

CAPTACIÓN PLUVIAL Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES EN LA MICROCUENCA LA SOLEDAD, GUANAJUATO

RAIN WATER HARVESTING AND WASTEWATER TREATMENT THROUGH CONSTRUCTED WETLAND IN LA SOLEDAD BASIN (GUANAJUATO, MÉXICO)

LILA
GAY ALANÍZ

MAHINDA
MARTÍNEZ

(autora para correspondencia
mahinda@uaq.mx)

AURELIO
GUEVARA ESCOBAR
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma
de Querétaro

FILIBERTO
LUNA ZÚÑIGA
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma
de Querétaro

Introducción

La falta de disponibilidad de agua y su mala calidad se está convirtiendo en factor limitante para el desarrollo del estado de Guanajuato, ya que impide la apertura de nuevas tierras a la agricultura, desalienta la instalación de nuevas industrias y pone en entredicho la capacidad para proveer los servicios de abastecimiento de agua a las poblaciones. Resulta evidente que la inadecuada administración del recurso hídrico está situando a Guanajuato en una posición crítica (Castelán 2001). En las zonas rurales, la escasez y deficiencia del agua para uso doméstico y consumo humano está afectando la salud y la calidad de vida de la población, especialmente en zonas altamente marginadas, como es el caso de la microcuenca Santa Ana. Esta microcuenca abastece de agua a la ciudad de Guanajuato, pero no cuenta con agua potable, por lo que a sus pobladores se les provee el 10% de la recomendación diaria para consumo humano y doméstico sugerido por la Organización Mundial de la Salud. El aspecto socioeconómico de pobreza extrema y alto índice de marginación que prevalece en la microcuenca, incrementa la problemática ambiental. Ante la escasez del agua, la población rural de la microcuenca Santa Ana se ve obligada a utilizar

Resumen

La escasez de agua y su mala calidad afecta especialmente a las comunidades rurales marginales. Se implementó un modelo de captura de lluvia y reutilización del agua residual en La Concepción, Guanajuato. El techo se cambió a láminas de metal, aumentando la altura del muro para darle pendiente. El agua se lleva por canaletas hacia un sedimentador con arena y a una cisterna. Se bombea al tinaco, y se pasa por un filtro para purificarla. El agua residual proveniente del lavado de trastes, aseo personal y ropa pasa a un pretratamiento de desengrasado, después a un tanque de estabilización y finalmente a un humedal con sustrato de tezontle, grava y arena sembrado con tule. El agua tratada llega a una cisterna y se reusa para riego y abrevadero. La calidad del agua obtenida después del tratamiento es mejor que el agua que se surte por medio de pipas a la comunidad.

Palabras clave: Comunidad marginal, lluvia, reutilización

Abstract

Shortage and poor water quality especially affects poor rural communities. We implemented a system to capture rain water and re-use residual water treated by a constructed wetland in a house in La Concepción, Guanajuato. The roof was substituted by metal sheets, adding inclination for water runoff. Water is moved through water channels towards a sedimentator and into a tank, and then bombed to a filter. Residual water from dish washing, laundry, and bath is de-greased by flotation and then passed through a constructed wetland with cattail. Water is stored in a tank and used for cattle or irrigation. The quality of the treated water has a higher purity than the water provided by the state.

Key words: Water shortage, rain capture, wetland treatment

agua con calidad insuficiente que se entrega por medio de pipas y se almacena en botes de lámina oxidados. El consumo de refrescos se ha incrementado, afectando la salud y el bienestar de sus pobladores. SIMAPAG señala un gasto aproximado de \$9,248 pesos para surtir 4 pipas por semana únicamente a La Concepción, una de las comunidades de la microcuenca de la Soledad y a quienes aumentaron de 3 a 4 pipas semanales de agua. A pesar del incremento, continúa siendo una dotación de agua mucho menor a la que sus pobladores requieren para cubrir sus necesidades básicas para uso doméstico y consumo humano ya que actualmente sólo reciben el agua en dos tambos de fierro (la mayoría en pésimas condiciones) de 200 L cada uno para familias de en promedio 6 integrantes cada 1 o 3 semanas. Esta dotación de agua significan de 2.8 a 8.1 L por persona al día tanto para consumo humano como para uso doméstico. El costo de cada pipa de 10m³ de agua es de \$578 pesos, es decir, cada metro cúbico de agua les cuesta \$16.93 que por 10 litros de agua suman \$169.30 pesos. El resto de los \$578 pesos es el cobro por operador, mantenimiento, diesel y gasolina.

