

*Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia
como alternativa para el ahorro de agua potable,
en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia*

*Rainwater system proposal as an alternative to save
drinking water
in the educational institution María Auxiliadora from Caldas, Antioquia*

Recibido para evaluación: 12 de Febrero de 2010
Aceptación: 01 de Julio de 2010
Recibido versión final: 14 de Julio de 2010

Natalia Palacio Castañeda¹

RESUMEN

El aprovechamiento del agua lluvia es una práctica interesante, tanto ambiental como económicamente, si se tiene en cuenta la gran demanda del recurso sobre las cuencas hidrográficas, el alto grado de contaminación de las fuentes superficiales y los elevados costos por el consumo de agua potable en una institución educativa.

Este proyecto presenta la ingeniería conceptual de una propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en usos tales como la descarga de sanitarios, el lavado de zonas comunes, entre otros. Se presenta, adicionalmente, un análisis aproximado de la viabilidad técnica y económica de dicho aprovechamiento en una institución educativa del municipio de Caldas, Antioquia.

Se desarrollan en este documento tres aspectos principales: el cálculo de los volúmenes disponibles de agua lluvia en la zona, la evaluación del volumen de agua potable ahorrado con el aprovechamiento del agua lluvia, la estimación del presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del ahorro generado al utilizarlo.

Los resultados sugieren que el aprovechamiento de agua lluvia es una opción técnicamente viable, pero financieramente no, pues la inversión inicial es alta, por lo que es importante buscar financiación externa para desarrollar este tipo de proyectos que representan una solución interesante para contribuir al desarrollo sostenible de la institución educativa.

Palabras Clave: Aprovechamiento de aguas lluvias, volumen de almacenamiento, potencial de ahorro de agua potable

ABSTRACT

Rainwater harvesting is an interesting practice, both environmentally and economically, considering the elevated water demand in watersheds, the high degree of surface water contamination and the elevated costs of drinking water consumption in an educational institution.

This project presents a conceptual engineering design proposal for a rainwater harvesting system as an alternative to drinking water savings in applications such as W.C flushing, common areas washing, among others. A technical and economical analysis of such design, is also provided in an educational institution in the municipality of Caldas, Antioquia.

Three main aspects are developed in this document: rainwater available volumes calculation in the study area, an estimate of drinking water saved with rain water harvesting, a budget estimate to build the system and a projection of savings generated by using the proposed solution.

The results suggest that harvesting rainwater is a technically feasible but not financially, because the initial investment is high, so it is important to seek external funding to develop this type of project, then they represent an interesting solution to help to the sustainable development of the Educational Institution.

Key Words: Rainwater harvesting, storage volume, potencial for potable water savings.

**1. Ingeniera Sanitaria
Especialista en Manejo y Gestión
del Agua.
Facultad de ingeniería, Escuela
ambiental, Universidad de
Antioquia.
natypalcas@gmail.com**

1. INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la civilización, los seres humanos han desarrollado sus sociedades en torno a las aguas superficiales disponibles de la zona, utilizándolas como medio de transporte, consumo y demás actividades. La alta disponibilidad de aguas superficiales siempre limitó los usos del agua lluvia que es indispensable únicamente en la agricultura. Pero debido al gran crecimiento demográfico, muchas civilizaciones se vieron obligadas a ocupar regiones de baja o nula disponibilidad de aguas superficiales (zonas áridas y semiáridas), en las cuales el aprovechamiento de aguas lluvias para los usos domésticos se vuelve una necesidad (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006). En la actualidad, muchas poblaciones continúan con problemas de abastecimiento debido principalmente al continuo crecimiento de la población y a su desplazamiento de entornos rurales a urbanos, al aumento de la demanda de la seguridad alimentaria y de bienestar económico, al incremento de la competencia entre usuarios y usos y al grado de contaminación de origen industrial, municipal y agrícola (Naciones Unidas, 2006)

Entonces, para lograr reducir un poco la problemática asociada con la presión existente sobre las cuencas hidrográficas y para dar un uso eficiente al recurso hídrico, se plantea la posibilidad de desarrollar un sistema para aprovechar las aguas lluvias como una alternativa de ahorro de agua potable en lugares de alto consumo como lo es, por ejemplo, una institución educativa.

Los sistemas de recolección de agua lluvia no tienen grandes variaciones entre sí; la mayoría consta básicamente de tres componentes: captación, conducción y almacenamiento (Abdulla y Al-Shareef, 2006). Pero dependiendo de los usos para los cuales el sistema esté diseñado y de su complejidad, existen otros componentes adicionales, como el interceptor de las primeras aguas, el sistema de distribución por gravedad o por bombeo, y el tratamiento (desinfección, cuando el agua es para consumo humano), los cuales representan mayores costos (Texas Water Development Board, 2005).

La captación y el aprovechamiento de las aguas lluvias requieren una técnica de la ingeniería que como tal tiene sus ventajas y desventajas.

Entre las muchas razones que se han expresado anteriormente, los principales beneficios que se obtienen al almacenar y utilizar el agua lluvia, son los siguientes (Abdulla y Al-Shareef, 2006, CEPIS y Texas Water Development Board, 2005):

- Algunos sistemas no requieren de energía para operar.
- El agua lluvia es gratis; los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.
- La calidad físico-química del agua lluvia es alta
- La construcción es fácil pues se puede utilizar materiales de la zona; además implica bajas frecuencias de mantenimiento.
- El uso final del agua recolectada está situado cerca de la fuente, eliminando la necesidad de sistemas de distribución complejos y costosos.
- El agua lluvia no entra en contacto con el suelo y las rocas donde se disuelven las sales y los minerales; por lo tanto es suave y puede reducir significativamente la cantidad de jabones y detergentes para la limpieza.
- El agua lluvia reduce en cierta medida las inundaciones y la erosión.
- El agua lluvia es ideal para la irrigación de los jardines y cultivos.
- Al recolectar el agua lluvia, se reduce el caudal del alcantarillado pluvial, evitando así el ingreso de altos volúmenes a los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- La recolección y utilización del agua lluvia reduce los costos pagados a las empresas prestadoras del servicio debido a la disminución de los consumos de agua potable.



