

HC-1303.1. SISTEMAS COMUNITARIOS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA Y TECNOLOGÍA APROPIADA EN MATERIA DE AGUA PARA ZONAS MARGINADAS.

INFORME FINAL

Jefe de proyecto:

Miguel Ángel Córdova Rodríguez

Participantes:

Sandra Vázquez Villanueva
Maricarmen Espinosa Bouchot
José García Caspeta
Erick Oliver Cervantes Gutiérrez
Dante Sinohe Hernández Padrón

Entregables:

1. 1 Modelo piloto de un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia comunitario.
2. 1 Desarrollo tecnológico sobre cubiertas flotantes.
3. 1 Artículo arbitrado e informe técnico sobre el diseño de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia comunitarios con base a geomembranas.
4. 1 Informe técnico y artículo de divulgación sobre el seguimiento y mejoras de lavaderos y baños ecológicos así como de los filtros lentos

1. 1 Modelo piloto de un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia comunitario.

Contenido:

1. Elaboración de flotadores y caja de bombeo.
2. Limpieza, preparación y adecuaciones en la olla y cubierta flotante.
3. Verificación del funcionamiento del sistema de drenado

Anexos

Plano de la olla con flotadores, contrapesos y cárcamo central

Plano de la caja de bombeo

Memoria fotográfica

Ubicación:

La olla seleccionada para el modelo piloto se localiza en la comunidad de Felipe Neri. Se muestra la ubicación de la localidad en la figura siguiente, en donde se puede observar el camino que conduce a la cabecera municipal de Tlalnepantla.

Al sitio es posible llegar por carretera de pavimento asfáltico desde la cabecera municipal de Tlalnepantla y la cabecera municipal de Tlayacapan, desde el centro de Tlalnepantla la localidad se encuentra a 12.80 kilómetros y desde el centro de Tlayacapan se encuentra a 19.00 kilómetros aproximadamente.

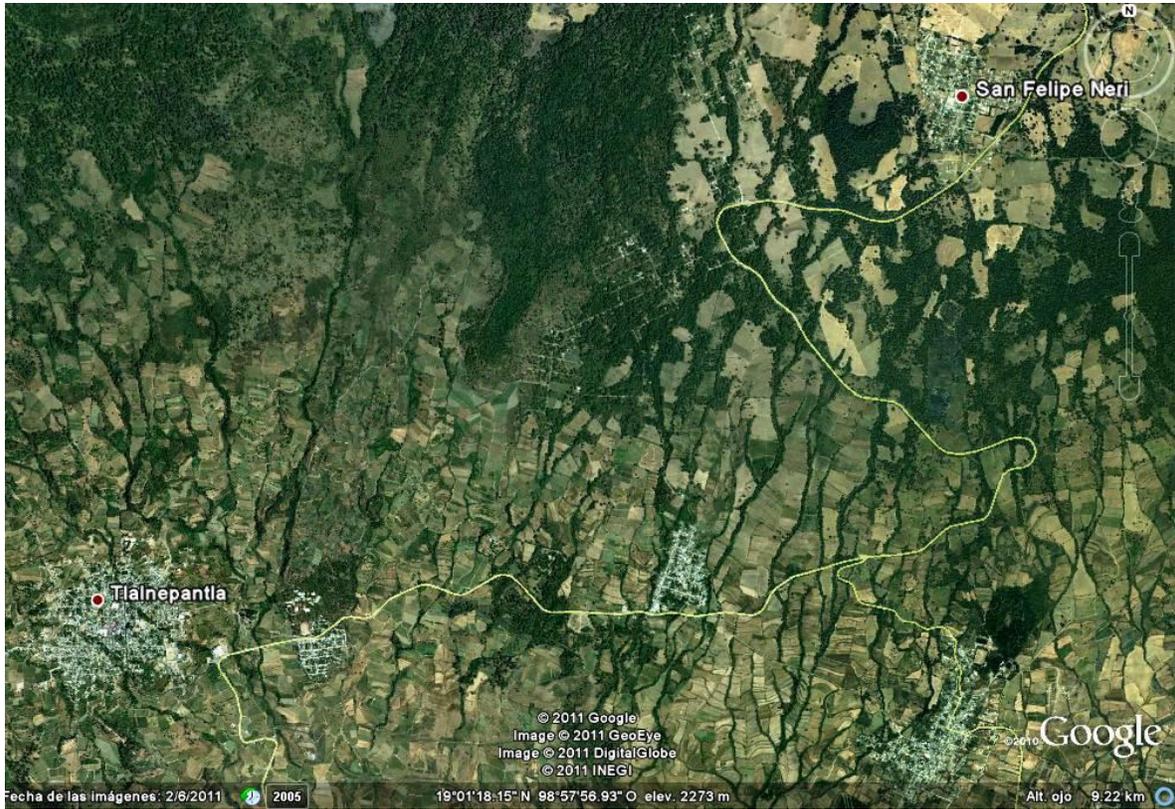


Imagen 1. Ubicación de la localidad de Felipe Neri.

Ubicación de la olla.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación de la olla:

Olla
2 800 m³

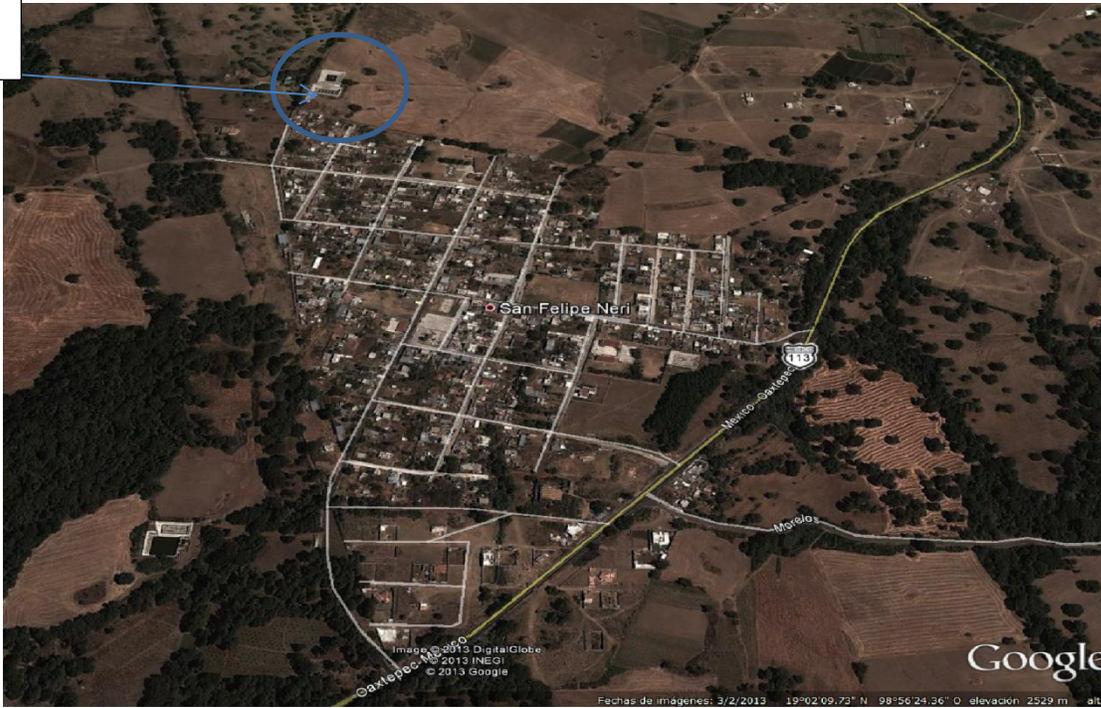


Imagen 2. Localización de la olla.

Características:

$V = 2\,800\text{ m}^3$

Dimensiones en m: $L=42$, $l= 32.8$; $B=20$, $b=10.8$; $h= 5$

Material base: concreto

Material geomembrana piso y taludes: PVC 1.2 mm

Material cubierta flotante: PVC 1.2 mm

Flotadores: Siete tubos de PVC, longitud= 6m, diámetro 6 "

Drenado: coladeras



Imagen 3. Vista de la olla

Se diseñaron las dimensiones y especificaciones de la caja de bombeo y los flotadores; se presenta el arreglo final de los flotadores, contrapesos y caja de bombeo; con las dimensiones de la olla se verificó el acomodo de los flotadores, contrapesos y caja de drenado.