Los sistemas de captación de agua de lluvia y la depuración del agua gris mediante humedales artificiales, representan una opción para resolver los problemas de acceso al agua que sufren las comunidades rurales marginadas y dispersas (Boege 2003). De esta manera, además, es posible disminuir la explotación de los mantos freáticos durante las temporadas de lluvia y almacenar el agua pluvial para la temporada de sequía.

En cuanto a los sistemas de depuración de agua residual, los métodos convencionales aplicados a comunidades rurales tienen muchos problemas de funcionamiento, y están en la actualidad en desuso o abandonados en su mayoría, debido a lo elevado del gasto de mantenimiento. Una alternativa son los humedales artificiales, biofiltros o lechos de hidrófitas, una tecnología que imita los procesos que ocurren en los humedales naturales. El humedal artificial tiene la misma función que una planta de tratamiento, pero aprovecha la capacidad de las plantas acuáticas y los microorganismos asociados (bacterias e invertebrados) de fijar metales pesados, sedimentar sólidos suspen-

dos, y remover exceso de nutrientes, de manera que disminuye la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y se mantiene en niveles aceptables produciendo así un agua de calidad óptima para su utilización (Lahora 1998). Se trata de un sistema de bajo costo, especialmente interesante para comunidades rurales pequeñas, en el que se hace pasar el agua por una serie de trampas y filtros físicos (como arenas, gravas, tezontle) y posteriormente por un filtro biológico constituido por el entramado de raíces (Seoáñez 1998).

El objetivo de este trabajo fue implementar un sistema de captación pluvial en una vivienda de la comunidad rural de La Concepción, Guanajuato que permitiera a la familia evitar el uso de agua de pipa cara y de mala calidad. Las aguas residuales provenientes del uso doméstico (lavado de ropa, vajilla, aseo personal) se trataron por medio de un humedal artificial para ser reutilizadas en el riego de traspatio y abrevado de animales. El sistema completo consta de la captura de lluvia que escurre por los techos de lámina, que se lleva por canaletas de PVC a un sedimentador y luego pasa a la cisterna. De ahí se bombea a un tinaco, y se purifica. Para el tratamiento, las aguas grises se desgrasan por flotación, se pasan a una fosa de aguas grises, después a un humedal sembrado con tule (*Typha latifolia*), y se almacenan en una cisterna para su uso en riego o abrevadero.

Metodología

1. Precipitación: se obtuvo a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como del Programa de Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato del 2004 (OET 2004).

2. Selección de la vivienda: se llevó a cabo por la gente de la comunidad a través de la participación de las familias del grupo organizado de mujeres de la microcuenca en cinco asambleas comunitarias y tomando como criterios qué familias de las más desfavorecidas no habían recibido aún apoyos para mejorar sus viviendas, así como el servicio prestado por parte de estas familias hacia su comunidad.

3. Calidad del agua: se tomó una muestra puntual del agua abastecida por pipas a la vivienda tal y como las familias acostumbran beberla, así como otra muestra obtenida del agua que ellos destinan al uso doméstico actualmente. Una vez ejecutada la obra y después del primer evento de precipitación se tomaron muestras puntuales del agua de la cisterna de almacenaje de agua de lluvia, así como de la cisterna de aguas tratadas. Los análisis se hicieron en la Unidad de Servicios Químicos (USQ) de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se analizaron en laboratorio los parámetros físico-químicos y bacteriológicos siguientes: coliformes totales, coliformes fecales, dureza (calcio/magnesio), fósforo total, nitratos, nitritos y sólidos totales (TDS). Una vez implementado y construido el proyecto en la vivienda, el agua destinada para consumo humano deberá cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2002. El agua para uso doméstico con la NOM-041-SSA1-1993 y NOM-127-SSA1-1994, la de riego de traspatio con la NOM-003-ECOL-1997.

4. La disponibilidad de agua se calculó de acuerdo al método de precipitación neta con coeficiente de captación, (Anaya *et al.* 2006, Anaya y Martínez 2006) y la demanda familiar por Anaya *et al.*, 2006.