- Es una tecnología que se está utilizando por ser económica, social y ambientalmente aceptable.

Las principales desventajas que presenta la utilización de las aguas lluvias, son (Abdulla y Al-Shareef, 2006, CEPIS, y Texas Water Development Borrad, 2005):

- El agua captada depende de la precipitación del lugar, la cual puede ser incierta, especialmente por las transformaciones de los ecosistemas naturales, debido en parte, al cambio climático.
- Los costos iniciales de construcción del sistema son altos, especialmente del tanque de almacenamiento, lo que puede volverlo inaccesible para algunas poblaciones.
- Debido a la baja información encontrada sobre la utilización de las aguas lluvias para usos escolares en Colombia, este proyecto busca plantear la ingeniería conceptual para aprovechar las aguas lluvias en usos no potables, como son las descargas de sanitarios, el riego de jardines, el lavado de zonas comunes, entre otros, como medida para la reducción del consumo de agua potable, dando así un adecuado uso al recurso hídrico y brindando la disminución de los gastos generados por dicho consumo.

El estudio plantea entonces, tres aspectos principales:

- el cálculo de los volúmenes disponibles de agua lluvia en la zona estudiada,
- la evaluación del potencial de ahorro de agua potable de acuerdo con el volumen de agua lluvia captado y
- la estimación del presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del ahorro generado al utilizar la solución propuesta.



2. METODOLOGÍA

Para la elaboración del proyecto se escogió la institución educativa María Auxiliadora, ubicada en el centro del Municipio de Caldas, y perteneciente al estrato 3. En la actualidad, cuenta con 1300 personas entre estudiantes, profesores y empleados, y tiene servicios de agua potable, alcantarillado y electricidad, prestados por las Empresas Públicas de Medellín y pagados por el Municipio de Caldas.

La infraestructura de la institución está compuesta por dos pisos, y en total, existen 29 baños (12 baños de niñas, 12 baños de niños y 5 baños adicionales). El área es de 3708m² entre los dos pisos, con un área útil de techos de 1667m², pero no existen jardines, por lo que se omitirá el uso de riego de jardines del diseño.

El municipio de Caldas está ubicado al sur del Valle de Aburrá en el departamento de Antioquia, a los 6° 06' N de latitud y a los 75° 38' O de longitud. La elevación sobre el nivel del mar es de 1750m. Tiene una alta precipitación anual, con valores medios anuales de 2938,4mm (según datos pluviométricos del IDEAM para los años 1998 a 2008) y una temperatura media de 19°C, por lo que es un buen candidato para el aprovechamiento de las aguas lluvias.

2.1. Componentes del sistema

Los componentes utilizados para el desarrollo del diseño son: captación, recolección y conducción, interceptor de primeras aguas, almacenamiento, red de distribución y bombeo. Debido a que el diseño no contempla el consumo humano como uso principal del agua lluvia captada y como la precipitación de la zona es alta y constante, la contaminación de los techos se estará removiendo continuamente. Por lo tanto no es necesario instalar un filtro para este trabajo, pues al garantizar que el agua de las primeras lluvias se intercepte y no sea almacenada, el agua podrá ser utilizada para los usos no potables mencionados sin afectar las condiciones hidráulicas ni los materiales de los aparatos sanitarios o del sistema de bombeo. En caso de que en un futuro se quiera aprovechar las aguas lluvias para consumo humano, se deberá instalar un

sistema de filtración, seguido de un sistema de desinfección. Los componentes seleccionados y su descripción se detallan a continuación:



Figura 1. Sistema típico de captación de agua lluvia en techos.
Fuente: *Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia*, CEPIS, 2004.

2.1.1. Captación

En este caso la captación se realizará en los techos de la institución educativa, los cuales tienen una pendiente adecuada (20%) que facilita el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección. Estos techos están cubiertos por tejas de arcilla, las cuales tienen la ventaja de tener una buena superficie y ser de bajo costo, pero si se encuentran en mal estado, podrían afectar el coeficiente de escorrentía y aumentar los sólidos arrastrados por el agua, hacia el sistema de recolección.

2.1.2. Recolección y conducción

La institución ya cuenta con canaletas tipo Raingo® y bajantes en PVC de 4", que recolectan y conducen el agua lluvia por todos los techos hacia el alcantarillado, por lo tanto para este diseño, no se tendrá en cuenta la instalación de nuevas canaletas, pero sí se complementarán los bajantes para conducirlos hacia el tanque de almacenamiento. Adicionalmente se instalará en las canaletas, una malla que retenga los sólidos más gruesos como hojas y ramas, entre otros.

2.1.3. Interceptor de primeras aguas

El diseño del interceptor propuesto consta de un tanque, en el cual se almacenará un litro de agua por cada metro cuadrado de techo, es decir, dependiendo del área a captar, se obtiene el volumen de dicho tanque. El agua entra a él por medio de un bajante unido a las canaletas. Además debe contar con una válvula de flotador que permita su llenado; cuando éste alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento. Adicionalmente contará con una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia.

2.1.4. Almacenamiento

El tanque de almacenamiento a diseñar será rectangular y en concreto reforzado. Las dimensiones se especifican en los resultados, de acuerdo con el volumen captado de agua lluvia.

2.1.5. Red de distribución y sistema de bombeo

Esta red debe ir paralela a la red de acueducto, pero debido a la poca información suministrada por la institución acerca de las redes de acueducto, la red de distribución de agua lluvia será supuesta, de acuerdo con la ubicación del tanque de almacenamiento y el sistema de bombeo. Para este diseño, la red sólo llegaría a los puntos hidráulicos donde se utiliza el agua lluvia, es decir, a los sanitarios, orinales y lava-escobas, pero la red existente que abastece

dichas unidades continuará suministrando agua potable en caso de ser necesario, así que debe protegerse la red de suministro de agua potable con una válvula de chequeo para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable.