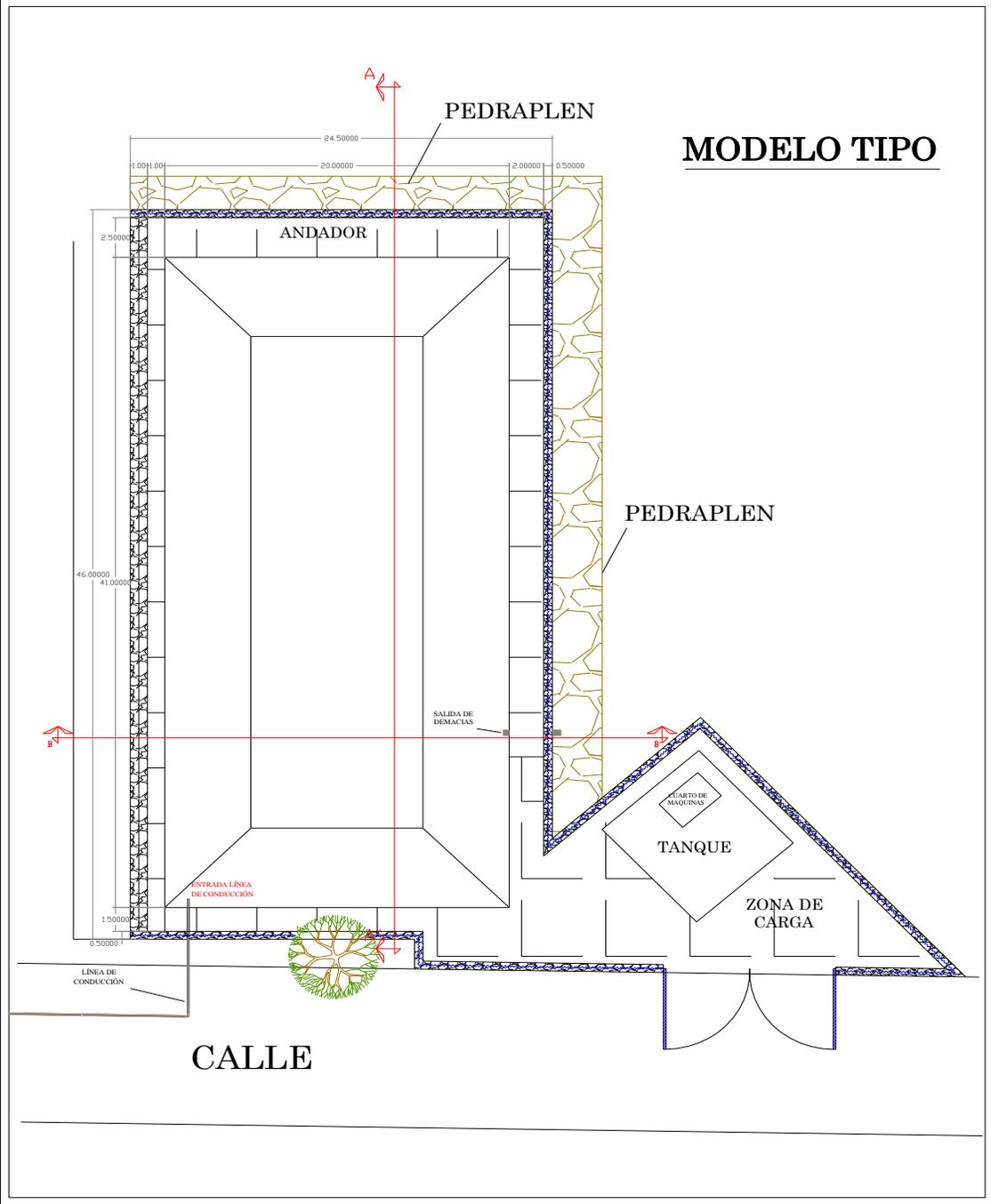
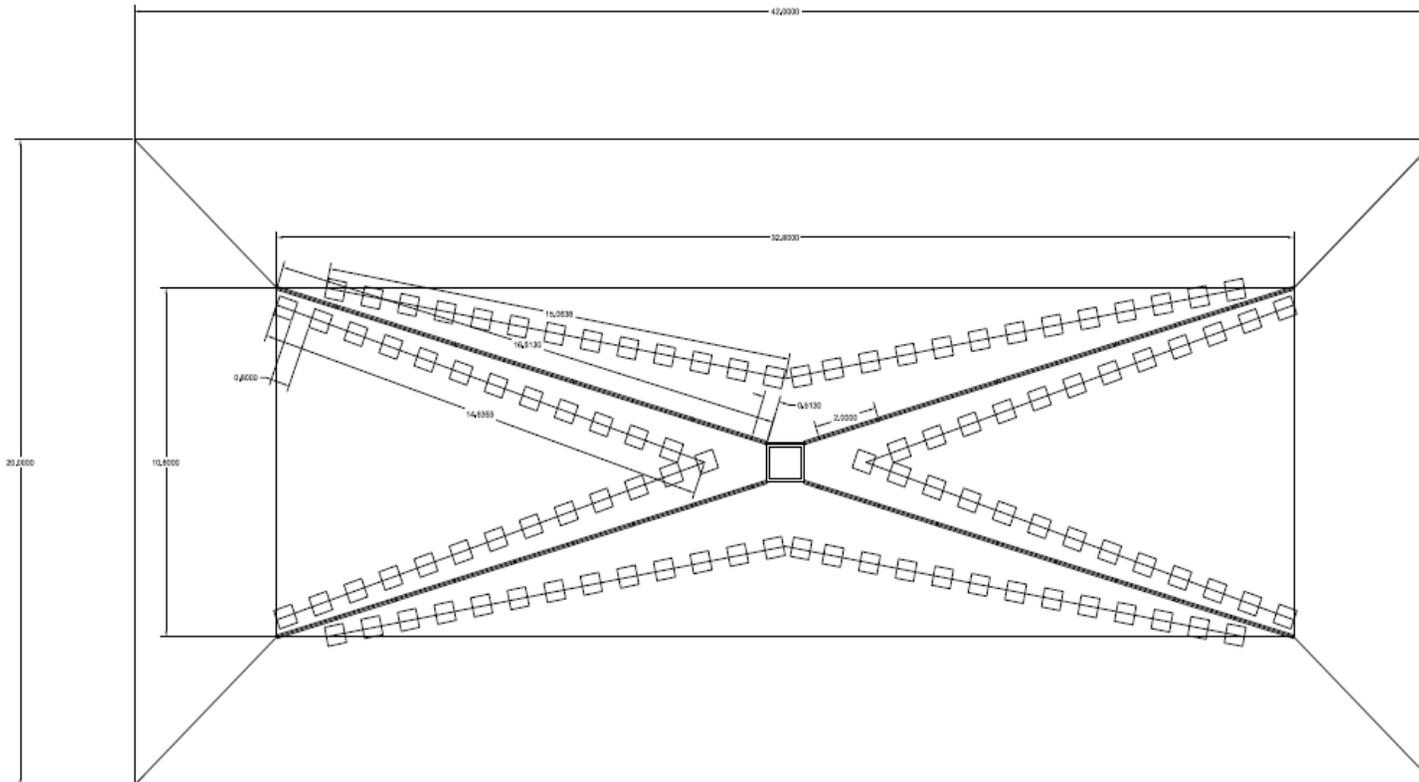


Imagen 4. Plano de la olla de almacenamiento

El arreglo final queda de la siguiente manera:



Cantidades de Obra:

102 Casetones 60*60*20 (Lienzo de 1.4*1.4m c/u)

32 Sacos de contrapesos de 2.0 m de largo (Lienzo de 0.45*2m)

4 Sacos de contrapesos de 0.5 m de largo (Lienzo de 0.45*0.5m)

4 Sacos de contrapesos de 1 m de largo (Lienzo de 0.60*1m)

Aproximadamente se requieren 232 m² de lienzo más desperdicio = 255 m²

Resultados

- Se realizó el retiro de la cubierta y posterior limpieza interior, revisión y reparación en caso de ser necesario. De la inspección no se observan daños como rasgaduras, cortes, juntas sin soldar. Sólo se observan unos orificios de 0.5 cm de diámetro, se procedió a repararlos y a reforzar las áreas con protuberancias para prevenir daños.



- Se realizó el retiro de la cubierta, se hizo la limpieza interior y se elaboró el cárcamo de bombeo.



- Se elaboraron los casetones (flotadores), es decir, los tramos de poliestireno de 60 X60X20 cm, forrados con geomembrana de PVC. Se anexa plano del flotador



- Se elaboraron los sacos para los contrapesos con las dimensiones especificadas en el plano.
- Como parte de las mejoras a las cubiertas flotantes se revisaron las bombas solares instaladas en las ollas 1 y 2 de Fierro del Toro, Huitzilac; se encontró que no estaban succionando el agua, se desmontaron, se limpió la manguera y se probaron (ver fotos), se notó que la bomba funciona con baja succión por lo que se consideró necesario realizar la revisión interna y la limpieza por lo que se enviaron a mantenimiento. Como resultado de la revisión se observó que la membrana interna se rompió a causa del ingreso de basura por lo que éstas se cambiarán y se instalarán nuevamente. Para mejorar el bombeo se propone instalar una cubierta de malla plástica en la caja de bombeo para evitar el ingreso de basura fina como se muestra en el esquema 1.



Prueba de funcionamiento en olla grande Fierro del Toro.



Prueba de funcionamiento en olla chica Fierro del Toro.

- Se colocó la cubierta nuevamente en la olla, se retiraron las coladeras y se colocaron parches para sellar los espacios donde estaban colocadas. Se colocó una corbata de 50 cm de ancho para termofusionar el piso con los taludes de la cubierta.



- Se realizó la limpieza de la cubierta para iniciar la colocación de los flotadores y contrapesos.



- Se colocaron 86 flotadores y 32 contrapesos ya que se adecuaron a la forma de la olla. Se elaboró el cárcamo central en la cubierta para realizar el bombeo del agua.



- Se instaló el sistema de drenado con energía solar en la olla 1 que está integrado por la bomba solar, caseta para proteger la bomba, panel solar, mangueras y electronivel.



- Se cambió la membrana interna de las bombas solares de Fierro del Toro y se implementó un filtro a la entrada de la bomba para protegerla de la basura. Se adaptó el encendido de las bombas para que pueda realizarse el encendido/apagado manual. Se están elaborando las bolsas para proteger la caja de bombeo.