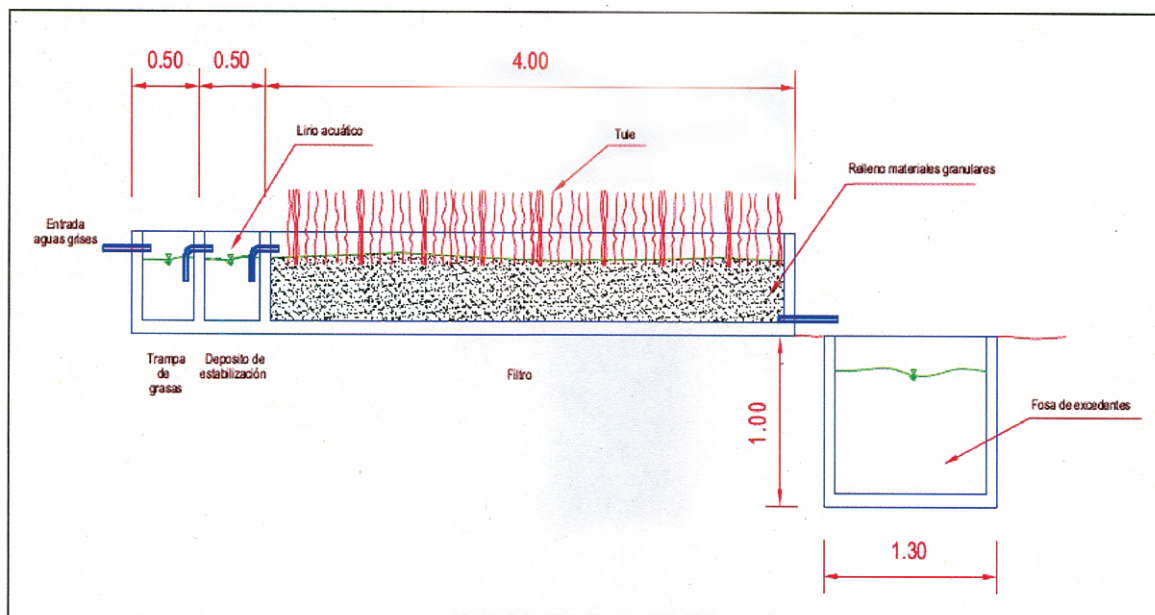
5. Las variables de diseño de la trampa de sólidos se calculan por el área efectiva de captación de agua de lluvia por la intensidad máxima de precipitación registrada (para esta zona, por ser templadas se consideran 50 mm *h-1, Anaya y Martínez 2006).

Diseño e implementación del sistema

Demanda: La determinación de la demanda permite conocer la demanda durante un mes, así como la demanda durante un año que necesita la familia. Con 6 personas en la vivienda y una dotación de 27 l/persona/día, considerando meses con 30 días, la demanda mensual es de 4.86 m³ / mes, y la demanda anuales de 58.32m³

En la vivienda seleccionada (Fig. 1) habitan 6 personas. Esto representa un volumen de agua de 58.32 m³ anuales, y un volumen de almacenamiento de por lo menos 34m³ para cinco meses de sequía (noviembre a marzo), con una dotación diaria de 27 litros por persona al día. De esos 27 litros de agua de lluvia, 3 litros diarios por persona están destinados para consumo humano durante todo el año (100% de la recomendación diaria de la OMS), y 24 litros por persona para uso doméstico (aseo personal, lavado de ropa y trastes) durante los meses de sequía, después de

Figura 1: Casa de la familia Yebra, vista planta-techos.



haberse filtrado y purificado de acuerdo a su uso, para cumplir con los límites de permisibles que establecen las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes. Cabe señalar, que esta cantidad de agua es adicional al suministro de agua de la pipa. Esta continúa siendo necesaria para el abasto de agua, ya que la dotación mínima necesaria que recomienda la OMS de 50 litros por persona al día (García *et al.* 1998) logra cubrirse al 100% con el suministro de la pipa y con el sistema de captación de agua de lluvia. Esta dotación de agua de lluvia representa un significativo aumento para lograr cubrir el 100% de la recomendación mínima diaria para la familia, además de la mejora que significa el simple hecho de poder consumir agua con la calidad necesaria durante

todo el año y sin riesgos para la salud (Anaya *et al.* 2006).