El sistema de bombeo se diseña principalmente de acuerdo con el caudal requerido por los aparatos sanitarios, la altura dinámica total, las pérdidas por fricción y por accesorios, entre otros parámetros, los cuales se muestran en los resultados. La bomba a utilizar será de succión negativa, por lo tanto es necesario que la tubería de succión esté al menos 50cm por encima del fondo del tanque para evitar el arrastre de material sedimentado.

2.2. Información pluviométrica

La información recolectada de precipitación para el Municipio de Caldas fue obtenida de la Estación agrometeorológica La Salada del IDEAM. Los datos analizados corresponden a los años 1998 hasta 2008, periodo mínimo recomendado, según el CEPIS, para realizar el diseño. Adicionalmente para el periodo mencionado se presentaron fenómenos de El Niño y La Niña, los cuales se resumen en la Tabla 1.

2.3. Modelo de cálculos

Para determinar el volumen de almacenamiento que es el parámetro más importante dentro del diseño, se debe calcular primero la precipitación promedio mensual, la demanda total y acumulada y la oferta total y acumulada. Luego de obtener dicho volumen, se calcula el porcentaje de ahorro de agua potable. Así, los parámetros básicos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del diseño, fueron los siguientes:

- Número de personas en la institución educativa (Nu): Aunque en la institución hay 1300 personas, se debe tener en cuenta que durante las épocas de vacaciones este valor disminuye. Por lo tanto la demanda varía para los meses de diciembre, enero, junio, julio, octubre y marzo.
- Tipo de material del área de captación: Tejas de arcilla.
- Coeficiente de escorrentía (Ce)= 0,8 (CEPIS)
- Dotación para alumno externo (Dot)= 40 l/hab/día (Melguizo)
- Área de captación (Ac)= 1447 m² (la oferta de agua lluvia se calculó con este valor, pues si se capta la totalidad del área útil de los techos (1667m²), los volúmenes de almacenamiento serían mucho mayores a los requeridos de acuerdo con la demanda y habría un sobredimensionamiento del sistema). Las áreas captadas se muestran en el plano anexo.

2.3.1. Precipitación promedio mensual

Su determinación se realiza a partir de la relación entre los datos de precipitación mensual durante el periodo evaluado y el número de años evaluados, de acuerdo con la ecuación 1.

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n} \quad (1)$$

2.3.2. Demanda total

Se calcula por medio de la ecuación 2, la cual se expresa como el producto entre el número de usuarios a abastecer, la dotación para cada persona (en este aspecto se tiene en cuenta la dotación estimada por Melguizo, afectada por el 20% y el 5% correspondientes a los porcentajes de consumo de los sanitarios y lava-escobas respectivamente, según el Departamento Nacional de Planeación, y el número de días al mes.



$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot * 25\%}{1000} \quad (2)$$

2.3.3. Oferta total

Se obtiene de multiplicar la precipitación promedio, el coeficiente de escorrentía y el área a captar (ecuación 3). Adicionalmente se estimó un porcentaje del 20% anual en pérdidas debidas a la evaporación, y a la misma captación y recolección del agua (Abdulla y Al-Shareef, 2006), por lo tanto la oferta total se obtiene a partir de la ecuación 4.

$$A_i = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000} \quad (3)$$

$$A_i = A_i - \left(A_i * \frac{0.2}{12} \right) \quad (4)$$

2.3.4. Demanda y oferta acumuladas

Son simplemente la sumatoria de los valores del mes actual más el anterior respectivamente (ecuaciones 5 y 6)

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + D_i \quad (5)$$

$$A_{ai} = A_{a(i-1)} + A_i \quad (6)$$

2.3.5. Volumen de almacenamiento

Se halla restando la oferta acumulada con la demanda acumulada, como se muestra en la ecuación 7.

$$V_i = A_{ai} - D_{ai} \quad (7)$$

2.3.5. Potencial de ahorro de agua potable

Es el valor porcentual de la relación entre la oferta acumulada y la demanda acumulada y se determina por medio de la ecuación 8.

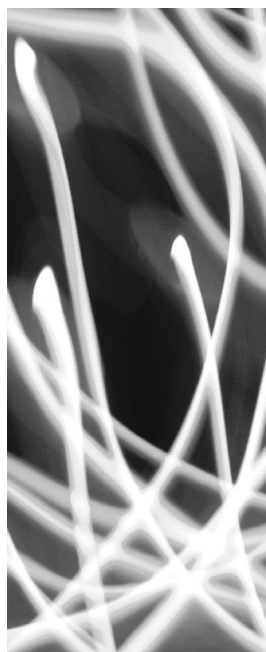
$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD} \quad (8)$$

La red de distribución se calculó por medio del método de Certeza Total explicado por Melguizo [8].

Para el sistema de bombeo se propone utilizar una bomba de succión negativa, la cual bombeará el caudal requerido para el funcionamiento de los aparatos sanitarios.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido a la buena disponibilidad de aguas lluvias en el municipio de Caldas, a la adecuada área de captación y al espacio disponible para realizar el proyecto, se presentan a continuación los resultados obtenidos de la precipitación promedio de la zona para los años 1998 a 2008, y los



cálculos para cada uno de los componentes del sistema, de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

En promedio, de acuerdo con las facturas de Empresas Públicas de Medellín, el consumo de agua potable dentro de la Institución es de 455,8m³, con un valor por metro cúbico de 1075,92 pesos.

3.1. Precipitación promedio mensual (Ppi)

De acuerdo con la metodología, la precipitación promedio mensual (sin tener en cuenta la evaporación), expresada en milímetros, equivale a la precipitación promedio mensual en litros por metro cuadrado, pues se requiere de un (1) milímetro de agua para mojar un (1) metro cuadrado de área (Hernández, s.f.). Los valores obtenidos se presentan en la Figura 2.

Los periodos en los cuales se presentaron fenómenos hidrológicos de El Niño y La Niña se muestran en la Tabla 1.

