por

lo que prefieren utilizar dicha agua para su consumo.

3. Finalmente, no hay que descartar la opción, sencilla, pero influyente, de la desconfianza hacia el agua de lluvia que pudiera tener relación con cuestiones culturales y creencias con respecto a la contaminación y a la falta de conocimiento sobre el proceso de pretratamiento y filtrado del agua a su paso por el sistema. Esto se acrecienta con el primer punto planteado, pues corrobora la idea de los usuarios de que el agua de lluvia no es apta para su consumo.

Smith y Mink (2012) reportaron en su estudio resultados parecidos a los encontrados aquí: los usuarios emplean el agua de lluvia para usos no potables, entre ellos están los cuatro usos presentados en este estudio. Por lo tanto, el agua de lluvia cubre cierta proporción de la demanda de agua para los usos no potables a nivel doméstico.

Para el caso de Pro Cuenca, las usuarias perciben el agua de lluvia de mejor calidad que la de otras fuentes, y a pesar de ello no la emplean para beber ni para preparar alimentos. En este estudio de caso hay una proporción de familias que también se bañan con el agua de lluvia, pero prefieren seguir usando el agua de manantial para usos potables.

De acuerdo con Pro Cuenca, el agua de lluvia del sistema es potable y se puede beber dado que cuenta con el filtro de arena y adicionalmente se coloca cal y cobre al tanque de almacenamiento, lo que le confiere cierta pureza. Sin embargo, pudiera haber cuestiones culturales y de creencias que generen la desconfianza en el agua de lluvia para consumirla directamente. Otra razón puede ser que, a pesar de que el manantial está a 1 hora de distancia de sus hogares y se desplazan a pie, no tienen que pagar por el agua como lo harían con otras fuentes, tales como la pipa privada o el garrafón. Es decir que la cuestión económica tiene mayor peso que el esfuerzo físico cuando se elige la forma de suministro de agua. Aunado a esto, dadas las condiciones socioeconómicas de las familias, carecen de medios de transporte accesibles para trasladarse a los poblados más cercanos y adquirir garrafones, por ejemplo, y si lo hicieran esto representaría un esfuerzo tanto físico como monetario extra.

Mejora en el bienestar de los usuarios

De acuerdo con los usuarios de ambos estudios de caso, el conjunto de beneficios percibidos, además del ahorro económico y de tiempo, representa una mayor higiene. Para los encuestados en Xochimilco, la higiene hace referencia dentro del hogar, pues la limpieza general del hogar se realiza con agua limpia ahora disponible gracias al agua de lluvia, mientras que antes lo hacían reutilizando agua del lavado de trastes y ropa. Asimismo, se lava ropa, sobre todo ropa de cama, con mayor frecuencia, lo que también repercute en la higiene personal de los miembros de la familia.

Por otro lado, en Pro Cuenca la higiene es a nivel personal, ya que se percibe que con el agua de lluvia se pueden bañar constantemente y notan una mejora en la salud, en especial del estómago, al contar con agua limpia para realizar las actividades domésticas, tales como el lavado de trastes y de limpieza general del hogar. De igual manera, lavan su ropa más seguido por la disponibilidad y fácil accesibilidad del agua dentro de su hogar, lo que permite mantener la higiene de los miembros de la familia.

6.3. Impacto económico

Contribución del usuario al sistema

No se encontró relación entre la contribución del usuario y la adopción y uso de los sistemas. Este resultado es contrario a lo que reporta White (2010) quien encuestó tanto a familias que habían adoptado un SCALL, como a familias que no lo habían hecho para determinar las razones influyentes en la decisión que habían tomado. Menciona que el costo representó un impedimento para la adopción de un SCALL.

6.4. Adopción y uso

Difusión, adopción y uso de los SCALL

La investigación realizada por Smith y Mink (2012) rechazó la relación entre los esquemas de co-participación y el grado de adopción, es decir, no se encontró evidencia estadísticamente significativa para demostrar la relación entre estos elementos. Sin embargo, opuesto a lo que reporta dicha investigación, en este estudio se encontró que el esquema de implementación del SCALL sí tiene relación con la adopción y uso del sistema, en referencia a una contribución en mano de obra y especie.

Por su parte, White (2010) reporta que un factor relevante para tomar la decisión de adoptar el sistema tiene que ver con la ventaja del SCALL como suministro de agua frente a otras fuentes. Lo que concuerda con la ventaja relativa de los SCALL estudiados en esta investigación frente a otras fuentes de agua dentro de las comunidades.

Baiyegunhi (2014) por su cuenta, concluye en su investigación que el acceso y contacto con los agentes de cambio aumenta el conocimiento y percepción de los usuarios sobre los beneficios de los SCALL a través de un mejor acceso a la información técnica, educación y capacitación. Lo anterior empata con los resultados de esta investigación puesto que observamos que la adopción y uso del sistema aumentan cuando los usuarios son capacitados y reciben información técnica de manera directa y práctica a través del personal de la asociación. Asimismo, menciona que los agentes de cambio, entre otros actores, pueden favorecer la adopción de innovaciones tecnológicas a través de la comprensión y entendimiento previos de la naturaleza y objetivos del grupo social al que las tecnologías van dirigidas. En este sentido, coincidimos con dicha aseveración al observar que las características del grupo social son importantes al obstaculizar o fomentar el proceso de adopción de la tecnología y que un conocimiento previo del grupo social permite a los agentes de cambio un mejor acercamiento y entendimiento de las necesidades.

6.5. Recomendaciones para un marco metodológico

En cuestión de metodologías para evaluar los impactos de los SCALL, ni la academia ni los implementadores han llegado a un consenso para crear procedimientos que faciliten su estudio. Se han hecho esfuerzos bastante valiosos y fructíferos por parte de ambas comunidades al realizar investigación sobre los impactos y los niveles de adopción de los sistemas, sin embargo, se elaboran bajo enfoques no estandarizados, por lo que no se puede llegar a replicar o generalizar su aplicación. A continuación se mencionan algunas recomendaciones:

- i. Antes de comenzar con el estudio de adopción y uso de un SCALL, es primordial realizar un consenso entre profesionales del agua, ecotecnólogos, implementadores de asociaciones civiles y organizaciones, y otros expertos, con la finalidad de estandarizar, tanto el objeto de estudio (SCALL) como los conceptos a estudiar (impacto, difusión, adopción, uso sostenido). Es imprescindible actualizar información sobre los SCALL, así como validar y certificar el sistema. Asimismo es necesario definir y diferenciar un concepto de otro para entenderlos y encontrar la forma más apropiada de estudiarlos y/o medirlos. También sería de utilidad involucrar a los usuarios en reuniones con los expertos, hacerlos partícipes del proceso de desarrollo y validación del sistema, pues son ellos los portadores de la información más valiosa.
- ii. Se propone estudiar el uso de los SCALL desde una visión de integración como sistema y ciclo. Esto es, considerar el sistema como integral, de suministro y saneamiento: comienza con la provisión del recurso agua, el cual se emplea para diversos usos, se transforma en el proceso de uso, por lo que requiere ser tratado para volver a ser usado, ya sea integrándose de nuevo al mismo ciclo o a otro diferente. Probablemente, esto implicaría la inclusión de otros dispositivos y procesos, los cuales pudieran incorporarse a los SCALL y de esta manera podría considerarse un sistema incluyente y no separado un servicio de otro como actualmente se gestiona.

- iii. Para la evaluación de impactos de un SCALL es necesario efectuar un análisis de mediciones en torno a la eficiencia del sistema. Se recomienda realizar las mediciones con las siguientes características: a) calcular la cantidad de agua utilizada de cada tipo de fuente; b) determinar para cada uno de los usos domésticos la fuente de agua; y c) estimar la cantidad de agua utilizada para cada uso doméstico. Éstas, pueden hacerse a través de medidores colocados en puntos específicos dependiendo de la fuente de la que se trate o con depósitos de medidas ya establecidas, por ejemplo, cubetas de 20 litros, tambos de 200 litros, etc. Es necesario el trabajo multidisciplinario para determinar técnicas y herramientas útiles para realizar las mediciones.

Finalmente, se sugiere tomar en consideración metodologías ya existentes, tales como Evaluación/Análisis de Impactos, Teoría de Difusión de Innovaciones, Teoría de Oportunidades, entre otras para estudiar los impactos generados por el uso de los SCALL. Estas teorías han sido bien desarrolladas y se pueden extraer conceptos, herramientas y métodos para adaptarlos a la evaluación de impactos de las ecotecnologías.

CAPÍTULO VII

Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

En esta investigación se ha demostrado que los SCALL son una alternativa eficiente y económica en zonas donde el abasto de agua es intermitente, costoso y/o poco accesible. En este sentido, el agua del SCALL se emplea como fuente principal durante la temporada de lluvias para cubrir la demanda de agua no potable a nivel doméstico en la zona urbana de Xochimilco y la zona rural de Pro Cuenca. Asimismo, la provisión de dicha agua mejora el bienestar de los usuarios, pues cuentan con mayor cantidad de agua y de buena calidad para aumentar la higiene personal y general en los hogares de estas zonas. El ahorro de tiempo en la zona rural es mayor que en la zona urbana, por el contrario, el ahorro de dinero en la zona urbana es mayor que en la zona rural en donde la mediana resulta en cero pesos ahorrados.

En ambos estudios de caso, se encontraron factores que influyen en la adopción y uso de los SCALL, los más relevantes son: la accesibilidad a otras fuentes de agua, la participación de los usuarios en el esquema de implementación del sistema y las características del grupo social que pueden favorecer la aceptación de los sistemas. A pesar de que las asociaciones implementan diferentes tipos de SCALL ambos presentan características positivas para su aceptación con referencia a su ventaja relativa frente a otras fuentes de agua, su compatibilidad para cubrir necesidades no potables dentro de los hogares, y su facilidad de uso y mantenimiento.

Por otro lado, existen diferencias significativas entre el contexto urbano y el rural con respecto a los impactos generados por el uso del SCALL. Los más importantes son con referencia al ahorro de tiempo, el cual es mayor en la zona rural, y el ahorro de dinero, mayor en la zona urbana. Adicionalmente, la estrategia de difusión empleada en Pro Cuenca favorece la adopción y uso de los sistemas, en especial la forma de transmisión de la información entre asociación y usuarios, y los canales de comunicación a través de los

cuales se difunde dicha información. Cuando la información entre asociación y usuarios se transmite de manera interpersonal y a través de otros medios de comunicación, los sistemas se dan a conocer con mayor rapidez y eficacia. Asimismo, si existe un contacto directo entre la asociación y los usuarios al momento de implementar el SCALL y éstos se instalan de manera colectiva, la adopción de los sistemas tiene mayor éxito.

En este sentido, la estrategia de difusión de los SCALL debe estar acorde con el contexto en el que se implementará, debido a las diferencias en las características y necesidades de cada grupo social.