Disponibilidad de agua: el método utilizado ofrece mayor confiabilidad que otros existentes ya que considera un 90% de probabilidad de que ocurra el evento de lluvia y también considera la eficiencia de captación de los materiales. Estos datos permiten obtener el coeficiente de captación, para proyectar la obra con menores costos y garantizando el abastecimiento de la demanda de agua a los habitantes de la vivienda. Con este método se obtiene la disponibilidad de agua o la precipitación mínima esperada, que en este caso es de 747 mm en los meses más lluviosos de mayo a octubre. La tabla 1 resume la precipitación neta de cada mes.

Tabla 1: PN cada mes: $PN*\eta$

Mes	Precipitación (mm) P_j	Coef Captación	Prec.Neta(mm) PN_j
Ene	21.9	0.765	16.75
Feb	12.3	0.765	9.40
Mar	9.0	0.765	6.88
Abr	11.8	0.765	9.02
May	49.3	0.765	37.71
Jun	130.6	0.765	99.90
Jul	287.2	0.765	219.70
Ago	217.3	0.765	166.23
Sep	164.5	0.765	125.84
Oct	50.6	0.765	38.7
Nov	19.2	0.765	14.68
Dic	2.4	0.765	1.83
Sumatoria Anual	976.1		746.65
Promedio mensual	80.51		62.20

Área efectiva de captación de precipitación.

El techo de la vivienda tiene un área efectiva de captura de 106 m². Es indispensable que los techos se encuentren en buen estado de conservación para captar el agua de lluvia, con inclinación de aproximadamente 3 a 5% para que el agua escurra libremente pero evitando pérdidas por derrames para conducirla efectivamente, desde el área de captación hasta la línea de canaletas. En el medio rural pueden usarse los materiales que estén al alcance económico de la familia, excepto láminas de asbesto ya que provocan daños a la salud.

Línea de conducción del agua captada. Se colocó un sistema prefabricado de canaletas de PVC, diseñadas para la conducción del agua de lluvia. Es un material seguro ya que no es contaminante y resiste la intemperie. Además es sencillo de colocar desde la parte inferior del techo y cuenta con dimensiones adecuadas para evitar pérdidas en eventos de lluvia intensos en la región. La línea de conducción tiene una inclinación del 1% para llevar el agua a los desagües inferiores de conducción pluvial hasta el sedimentador, donde se lleva a cabo la primera filtración. El sistema de canaletas cuenta con una cubierta de rejilla, también de PVC, prefabricada, sobre el canalón para impedir la entrada de hojarasca y basura al sistema.

Sedimentador o trampa de sólidos. La velocidad del agua fue de 5.3m³/hora Aec= Área efectiva de captación de agua de lluvia 106 m² I= Intensidad de precipitación 50 mm/hora (0.05m/hr) Su ubicación está en la parte superior de la cisterna, cementada a la red principal justo antes de la descarga del agua pluvial. En la construcción de éste proyecto, se integró al sedimentador un filtro de gravas y arenas para la depuración de agua, con el objeto de reducir sólidos, turbiedad y materia orgánica en el agua cosechada. Para el diseño del lecho de gravas y arenas se consideró un área de 0.02 y 0.08 m² por persona (Uriarte 2002). Permite el primer filtrado físico del agua y se ubica al final de la bajada pluvial. Su construcción y funcionamiento es sencillo.

Cálculo del volumen de almacenamiento de agua captada. El volumen de la cisterna se cal-

cula por la demanda por persona por los meses de sequía+2. Para este caso, son 4.86 m³. (de los meses más secos de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, más dos) por lo que el volumen de la cisterna en este caso fue de 34 m³ En cuanto a los materiales empleados para la construcción de las cisternas, pueden ser los que más convengan a cada región y familia considerando tanto costos de material en cada sitio y también que exista la mano de obra capacitada para hacer una obra segura y funcional para los usuarios. Independientemente del material elegido, los sistemas de almacenamiento deben contar con los siguientes elementos 1) cubierta sólida y segura, con tapa, 2) lecho filtrante de grava y arena anterior a la cisterna, 3) llave de paso, que permita la extracción de agua sin que la contamine, 4) rebosadero, 5) desagüe para mantenimiento de la cisterna (Anaya *et al.* 2006). El mantenimiento de la cisterna consiste en un lavado interior cada dos años.