FENÓMENO	INICIA	FINALIZA
El Niño	Abril 1997	Junio 1998
La Niña	Junio 1998	Marzo 2001
El Niño	Abril 2002	Abril 2003
El Niño	Mayo 2004	Marzo 2005
El Niño	Julio 2006	Febrero 2007
La Niña	Agosto 2007	Junio 2008

Tabla 1. Fenómenos de El Niño y La Niña entre 1998 y 2008

Fuente: Autor, a partir de datos del National Oceanic and Atmospheric Administration- NOAA[5].

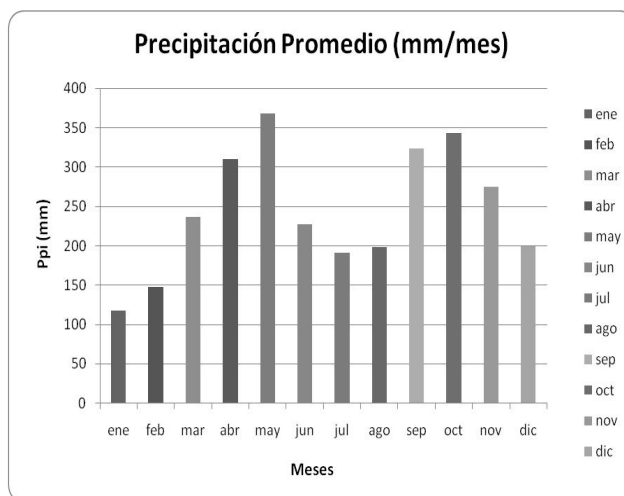


Figura 2. Precipitación promedio mensual durante 10 años (sin evaporación). Fuente: Autor

Los datos analizados muestran que el promedio anual de la zona es de 2938,4mm, y que el mes más lluvioso del año es mayo, con valores superiores a los 350mm y el mes más seco es enero.

Para determinar los parámetros mencionados en la metodología y obtener adecuadamente el volumen de almacenamiento de agua lluvia y el potencial de ahorro de agua potable, según la metodología del CEPIS, se debe distribuir la precipitación ubicando en la fila superior el mes de mayor lluvia durante los 10 años evaluados y se continúa con el orden regular de los meses siguientes. A continuación se presentan los resultados obtenidos de precipitación promedio mensual, demanda y oferta mensual, demanda y oferta acumulada, volúmenes de almacenamiento y potencial de ahorro de agua potable.

Tabla 2. Resultados.
Fuente: Autor



Mes	Precipitación promedio, Ppi (l/m ²)	Días mes	Demanda, Di (m ³ /mes)	Demanda acumulada, Dai (m ³ /mes)	Oferta, Ai (m ³ /mes)	Oferta acumulada, Aai (m ³ /mes)	Volumen, Vi (m ³ /mes)	Potencial de Ahorro de Agua Potable, PPWS (%)
Mayo	368,07	31	390,0	390,0	418,84	418,84	28,84	107,39
Junio	227,40	30	156,0	546,0	258,76	677,60	131,60	124,10
Julio	190,80	31	156,0	702,0	217,11	894,71	192,71	127,45
Agosto	198,29	31	390,0	1092,0	225,63	1120,34	28,34	102,60
Septiembre	323,43	30	390,0	1482,0	368,03	1488,38	6,38	100,43
Octubre	343,77	31	299,1	1781,1	391,19	1879,56	98,46	105,53
Noviembre	275,44	30	390,0	2171,1	313,43	2192,99	21,89	101,01
Diciembre	199,49	31	156,0	2327,1	227,00	2419,99	92,89	103,99
Enero	117,68	31	156,0	2483,1	133,91	2553,90	70,80	102,85
Febrero	147,69	28	390,0	2873,1	168,05	2721,96	-151,14	94,74
Marzo	236,55	31	299,1	3172,2	269,18	2991,14	-181,06	94,29
Abril	309,85	30	390,0	3562,2	352,58	3343,72	-218,48	93,87
							Promedio	104,85

3.2. Volumen de almacenamiento de agua lluvia.

El volumen de almacenamiento mensual se presenta en la siguiente figura.

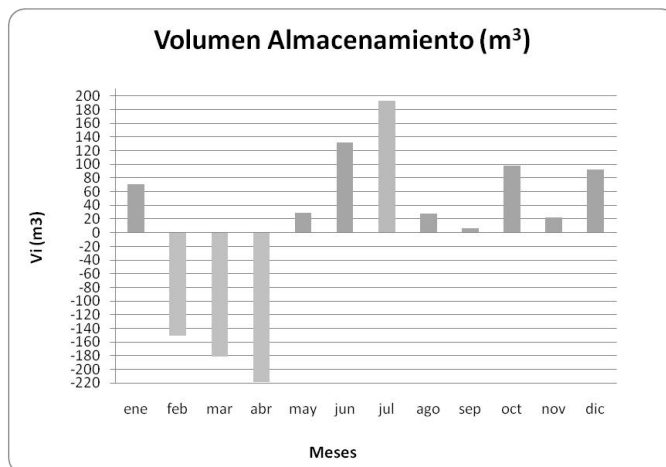


Figura 3. Volúmenes de almacenamiento de agua lluvia, por mes.

Fuente: Autor, de acuerdo con los resultados de la Tabla 2.