Finalmente, se confirma la importancia de la labor de seguimiento en los proyectos de ecotecnologías por parte de quienes los implementan, puesto que dichas actividades fomentan el uso continuo de los SCALL y permiten el monitoreo de los proyectos para determinar impactos e indicadores de aceptación. Lo anterior permite cambios e innovaciones en los sistemas y formas de trabajo tanto interno como con los usuarios, como ha sucedido en ambos estudios de caso, para tener mayor incidencia y cobertura dentro de los sistemas sociales.

7.2. Recomendaciones para mejorar el estudio

La mayoría de estas notas se crearon a partir de las limitaciones que se encontraron al aplicar la encuesta a los usuarios y de su análisis posterior.

- Se sugiere incluir más preguntas abiertas en el cuestionario para permitir que el usuario se exprese libremente sin atenerse a las respuestas de las opciones de las preguntas cerradas. Asimismo, elaborar preguntas directas sobre las razones y motivaciones que favorecieron la adquisición de un SCALL.
- Se recomienda que el cuestionario incluya preguntas más específicas sobre el consumo de agua, tales como: cantidad de agua empleada para cada uso doméstico; razones por las que cada fuente de agua se usa para un uso doméstico específico; razones por las que el agua de lluvia no se emplea para consumo humano; qué

labores realiza para obtener el agua; si es el caso, razón por la cual no cuenta con acceso a la red de agua potable; para qué usos le hace más falta el agua; para qué utiliza el agua ahora que tiene en mayor cantidad; entre otras. Por otro lado, se deben incluir preguntas más específicas de índole socioeconómico, por ejemplo: a) número de miembros habitando el hogar; b) edad de cada uno; c) a qué se dedica cada uno; d) nivel escolar de cada uno; e) especificar trabajo de cada uno; f) estimar ingresos al mes; g) porcentaje de ingresos que se destina para obtener agua; entre otras. Lo anterior debido a que se ha demostrado que la educación y nivel económico influyen en los patrones de consumo de agua.

- En el proceso de la aplicación de la encuesta, es primordial verificar que las respuestas sobre la cantidad de consumo de agua sean verídicas. En caso de que se observe alguna incongruencia, indagar sobre el aspecto inmediatamente. En este sentido, lo ideal sería realizar mediciones directas sobre el consumo de agua y otros aspectos como el área del techo para aumentar la validez de los datos. Debido a que este tipo de mediciones suelen requerir de tiempo y ser complejas, sería conveniente realizar muestreos anidados que permiten el estudio de ciertas variables en cierto tipo de muestras específicas.
- Se sugiere que cualquier estudio con respecto a SCALL se lleve a cabo con usuarios que hayan adquirido y usado su sistema por lo menos 2 temporadas de lluvia antes de la investigación con el fin de que cuenten con experiencia y conocimiento suficientes sobre el uso, mantenimiento y beneficios del sistema.
- Para comprender el proceso de adopción es importante conocer las razones que motivaron la adquisición de un SCALL, pero es igualmente importante conocer las razones por las que no se adopta o se abandona el sistema, por lo que se recomienda incluir en las investigaciones muestras de personas que no cuentan con un SCALL y quienes han abandonado su uso.
- Para estudiar el uso sostenido se recomienda que se evalúen los siguientes aspectos:

a) regularidad de uso del sistema, es decir, cuánto tiempo lo usa durante el año; b) formas de uso del sistema, especificar otro tipo de funciones que cumple el sistema; y c) integración/adaptación del sistema a la rutina cotidiana del usuario.

REFERENCIAS

- Aguilar, E. (2011). *Gestión comunitaria de los servicios de agua y saneamiento: su posible aplicación en México*. México: Naciones Unidas.
- Alcocer, J. (2007). El agua epicontinental de México. En *Ciencia* (págs.: 26-35).
- Anaya, M. (1998). *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe. Manual Técnico*. México: IICA.
- Ávila, P. (2002). *Cambio global y recursos hídricos en México: hidropolítica y conflictos contemporáneos por el agua*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Ávila, P. (2007). La cuestión del agua en ciudades mexicanas. En *Ciudades* (págs.: 15-20).
- Ávila, H. (2009). Periurbanización y espacios rurales en la periferia de las ciudades. En Procuraduría Agraria, *Estudios Agrarios* (págs: 93-123).
- Awuah, E., Gyasi, S., Anipa, H. y Sekyiamah, K. (2014). Assessment of rainwater harvesting as a supplement to domestic water supply: Case study in Kotei-Ghana. En *International research journal of public and environmental health* (págs.: 126-131).
- Ballén, A., Galarza, M.A. y Ortiz, R. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia*. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, 5-7 junio, Brasil.
- Banco Mundial. (2013). *Agua urbana en el Valle de México: ¿Un cambio verde para mañana?* México: Banco Mundial.
- Banco Mundial. (2015). *World Development Indicators: electricity production, sources and access*. Recuperado en enero de 2015 de <http://wdi.worldbank.org/table/3.7>.
- Banco Mundial. (2015). *World Development Indicators: population dynamics*. Recuperado en enero de 2015 de <http://wdi.worldbank.org/table/2.1>.
- Barkin, D. (2011). La ingobernabilidad en la gestión del agua urbana en México. En Oswald, U. *Retos de la investigación del agua en México* (págs.: 539-551). México: UNAM.
- Baiyegunhi, L.J. (2015). Determinants of rainwater harvesting technology (RWHT) adoption for home gardening in Msinga, KwaZulu-Natal, South Africa. En *Water SA* (págs.: 33-40).

- Breña. (2007). La problemática del agua en zonas urbanas. En J. Y. Morales, *Economía del agua. Escasez del agua y su demanda doméstica e industrial en áreas urbanas* (págs.: 69-89). México: Porrúa.
- Breña, A. (2009). Problemática del recurso agua en grandes ciudades: zona metropolitana del valle de México. *Contactos* (págs.: 10-19).
- Caballero, T. (2006). *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Carabias, J. et al. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad, hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México-El Colegio de México-Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Cházaro, S. (1999). *Uso sustentable del Agua en México, Reto de nuestro tiempo*. México: México Desconocido, S.A. de C.V.
- Cohen, D. (2014). *Estrategias de manejo del bosque tropical seco: un estudio de caso en Jalisco*. México.
- CONABIO. (19 de diciembre de 2008). *Regiones Hidrológicas Prioritarias*. Recuperado en octubre de 2014 de <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hacerca.html>
- CONAFOVI. (2005). *Uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales*. México.
- CONAGUA. (2005). *Plan para la gestión integral del agua y recursos asociados de la cuenca Valle de Bravo, Estado de México*. México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del Agua en México, edición 2011*. México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2012). *Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México 2007-2012*. México.
- CONAGUA. (2012). *Atlas del agua en México 2012*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2012). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, Diciembre 2012*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2012). *Manual de incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable*. México: SEMARNAT.

- CONAGUA. (2013). *Atlas del agua en México 2013*. México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2013). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2013*. México: Comisión Nacional de Agua.
- CONAGUA. (2013). *Situación del Subsector Agua potable, Alcatarillado y Saneamiento. Edición 2013*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2014). *Atlas del agua en México 2014*. México: Territorios de México.
- Conant, J. (2005). *Agua para vivir. Cómo proteger el agua comunitaria*. California: Fundación Hesperian & PNUD.
- CONABIO. (19 de diciembre de 2008). *Presentación*. Recuperado en octubre de 2014 de Regiones hidrológicas prioritarias: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/hidrologicas.html>.
- CONEVAL. (s/a). *Medición de la Pobreza. ¿Qué es el índice de Rezago social?* Recuperado en septiembre de 2014 de <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/IRS/Paginas/Que-es-el-indice-de-rezago-social.aspx>.
- Cortés, J. y Calderón, C. (2011). Uso potable del agua de acuíferos en contacto con zonas de riego que usan agua residual. En Oswald, U., *Retos de la investigación del agua en México* (págs.: 294-302). México: UNAM.
- Creswell, J. (2003). *Research design: Quantitative, quantitative and mixed method approaches*. Estados Unidos: Sage Publications.
- De la Vega, S., Téllez, Y. y López, J. (2010). *Índice de marginación por localidad 2010*. México: CONAPO.
- Delegaciones de la Ciudad de México DF. (s/a). Recuperado en septiembre de 2014 de <http://www.zonu.com/detail/2011-09-18-14574/Delegaciones-de-la-Ciudad-de-Mxico-DF.html>.
- DeSanctis, G. y Poole, M. (1994). Capturing the complexity in advanced technology use: adaptive structuration theory. En *Organization Science* (págs.: 121 -147).
- Drury, R., Homewood, K. y Randall, S. (2010). Less is more: the potential of qualitative approaches in conservation research. *Animal conservation* (págs.: 18-24).
- Durán, P. (2010). *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. Madrid.

- El DeFe. La ciudad de México a través de sus colonias. (s/a). Recuperado en septiembre de 2014 de <http://eldefe.com/mapa-colonias-delegacion-xochimilco/>.
- FAO. (2000). *Manual de Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia. Experiencias en América Latina*. Santiago, Chile.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile.
- Galindo, E., Palerm, J., Tovar, J. y Rodarte, R. (2008). Tecnología hidráulica y acciones comunitarias para la captación de agua de lluvia en jagüeyes. En CONAGUA, *Boletín del Archivo Histórico del Agua* (págs.: 21-31). México.
- Garza, G. (2002). Evolución de las ciudades en el siglo XX. *Datos, hechos y lugares* (págs.: 7-16).
- Gibson, J. (1986). The theory of affordances. En *The ecological approach to visual perception* (págs.: 119-136). Nueva York: Taylor and Francis Group.
- González, S. L. (2013). Conceptualización y medición de lo rural. Una propuesta para clasificar el espacio rural de México. En CONAPO, *La Situación Demográfica de México, 2013* (págs. 141-157). México.
- Gould, J. y Nissen, E. (1999). *Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply. Design, construction and implementation*. DG Publishing.
- Gobierno del Estado de México. (2009). *Valle de Bravo*. Recuperado en septiembre de 2014 de <http://www.issemym.gob.mx/index.php?page=valle-de-bravo>.
- Graizbord, B. y Arroyo, J. (2004). *El futuro del agua en México*. México: El Colegio de México, A.C., Universidad de Guadalajara, UCLA Program on Mexico, PROFMEX/Casa Juan Pablos.
- Guerrero, M. (1999). El agua en el globo terráqueo. En S. Cházaro, *Uso sustentable del agua en México. Reto de nuestro tiempo* (pág.: 39). México: México Desconocido.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill Companies, Inc.
- IAIA. (2009). *¿Qué es la evaluación de impacto?*
- INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010. Perfil Sociodemográfico. Estados Unidos Mexicanos*. México: INEGI.