Diseño del sistema de purificación. El diseño del equipo adecuado para purificación del agua se determinó en función de los resultados de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de las muestras del agua de lluvia colectada en los techos. Por los resultados obtenidos, se seleccionó e instaló un equipo germicida con rayos Ultravioleta 1-UV-EM que cumple con la NOM-181-SSA1-1998. De tal manera que el agua derivada de la vivienda una vez construido el proyecto, recibe el siguiente proceso de filtración y purificación para el consumo humano:

- Filtración física de sólidos mediante un filtro lento de arena (sedimentador).
- Desinfección por cloración en la cisterna. Antes de iniciar el proceso de purificación el agua es almacenada y clorada con hipoclorito de calcio o sodio al 0.5% (Reyna 2006). El cloro elimina la mayor parte de las bacterias, hongos, y virus presentes en el agua. Se añade una concentración de 0.5 ppm y se deja un tiempo de reacción mínimo de 30 minutos (Uruzquieta 2006).
- El equipo de purificación se alimenta con agua de la cisterna mediante tubería de

cobre, empotrado en el muro permitiendo que se mantenga protegido y a su vez cerca de la corriente eléctrica de 120 voltios y de la cisterna.

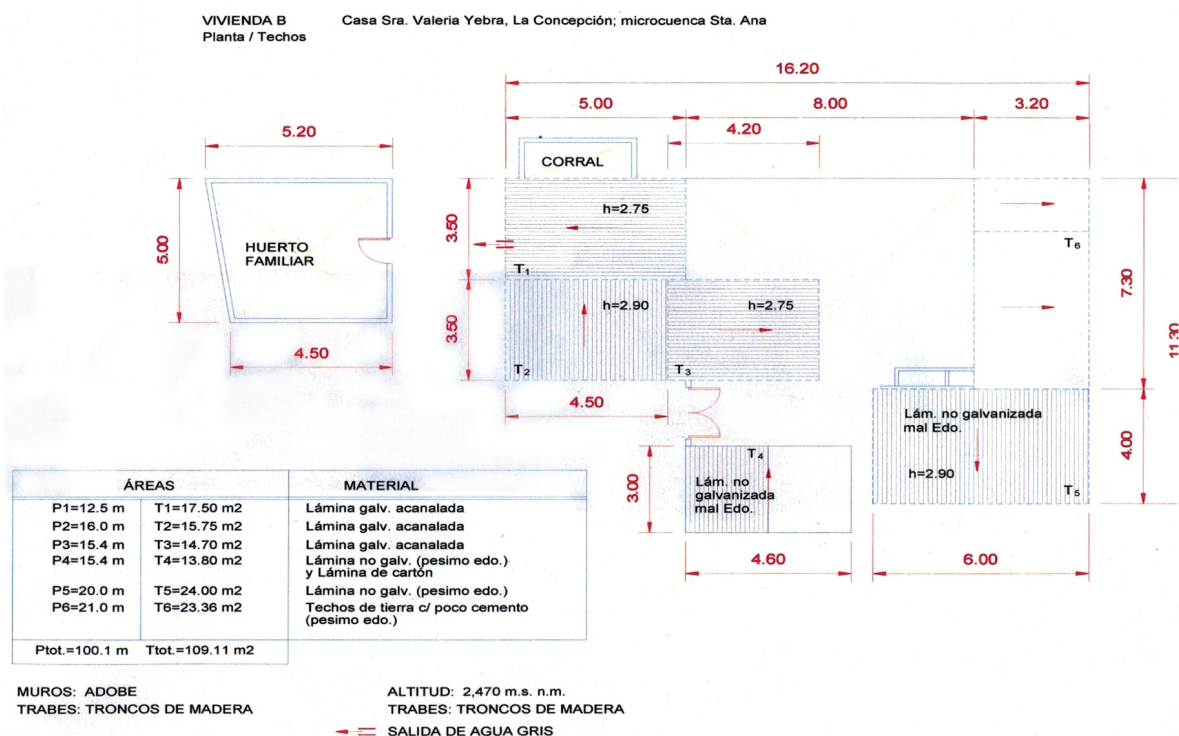
El equipo purificador se integra de la siguiente manera:

- El primer cartucho filtrante, de carbón activado y plata coloidal retira del agua partículas suspendidas mayores a 5 micras que producen turbiedad. Excluye amibas y sedimentos, además retira cloro libre y materia orgánica. El agua libre de esos contaminantes, pasa al siguiente cartucho de luz ultravioleta.
- El germicida ultravioleta inactiva por esterilización: bacterias, virus, vibrión de cólera, algas y hongos. El proceso de desinfección lo efectúa al pasar el agua a través de una cámara de desinfección de acero inoxidable con una lámpara que irradia de rayos ultravioleta al agua, y altera el ADN de los microorganismos que puedan existir (Uruzquieta 2006).