La Figura 3 muestra los diferentes volúmenes para cada mes. Los colores naranja son los volúmenes remanentes luego de la captación y del consumo, el color verde es el volumen más alto en el año y el que indica el tamaño del tanque de almacenamiento, y los colores amarillos son los meses en los que la demanda es mayor al agua lluvia captada. Estos valores son los volúmenes que se deben cubrir con agua potable, siempre y cuando las condiciones hidrológicas continúen similares a las descritas en la Tabla 1, en la cual se observa que en la mayoría de los años, se presenta fenómeno de pocas lluvias (El Niño), pero en caso de haber una mayor precipitación debida al fenómeno de La Niña, estos volúmenes podrían recolectarse sin necesidad de cubrir la demanda faltante con agua potable. En caso de presentarse una mayor pluviosidad que supere el volumen del tanque, se tendrá una tubería de excesos en la parte superior del mismo, conectada al alcantarillado.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 2 y la Figura 3, de los 12 meses del año, únicamente durante tres (3) meses la demanda es mayor a la oferta acumulada, así los resultados del volumen de almacenamiento dan valores negativos, por tal razón durante dichos meses se utilizará toda el agua lluvia almacenada y se cubrirá la demanda faltante con agua potable o con los «excesos» remanentes de meses anteriores de mayor pluviosidad; pero en los nueve (9) meses restantes se observa que la oferta es mucho mayor que la demanda, lo que indica en primera instancia que el proyecto es viable para un ahorro alto de agua potable.

Según los parámetros establecidos, el mayor volumen acumulado equivale al mes de julio con un valor de 192,71m³. Este volumen permitirá abastecer a la institución durante nueve (9) meses. Para los demás meses se completará el consumo, como se mencionó anteriormente.

Para efectos constructivos y para tener un factor de seguridad, se propone construir un tanque enterrado de 200m³ (7,3 m³ adicionales en caso de aumento de la oferta) en concreto reforzado, en la zona del actual patio de la Institución (ver plano anexo), pero estará cubierto de manera que no interfiera con las actividades que se realizan en dicho patio. Adicionalmente, de acuerdo con los parámetros ya mencionados, tendrá una profundidad útil de agua de 2,0m para evitar sobrepresiones, por lo tanto las dimensiones del tanque rectangular serían 8,0m ancho x 12,5m largo x 2,0m profundidad, más 0,3m de borde libre sobre el nivel del agua.

Teniendo en cuenta que el sistema no está concebido inicialmente para consumo humano y que el tanque se encontrará tapado, el mantenimiento de este puede realizarse al menos una vez al año, preferiblemente cada seis (6) meses para prevenir la proliferación de microorganismos, especialmente de zancudos, y se debe contar al menos con tres (3) personas (pueden ser las mismas que realizan el aseo en la Institución), previamente capacitadas para trabajar en espacios

confinados. Se debe contar además con los elementos de protección necesarios para evitar accidentes y/o enfermedades.

El procedimiento de mantenimiento del tanque es sencillo, simplemente se deben seguir las siguientes recomendaciones:

1. Usar botas, casco y guantes para la limpieza y desinfección con Hipoclorito de sodio.
2. Cerrar totalmente la entrada de agua y abrir la salida para que se desocupe el tanque. Para evitar la pérdida de agua, se puede programar el mantenimiento en los meses en los que el tanque se encuentre con menor cantidad de agua almacenada.
3. Retirar la tapa de inspección del tanque. Si el tanque es oscuro, utilizar linternas.
4. Ingresar al tanque cuando el nivel de agua sea bajo, de 20 a 30 centímetros aproximadamente. A este nivel cerrar la salida y abrir el desagüe.
5. Remover el material de sedimentación que se encuentra en el fondo del tanque.
6. Cepillar el piso y las paredes con agua y con hipoclorito de sodio, preparado conservando la proporción de un (1) litro de desinfectante por cada seis (6) litros de agua.
7. Dejar actuar la solución durante cuatro horas.
8. Enjuagar las paredes y el fondo del tanque utilizando una manguera a presión o baldes. Desechar estas aguas de lavado mediante el desagüe.
9. Cerrar el desagüe y permitir nuevamente la entrada del agua al tanque y su distribución.

3.3. Potencial de ahorro de agua potable

Este parámetro indica qué porcentaje de la demanda será cubierto con el agua lluvia, y en cuáles meses será necesario complementar el consumo con agua potable. Según los resultados de la Tabla 2 y la Figura 4, durante nueve (9) meses del año la demanda estará totalmente cubierta por el agua lluvia (coincidiendo con los resultados del volumen de almacenamiento), inclusive con valores mucho mayores a los de la demanda, esos «excesos» son los que quedarán acumulados para ser utilizados en meses siguientes. Y en los tres (3) meses en los que no se abarca totalmente la demanda, los valores son muy cercanos al 100%. En promedio, teniendo en cuenta los excesos acumulados de los meses de mayor precipitación, la demanda será cubierta en su totalidad por agua lluvia durante todo un año, de acuerdo con los resultados de la Tabla 2, lo cual justifica la viabilidad técnica de este proyecto.

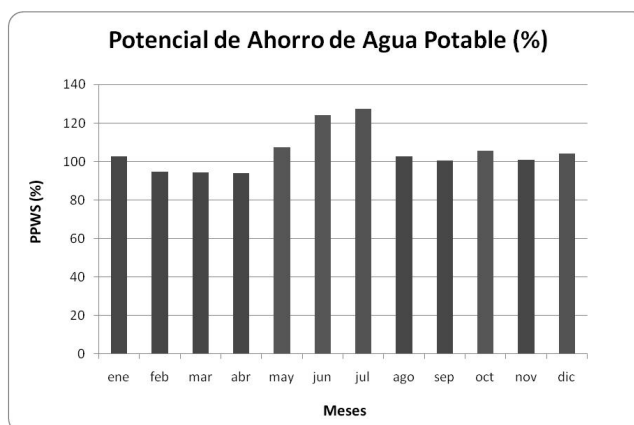


Figura 4. Potencial de Ahorro de Agua Potable, por mes.
Fuente: Autor, de acuerdo con los resultados de la Tabla 2.

3.4. Interceptor de las primeras aguas

El interceptor de las primeras aguas se calculó de acuerdo con el área de captación y el volumen de agua lluvia requerido para el lavado de cada metro cuadrado del techo, por tal razón, para un área de 1447m², el volumen de agua lluvia del lavado del techo es de 1447 litros, lo que equivale a un tanque de **1500 litros**. Debido a que este volumen no es comercial, se instalará un

tanque plástico de 2000L, el cual tendrá un sistema de válvula flotante que indicará el nivel requerido (1500L) y que permitirá el llenado del tanque de almacenamiento cuando se alcance dicho nivel. Este interceptor se ubicará a la entrada del tanque de almacenamiento, a nivel del suelo del patio.