- INEGI. (s/a). *Marco Geoestadístico Nacional. Localidades Geoestadísticas- archivo histórico- consulta*. Recuperado en septiembre de 2014 de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/consulta_localidades.aspx.
- Isla Urbana. (s/f). *¿Qué es Isla Urbana?* Recuperado en abril de 2015, de Isla Urbana <http://www.islaurbana.org/>.
- Jardón, J. (1995). La degradación del medio ambiente y sus repercusiones. En J. Jardón, *Energía y Medio Ambiente. Una perspectiva económico-social* (pág.: 121). México: Plaza y Valdés S.A. de C.V.
- Jiménez, M. y. (2008). Sistemas de abastecimiento de agua para consumo doméstico en tres comunidades, de la porción alta del río Temascalío, estado de Guanajuato. *Boletín del Archivo Histórico del Agua* (págs.: 44-54).
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Kingsolver, B. (2010). Agua dulce. *National Geographic* (págs.: 10-11).
- Krishna, H. (2003). *An overview of rainwater harvesting systems and guidelines in the United States. Proceedings of the First American Rainwater Harvesting Conference*; 2003 Aug. 21-23. Austin. En TWDB (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. TWDB: Austin, Texas.
- Lanza, G. (2007). *Las aguas interiores de México, conceptos y casos*. México: AGT Editor, S.A.
- López, S., & Pérez, J. (2010). Una lucha contra natura. *National Geographic* (págs.: 24-37).
- Lvovich, M. (1975). *El agua en el mundo: presente y futuro*. Argentina: Editorial Cartago.
- Mol, A. y. (2000). Ecological modernisation theory in debate: a review. *Environmental Politics* (págs.: 17-49).
- Mongil, J. y. (2007). Técnicas de recolección de agua y de oasisificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas. *Cuadernos Geográficos* (págs.: 67-80).
- Montenegro. Tecnología en Educación. (s/a). Recuperado en septiembre de 2014 de <http://www.montenegroeditores.com.mx/files/MapasEdosMex/Estado%20de%20Mexico/Mexico%20estado%20de-01.jpg>.

- Oltra, C. (2005). Modernización ecológica y sociedad del riesgo. Hacia un análisis de las relaciones entre ciencia, medio ambiente y sociedad. *RACO* (págs.: 133-149).
- OMS. (2010). *Progresos en materia de saneamiento y agua. Informe de actualización 2010*. Francia: OMS.
- OMS. (2012). *Agua, saneamiento y salud. Progresos sobre el agua potable y saneamiento*. Recuperado en noviembre de 2014 de www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2012/fast_facts/es/
- OMS. (2015). *Cambio climático y salud humana*. Recuperado en marzo de 2015, de Servicios de agua para la salud: <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/es/>
- Ortiz, J., Masera, O. y Fuentes, A. (2014). *La ecotecnología en México*. México: Imagia.
- Overdijk, M. y Diggelen, W. (2006). Technology appropriation on face-to-face collaborative learning. En E. y. Tomadaki, *Innovative approaches for learning and knowledge sharing* (págs. 89-96). EC-TEL.
- PAOT. (2011). *Distribución espacial de los Asentamientos Humanos Irregulares ubicados en el Suelo de Conservación en relación con el proyecto del Programa General de Ordenamiento Ecológico y Zonas de Valor Ambiental del Distrito Federal*. México.
- Pineda, N. y Salazar, A. (2011). El manejo urbano del agua. Del círculo vicioso a la participación ciudadana, la autosuficiencia y la sustentabilidad. En Oswald, U., *Retos de la investigación del agua en México* (págs.: 617-624). México: UNAM.
- PNUD. (2014). *Informe sobre Desarrollo Humano 2014. Sostener el progreso humano: reducir vulnerabilidades y construir resiliencia*. Nueva York: PBM Graphics.
- PNUMA. (2002). Manifiesto por la vida por una ética para la sustentabilidad. *Ambiente y sociedad* (págs.: 1-14).
- PROCUENCA. (s/f). *¿Quiénes somos?* Recuperado en abril de 2015, de Procuenca: <http://procuenca.org/emv/#!/>.
- Reij, C. e. (1988). *Water Harvesting for Plant Production*. Washington, D.C.: World Bank.
- Revoredo, C., Silvestre, F., Zepeda, A. y Monardes, A. (1995). *Evaluación ex-ante de tecnologías en base a criterios de adopción potencial e impacto microregional*. Santiago, Chile: Valgraf Ltda.

- Rivero, M. e. (2012). *IMTA*. Recuperado en marzo de 2015, de <https://www.imta.gob.mx/historico/images/noticias/notas-tecnicas/sistemas-captacion-agua-lluvia.pdf>
- Rogers, E. (1983). *Diffusion of Innovations*. E.U.A.: The Free Press.
- Ruiz-Mercado, I., Masera, O., Zamora, H. y Smith, K. (2011). Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy Policy* (págs.: 7557-7566).
- SACMEX. (2012). *El gran reto del agua en la ciudad de México. Pasado, presente y prospectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo*. México: Offset Santiago, S.A.
- SEDESOL. (2010). *Diagnóstico sobre la falta de certeza jurídica en hogares urbanos en condiciones de pobreza patrimonial en asentamientos humanos*.
- SEDESOL. (2013). *Catálogo de localidades. Información de localidad*. Recuperado en septiembre de 2014 de <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=151100034>.
- Segovia, A. y Godínez, M.A. (2 de octubre de 2009). *Agua que no has de beber... ¡Cierra la llave!* Recuperado en septiembre 2014, de Brújula de Compra: http://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2009/bol143_agua.asp.
- Shih, C. y Venkatesh, A. (2004). Beyond adoption: development and application of a use-diffusion model. *Journal of marketing* (págs.: 59-72).
- SMA. (2011). *Programa de Ordenamiento Ecológico local de Villa de Allende*. Recuperado en diciembre de 2014, de http://portal2.edomex.gob.mx/impactoambiental/programas_locales/villa_de_allende/index.htm
- Smith, R. y Mink, T. (2012). *Study on the rates of adoption of rainwater harvesting systems in Mexico D.F. (Mexico city). The effect of various co-participation methods on system adoption rates*. México: IRRI.
- Smith, D., Briemberg, J. y Evans, B. (2014). *Service levels provided by Rainwater Harvesting Systems and Multiple Water sources: A case study from Nicaragua*.
- SMN. (2012). *Servicio Meteorológico Nacional: 135 años de historia en México*. México: CONAGUA.

- Sokal, R. y Rohlf, J. (1969). *Introduction to Biostatistics*. Mineola, Nueva York: Dover Publications, Inc.
- Taylor, S. y Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados*. España: Paidós.
- TCEQ. (2007) *Harvesting, Storing, and Treating Rainwater for Domestic Indoor Use*. Austin, Texas: TCEQ.
- TDWB. (2006). *Rainwater Harvesting Potential and Guidelines for Texas*. Austin, Texas: Texas Water Development Board.
- UNATSABAR. (2001). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Lima: OMS, OPS.
- UNDP. (2006). *Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. New York, USA: Hoechstetter Printing Co.
- UNEP. (1997). *Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean*. Estados Unidos : UNEP.
- UNEP. (2004). *Harvesting the Heavens. Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries*. Islas Fiji: SOPAC.
- UNEP. (2009). *Rainwater Harvesting: a lifeline for human well-being*. SEI.
- UNEP. (2002). *Rainwater Harvesting and Utilisation. An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management. An introductory Guide for Decision-makers*. Japón: UNEP-DTIE-IETC
- Valdés, L. y Ricalde, A. (2006). *Ecohábitat experiencias rumbo a la sustentabilidad*. México: SEMARNAT.
- Vasilachis, I. (coord.). (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Barcelona: Gedisa, S.A.
- Venables, W., Smith, D. y R Core Team. (2015). *An Introduction to R. Notes on R: a Programming Environment for Data Analysis and Graphics. Version 3.2.1 (2015-06-18)*.
- Ward, S. (2010). Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water, science and technology* (págs.: 85-96).
- White, I. (2010). Rainwater harvesting: theorising and modelling issues that influence household adoption. *Water, science and technology* (págs.: 370-377).

- WHO. (1993). *Guidelines for water-drinking quality: Volume 1 Recommendations* 2nd edition, WHO, Geneva, Switzerland. En Howard, G. y Bartram, J. (2003). *Domestic water quantity, service, level and health*. WHO: Geneva, Switzerland.
- Worm, J. y Hattum, T. (2006). *Rainwater harvesting for domestic use*. Agromisa Foundation.
- Ylipulli, J., Suopajarvi, T., Ojala, T., Kostakos, V. y Kukka, H. (2014). Municipal WiFi and interactive displays: Appropriation of new technologies in public urban spaces. *Technological forecasting & social change* (págs.: 145-160).

ANEXOS

ANEXO 1. Entrevista realizada a los directores de Isla Urbana, A.C. y Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, A.C.

Fecha: _____

Entrevista: _____

Nombre: _____

Cargo que ocupa dentro de la asociación: _____

Principales actividades que realiza:

Desarrollo

1. ¿Cómo surgió el proyecto de sistemas de captación de agua de lluvia?
2. ¿Quiénes empezaron el proyecto?
3. ¿Hay “equipos de trabajo” para coordinar las actividades del proyecto?
4. ¿Cuál es el objetivo/meta principal del trabajo que realizan?
5. **¿Cuál es la población objetivo?** ¿A quién va dirigido?
6. ¿Cuál es el principal problema con el agua que enfrentan las familias?
7. ¿Cuánto tiempo llevan implementando sistemas de captación pluvial?
8. **¿Qué cambios ha experimentado el proyecto?** ¿Cómo ha evolucionado el proyecto?
9. **¿Cuáles son los planes a futuro?** ¿A cuántas familias quieren llegar?

Características de los sistemas

Técnicas

10. ¿Qué tipo/tipos o modelo de sistema implementan?
11. ¿Qué características debe tener la casa para implementar un SCALL?
 - 11.1. Materiales
 - 11.2. ¿Qué características debe tener el techo? Diagrama o ficha técnica.
12. ¿Cuál es la capacidad de las cisternas?
13. **¿Qué componentes/piezas incluyen?** ¿Han hecho alguna innovación o modificación?
14. ¿El agua almacenada es sólo el agua captada o se mezcla con alguna otra?

15. ¿Cuántos meses puede abastecer el agua captada?
16. Una vez que se termina el agua captada, ¿cómo se abastecen de agua para el resto del año?

Económicas

17. ¿Cuánto dinero se invierte en la instalación de un sistema? Incluyendo materiales, transporte de los materiales, mano de obra, etc.
18. ¿En cuánto tiempo se recupera la inversión inicial?
19. ¿Cuánto gasta una familia en el mantenimiento del sistema?

Beneficios

20. ¿El agua captada se puede beber?

Respuesta: Sí, ¿por qué?

Respuesta: No, ¿entonces qué agua usan para beber?

21. ¿Cuánto dinero ahorran las familias en el abastecimiento del agua?
22. ¿Las familias ahorran tiempo en el proceso de abastecimiento de agua?