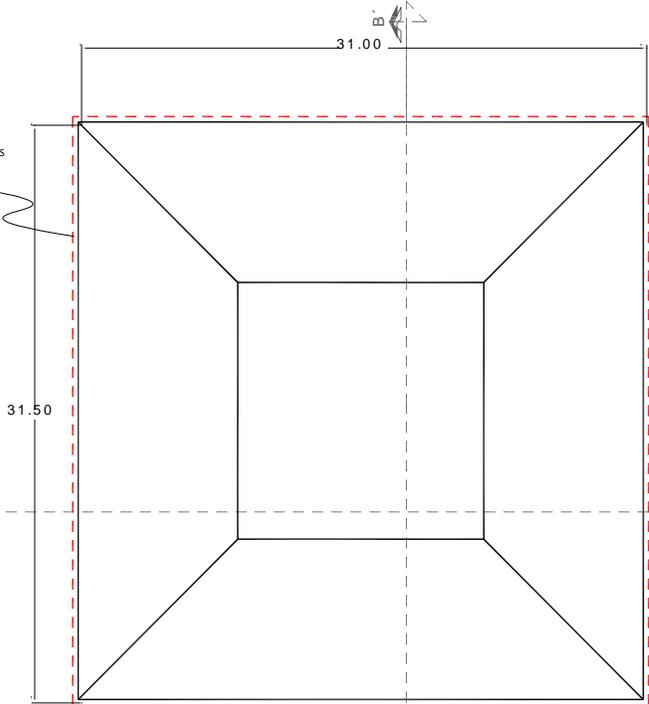


1

FIJACIÓN MECÁNICA DE MEMBRANA

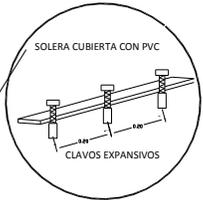


1. COLOCACIÓN DE SOLERA CUBIERTA CON POLICLORURO DE VINILO "PVC" ANCLADA AL FIRME DE CONCRETO CON CLAVOS EXPANSIVOS A CADA 20 CM. INCLUYE EQUIPO Y HERRAMIENTA.

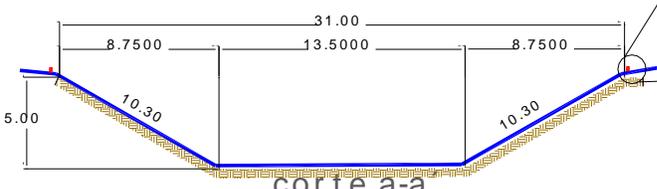
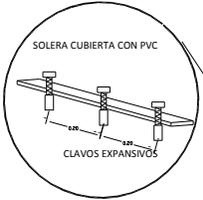


Se colocaron 130 metros lineales de solera
Se colocaron 660 piezas de clavos expansivos

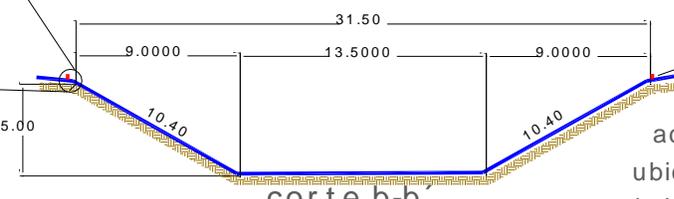
DETALLE DE SUJECIÓN MECÁNICA



DETALLE DE SUJECIÓN MECÁNICA



corte a-a



corte b-b

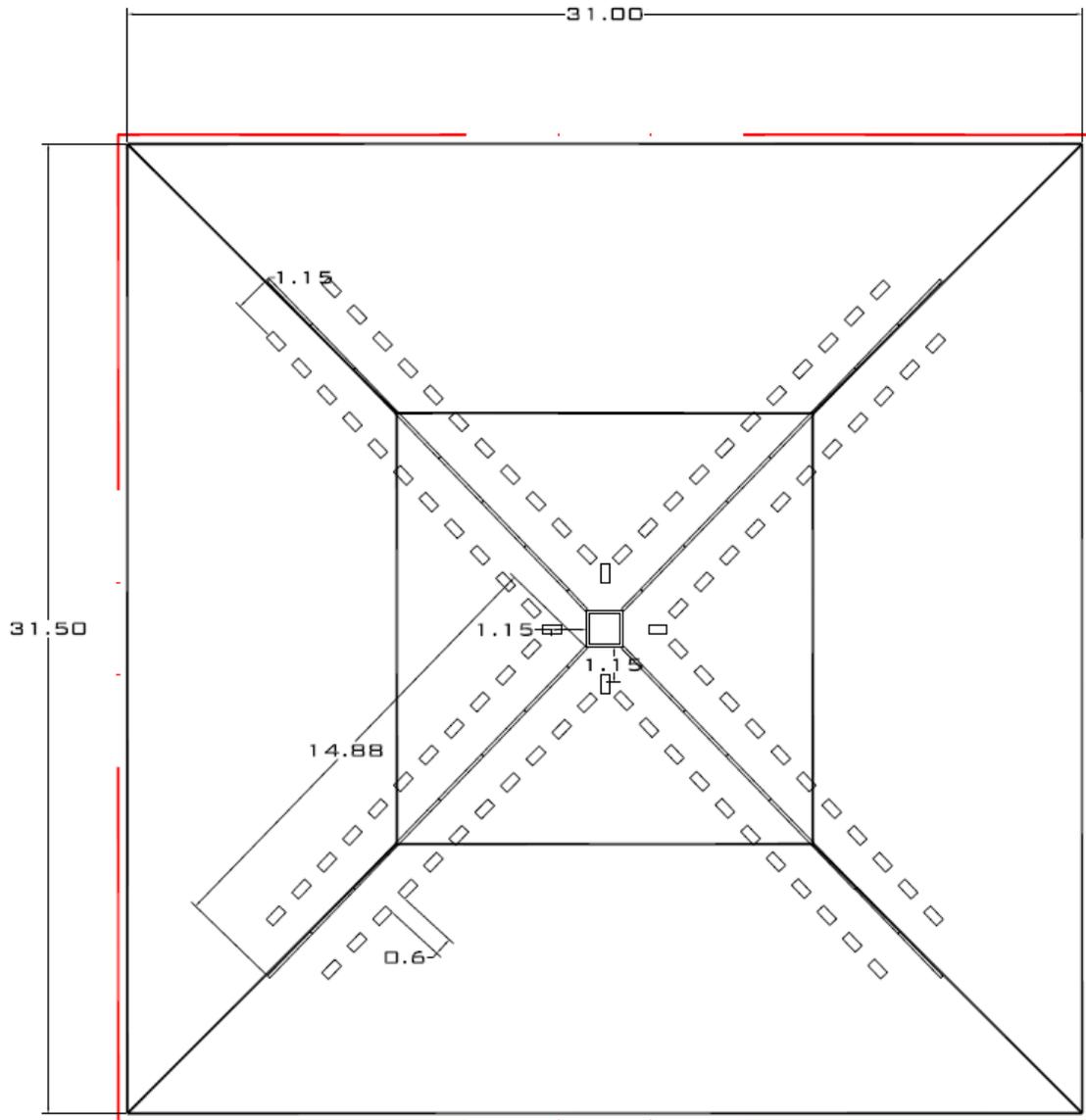
1. COLOCACIÓN DE SOLERA CUBIERTA CON POLICLORURO DE VINILO "PVC" ANCLADA AL FIRME DE CONCRETO CON CLAVOS EXPANSIVOS A CADA 20 CM. INCLUYE EQUIPO Y HERRAMIENTA.

acotación en mts.
ubicación: Felipe Neri
Tlalnepantla Morelos

Plano

olla 2, Felipe Neri, V=2,400 m3 (IMTA)

Arreglo de los flotadores y contrapesos en la olla 2



Cantidades de Obra:

92 Casetones 60*30*20 (Lienzo de 1.4*0.9m c/u)

28 Sacos de contrapesos de 2.0 m de largo (Lienzo de 0.45*2m)

4 Sacos de contrapesos de 0.8 m de largo (Lienzo de 0.45*0.5m)

4 Sacos de 1 m de largo para fondo de cárcamo (Lienzo de 0.60*1m)

Aproximadamente se requieren 144 m² de lienzo más desperdicio = 158 m²

Resultados

- Se concluyó la elaboración de los flotadores y contrapesos



- Se colocaron 92 flotadores y 36 contrapesos ya que se adecuaron a la forma de la olla.









- Se instaló el sistema de drenado con energía solar en la olla 1 que está integrado por la bomba solar, caseta para proteger la bomba, panel solar, mangueras y electronivel.





2. 1 DESARROLLO TECNOLÓGICO SOBRE CUBIERTAS FLOTANTES.

Se elaboró el desarrollo tecnológico para el diseño de cubiertas flotantes en la localidad de Totolapan, Morelos. Se entregó la ficha técnica a coordinación de asesores para su registro en el indicador correspondiente.

Se anexa copia de la ficha.

METODOLOGÍA

- Cálculo de la demanda (actual y proyección)
- Cálculo del potencial de captación pluvial
- Diseño del área de captación y sedimentador
- Diseño de hoya de almacenamiento de agua pluvial conforme al espacio disponible (topografía, mecánica de suelos)
- Diseño de cubierta flotante (flotadores, contrapesos, cárcamo, bombeo fotovoltaico)

VENTAJAS DE LA CUBIERTA FLOTANTE CON CANALES Y BOMBEO FOTOVOLTAICO:

- Se optimiza la captación en la cubierta flotante.
- Mantiene seca la cubierta, evita la contaminación del agua.
- Debido al flujo lento en los “canales” que se forman hacia el centro, permite que sedimenten los elementos en suspensión.