3.5. Red de distribución

La red de distribución se calculó utilizando el método de Certeza Total, como se mencionó anteriormente y los resultados se presentan en la Tabla 3. La ubicación de los tramos y de las redes se muestra en el plano anexo.

Baños	Tramos	Aparato	Número aparatos	Caudal instantáneo, Qi (l/s)	Gasto Máximo Posible (l/s)	Gasto Máximo Posible Total (l/s)	Diámetro (Pulgadas)	Longitud	
1, 3 y 6	E-F	Inodoro tanque	4	0,15	0,6	0,6	3/4"	6,0	
	E-B	Inodoro tanque	5	0,15	0,75	0,75	1"	33,0	
	C-D	Inodoro tanque	6	0,15	0,9	1,2	1 1/4"	4,0	
		Lava-escobas	1	0,3	0,3				
	B-C	Inodoro tanque	12	0,15	1,8	2,4	1 1/2"	2,0	
		Lava-escobas	2	0,3	0,6				
	A-C	Inodoro tanque	17	0,15	2,55	3,15	2"	4,0	
		Lava-escobas	2	0,3	0,6				
	2, 4 y 5	C-D	Inodoro tanque	5	0,15	0,75	0,75	3/4"	2,0
		B-C	Inodoro tanque + orinales	11	0,15	1,65	1,65	1 1/4"	33,0
Inodoro tanque			17	0,15	2,55				
A-B		Lava-escobas	1	0,3	0,3	2,85	2"	17,0	
GMP Total						6			

Tabla 3. Dimensionamiento de las redes de distribución.
Fuente: Autor

3.6. Sistema de bombeo

El diseño del sistema de bombeo se puede resumir en la Tabla 4.

Para el funcionamiento del sistema de bombeo no se requeriría de un operario las 24 horas, pues el sistema estaría totalmente automatizado para funcionar 10 horas al día, así, la persona encargada de los servicios de aseo podría encender y apagar la bomba en caso de requerirlo. Sin embargo, es necesario tener en cuenta una inspección preventiva del sistema de bombeo, al menos cada seis (6) meses.

Los costos de energía del sistema equivalen a los kilovatios consumidos por el tipo de bomba seleccionada, por lo tanto, de acuerdo con la tarifa establecida para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el costo anual de energía para el funcionamiento del sistema sería de aproximadamente \$4'297.000. De ésta manera, un valor anual aproximado de la operación y mantenimiento del sistema sería de \$4'700.000

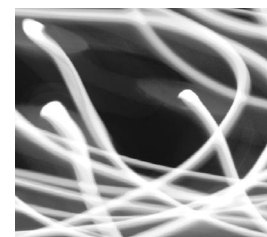


Tabla 4. Dimensionamiento del sistema de bombeo
Fuente: Autor

DESCRIPCIÓN	VALOR
Tipo de bomba	Succión negativa
Caudal de bombeo	6,0 l/s
Diámetro de la succión	4 pulg.
Diámetro de la impulsión	3 pulg.
Material tubería de succión	PVC
Coefficiente de rugosidad succión	140
Material tubería de impulsión	PVC
Coefficiente de rugosidad impulsión	140
Velocidad en la succión	0,74 m/s
Velocidad en la impulsión	1,32 m/s
Altura estática de succión	1,5 m
Altura estática de impulsión	6,5 m
Altura dinámica de succión	1,6 m
Altura dinámica de impulsión	10,0 m
Altura dinámica total	11,6 m
Cabeza neta de succión disponible	4,2 m
Cabeza neta de succión requerida	3,0 m
Eficiencia teórica de la bomba	65,0 %
Potencia requerida del motor	5 HP
Golpe de ariete	53,6 m

3.7. Cantidades de obra y presupuesto

Debido a la poca información obtenida en planos sobre la institución, especialmente sobre las redes de acueducto, se presenta a continuación un presupuesto aproximado del valor del proyecto.

Tabla 5. Presupuesto para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias

ITEM	VALOR (\$)
Tanque de almacenamiento de 200m ³	83'015.000
Interceptor de primeras aguas de 2000L	705.000
Sistema de bombeo	4'722.000
Sistema de recolección y conducción	1'161.000
Red de distribución	4'339.000
Mantenimiento del tanque de almacenamiento (2 veces al año)	400.000
Operación y mantenimiento del sistema de bombeo	4'700.000
TOTAL	99'042.000

Fuente: Autor. Valores en pesos colombianos año 2009.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 2, en los meses de febrero, marzo y abril se debe cubrir la oferta faltante con agua potable, de ésta manera, teniendo un valor por metro cúbico de agua potable de 1075,92 pesos, el pago por estos tres meses sería el siguiente:

Tabla 6. Costo de agua potable para cubrir la demanda faltante

MES	VOLUMEN DE AGUA POTABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA (m ³)	COSTO DE AGUA POTABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA (\$/mes)
Febrero	151,14	162.620*
Marzo	181,06	194.810*
Abril	218,48	235.070*
TOTAL al año	550,68	592.500*

Fuente: Autor. *Valores en pesos colombianos año 2009.

Así, considerando que en promedio la Institución paga 5'884.868 de pesos anuales por el servicio de acueducto, implementando el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, se tendría que hacer una inversión inicial alta, de acuerdo con la Tabla 5, lo que indicaría que en el primer año se debería pagar el costo total de la obra civil más el valor del agua potable para cubrir la demanda de los tres meses mencionados en la Tabla 6, lo cual daría un total de 99'634.500 pesos en el primer año.