Validación

23. ¿Cuentan con algún tipo de certificación?
24. ¿Se han llevado a cabo pruebas de funcionamiento y de calidad del agua?

Difusión

25. **¿Cómo es el proceso antes de implementar un sistema?** ¿Qué hacen ustedes y qué deben hacer las familias para obtenerlo? ¿Quién lo instala?
26. ¿Cómo les explican a las familias el uso y mantenimiento de los sistemas?
27. ¿Cuántos sistemas han implementado o a cuántas familias han beneficiado?
28. **¿Cómo comenzó el acercamiento con la población?** ¿Fue difícil empezar la interacción?
29. **¿Cuál es su estrategia de difusión?** ¿Venden los sistemas o existen apoyos (subsidio) para las familias?
30. **¿Qué aportan los usuarios?** ¿Aportan en especie o en dinero? ¿Qué, cuánto?
31. ¿Proporcionan algún incentivo para los usuarios?

Monitoreo

32. **¿Se da seguimiento al uso de los sistemas?** ¿Con qué frecuencia? ¿Qué se mide?
33. ¿Han llevado a cabo estimaciones de impacto ambiental, social y/o económico?
34. ¿Qué porcentaje de familias han adoptado los sistemas?

35. ¿Qué dificultades han encontrado las familias en el uso y/o mantenimiento de los SCALL?

36. ¿Cuáles son las barreras para la adopción y el uso sostenido de los sistemas?

ANEXO 2a. Encuesta aplicada a los usuarios del SCALL implementado por Isla Urbana, A.C.

Fecha: _____

Localidad: _____

No. Identificación: _____

Características generales de la vivienda

1. Nombre del encuestado: _____
2. Nivel económico:
 - a) Bajo b) Medio c) Alto
3. Tamaño de la familia: _____ Adultos () Niños ()
4. Características de la vivienda (materiales):
 - Techo: _____
 - Paredes: _____
5. ¿Cómo tenía acceso al agua antes de tener el SCALL?
 - a) Red pública de agua b) Pipa c) Cubeta/llave vecinal d) Otra_____
6. ¿Cuánto utilizaba?
 - Red pública (litros o pesos/mes): _____
 - Pipa (cuántas/mes o semana): _____
 - Cubetas /llave (cuántas o litros/mes o semana):

 - Otra: _____
7. Además del agua de lluvia, ¿cómo se abastece de agua ahora?
 - a) Red pública de agua b) Pipa c) Cubeta/llave vecinal d) Otra_____
8. ¿Cuánto utiliza ahora?
 - Red pública (litros o pesos/mes): _____
 - Pipa (cuántas/mes o semana): _____
 - Cubeta/llave (cuántas o litros/mes o semana):

 - Otra: _____
9. ¿Cómo consigue agua para tomar?

10. ¿Qué agua usa para cada uso?

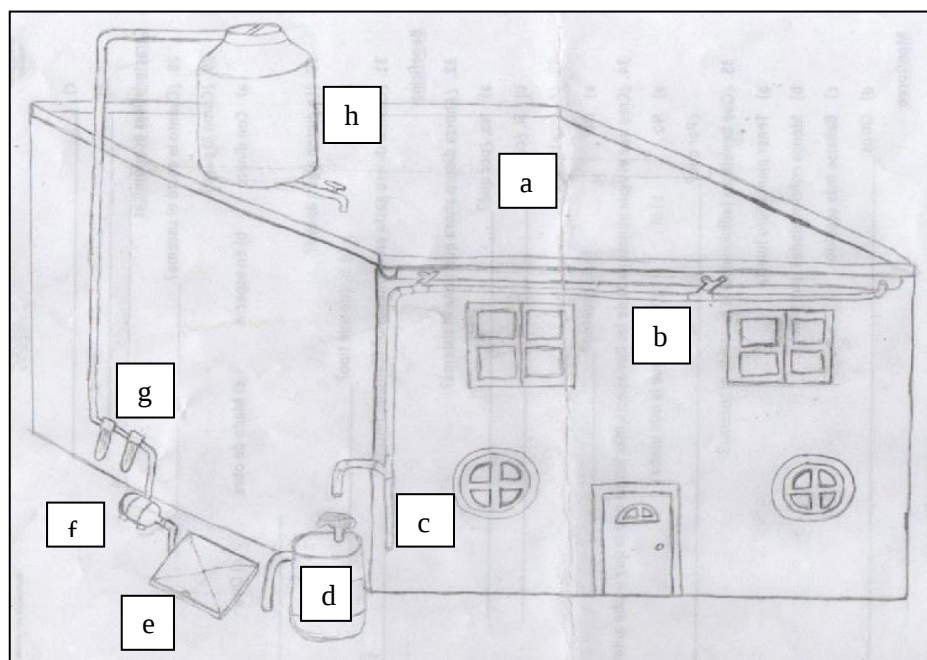
- | | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------|-------------|
| 1) Excusado: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 2) Regadera: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 3) Lavado de ropa: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 4) Cocinar alimentos: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 5) Plantas/jardín/huerta: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 6) Limpieza: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 7) Beber: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 8) Otro: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |

11. ¿Cómo se enteró del programa de sistemas de captación?

- a) La asociación se acercó a mí b) Me dijo un vecino o amigo c) Junta vecinal
 d) Propaganda e) Yo los encontré f) Otra _____

Sistema que tiene

12. ¿Qué sistema tiene?



13. ¿En qué año se instaló? _____

14. ¿Quiénes lo instalaron?

- a) Sólo la asociación b) Nosotros solos c) Entre los dos d) Otra _____

15. Estado general del sistema: a) Techo _____
b) Canaletas _____
c) Filtro hojas _____
d) Separador _____
e) Cisterna _____
f) Bomba _____
g) Filtros _____
h) Tinaco _____

16. Tamaño del techo (área de captación): _____

17. Tamaño de la cisterna (sistema de almacenamiento): _____

18. ¿Cuenta con filtros?

- a) No b) Sí, ¿de qué tipo? _____

Agua almacenada

19. ¿El agua almacenada de las lluvias se mezcla con otra agua?

- a) No, sólo es la captada de las lluvias b) Sí, ¿con cuál? _____

20. ¿Cuánto tiempo le dura el agua que almacena durante las lluvias?

Uso y mantenimiento

21. ¿Cómo le explicaron del funcionamiento y mantenimiento del sistema?

- a) Técnicos me explicaron b) Manual c) Capacitación (grupo) d) Vecino
e) Otra _____

22. ¿Utiliza su sistema cada temporada de lluvias?

- a) Sí b) No, ¿cuándo?, ¿por qué? _____

23. ¿Es fácil usar el sistema de captación de agua de lluvia?

- a) Muy fácil b) Fácil c) Difícil d) Muy difícil

24. ¿Es fácil el mantenimiento del sistema de captación de agua de lluvia?

- a) Muy fácil b) Fácil c) Difícil d) Muy difícil

25. ¿Qué labores de mantenimiento realiza?

- a) Limpieza del techo b) Limpieza del filtro de hojas c) Desvío de 1^{eras} lluvias
d) Vaciar y limpiar el separador de 1^{eras} lluvias e) Cambiar filtros
f) Otras _____

26. ¿Qué problemas de uso o mantenimiento ha tenido con su sistema?

- a) _____
b) _____
c) _____
d) _____

Características económicas

27. ¿Cuánto le costó el sistema? _____

28. ¿Cómo lo pagó?

- a) Con dinero b) En especie c) Mano de obra d) Otra

29. ¿Le dieron algún apoyo? (subsidio, etc.)

- a) No b) Sí, ¿de qué tipo? _____

30. ¿Cuánto dinero gasta en mantenerlo? (Cambiar filtros) _____

Beneficios

31. ¿Ahorra dinero ahora que tiene el sistema?

- a) No, ¿por qué? _____
b) Sí, ¿cuánto? _____

32. ¿Ahorra tiempo?

- a) No b) Sí, ¿cuánto? _____

33. ¿Cree que el agua almacenada de las lluvias está más limpia que la que usaba antes?

- a) No b) Sí c) Igual que la que usaba

¿Por qué? _____

34. ¿Qué beneficios (adicionales) le ha traído el sistema?

- a) Tener plantas y/o huerta
b) Menos enfermedades (piel y ojos)
c) Bañarse más seguido
d) Otros _____

Monitoreo

35. ¿Ha recibido visitas de la asociación después de instalar su sistema?

a) No b) Sí, ¿cuántas?, ¿qué hacen? _____

36. ¿Qué hace cuando tiene problemas con el sistema?

a) Voy con la asociación b) Lo resuelvo yo mismo c) Voy con un vecino

e) Otra _____

ANEXO 2b. Encuesta aplicada a los usuarios del SCALL implementado por Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, A.C.

Fecha: _____

Localidad: _____

No. Identificación: _____

Características generales de la vivienda

1. Nombre del encuestado: _____
2. Nivel económico:
b) Bajo b) Medio c) Alto
3. Tamaño de la familia: _____ Adultos () Niños ()
4. Características de la vivienda (materiales):
 - Techo: _____
 - Paredes: _____
5. ¿Cómo tenía acceso al agua antes de tener el SCALL?
b) Red pública de agua b) Pipa c) Cubeta/llave vecinal d) Otra

6. ¿Cuánto utilizaba?
 - Red pública (litros o pesos/mes): _____
 - Pipa (cuántas/mes o semana): _____
 - Cubetas /llave (cuántas o litros/mes o semana):

 - Otra: _____
7. Además del agua de lluvia, ¿cómo se abastece de agua ahora?
b) Red pública de agua b) Pipa c) Cubeta/llave vecinal d) Otra

8. ¿Cuánto utiliza ahora?
 - Red pública (litros o pesos/mes): _____
 - Pipa (cuántas/mes o semana): _____
 - Cubeta/llave (cuántas o litros/mes o semana):

 - Otra: _____
9. ¿Cómo consigue agua para tomar? _____

10. Usos del agua

- a) Excusado b) Regadera c) Lavado de Ropa d) Cocinar alimentos
 e) Regar plantas/jardín/huerto f) Limpieza g) Beber h) Otros usos _____

11. ¿Qué agua usa para cada uso?