3. 1 ARTÍCULO ARBITRADO E INFORME TÉCNICO SOBRE EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA COMUNITARIOS CON BASE A GEOMEMBRANAS

ABASTECIMIENTO DE AGUA EN COMUNIDADES RURALES MARGINADAS, MEDIANTE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Resumen

La región de los Altos de Morelos se caracteriza por ser una zona de alta precipitación, sin embargo, el tipo de suelo permite escurrimientos e infiltraciones hacia la zona media y baja de la cuenca por lo que históricamente, varias localidades que conforman la región carecen de fuentes superficiales y/o subterráneas de abastecimiento de agua. Estas localidades han recurrido al abastecimiento de agua mediante la compra de agua en pipas durante la época de estiaje y en verano a la captación improvisada de agua de lluvia, almacenándola en recipientes de poca capacidad y cuando las condiciones lo permiten, en reservorios comunitarios comúnmente conocidos como “ollas” las cuales son estanques impermeabilizados con geosintéticos cuya operación a cielo abierto y la falta de áreas de captación protegidas y de mantenimiento resultan en el almacenamiento de agua contaminada por la intrusión de animales, basura y sedimentos, además de la generación de algas por la incidencia de la radiación solar. Para atender esta problemática se realizaron actividades encaminadas a mejorar las condiciones de operación de las ollas de almacenamiento de agua pluvial. Para esto, se rehabilitaron las ollas “El Vigía” (Tlalnepantla),” Olla 1” y “Olla 2” de Fierro del Toro (Huitzilac), ollas “Centro”, “Gemela1” y “Gemela 2” de Coajomulco (Huitzilac), cuatro ollas en Felipe Neri (Tlalnepantla) y para preservar la calidad del agua almacenada se instalaron cubiertas flotantes, las cuales son elaboradas con geomembrana de Policloruro de vinilo (PVC) y están provistas de flotadores y contrapesos para permitir el drenaje del agua pluvial de la superficie hacia e interior de la olla. Bajo este concepto se diseñó e instaló un modelo que contempló un área de captación protegida, sedimentador y olla de almacenamiento con cubierta flotante en Felipe Neri. Como resultado, se recuperaron 31, 990 m³ para almacenamiento y se cuenta con un modelo para almacenar 2,800 m³ de agua pluvial que cumple con la normatividad para agua potable.

Introducción

La región de los Altos de Morelos en México, se caracteriza por una baja cobertura de redes de agua potable e insuficiencia de fuentes de abastecimiento convencionales, debido fundamentalmente a las condiciones del subsuelo conformado por basaltos volcánicos fracturados, que originan una rápida infiltración del agua, así como también a la altura en que se localizan los asentamientos humanos, que hacen prácticamente incosteable la utilización de fuentes de abastecimiento localizadas en las zonas bajas.

En las comunidades de estudio, históricamente se utiliza la captación de agua de lluvia y se almacena en “ollas” las cuales son reservorios a cielo abierto que pueden estar recubiertos de concreto y/o geomembranas. Sin embargo, no obstante la escasez del recurso, la falta de organización y de recursos económicos provocó el abandono de la infraestructura comunitaria la cual a través de los años se deterioró hasta tal punto, que la población utilizaba el agua sólo para fines agrícolas y agropecuarios generando la dependencia de la compra de agua en pipa, con el impacto a la economía que provoca esta situación. Adicionalmente, la contaminación de esta fuente de abastecimiento era causa de enfermedades gastrointestinales; por lo que garantizar la calidad del agua en dichos sistemas era prioritario.

Para atender esta problemática, la Subcoordinación de Tecnología apropiada e Industrial del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, desde el año 2010, trabaja en la implementación de alternativas tecnológicas para el abastecimiento del agua mediante la captación y almacenamiento de agua de lluvia a nivel vivienda y comunitario. Actualmente se está aplicando el concepto de “ollas de almacenamiento comunitarias con cubiertas

flotantes”, en el cual se utilizan materiales geosintéticos como materiales impermeabilizantes y para la cubierta protectora; esta tecnología es poco conocida en México y el potencial de aplicación abarca miles de comunidades rurales cuya fuente de abastecimiento es el agua de lluvia. Este concepto se aplicó tanto para la rehabilitación de ollas como para el diseño de sistemas de captación. Los Sistemas para Captación de Agua de Lluvia (SCALL) para uso doméstico y consumo humano a nivel de familia y comunitario representan una solución para abastecer en cantidad y calidad a poblaciones rurales, periurbanas y urbanas que sufren la carencia de este vital líquido y constan de los siguientes elementos:

- Área de captación.- ladera para aprovechar la pendiente y así conducir el agua por gravedad hacia la olla. La ladera estará cubierta con geomembrana de PVC de 1.2 mm.
- Sedimentador.- tanque instalado a la salida del área de captación, cuenta con rejillas para separar los sólidos de mayor tamaño que podría obstruir las tuberías de conducción y mampara para disminuir la velocidad de entrada y así permitir la sedimentación de los sólidos más pequeños. Estará constituido por una excavación compactada y cubierta con geomembrana en piso y taludes.
- Conducción.- seleccionada para que cumpla con ciertas condiciones y así garantizar que logre un buen funcionamiento. Las condiciones en las que se revisarán las tuberías son: carga disponible, velocidad y pendiente
- Olla de almacenamiento.- almacenamiento constituido por una excavación compactada en piso y taludes, siguiendo las recomendaciones del estudio de mecánica de suelos y el levantamiento topográfico. Plantilla de concreto para proteger la geomembrana de PVC que se instalará en piso y taludes. Cubierta de geomembrana de PVC provista con cubierta flotante para evitar el ingreso de basura y animales.

Con estas acciones se pretende que los habitantes de las comunidades rurales marginadas cuenten con agua de lluvia almacenada con la calidad requerida para el uso y consumo humano, aplicando el concepto de “cubiertas flotantes”.

Metodología

En los modelos comunitarios para la captación y almacenamiento de agua de lluvia, comúnmente conocidos como “ollas”, se utilizó como medio impermeabilizante materiales geosintéticos conocidos como “Geomembranas”; este tipo de materiales se ha desarrollado y utilizado en la última década en proyectos hidráulicos debido a la combinación de resistencia, flexibilidad y estanqueidad que les permiten trabajar bajo esfuerzos tales como elongación y punzonamiento. Además de sus ventajas mecánicas, este tipo de material es inerte, es decir, no libera contaminantes al agua, con lo que se conserva la calidad del agua almacenada.

Por otra parte, los sitios en donde se colocan las geomembranas son reservorios de agua cuya construcción puede ser desde tierra compactada hasta concreto, con formas regulares e irregulares por lo que se requiere que los materiales a utilizar soporten esfuerzos multiaxiales, la intemperie y sean flexibles, además de exista el personal certificado para asegurar que la instalación sea cuidadosa para evitar daños a este tipo de material.

Otro aspecto importante en las ollas es, como ya se mencionó, la protección del agua almacenada. Para esto se instalaron cubiertas flotantes de geomembrana, las cuales han mostrado ser una opción tecnológica apropiada por su durabilidad, menor costo de instalación y mantenimiento. Su diseño ingenieril es específico al lugar de la instalación, se colocan de tal manera que se muevan con los cambios en los niveles de agua en la olla, resisten los movimientos ocasionados por el viento y más importante, permiten recolectar la precipitación en su área superficial para su posterior drenaje hacia el interior de la olla o hacia otro punto de almacenamiento. Con las cubiertas flotantes además de prevenir la contaminación del agua, se evita la evaporación y es una de las pocas técnicas disponibles para cubrir grandes volúmenes de agua.

Se seleccionaron tres localidades de los Altos de Morelos que contaban con ollas de almacenamiento a cielo abierto; se realizó el diagnóstico técnico del estado de la geomembrana existente, perímetro y andadores. Se diseñó la cubierta flotante con el arreglo de los flotadores, contrapesos y cárcamo de drenado con bombeo solar acorde a la geometría de cada olla.

Posteriormente se realizó la limpieza interna y externa de las ollas, la reparación y/o o sustitución de la geomembrana de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) en piso y taludes, rehabilitación de andadores y cerco perimetral; Se realizó la instalación de las cubiertas flotantes conforme al diseño específico para cada olla, como material se utilizó geomembrana de Policloruro de Vinilo (PVC), tanto para la cubierta como para los flotadores y contrapesos, al centro se colocó la caja de bombeo de PEAD para drenar el agua de la cubierta mediante una bomba accionada por energía solar provista de un electronivel para trabajar de manera automática (Figura 1). Se elaboró el “Manual de operación y mantenimiento de ollas con cubierta flotante para el almacenamiento de agua de lluvia” para cada localidad y se capacitó a los operadores de las ollas.