Analizando los costos requeridos por el proyecto, se puede observar que la inversión inicial es alta y su recuperación sería aproximadamente en 16 años, pero su implementación beneficiaría a la comunidad educativa, teniendo en cuenta que el proyecto apunta a la sostenibilidad de la Institución, de manera que se disminuye el consumo de agua potable en aparatos sanitarios que no la requieren y se contribuye con el uso racional y eficiente del recurso hídrico. Adicionalmente se dejarían de pagar los seis (6) millones aproximados al año por agua potable, y dichos recursos podrían invertirse en mejoramiento de la infraestructura de la Institución o en material pedagógico para los estudiantes.

De ésta manera, aunque ésta inversión inicial es alta, pueden existir diferentes opciones que permitan la implementación del proyecto, de manera que la Alcaldía del Municipio, (por ser ésta quien paga el servicio de agua potable), podría buscar financiación ante la Secretaría de Educación de la Gobernación del Departamento, el Ministerio de Educación, ONG's internacionales, o cualquier entidad que esté interesada en patrocinar este tipo de proyectos para lograr su implementación, ya que apuntan al desarrollo sostenible. De esta manera, ni el presupuesto de la institución, ni el de la Alcaldía estarían comprometidos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que el proyecto cumple el objetivo principal en cuanto a que es técnicamente viable para hacer un uso eficiente del agua dentro de la institución educativa, pues con la precipitación de la zona y el espacio disponible, se logra abastecer completamente los sanitarios y lava-escobas durante nueve (9) meses del año, y los tres (3) meses restantes se abarca más del 90% de la demanda, siendo necesario suplir menos del 10% con agua potable (de acuerdo con los resultados de la Tabla 2 y la Figura 4), pero, la inversión inicial es muy alta, por lo que no logra ser un sistema de bajo costo, lo que puede volverlo inaccesible si no se cuenta con la adecuada financiación por parte de alguna entidad que esté interesada en patrocinar este tipo de proyectos que apuntan a la sostenibilidad de la Institución y que permitiría invertir los recursos actualmente destinados al pago de agua potable, en mejoramiento de la infraestructura o del material académico.

Se debe tener presente que el sistema está diseñado para las condiciones hidrológicas presentadas en la Tabla 1 y la Figura 3, en las cuales se detallan los fenómenos de El Niño y La Niña y las precipitaciones correspondientes al periodo de diseño seleccionado (10 años), por lo tanto, el diseño puede variar si las condiciones no se asemejan a las presentadas anteriormente, y el volumen posible de ser captado puede ser mayor o menor, dependiendo de estos factores.

Debido a la poca información disponible sobre las redes de la institución, la ubicación de buitrones y lava-escobas fue supuesta para desarrollar el diseño, se recomienda entonces, hacer el levantamiento de las redes de acueducto, para tener mayor precisión en el trazado de la red de distribución.

Debido a que este proyecto consiste únicamente en la ingeniería conceptual de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, no se tiene nivel de los detalles de instalación y construcción del sistema, por lo que para su implementación se recomienda hacer levantamientos en campo para la cuantificación exacta de los componentes del sistema y su ubicación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdulla, F.A. and Al-Shareef, A., 2006. Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan. Springer. pp. 291- 300.
- Ballén S., J. A., Galarza G., M. A., and Ortiz M., R. O., 2006. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. VI SEREA- Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de abastecimiento urbano de agua. 12 P. En prensa.



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. 2003. Especificaciones técnicas de captación de agua de lluvia para consumo humano. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural. 10 P.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. 2004. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural. 15 P.

Climate Prediction Center Internet Team. National Water Service. Climate Prediction Center. Disponible en: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Departamento Nacional de Planeación. 1991. Determinación de los consumos básicos de agua potable en Colombia. Disponible en: [http://domino.creg.gov.co/Biblioteca.nsf/eb2103197b945b100525717900521a5d/bba8c960906d4eeb05256f77006fc61a/\\$FILE/I07-I1-818.pdf](http://domino.creg.gov.co/Biblioteca.nsf/eb2103197b945b100525717900521a5d/bba8c960906d4eeb05256f77006fc61a/$FILE/I07-I1-818.pdf)

Hernández M., s.f. Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. 24 P. En prensa.

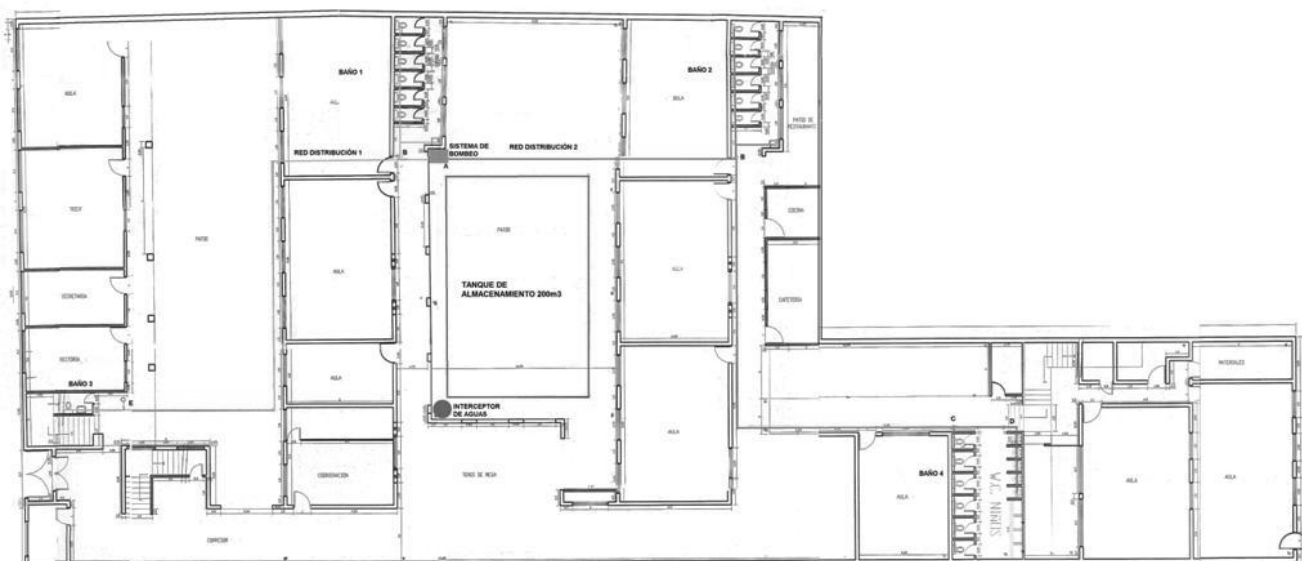
Melguizo B., S. 1977. Fundamentos de hidráulica e instalaciones de abasto en las edificaciones. Primera parte. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia. 320 P.