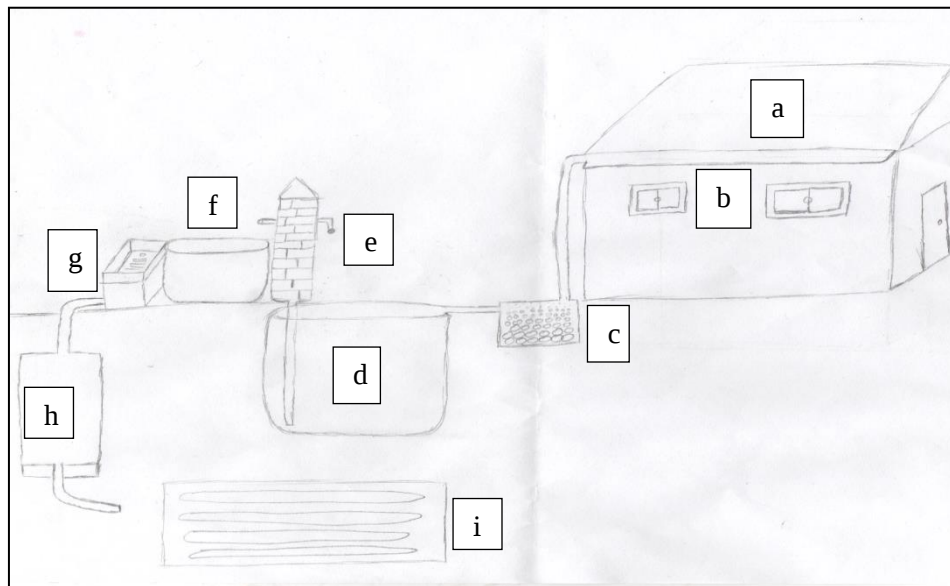
- | | | | |
|----------------------------|---------------|-----------------|-------------|
| 9) Excusado: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 10) Regadera: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 11) Lavado de ropa: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 12) Cocinar alimentos: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 13) Plantas/jardín/huerta: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 14) Limpieza: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |
| 15) Beber: | a) agua SCALL | b) agua potable | c) mezclada |

12. ¿Cómo se enteró del programa de sistemas de captación?

- a) La asociación se acercó a mí b) Me dijo un vecino o amigo c) Junta vecinal
 d) Propaganda e) Yo los encontré f) Otra _____

Sistema que tiene

13. ¿Qué sistema tiene?



14. ¿En qué año se instaló? _____

15. ¿Quiénes lo instalaron?

- a) Sólo la asociación b) Nosotros solos c) Entre los dos d) Otra _____

16. Estado general del sistema: a) Techo_____
- b) Canaletas_____
- c) Filtro arena _____
- d) Cisterna_____
- e) Bomba_____
- f) Pileta_____
- g) Lavadero_____
- h) Pozo oxidación_____
- i) Huerto_____
17. Tamaño del techo (área de captación): _____
18. Tamaño de la cisterna (sistema de almacenamiento): _____
19. ¿Cuenta con filtros?
- a) No b) Sí, ¿de qué tipo?_____

Agua almacenada

20. ¿El agua almacenada de las lluvias se mezcla con otra agua?
- a) No, sólo es la captada de las lluvias b) Sí, ¿con cuál?_____
21. ¿Cuánto tiempo le dura el agua que almacena durante las lluvias?
- _____

Uso y mantenimiento

22. ¿Cómo le explicaron del funcionamiento y mantenimiento del sistema?
- a) Técnicos me explicaron b) Manual c) Capacitación (grupo) d) Vecino
- e) Otra _____
23. ¿Utiliza su sistema cada temporada de lluvias?
- a) Sí b) No, ¿cuándo?, ¿por qué? _____
24. ¿Es fácil usar el sistema de captación de agua de lluvia?
- a) Muy fácil b) Fácil c) Difícil d) Muy difícil
25. ¿Es fácil el mantenimiento del sistema de captación de agua de lluvia?
- a) Muy fácil b) Fácil c) Difícil d) Muy difícil

26. ¿Qué labores de mantenimiento realiza?

- b) Limpieza del techo b) Limpieza del filtro c) Desvío de 1^{eras} lluvias
d) Limpieza de cisterna f) Otras _____

27. ¿Qué problemas de uso o mantenimiento ha tenido con su sistema?

- e) _____
f) _____
g) _____
h) _____

Características económicas

28. ¿Cuánto le costó el sistema? _____

29. ¿Cómo lo pagó?

- a) Con dinero b) En especie c) Mano de obra d) Otra

30. ¿Le dieron algún apoyo?

- a) No b) Sí, ¿de qué tipo? _____

31. ¿Cuánto dinero gasta en mantenerlo? _____

Beneficios

32. ¿Ahorra dinero ahora que tiene el sistema?

- a) No, ¿por qué? _____
b) Sí, ¿cuánto? _____

33. ¿Ahorra tiempo?

- a) No b) Sí, ¿cuánto? _____

34. ¿Cree que el agua almacenada de las lluvias está más limpia que la que usaba antes?

- a) No b) Sí c) Igual que la que usaba

¿Por qué? _____

35. ¿Qué beneficios (adicionales) le ha traído el sistema?

- a) Tener plantas y/o huerta
b) Menos enfermedades (piel y ojos)
c) Bañarse más seguido
d) Otros _____

Monitoreo

36. ¿Ha recibido visitas de la asociación después de instalar su sistema?

- a) No b) Sí, ¿cuántas?, ¿qué hacen?

37. ¿Qué hace cuando tiene problemas con el sistema?

- a) Voy con la asociación b) Lo resuelvo yo mismo c) Voy con un vecino

- b) Otra _____

ANEXO 3. Fórmula empleada para calcular la capacidad de captación de agua de lluvia.

$$\text{Volumen de agua captada} = \text{precipitación m} \times \text{m}^2 \text{ techo} \times \text{coeficiente de escurrimiento}$$

A continuación se ejemplificará la estimación del volumen de agua con los datos de una familia encuestada en Xochimilco. La precipitación suele reportarse en milímetros, sin embargo, para realizar este cálculo se convierte a metros. De esta manera, al elaborar la multiplicación con los metros cuadrados del tamaño del techo, se convierten en metros cúbicos, éstos a su vez se pueden convertir a litros.

Precipitación de la región: 0.7763 m

Área de techo: 40 m²

Coeficiente de escurrimiento: 0.9 (lámina de fierro como material de techo).

$$\begin{aligned} V_{\text{agua captada}} &= 0.7763 \text{ m} \times 40 \text{ m}^2 \times 0.9 \\ &= 27.95 \text{ m}^3 = 27,950 \text{ litros} \end{aligned}$$

ANEXO 4. Estimación del Periodo de Retorno de Inversión.

Para cada usuario se elaboraron dos tablas. La primera se usó como base para realizar el cálculo del Flujo Neto de Efectivo (FNE), es decir, la resta de los beneficios menos los costos. Como beneficios se tomó en consideración: i) el ahorro de dinero expresado por los usuarios, y ii) el ahorro de tiempo, el cual se convirtió en equivalente al salario mínimo de la región. Como gasto se tomó en consideración el costo del cartucho de carbón activado del filtro que los usuarios deben reemplazar. Las columnas de la tabla hacen referencia al volumen de agua consumida, el ahorro de dinero y ahorro de tiempo, con respecto a cada mes del año, de esta manera se pudo obtener lo correspondiente a un ciclo completo, es decir, a la temporada de lluvias y la temporada de secas, tomando como guía las respuestas que los usuarios dieron sobre el tiempo que les dura el agua de lluvia. En el Cuadro A4.1 se muestra como ejemplo los datos de una familia de Xochimilco.

Cuadro A4.1. Datos requeridos para la estimación de los beneficios usados en el cálculo del Flujo Neto de Efectivo.

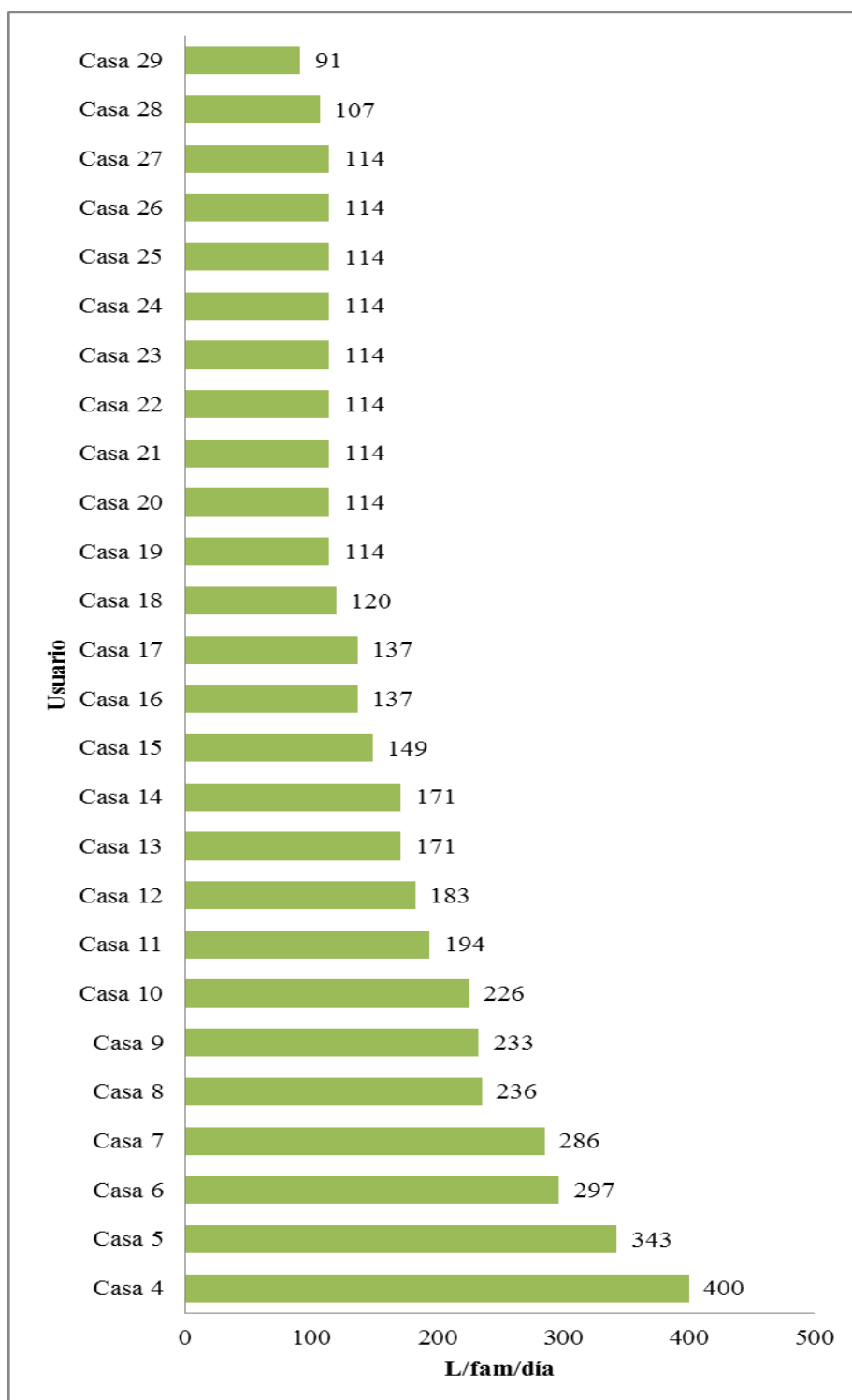
Mes	Consumo de agua (litros)	Ahorro tiempo (horas)	Ahorro dinero (MXN)
Enero	6320	0	0
Febrero	6320	0	0
Marzo	6320	0	0
Abril	6320	0	0
Mayo	6320	0	0
Junio	800	30	7200
Julio	800	30	7200
Agosto	800	30	7200
Septiembre	800	30	7200
Octubre	800	30	7200
Noviembre	800	30	7200
Diciembre	6320	0	0
TOTAL	42720	180	43200
		1584	

Fuente: Elaboración propia.