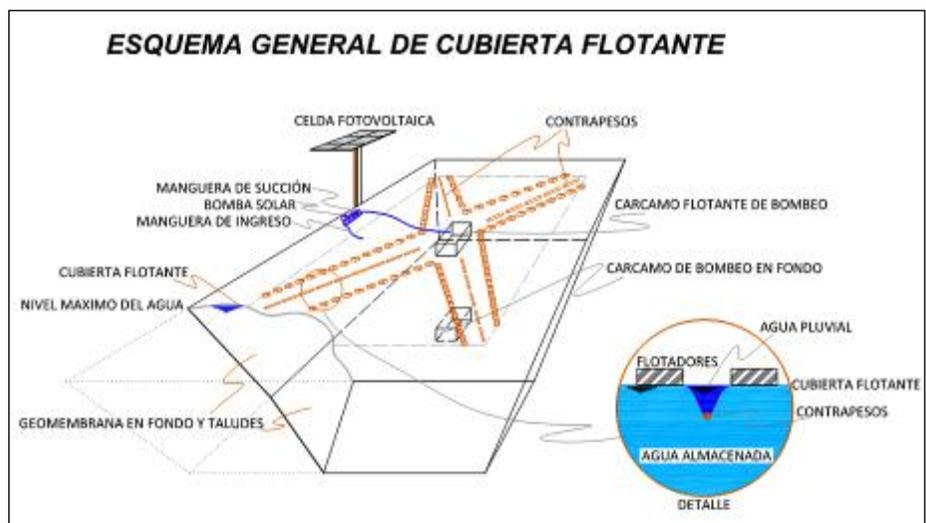


Figura 1. Esquema de las ollas con cubiertas flotantes

Las funciones de cada elemento son las siguientes:

1. **Geomembrana del piso y taludes.**- Es el recubrimiento que funciona como impermeabilizante entre el piso y las paredes de la olla para evitar que el agua se filtre al suelo.
2. **Cubierta flotante.**- Es el techo que protegerá el agua de lluvia que se almacena en la olla; al inicio de la temporada de lluvias estará descansando en el fondo, conforme llueva e ingrese el agua hacia adentro de la olla, la cubierta flotará sobre el agua y subirá de nivel hasta llegar al borde de la obra de excedencia.
3. **Flotadores.**- Se colocan líneas de flotadores fabricados de poliestireno (unicel), forrados con geomembrana de PVC. Tienen la función de disminuir el peso en la cubierta para evitar daños a la geomembrana y para formar una barrera que limite el paso hacia donde se forman los canales que conducen el agua hacia el cárcamo central.
4. **Canales de conducción de agua de lluvia.** – Se forman canales en la cubierta para que el agua de la lluvia se drene hacia el centro de la olla, para esto, se colocan bolsas de geomembrana con relleno de arena de banco, a estas bolsas se les llama “contrapesos”.

Para el diseño del SCALL, se dimensionó siguiendo la metodología del Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI), del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS, 2007). Para el diseño se tuvo en cuenta la siguiente información:

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

Mediante este cálculo se determinó la cantidad de agua que se puede recolectar por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determinó el área de captación necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento

Resultados

Se rehabilitaron y techaron diez ollas de almacenamiento de agua de lluvia en cuatro localidades (Figura 2): dos en Fierro del Toro, tres en Coajomulco (Municipio de Huitzilac), una en El Vigía y cuatro en Felipe Neri (Municipio de Tlalnepantla). Se capacitó a los operadores de las ollas y se entregaron los manuales de operación y mantenimiento. Con estas acciones se recuperó una capacidad total de almacenamiento de 31, 990 m³, que permitirán contar con una dotación de 286 l/p/d en Fierro del Toro, 46 l/p/d en Coajomulco, 45 l/p/d en Felipe Neri y 4 l/p/d en el Vigía; en esta última, la dotación es exclusiva para consumo humano, para los demás usos cuentan con tres ollas de almacenamiento. En todos los casos la dotación final dependerá de la administración que realice la comunidad

Localidad/volumen	Antes de la rehabilitación-techado	Ollas rehabilitadas-techadas
Coajomulco Gemela 2 V= 8,200 m ³		
Coajomulco Centro V= 2,790 m ³		
Manuales Cuatro, uno por localidad		

Figura 2. Ejemplo de dos ollas rehabilitadas y techadas con cubiertas flotantes; manuales de operación y mantenimiento.

Mediante el cálculo para el diseño del SCALL se determinó la cantidad de agua que se puede recolectar por metro cuadrado de superficie y a partir de ella se determinó el área de captación necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento.

Los pasos para realizar el diseño del sistema fueron:

- a) Dimensionamiento de la olla a partir de las características del sitio.
- b) Determinación de la demanda,

- c) Cálculo de la disponibilidad de agua,
- d) Diseño del área efectiva de captación de precipitación,
- e) Diseño del sistema de conducción del agua captada,
- f) Diseño del volumen del sedimentador o trampa de sólidos, y
- g) Diseño del sistema de almacenamiento de agua captada.

Área Efectiva requerida	2978,72	m ²
Área de la cubierta de la olla	1370	m ²
Área faltante	1608,72	m ²

Del estudio previo se proyectó un área de captación de 1610 m² que junto con el área que se tiene de la cubierta de la olla, proporcionan la superficie necesaria para captar y almacenar el 100% del agua requerida para el tiempo de estiaje. El volumen del sedimentador en función de la precipitación máxima horaria y el área de captación se calculó de 280 m³.

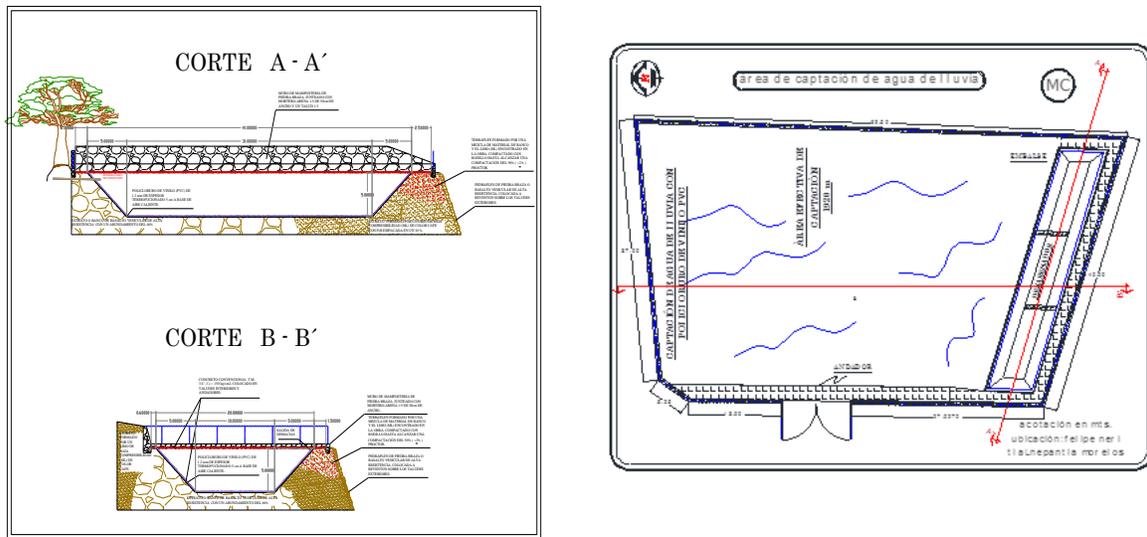


Figura 3. Diseño del modelo comunitario para almacenamiento de agua de lluvia.

El terreno disponible de 2400 m² se impermeabilizó en un 80% (1917m²) de su totalidad con Geomembrana de PVC de 1.2 mm de espesor a base de termofusión con aire caliente, el otro 20% del área de captación estuvo compuesta por pasillos, andadores, barda perimetral y el sedimentador, recubierto con el mismo material de Geomembrana. Después de realizar los estudios topográficos y de mecánica de suelos, se instaló el modelo, quedando como se ilustra en la figura 4.



(a)



(b)



(c)

Figura 4. Modelo comunitario para almacenamiento de agua de lluvia: (a) área de captación, (b) sedimentador y (c) olla de almacenamiento.

Conclusiones

La cantidad de agua utilizada en los hogares tiene una gran influencia en la salud. Las personas tienen una necesidad fisiológica básica del agua para mantener la hidratación adecuada; además se necesita agua para la preparación de alimentos así como para mantener la higiene, que es indispensable para la salud. Por tanto la implementación de un modelo comunitario para la captación y almacenamiento de agua de lluvia y la rehabilitación de las ollas, además de las cisternas domiciliarias (10 m³); permitirán a la población contar con una dotación de aproximadamente 45 l/persona día, que se encuentra dentro del rango recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para cubrir las necesidades de higiene, preparación de alimentos, hidratación y lavado de ropa dentro del hogar.

Con este proyecto, se contribuyó a disminuir el impacto negativo a la salud, en lo económico y social por el incremento de la dotación de agua por habitante, beneficiando a una población estimada en este caso de 4,726 habitantes.

Referencias Bibliográficas

- Guías para la calidad del agua potable. (2006). Organización Mundial de la Salud. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1. ISBN 92 4 154696 4. Versión electrónica disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf.
- Flexible-Membrane Covers and Linings for Potable-Water Reservoirs. (2000). American Water Works Association. Manual of Water Supply Practices M25. Tercera edición. ISBN 1-58321-070-9. Denver, USA.
- Vázquez V. S., Hernández V. I. (2012). Rehabilitación y construcción de infraestructura para el almacenamiento de agua de lluvia y transferencia de tecnologías apropiadas en comunidades de los Altos de Morelos, a través del Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS), a ejecutarse en los municipios de Huitzilac, Tepoztlán, Tlalnepantla, Atlatlahucan y Totolapan. Informe Final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Vázquez V. S., Hernández D., Cervantes E. (2012). Manual de operación y mantenimiento de ollas con cubierta flotante para el almacenamiento de agua de lluvia. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

4. 1 INFORME TÉCNICO Y ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN SOBRE EL SEGUIMIENTO Y MEJORAS DE LAVADEROS Y BAÑOS ECOLÓGICOS ASÍ COMO DE LOS FILTROS LENTOS.