Naciones Unidas. 2006. El agua, una responsabilidad compartida. 2do Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del Mundo. Confluencia Revista Hispánica de Cultura y Literatura. Disponible en: http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/index_es.shtml

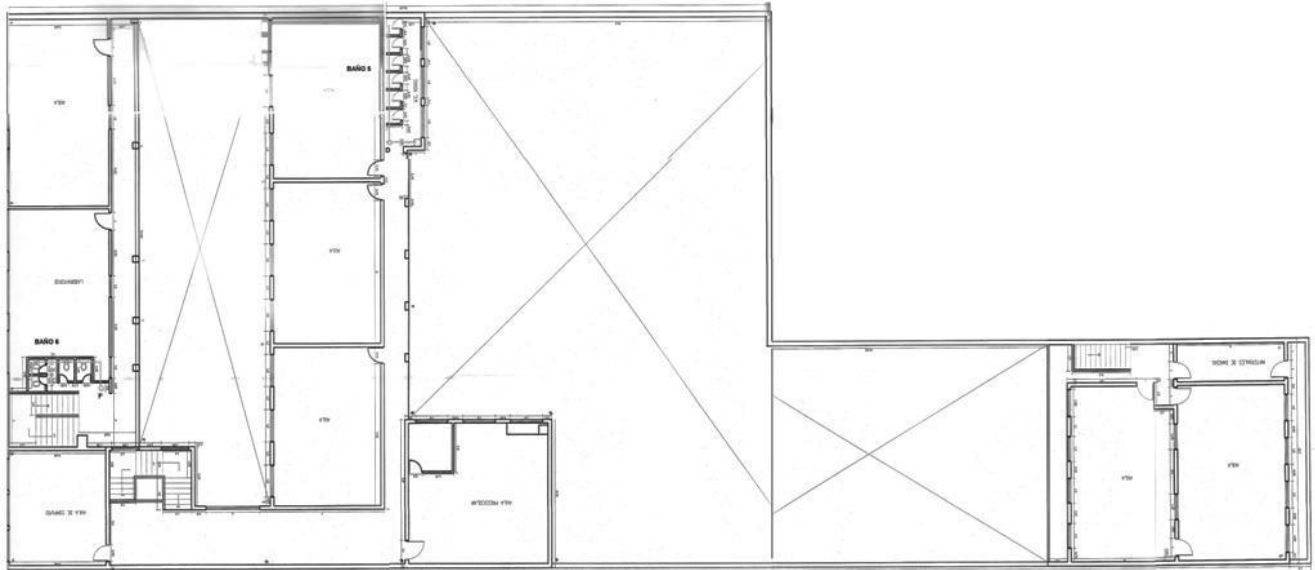
Water Texas Development Board. 2005. The Texas manual on rainwater harvesting. Development. 88 P.

Anexos

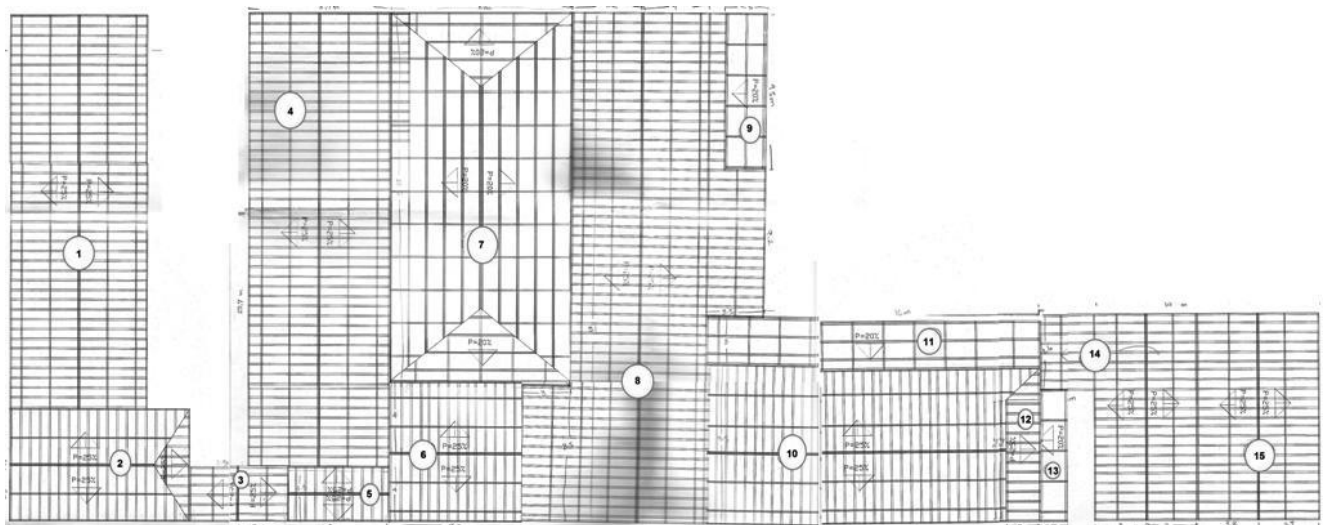
Plano de la institución, primer piso



Plano de la institución, segundo piso



Plano de la institución, techos



Nota: Las áreas captadas corresponden a los números del 1 al 8 y del 10 al 13. Las áreas 14 y 15 fueron omitidas para evitar sobredimensionamiento del sistema.