A la suma del ahorro de tiempo más el ahorro de dinero se le resta el gasto por mantenimiento. Finalmente, para sacar el Periodo de Retorno de Inversión, se dividió la inversión inicial entre dicho dato del FNE. Se elaboró una gráfica de dispersión con dos variables: a) inversión inicial y b) FNE. El eje “x” corresponde al dinero y el eje “y” al tiempo.

ANEXO 5. Consumo de agua familiar en Xochimilco

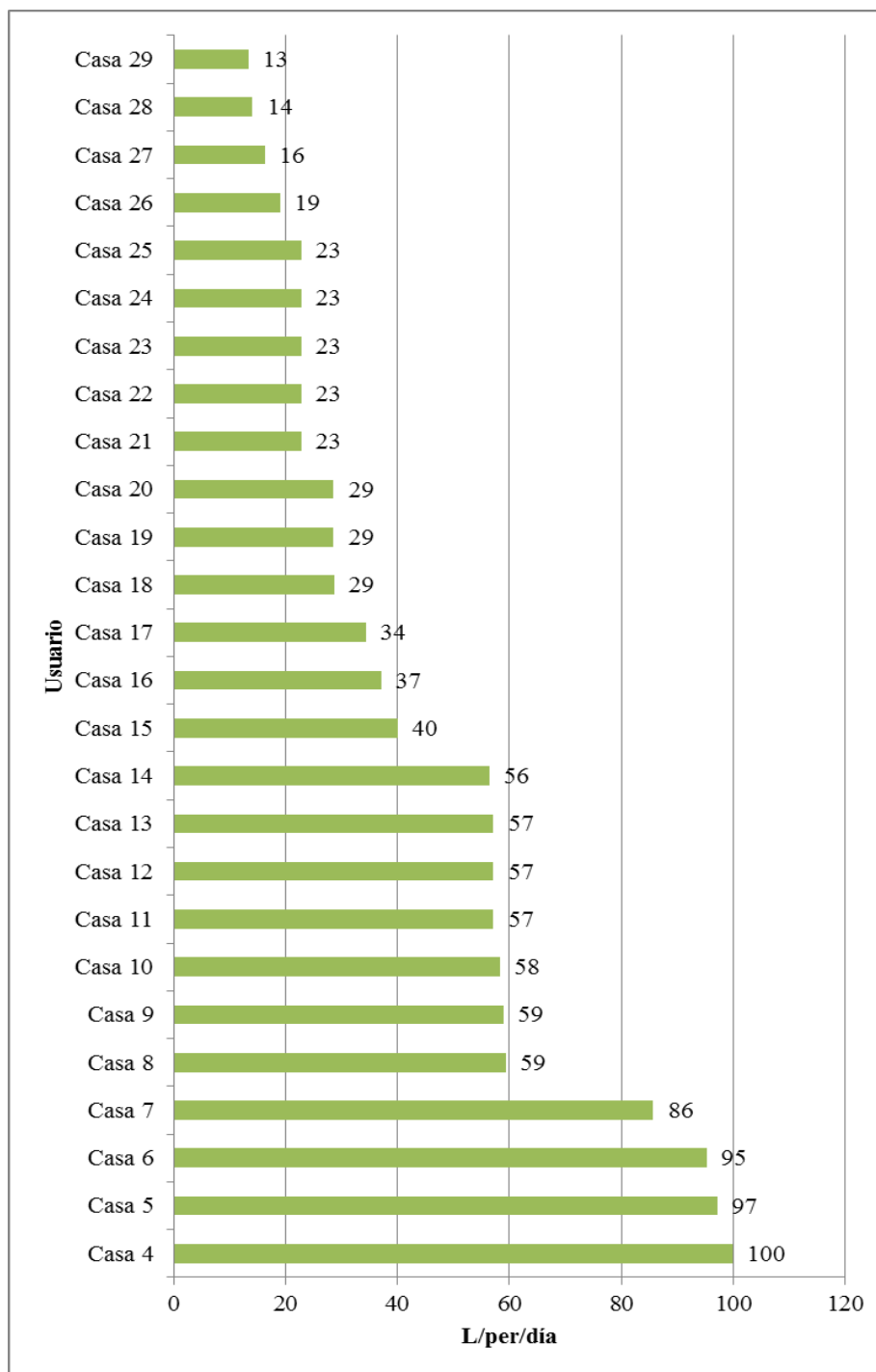
Figura A5.1. Cantidad de agua consumida por familia encuestada en Xochimilco.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 6. Consumo de agua per cápita en Xochimilco.

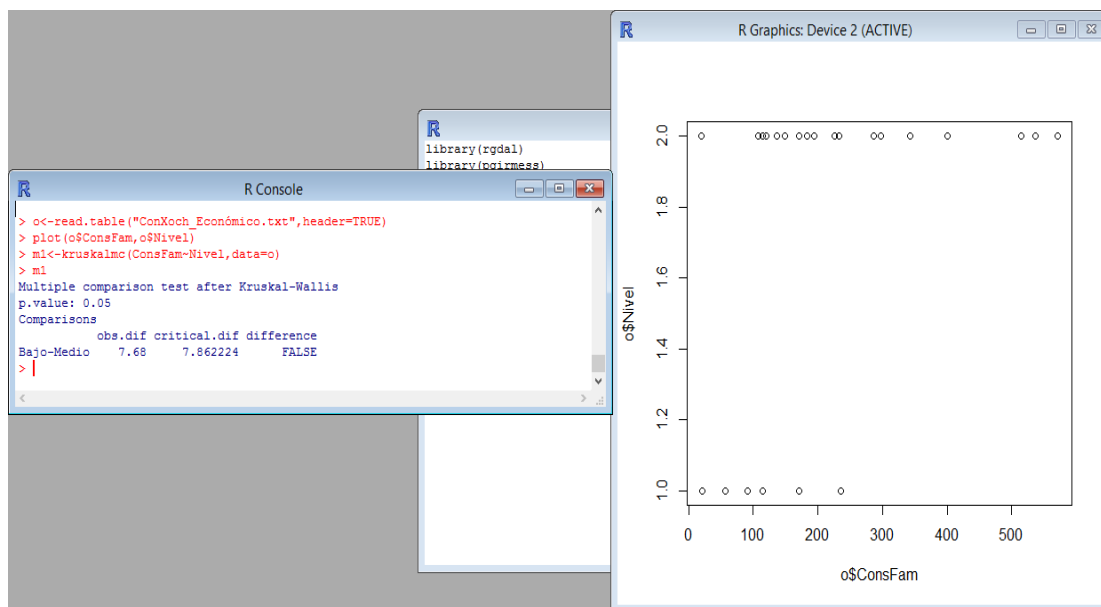
Figura A6.1. Cantidad de agua consumida por cada miembro de cada familia encuestada en Xochimilco.



Fuente: Elaboración propia.

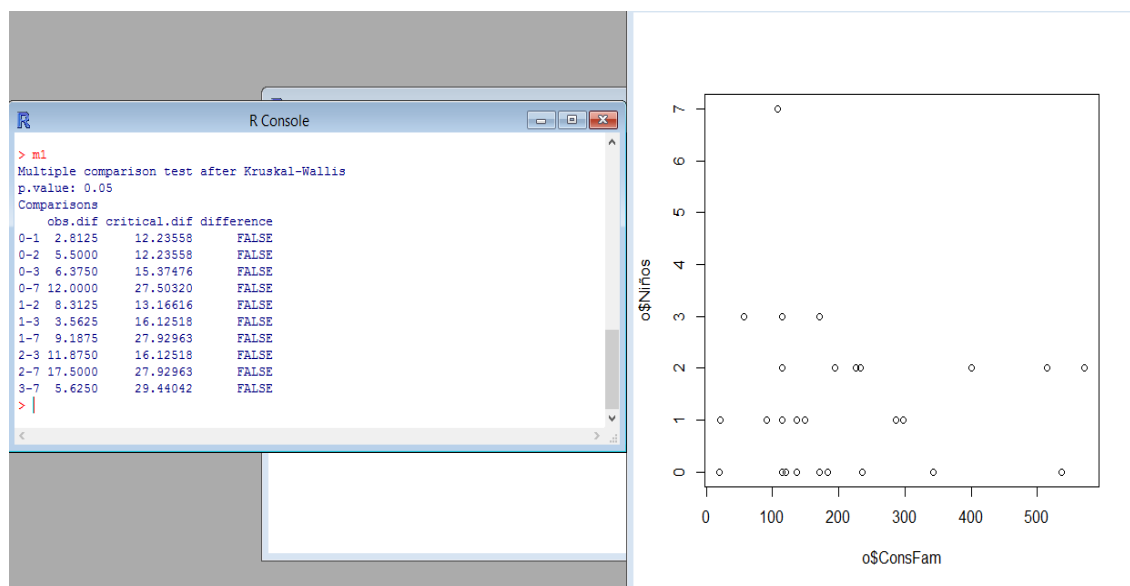
ANEXO 7. Estimaciones de la prueba de Kruskal y Wallis sobre la relación del consumo familiar de agua y otras variables en Xochimilco.

Figura A7.1. Prueba de Kruskal y Wallis para determinar relación entre el consumo familiar de agua y el nivel económico de las familias en Xochimilco.



Fuente: Elaboración propia.