- ❖ Instalación de dispositivo filtrante de carbón activado a la salida de la olla de captación de agua de lluvia (Fierro del Toro, Huitzilac). Manual de operación y mantenimiento de dispositivo.
- ❖ Instalación de filtros biológicos de arena en localidades de los Altos de Morelos. Eficiencia $CF = 3 \log_{10}$, 99.9% ($Co = 3 \log_{10}$). Diseño y elaboración del manual dirigido a beneficiarios
- ❖ Se modificó el lavadero ecológico, se tomó como parámetro de diseño la DQO, se eliminó una cámara de PET y se redujo el humedal de 3.8 m a 3 m, el costo disminuye 20%, se instaló en Villa Nicolás Zapata, Totolapan, Morelos.
- ❖ Se calcularon las dimensiones del sanitario ecológico seco considerando $T < 20^\circ$, TRH = 9 meses, se incrementó área de cabina 17%, mejorando la funcionalidad. Se instaló en Villa Nicolás Zapata, Totolapan, Morelos.
- ❖ Se publicaron en ATL los artículos de divulgación: “Adecuaciones y mejoras a las tecnologías apropiadas” y “Desinfección de agua de lluvia mediante filtros biológicos de arena”.

Instalación de dispositivo filtrante a la salida de la olla de captación de agua de lluvia ubicada en la comunidad de Fierro del Toro, Huitzilac.

En la comunidad de Fierro del Toro el agua es empleada por los habitantes de la comunidad en los lavaderos comunitarios, sin embargo, debido a que no cuenta con área de captación protegida se presenta arrastre de materia orgánica y sólidos desde la parte externa hacia la olla de almacenamiento de agua de lluvia, lo que trae como consecuencia la generación de olores y aumento en la turbidez del agua (Figura 1).



Figura 1. Olla de almacenamiento de agua de lluvia (izquierda), lavaderos comunitarios (derecha) en la localidad de Fierro del Toro, Huitzilac.

Una solución viable a esta problemática fue la instalación de un filtro de carbón activado a la salida de la olla.

DIMENSIONAMIENTO DE FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR (CAG)

El dimensionamiento del filtro se basa en la consideración de los siguientes factores: tiempo de contacto, carga hidráulica y profundidad del lecho de carbón.

CRITEROS DE DISEÑO:

- 1) La carga aplicada para columnas de flujo ascendente se encuentra dentro del rango entre 9.77 y 24.44 m³/m²h y para columnas de flujo descendente va de 7.33 a 12.22 m³/m²h.
- 2) La relación Altura:Diámetro de la columna va de 3:1 a 5:1

ECUACIONES DE DISEÑO EMPLEADAS:

$$Vol = Q * TRH, \quad A = \frac{Q}{Carga}$$

DATOS CONOCIDOS:

Q = 1.63 m³/h (caudal de salida de la olla hacia los lavaderos)

CONSIDERACIONES DE DISEÑO:

Carga = 22 m³/m²h.

Altura /Diámetro = 4.3:1

A partir de las consideraciones de diseño anteriores y las fórmulas se llevó a cabo la corrida para determinar las dimensiones del filtro (Tabla 1).

CÁLCULOS:

DATOS			CALCULOS		
Q real	1625.8	L/h	Área	0.074	m ²
	1.63	m ³ /h	Radio	0.15	m
			Diámetro	0.31	m
Velocidad de carga	9.77	m ³ /m ² /h	Altura (H)	1.32	m
Peso específico CAG	480	Kg/m ³	Volumen	0.10	m ³
			Peso CAG	46.78	Kg

Tabla 1. Hoja de cálculo para un filtro de CAG

De la tabla 1 se deriva que es necesario un filtro con un diámetro de 0.31 m y una altura de 1.32 m (A:D = 4.3:1). Considerando que el CAG tiene un peso específico de 480 Kg/m³, la cantidad necesaria de CAG para el filtro es de 47 Kg aproximadamente.

El tipo de CAG (origen y tamaño) a emplear depende de la aplicación del filtro. Para nuestro caso específico, las granulometrías recomendadas son: 8x30, 12x40, 14x30, 14x40 como la indica la tabla 2.

Rangos típicos de tamaño de carbón activado granular para distintas aplicaciones.

APLICACIÓN	GRANULOMETRÍAS
Tratamiento de agua y de líquidos en general, a nivel industrial y municipal.	8x30, 12x40, 14x30, 14x40
Purificadores de agua caseros.	12x40, 14x40, 20x50
Acondicionamiento de aire, purificación de gases (como CO ₂ , He, acetileno), recuperación de vapores de solventes, campanas para cocinas.	4x6, 4x8, 4x10
Mascarillas de gases.	12x20
Recuperación de oro.	6x12, 6x16, 8x16, 10x20
Boquillas de cigarros.	8x14, 12x20, 20x50

Tabla 2. Tamaño de CAG para distintas aplicaciones

El origen del CAG a emplear en el filtro puede ser bituminoso o bien de concha de coco, como se muestra en la tabla 3.

Principales aplicaciones del carbón activado en tratamiento de agua de acuerdo con su origen.

TIPO DE CARBÓN ACTIVADO DE ACUERDO CON SU ORIGEN	PRINCIPAL APLICACIÓN EN TRATAMIENTO DE AGUA.	OBSERVACIONES
Vegetal (madera de pino)	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual con colores intensos y/o con cantidades sustanciales de grasas, aceites y otros compuestos de alto P.M. - Potabilización de agua superficial con alto contenido de materia orgánica natural. 	<p>Se requiere un carbón activado macro poroso, ya que los contaminantes mencionados tienen un tamaño molecular relativamente grande.</p> <p>Usado en la industria textil, de alimentos y de petróleo. Como este carbón activado es poco duro, normalmente se aplica como polvo.</p>
Mineral lignítico	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual cuyos contaminantes sean muy diversos, como las de procedencia municipal. 	<p>Este carbón activado tiene poros de muy diversos tamaños, por lo que es el adecuado cuando los contaminantes sean de una gran gama de tamaños moleculares.</p> <p>La dureza de este carbón es relativamente baja.</p>
Mineral bituminoso	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual en la que predominen contaminantes de P.M. intermedio. - Potabilización de agua superficial o con un ligero color producido con algas. 	<p>La mayoría de los poros de este carbón activado están en el rango bajo de la meso porosidad.</p> <p>Es menos duro que el de concha de coco, pero más adecuado cuando hay una alta proporción de contaminantes no volátiles</p>
Concha de coco	<ul style="list-style-type: none"> - Potabilización de agua de pozo. - Eliminación de olor, sabor y compuestos volátiles en agua superficial. - Agua residual contaminada con solventes volátiles o con otras moléculas de bajo peso molecular. - Decoloración. 	<p>Es el carbón con mas proporción de micro poros, por lo tanto es el más adecuado para retener moléculas pequeñas.</p> <p>Es el carbón utilizado cuando solamente se requiere decolorar, ya que es el más duro y resistente a la abrasión.</p>

Tabla 3. Aplicaciones del CAG de acuerdo a su origen

La operación del filtro debía ser manual, dado que, a la salida de la olla no hay acceso a luz eléctrica. El tipo de carbón que fue seleccionado para este caso fue de concha de coco.

ARMADO DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR (CAG)

El dispositivo de filtración consistió de un tanque de polietileno de alta densidad con refuerzo exterior de fibra de vidrio, de 12" de diámetro y 52" de altura y una válvula manual marca Pentair (Figura 2).



Figura 2. Componentes del dispositivo filtrante.

Previo a su instalación en la salida de la olla de almacenamiento se tuvo que considerar la construcción de una caseta que protegiera el filtro, además de instalarlo semienterrado con el fin de garantizar la carga hidráulica mínima suficiente para el buen funcionamiento del filtro independientemente del nivel de agua dentro de la olla. Para ello, se llevaron trabajos de preparación del terreno consistentes básicamente en 1) excavación para la instalación de la tubería que conducirá el agua de la olla hacia el dispositivo; e 2) instalación de un registro para contener dispositivo (Figura 3 y Figura 4).

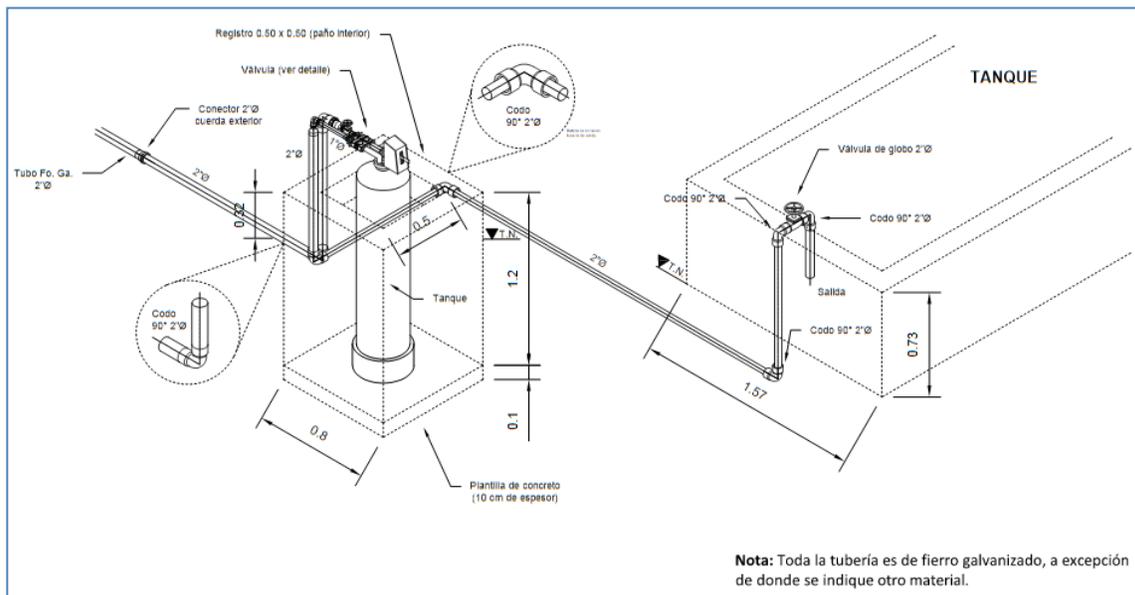


Figura 3. Detalle de la preparación del terreno



Figura 4. Filtro de carbón activado instalado en Fierro del Toro Huitzilac.