- Para su mantenimiento, cada 9-12 meses de uso reemplazar el cartucho del filtro que tiene un costo de \$ 50 pesos. Reemplazar el foco UV por uno nuevo, tienen un costo de \$80 pesos.

Implementación del humedal artificial ó biofiltro. Para diseñar un humedal artificial es necesario que tenga un substrato acorde con la vegetación implementada especificando su dimensión, tipo, forma y geometría que permitan asimilar el aporte de líquido y procesarlo adecuadamente. Los parámetros de diseño son el tiempo de retención hidráulica, carga admisible de DBO, carga admisible de otros contaminantes, y fluctuaciones de la carga hidráulica (Seoánez 1998). Con diversas variantes, estos filtros ya han sido propuestos anteriormente por el grupo organizado Promoción Ecológica Campesina (PROE, A.C.) basados en el reconocimiento de la tecnología vernácula y su revaloración bajo las condiciones actuales. Asimismo, el reciclaje de agua gris mediante filtros de arena se refieren en Caltzontzin *et al.* 2003. Consta de tres componentes básicos (figura 2), un pretratamiento que consiste en una trampa de grasas que se eliminan por flotación, seguido de un depósito de estabi-

Figura 2: Corte longitudinal del biofiltro



lización, para pasar finalmente por un lecho de hidrófitas. El agua resultante se deposita en una cisterna de almacenamiento. Para obtener un buen funcionamiento del humedal se hicieron las modificaciones de diseño necesarias de sustrato, tiempo de permanencia de agua en el humedal, áreas de acuerdo al número de habitantes en la casa y a los volúmenes y calidad de agua tratada, así como el análisis del agua gris derivada de la vivienda en cuanto a los parámetros de nitritos, nitratos, fósforo total, dureza y sólidos totales. Se seleccionó a *Typha latifolia* ya que propicia la oxigenación del sustrato y presenta un importante consumo de nitratos y fosfatos.

Trampa de grasas. Una vez entubada el agua jabonosa de la casa proveniente del aseo personal, lavadero, lavado de trastes y cocina, pasan a esta primera zona llamada trampa de natas. Su construcción consistió en un depósito de tabique (0.62 x 0.61 x 0.90 m de profundidad), el cual tiene como función separar las natas o grasas por flotación, en la que las grasas quedan en la parte superior y el agua pasa a la fosa de aguas grises. La entrada y salida de la trampa de grasas se hace mediante tubería de PVC de 2" y codo de 90° hacia abajo, y pendiente del 1%. Al salir de la trampa pasa a través de un tubo de PVC de 2" y se coloca una T de 2" (tanto en la entrada como en la salida de la trampa) con un pequeño tubo de PVC añadido. Por este sencillo recurso se impide el paso de las natas y grasas de la trampa a la fosa de aguas grises.

Fosa de aguas grises. Se construyó un segundo depósito con las mismas medidas que la trampa de grasas, con la entrada y salida de agua de la misma forma hacia el tercer tanque o canal de filtración. El paso con golpe de agua permite oxigenar el agua.

Canal de filtración o de oxidación. Se construyó un tercer depósito cuyas dimensiones son: 0.62m de ancho x 2.82 de largo y con 0.90 m de profundidad. Está construido encima del nivel del suelo, separado por otro muro también de tabique y acabado de cemento pulido en el interior, pendiente del 2%. El agua pasa desde la fosa de aguas grises hacia el canal de filtración por un tubo de 2 pulgadas de diámetro por la parte superior del canal, en donde se encuentra el sustrato del humedal. Una vez que los materiales de

relleno se lavaron se colocaron de la siguiente manera:

10 cms de espesor de tezontle "cacahuate" (1 a 2 cm de diámetro)

10 cms de espesor de grava mediana (1cm de diámetro)

10 cms de espesor de grava especial (0.50 cm de diámetro)

10 cms de espesor de grava chica (2 a 4 mm de diámetro)

30 cms de espesor de arena sílica. Sobre la arena se siembran los rizomas de *Typha latifolia* de 109 cm de largo con primordios foliares. La separación entre los rizomas también es de 10 cm.