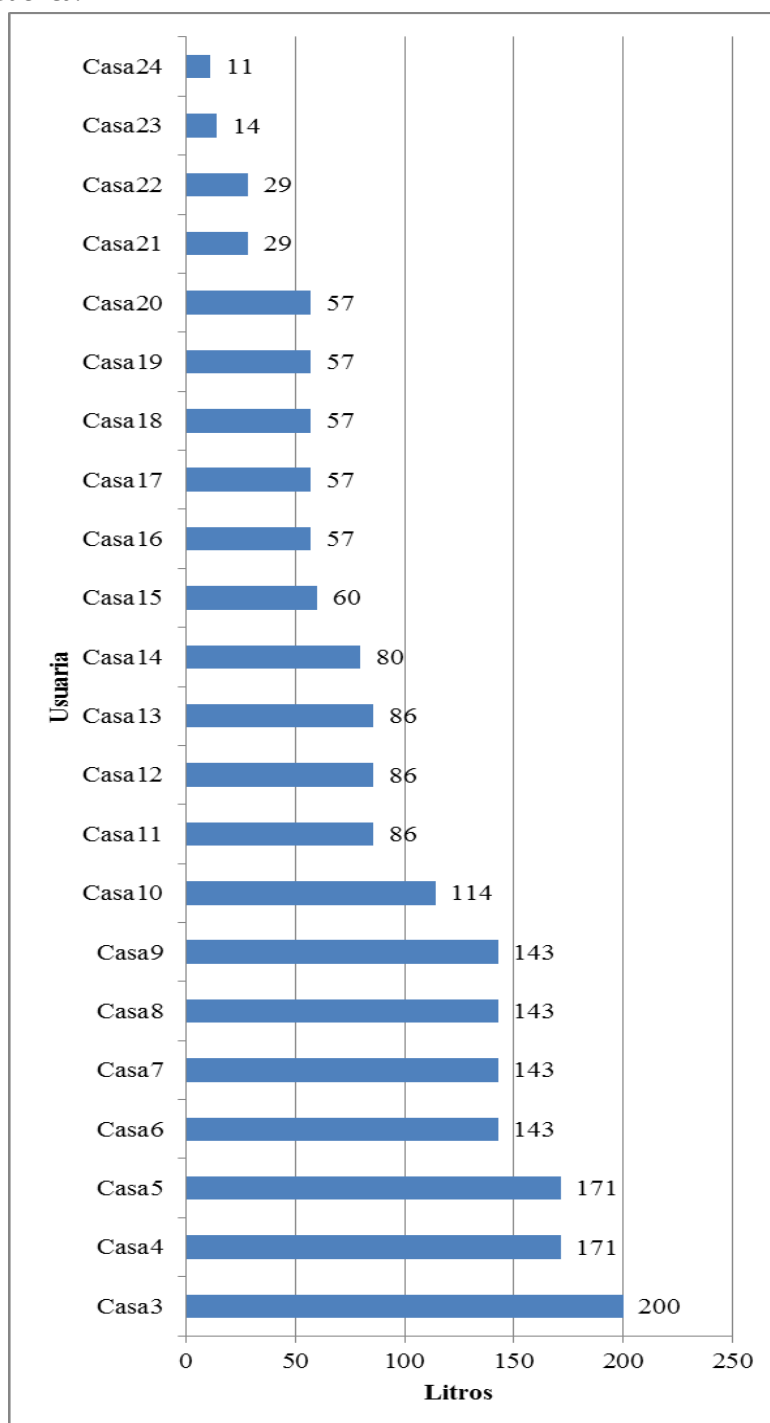
Figura A7.2. Prueba de Kruskal y Wallis para la relación entre el consumo familiar de agua y el número de niños dentro de cada familia encuestada en Xochimilco.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8. Consumo de agua por familia en Pro Cuenca.

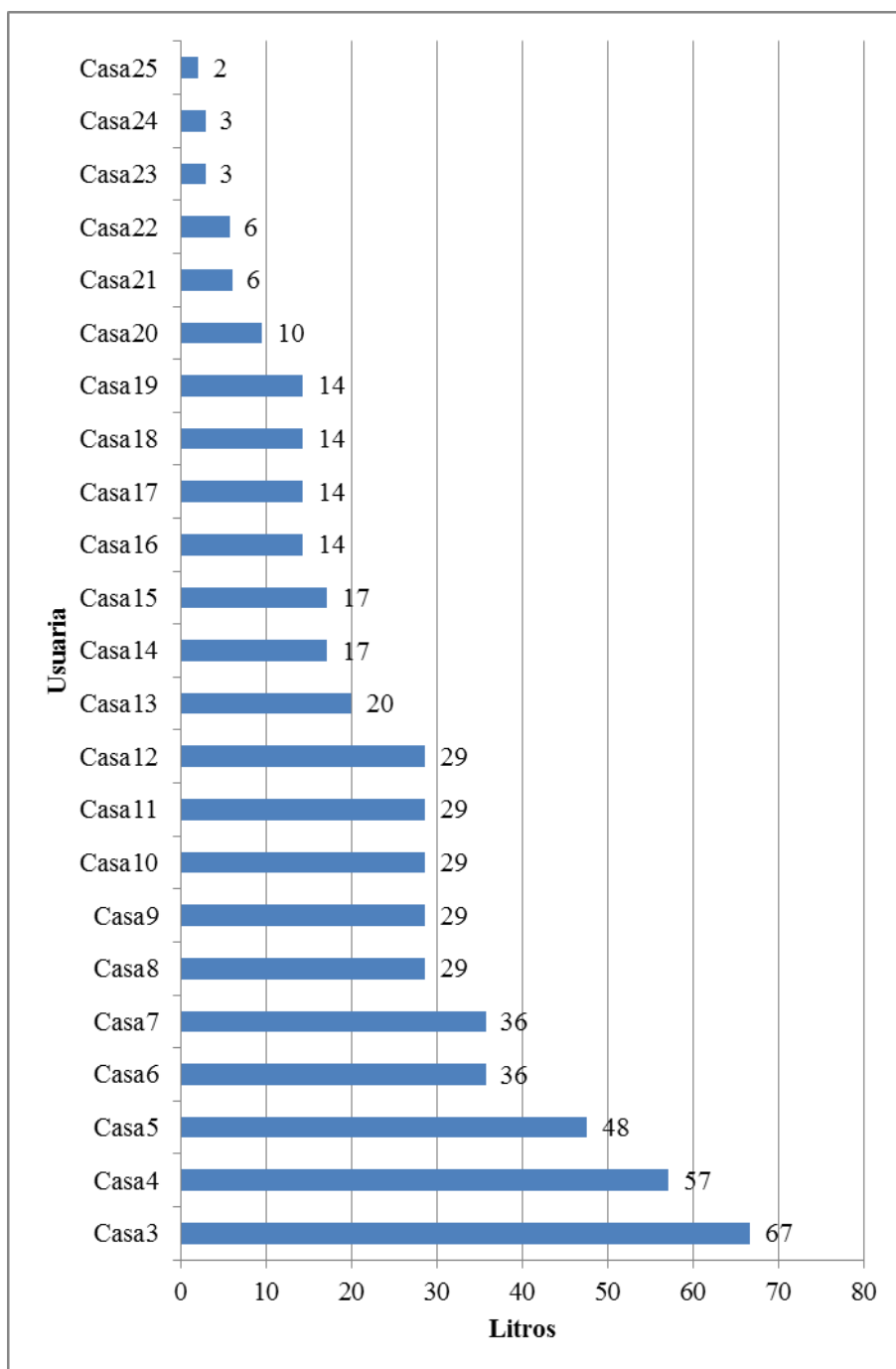
Figura A8.1. Cantidad de agua consumida por cada familia encuestada en Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia con base en 22 datos de la muestra.

ANEXO 9. Consumo de agua per cápita en Pro Cuenca.

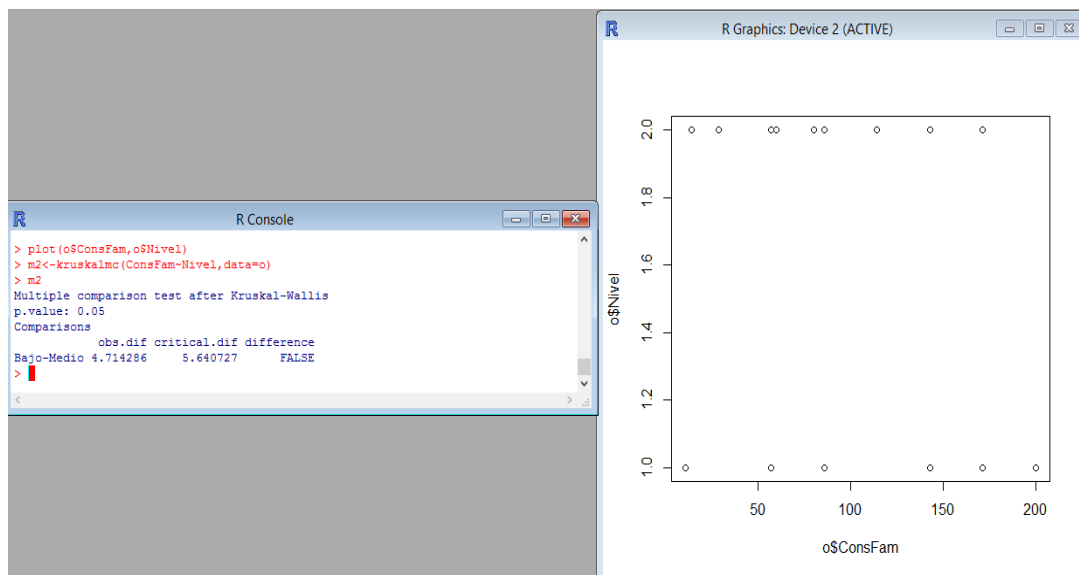
Figura A9.1. Cantidad de agua consumida por cada miembro de las familias encuestadas en Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia con base en 24 datos de la muestra.

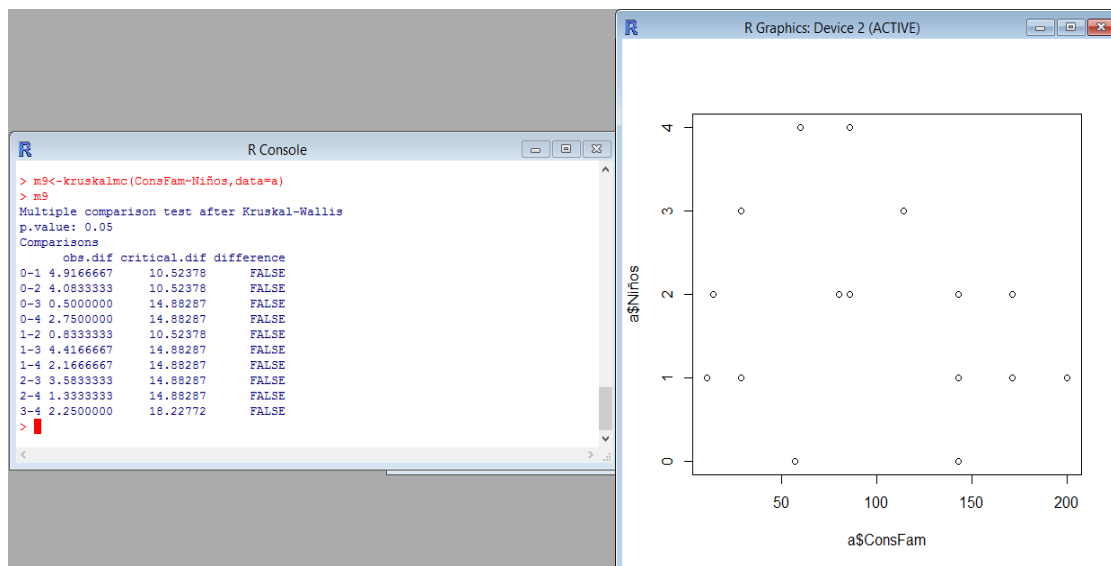
ANEXO 10. Estimaciones de la prueba de Kruskal y Wallis sobre la relación del consumo familiar de agua y otras variables en Pro Cuenca.