Manual de operación y mantenimiento de dispositivo.

Se elaboró el manual correspondiente al dispositivo filtrante que incluye instalación operación y mantenimiento del dispositivo.

Instalación de tres filtros biológicos de arena distribuidos en las localidades en los estados de Morelos y Estado de México.

La necesidad de buscar alternativas a la problemática asociada a la baja calidad de agua potable para consumo humano en comunidades rurales de alto y muy alto grado de marginación dio origen a la construcción, instalación y evaluación de filtros biológicos de arena como sistemas unifamiliares de desinfección de agua.

A este respecto, se construyeron dos filtros biológicos de arena en Villa Nicolás Zapata y Felipe Neri localidades ubicadas en los Altos de Morelos. Ambos filtros fueron empacados con arena sílica de 0.7 mm como material filtrante y grava de 6 y 12 mm como material de soporte. En tanto que el tercer filtro fue construido en las instalaciones del IMTA con fines de investigación de otras opciones de material filtrante además de la arena sílica. El material filtrante que se probó en el tercer filtro fue vidrio molido malla 80/90.

El filtro fue construido usando un molde de acero rectangular, de acuerdo con las especificaciones del CAWST ([Centre for Affordable Water and Sanitation Technology](#)) y una mezcla de cemento, arena y granzón (Figuras 5 y 6).

Los filtros construidos en las localidades de los Altos de Morelos fueron alimentados con agua de lluvia provenientes de las cisternas de las propias viviendas, mientras que aquel construido en las instalaciones del IMTA fue alimentado con agua sintética.

Durante el periodo de arranque y estabilización de la capa biológica (primer mes de operación), así como durante el tiempo de operación de los biofiltros se midieron parámetros físicos químicos y microbiológicos para evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en el proceso.

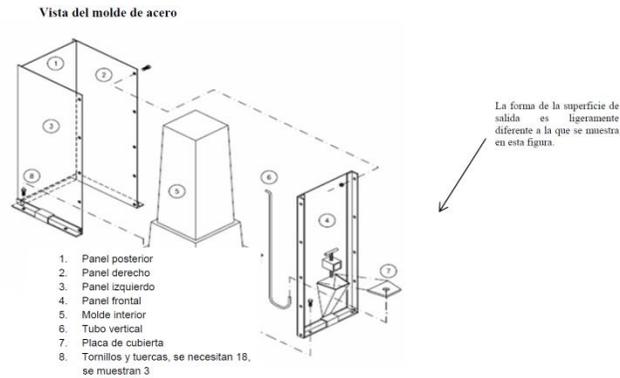


Figura 5. Vista del molde de acero rectangular para la construcción de los filtros biológico de arena.



Figura 6. Filtro empacado con vidrio reciclado molido malla 80/90.

Diseño y elaboración de manual de filtros biológicos de arena dirigido a beneficiarios

Se elaboró el manual correspondiente a la construcción del manual del filtro biológico dirigido a beneficiarios.

Instalación del lavadero ecológico modificado, en una vivienda ubicada en los Altos de Morelos.

Para el caso del lavadero ecológico, originalmente su diseño fue concebido tomando en cuenta un aporte de grasas, materia orgánica, sólidos y nutrientes (principalmente fósforo) provenientes del lavado de ropa básicamente pero también del lavado de trastes y de vísceras provenientes de la matanza de los animales de la granja. Del proceso de seguimiento con las comunidades beneficiadas en los Altos de Morelos, se desprendió que el principal uso de la tecnología es el lavado de ropa, aunque si hay aporte ocasional de materia orgánica. Tomando en cuenta la caracterización del agua de entrada durante un periodo de seguimiento del uso de la tecnología se rediseñó con el fin de optimizar su desempeño así como el requerimiento de materiales de construcción.

DIMENSIONAMIENTO DE LAVADERO ECOLÓGICO

Originalmente el lavadero ecológico consistía de 5 cámaras dispuestas de la siguiente manera: una trampa de grasas, dos filtros anaerobios empacados con anillos de PET y un humedal dividido a su vez en dos cámaras.

La adecuación al lavadero ecológico consistió en tres cámaras: una trampa de grasas (sin modificación en sus dimensiones), un filtro anaerobio empacado con anillos de PET y un humedal, cuyas dimensiones cambiaron con respecto al diseño original, del cual se eliminó un filtro anaerobio y se redujo el humedal.

ECUACIONES DE DISEÑO DEL FILTRO ANAEROBIO.

La determinación del Volumen útil (Norma ABNT brasileña) y Área horizontal, se realiza a partir de las siguientes ecuaciones:

$$V = 1.60 \times N \times C \times TRH \quad A = V/H$$

Donde:

V = Volumen total del filtro (m³)

N = Número de habitantes (hab)

C = Contribución por habitante (L/hab/d)

TRH = Tiempo de retención hidráulico (d)

A = Área horizontal (m²)

H = Profundidad útil del filtro (m)

CRITERIOS DE DISEÑO.

Los criterios de diseño tomados en cuenta para el dimensionamiento fueron los siguientes:

- Flujo, ascendente o descendente
- Medio de soporte, debe uniformizar del flujo en el reactor, mejorar el contacto entre el líquido afluente y los sólidos biológicos en el reactor, permitir la acumulación de más cantidad de biomasa (>Θc) y actuar como barrera física evitando la salida de sólidos con el efluente. Debe cumplir los siguientes requisitos:
 - Tipos de material: cuarzo, granito.
 - Bloques: cerámicos, PVC, polietileno, bambú, etc.
 - Granulometría uniforme con diámetros de 4-7 cm.
- Diseño, en función del TRH. Se recomienda como mínimo un día de retención.
- La relación L/b va de 2 a 4.

MEMORIA DE CÁLCULO.

1) Calcular el Volumen útil tomando en cuenta 5 habitantes, una dotación mínima de 50 L/hab/día (OMS) que contribuyen con 40 L/hab/día de agua gris (considerando un coeficiente de retorno de 80%) y un TRH de 1 d.

- $V = 1.60 \times N \times C \times TRH = (1.6)(5 \text{ hab})(40 \text{ L/hab/d})(1\text{d}) = 320 \text{ L}$

2) Calcular el área del filtro:

- $A = V/H \quad A = V/H = (0.32 \text{ m}^3/0.65 \text{ m}) = 0.49 \text{ m}^2$

3) Considerando $L/b = 2$, despejar $L = 2b$.

4) Ahora si $A = L \times b$, despejando $b = A/L$, sustituyendo en $L = 2(A/L)$, por lo tanto:

- $L^2 = 2A$, $L^2 = 2(0.49) = 0.98 \text{ m}$

5) Calcular $b = A/L = 0.49/0.98 = 0.5 \text{ m}$

ECUACIONES DE DISEÑO DEL HUMEDAL.

Existen diferentes ecuaciones para su diseño, sin embargo, las más utilizadas son las de Reed *et al.*, 1995 y Kadlec & Knight, 1996. Ambas ecuaciones asumen que los humedales pueden considerarse como reactores de flujo tipo pistón:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T t}, \quad t = \frac{LW_{yn}}{Q}, \quad Q = \frac{Q_e + Q_o}{2}, \quad A_s = LW = \frac{Q \cdot \ln(C_o / C_e)}{K_T yn}$$

Donde:

C_e : Concentración del contaminante en el efluente (mg/L)

C_o : Concentración del contaminante en el influente (mg/L)

K_T : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d^{-1})

t : tiempo de retención hidráulico (d)

L : Largo de la celda del humedal (m)

W : Ancho de la celda del humedal (m)

y : profundidad de la celda del humedal (m)

n : porosidad o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal, la porosidad es un porcentaje expresado como decimal

Q : Caudal medio a través del humedal (m^3/d)

Q_e : Caudal de salida (m^3/d)

Q_o : Caudal de entrada (m^3/d)

A_s es el área superficial del humedal (m^2)

CRITERIOS DE DISEÑO.

Los criterios de diseño tomados en cuenta para el dimensionamiento fueron los siguientes:

- Profundidad entre 0.3 a 1 m. Recomendado de 0.6 m.
- Relación Largo:Ancho de mínimo 1:1, sin embargo puede ir desde 2:1 a 17:1.
- Se recomienda un Tiempo de retención hidráulico, TRH, de 3 a 14 días.

RECOMENDACIONES.

- Deben ser revestidos mediante una membrana para prevenir la infiltración del agua a los mantos freáticos.
- Deben contar con una material filtrante.
- Deben tener vegetación acuática (hidrófitas).

MEMORIA DE CÁLCULO.