Fosa de excedentes. Se excavó una fosa cuyas dimensiones son de 1 m x 1.30 m x 1 m de profundidad. Tiene una tapa metálica para seguridad de los niños que habitan la casa. El agua se extrae con una cubeta.

Mantenimiento del humedal. Los sólidos de las trampas de grasas se removerán manualmente cuando generen una capa de nata visible. Estas natas se dejan acumular aproximadamente de 20-30 días y cuando se tienen de 5 a 10 cm de espesor, se sacan con una coladera. Pueden colocarse alrededor de árboles frutales como abono y protección para las heladas. En la zona de plantas, basta con mantener el flujo de agua gris constante y cortar el crecimiento excesivo de las plantas, así como eliminar las plantas que se han marchitado.

Evaluación del proyecto y discusión

En las circunstancias previas a la implementación del proyecto en la vivienda rural se cubría entre un 5% hasta un 16% como máximo, de la dotación mínima que se requiriere por persona según la Organización Mundial de la Salud para cumplir con la subsistencia básica. Compensaban la falta de agua potable con refrescos y agua superficial aumentando los riesgos de diabetes e infecciones gastrointestinales. Después de haber implementado el proyecto se incrementa la dotación de agua por persona entre 6 a 20 veces

más que la dotación anterior. Esto significa cubrir aproximadamente el 60% de la cantidad mínima requerida de agua por persona al día. Con esta mejora en las estrategias de uso del agua se logró satisfacer el 100% de la dotación diaria de agua para consumo humano recomendada por la Organización Mundial de la Salud para toda la familia, equivalentes a 3 litros de agua por persona al día durante todo el año. Además, hay 24 litros más de agua por persona al día para el uso doméstico, para los cinco meses de sequía (noviembre a marzo). Durante la época de lluvia la familia podrá prescindir del suministro de la pipa. Se genera un ahorro familiar por este concepto, desde mayo a octubre equivalente a \$816 pesos. Por otro lado, al satisfacer la dotación de agua para consumo humano durante todo el año, la familia estará en posibilidad de prescindir del consumo de refrescos. Esto mejora en primera instancia, las condiciones de salud de la familia y un ahorro en lo económico de por lo menos \$1,600 pesos mensuales que antes tenían que destinarse a la compra de refrescos. Es decir que en el transcurso de un año la familia puede ahorrar \$20,857 pesos por este concepto. Además de este análisis simplista de costos, es importante resaltar el impacto en la calidad de vida de la familia al disponer de agua, recursos económicos adicionales y mejores condiciones de salud.

Agua gris tratada en el humedal para su reutilización. Tomando en cuenta que el agua gris procedente de la vivienda—una vez que se ha implementado el proyecto—, es de entre 162 hasta 210 litros de agua jabonosa en un día (27L - 35L/persona/día) durante todo el año, y considerando que, durante el proceso de tratamiento en el humedal se pierde aproximadamente el 20% del agua que ingresa, el agua recuperada y tratada para ser reutilizada es de entre 908 a 1,176 litros de agua por semana, con la calidad necesaria para riego de traspatio o en la milpa. Según interese a la familia, pueden sembrar durante todo el año para consumo familiar, o bien, para obtener un ingreso económico extra por el producto de la milpa, así como también abastecer de agua a los animales del corral. Cabe mencionar que el flujo de agua gris es permanente durante todo el año.

Impacto en la calidad de agua. El agua de lluvia almacenada en la cisterna para el consumo humano y para el uso doméstico recibe los tratamientos físicos, químicos y bacteriológicos adecuados para mantener los parámetros de calidad establecidos dentro de las normas oficiales de la federación vigentes NOM-127-SSA1-1994, NOM-201-SSA1-2002 y NOM-041-SSA1-1993. El agua tratada para reuso de riego de traspatio en la vivienda cumple con la NOM-003-ECOL-1997.