Figura A10.1. Prueba de Kruskal y Wallis para estimar la relación entre el consumo familiar de agua y el nivel económico de las encuestadas en Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A10.2. Prueba de Kruskal y Wallis para determinar la relación entre el consumo familiar de agua y el número de niños dentro de las familias en Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 11. Labores que las familias en Xochimilco deben realizar para abastecerse de diferentes fuentes de agua.

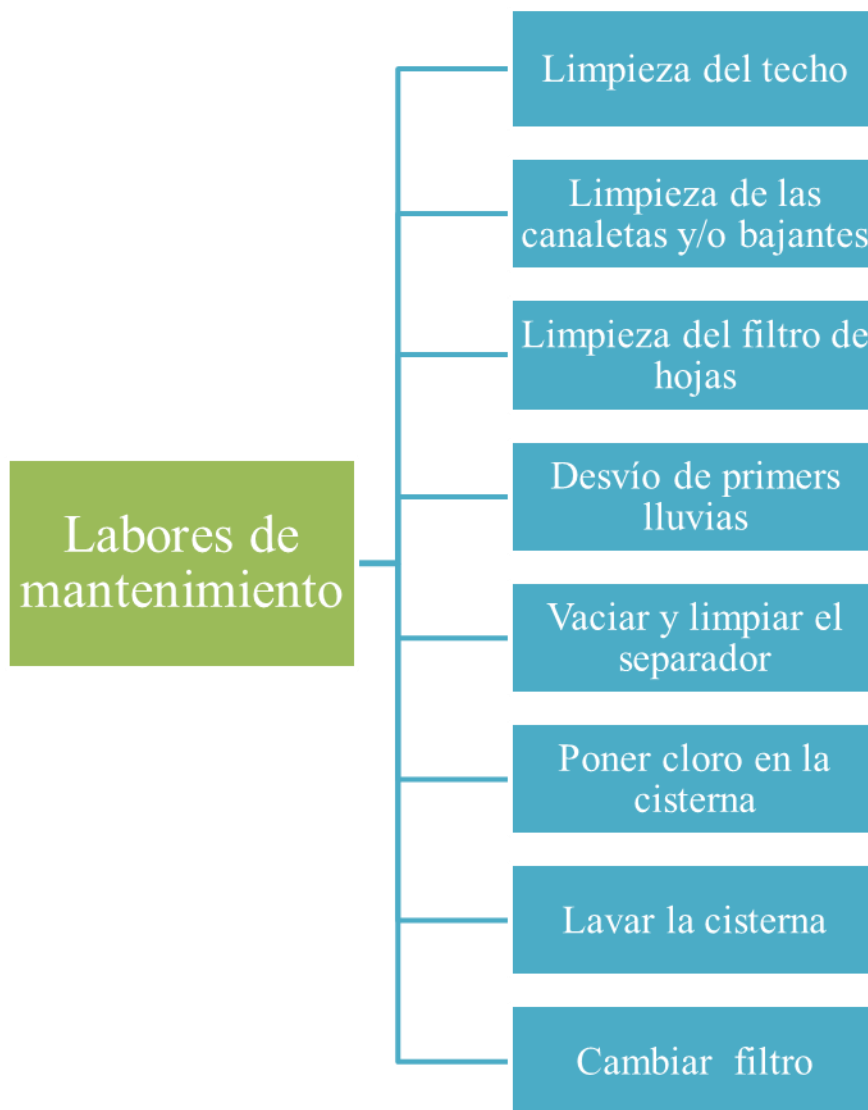
Figura A11.1. Actividades que las familias en Xochimilco deben realizar para obtener agua de cada una de las fuentes.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 12. Labores de mantenimiento realizadas por las familias al SCALL implementado por Isla Urbana.

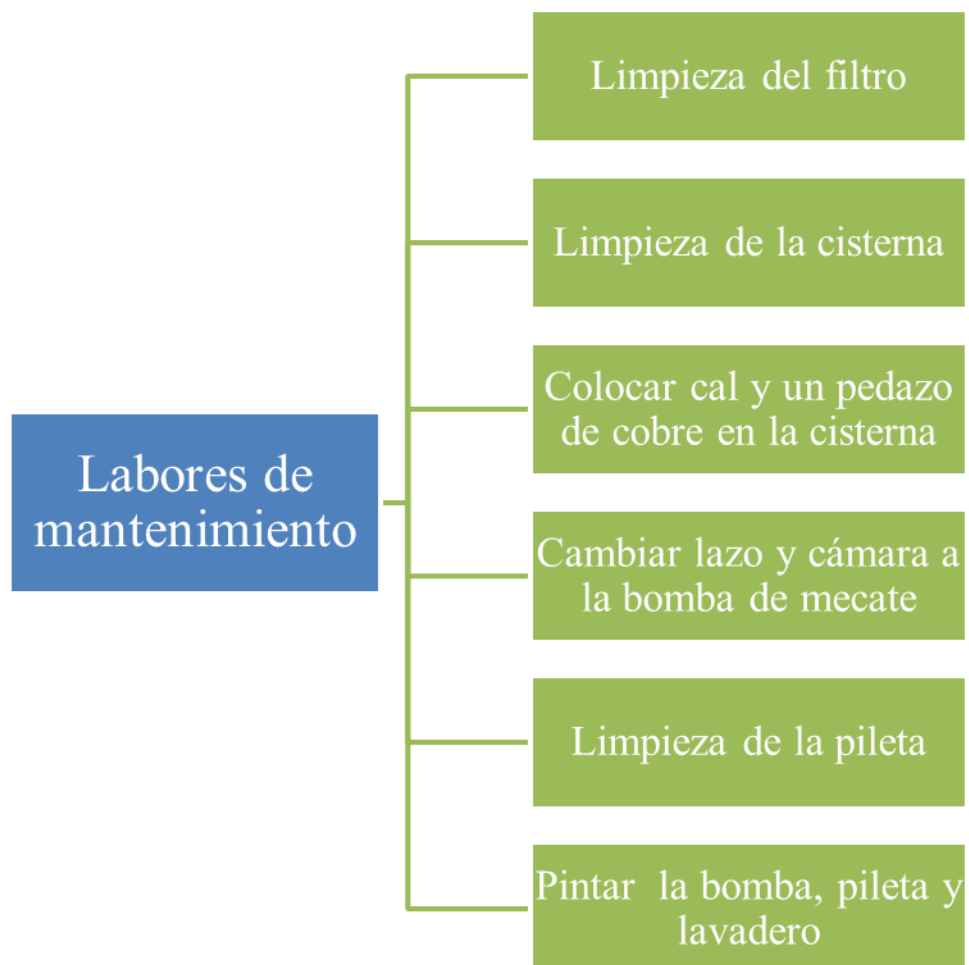
Figura A12.1 Labores de mantenimiento en Xochimilco.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 13. Labores de mantenimiento realizadas por las familias al SCALL implementado por Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo.

Figura 13.1. Labores de mantenimiento en Pro Cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 14. Forma en la que los usuarios en Xochimilco aprendieron a usar y mantener su SCALL.

El número entre corchetes representa el número de usuarios que mencionaron cada opción.

Figura A14.1. Forma en que los usuarios en Xochimilco aprendieron a usar y mantener su SCALL.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 15. Trabajos que han estudiado cuestiones relacionadas con la adopción y uso sostenido de SCALL y otras tecnologías a nivel doméstico.

Autor(es) y año	Título	Objetivo(s)	Disponible
White. 2010	<i>Rainwater harvesting: theorising and modelling issues that influence household adoption.</i>	Conocer, evaluar y analizar las razones y motivaciones que suscitan la adopción de un SCALL en los hogares de las zonas urbanas en el norponiente de Australia.	http://www.iwaponline.com/wst/06202/0370/062020370.pdf
Ilse Ruiz-Mercado, Omar Masera, Hilda Zamora, Kirk Smith. 2011	<i>Adoption and sustained use of improved cookstoves.</i>	Analizar, a partir de estudios de caso, las características del proceso de adopción de estufas mejoradas de leña y las dinámicas de tiempo de este proceso. El estudio se enfoca al comportamiento con respecto al proceso de adopción y los resultados que se pueden cuantificar.	http://cleancookstoves.org/resources_files/adoption-and-sustained-use-of.pdf
Rachel Smith y Tirian Mink. 2012	<i>Study on the rates of adoption of Rainwater Harvesting Systems in Mexico D.F. (Mexico city). The effect of various co-participation methods on system adoption rates.</i>	El objetivo principal del estudio fue evaluar el nivel de adopción de los SCALL con respecto a diferentes formas de co-participación ³⁶ en cuatro sitios de estudio en la Ciudad de México. Dos de los sitios son en zonas rurales, otro en una zona urbana y el otro en una zona peri-urbana. Asimismo, se estudió la forma en la que los sistemas se usaban y mantenían dependiendo del tipo de co-participación.	http://islaurbana.mx/contenido/biblioteca/investigaciones/Captacion/IRRIMexico.pdf
Daniel W. Smith, Joshua Briemberg y Barbara Evans. 2014	<i>Service levels provided by Rainwater Harvesting Systems and multiple water sources: a case study from Nicaragua.</i>	Generar datos empíricos para describir la forma en que el agua de lluvia captada de techos se desempeña en la práctica cuando los residentes cuentan con fuentes de abastecimiento adicionales.	http://whconference.unc.edu/files/2014/10/smith.pdf

³⁶ Las formas de co-participación estudiadas en este trabajo hacen referencia al tipo de contribución realizada por los usuarios de los sistemas; ésta puede ser: 1) contribución monetaria para el pago del sistema, 2) contribución en forma de mano de obra durante la instalación del sistema y, además, contribución monetaria, y 3) ningún tipo de contribución.

Continuación.

Autor(es) y año	Título	Objetivo(s)	Disponible
Esi Awuah, Samuel F. Gyasi, Helen M. K. Anipa y Kweku E. Sekyiamah. 2014	<i>Assessment of rainwater harvesting as a supplement to domestic water supply: case study in Kotei-Ghana.</i>	Evaluar la calidad del agua de lluvia captada para uso doméstico en Kotei, un suburbio de Kumasi en Ghana.	http://journalissues.org/wp-content/uploads/2014/08/Gyasi-et-al.pdf
Lloyd James S. Baiyegunhi. 2014	<i>Determinants of rainwater harvesting technology (RWHT) adoption for home gardening in Msinga, KwaZulu-Natal, South Africa</i>	Buscar el entendimiento y explicación de los factores que influyen la decisión de adoptar la captación de agua de lluvia en hogares rurales.	http://www.ajol.info/index.php/wsa/article/viewFile/110396/100130