1) Calcular el Área Superficial del humedal para la remoción de DBO_5 . Se considera una concentración de DBO_5 de entrada de 200 mg/L y a la salida 30 mg/L de acuerdo con la NOM-003-ECOL-1997. Se considera una profundidad de la celda de 0.6 m (valor recomendado) y una porosidad del medio (grava) de 0.38. Para el cálculo del caudal, Q , se retoman los siguientes datos: 5 habitantes y una

dotación mínima de 50 L/hab/día (OMS) que contribuyen con 40 L/hab/día de agua gris (considerando un coeficiente de retorno de 80%). Por lo tanto el caudal es de $Q = 200 \text{ L/d}$ ($0.2 \text{ m}^3/\text{d}$).

2) Para $T = 20^\circ\text{C}$, $K_T = 1.104 (1.106)^{(20-20)}$

3) Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$A_s = LW = \frac{Q \cdot \ln(C_o / C_e)}{K_T \cdot y_n} ; 1.5 \text{ m}^2$$

4) Aplicando el mismo razonamiento para una concentración de entrada de $1 \times 10^4 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$ de coliformes fecales y a la salida de $1 \times 10^3 \text{ NMP}/100 \text{ ML}$, $A_s = 1.83 \text{ m}^2$.

5) Se selecciona el área mayor que es de 1.83 m^2 . Por cuestiones constructivas se toma la misma longitud del filtro anaerobio de 0.98 m para el ancho del humedal, por lo que la longitud del humedal queda de 1.87 m .

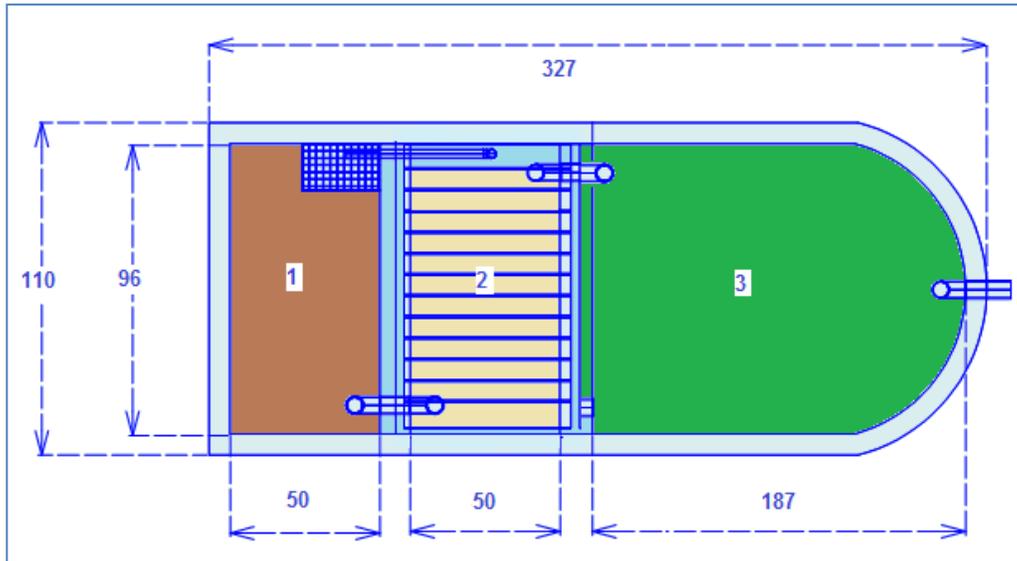


Figura 7. Lavadero ecológico modificado. (1) Trampa de grasas, (2) filtro anaerobio, (3) humedal.

El lavadero ecológico fue instalado en la localidad de Villa Nicolás Zapata en el municipio de Totolapan (Figuras 8 y 9).



Figura 8. Lavadero ecológico modificado. Proceso de instalación (izquierda), lavadero terminado (derecha).



Figura 9. Instalación del lavadero ecológico en la localidad de Villa Nicolás Zapata, Morelos

Instalación, en el lugar indicado por el IMTA del sanitario ecológico modificado, en una vivienda ubicada en los Altos de Morelos

Del proceso de retroalimentación con los beneficiarios se llegó a la conclusión de que, si bien el baño cumple con sus funciones para las que fue diseñado, necesita ser reforzado con mejoras de carácter estético y funcional para lograr la apropiación de los beneficiarios.

CRITERIOS DE DISEÑO.

- Un ser humano produce hasta 50L de heces al año y entre 400 y 500 L anuales de orina.
- El tiempo de residencia dentro de las cámaras es de mínimo 3 meses hasta 9 meses para lograr la inactivación de patógenos, sin embargo, este criterio es inversamente proporcional a la temperatura ambiente. Por lo que estos criterios son solo a título informativo.

MEMORIA DE CÁLCULO.

1) Una producción de 50 L/hab/año representa 0.136 L/hab/d. Si agregamos la misma cantidad de material secante y consideramos que en promedio, un adulto sano va defeca tres veces al día entonces la producción de heces más material secante será de 0.410 L/hab/d (0.136x3).

2) Entonces una familia de 5 integrantes estará produciendo 2L/d aproximadamente (0.410x5).

3) De la fórmula $V = Q \times T$ y tomando como base un tiempo de residencia de 9 meses, y una temperatura ambiente mayor a 20°C el volumen mínimo de la cámara será de:

$$V = (2L/d) \times (270 d) = 540 L.$$

Las dimensiones de las cámaras condicionan las dimensiones de las casetas y para el beneficiario el tamaño de la caseta resulta el factor determinante para su apropiación. Para nuestro caso, se procedió a rediseñar el baño tomando en consideración un aumento en el tamaño de las casetas por dos razones: 1) cuestiones estéticas que mejoren la apropiación de la tecnología por parte del beneficiario y, 2) temperatura ambiente menor a 20°C que aletarga el metabolismo de las bacterias y aumenta el tiempo de residencia en la cámara (Figura 10).

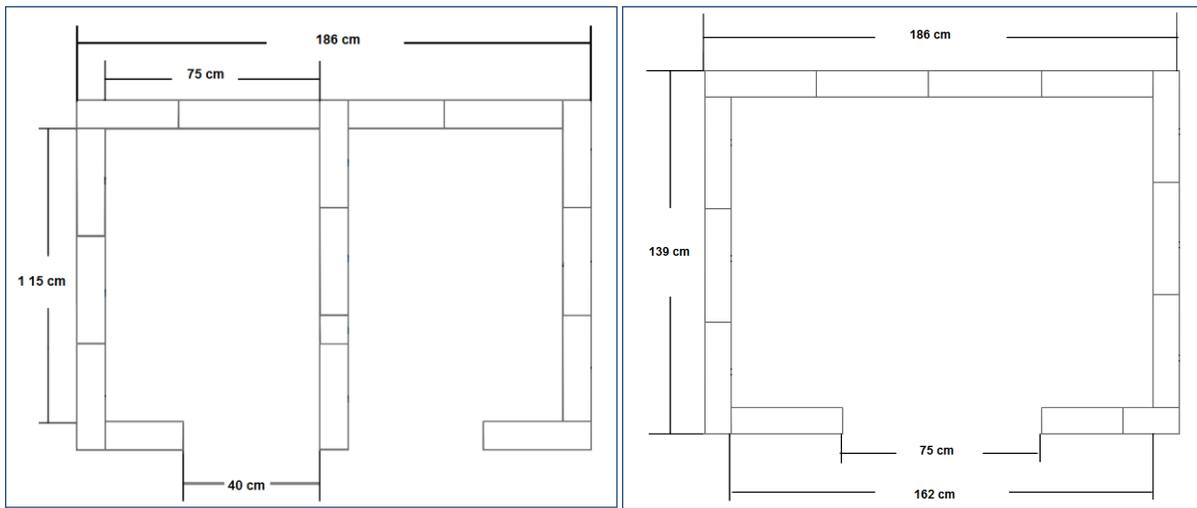


Figura 10. Planos del sanitario ecológico modificado.

Así mismo, y para mejorar la imagen del baño, se diseñó aumentando las zonas de entrada de aire e iluminación para contribuir a la sensación de mayor espacio en las cámaras (Figura 11).

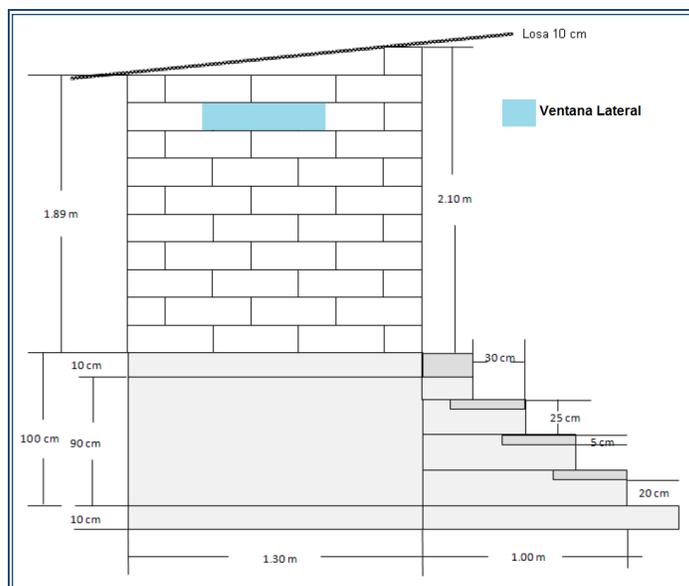


Figura 11. Perfil del sanitario ecológico modificado.

La construcción del sanitario ecológico se llevó a cabo en la comunidad de Villa Nicolás Zapata del Estado de Morelos (Figura 12).



Figura 12. Instalación del sanitario ecológico en la localidad de Villa Nicolás Zapata, Morelos

Actualización de manuales

Los manuales de las dos tecnologías, lavadero ecológico y baño ecológico fueron actualizados con las modificaciones realizadas.