Tabla 2: comparación de los parámetros analizados del agua tratada y la Nom-003-ECOL-1997

Parámetro	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminetos	Sólidos suspendidos totales
NOM-003 ECOL-1997	1,000	5	30
Proyecto	210	No detectables	76 como sólidos disueltos totales

Recuperación de la inversión. En este proyecto se invirtieron \$65,000 pesos (incluye el costo por reconstrucción de muros y del área de captación), y se obtuvo un volumen de almacenamiento anual de 58 metros cúbicos, con un promedio de llenado total al 100% de la cisterna (34m³) -de acuerdo a las variables climáticas- durante los primeros 4 eventos pluviales ocurridos en mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Se calcula un tiempo de vida útil del sistema de captación pluvial y reutilización del agua gris de la vivienda de por lo menos quince años. El ahorro derivado de prescindir del suministro del agua de pipa durante los meses de lluvia suma \$816 pesos anuales. Así, el costo de inversión de \$65,000 se recuperaría en trece años de uso del sistema, lo que parece poco redituable. Si a este análisis se añade que el sistema permite prescindir de la compra de refresco para el abasto familiar equivale a \$20,857 pesos anuales (considerando un promedio de consumo aproximado de 1.250 litros diarios de refresco por persona al día, es decir cuatro vasos de 312 ml por persona al día), la recuperación de la inversión es de tres años. Otros beneficios directos a la salud en la familia por el cambio en los hábitos de consumo son difíciles de cuantificar, pero muy importantes debido a las altas tasas de diabetes y obesidad que sufre el país y que se presentan también en la microcuenca La Soledad.

En cuanto al impacto del agua gris recuperada y tratada en el humedal artificial ha sido benéfico para la familia, ya que en donde antes sólo existía escombros en la vivienda actualmente se encuentra el humedal y una milpa en donde la familia siembra flores de ornato para su venta, y jitomates para consumo de la familia.

Referencias bibliográficas

- Anaya, M., M. Pacheco, J. J. Martínez, V. Ramírez. 2006. Primer Diplomado Internacional sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para Consumo Humano, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS), Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia (CIDECALLI), UNCCD, PNUMA, IRHA. México. p.11
- Anaya, M., J. J. Martínez. 2006. Sistemas de captación, conducción, almacenamiento y tratamientos de agua de lluvia. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS), Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia (CIDECALLI), UNCCD, PNUMA, IRHA. México. p. 18
- Boege, E. 2003. Protegiendo lo nuestro: manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina y el Caribe. SEMARNAT, INI, PNUMA. México. p.28
- Caltzontzin, B., G. Martínez, L. M. Rivera. 2003. La vivienda campesina sustentable en el desarrollo comunitario. SEDESOL, CEDESA. México. p. 5
- Castelán, E. 2001. La participación de la sociedad civil y los gobiernos locales en el manejo de los recursos hídricos en México: La experiencia del estado de Guanajuato. Informe de investigación del centro del tercer mundo para el manejo del agua. México. p. 6
- García, I., Merino, B., Silva, I. 1998. Promoción de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Subdirección General de Epidemiología, Promoción y Educación para la Salud. Ginebra. p.28
- Lahora, A. 1998. Humedales controlados como tratamiento terciario de aguas residuales urbanas. Instituto de Estudios Almerienses, Universidad de Almería, Grupo Ecologista Mediterráneo. España. p. 47
- NOM-201-SSA1-2002. Establece cumplir con la NOM -127-SSA1-1994 y suple a la NOM-041-SSA1-1993, NOM-042-SSA1-1993 y NOM-160-SSA1-1995. Productos y servicios. Bienes y servicios. Agua y hielo para consumo humano envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.
- NOM-041-SSA1-1993. Bienes y servicios. Agua purificada, especificaciones sanitarias.

NOM-003-ECOL-1997 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público.

Reyna, R. 2006. Manual de Sistemas de Potabilización y Purificación del Agua de Lluvia. Grupo Quebec Water de México. México. p. 2

Seoáñez, M., 1998. Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Ed. Mundi Prensa. España. p19

OET. 2004. Programa de Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato.

Uriarte, M. A. 2002. Contribución al Estudio de Calidad de Agua de Lluvia. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. México. p.28

Uruzquieta, A. 2006. Operación y Mantenimiento del Sistema de Captación del agua de Lluvia. México. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS), Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia (CIDECALLI), UNCCD, PNUMA, IRHA. México. p.5