

**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**

NATALIA PALACIO CASTAÑEDA
Ingeniera Sanitaria

Trabajo de Monografía para optar al título de
Especialista en Manejo y Gestión del Agua

Asesor
Darío Naranjo Fernández
Ingeniero Químico
M.Sc. Ingeniería Ambiental

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
ESCUELA AMBIENTAL
ESPECIALIZACIÓN EN MANEJO Y GESTIÓN DEL AGUA
MEDELLÍN
2010**

CONTENIDO

RESUMEN.....	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo General.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. INTRODUCCIÓN.....	16
4. ESTADO DEL ARTE.....	18
5. MARCO TEÓRICO.....	22
5.1. DEFINICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....	22
5.1.1. Captación.....	23
5.1.2. Recolección y Conducción.....	24
5.1.3. Interceptor.....	24
5.1.4. Almacenamiento.....	26
5.5.1. Red de Distribución de Agua Lluvia y Sistema de Bombeo.....	26
5.6. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	27
5.7. MODELO DE CÁLCULOS.....	27
5.7.1. Demanda de agua en el mes “i” (D_i).....	27
5.7.2. Oferta de agua en el mes “i” (A_i).....	28
5.7.3. Demanda acumulada (D_{ai}).....	29
5.7.4. Oferta acumulada (A_{ai}).....	29
5.7.5. Volumen de almacenamiento (V_i).....	29
5.7.6. Interceptor de primeras aguas.....	30
5.7.7. Potencial de ahorro de agua potable.....	30
5.7.8. Red de distribución de agua lluvia.....	30
5.7.9. Sistema de bombeo.....	31
5.7.9.1. Cálculo de la tubería de succión.....	32
5.7.9.2. Chequeo de la tubería de impulsión.....	32
5.7.9.3. Cálculo de la altura dinámica total.....	33
5.7.9.3.1. Altura dinámica total en la succión.....	33
5.7.9.3.1.1. Pérdidas totales en la succión.....	33
5.7.9.3.1.2. Pérdidas por fricción en la succión.....	33
5.7.9.3.2. Altura dinámica total en la impulsión.....	34
5.7.9.3.2.1. Pérdidas totales en la impulsión.....	34
5.7.9.3.2.2. Pérdidas por fricción en la impulsión.....	34
5.7.10. Características de la bomba.....	37
5.7.10.1. Potencia del motor de la bomba.....	38
5.7.10.2. Verificación de la cavitación en el sistema.....	38
5.7.10.3. Golpe de Ariete.....	39
6. METODOLOGÍA.....	40
6.1. Componentes del Sistema.....	40
6.1.1. Captación.....	40
6.1.2. Recolección y Conducción.....	41
6.1.3. Interceptor de Primeras Aguas.....	41
6.1.4. Almacenamiento.....	41
6.1.5. Red de Distribución y Sistema de Bombeo.....	41
6.2. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	42
6.3. MODELO DE CÁLCULOS.....	42
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44

7.1.	Precipitación promedio mensual (Ppi)	44
7.2.	Volumen de almacenamiento de agua lluvia.....	46
7.3.	Potencial de Ahorro de Agua Potable	48
7.4.	Interceptor de las primeras aguas.....	49
7.5.	Red de distribución.....	49
7.6.	Sistema de bombeo.....	49
7.7.	Cantidades de obra y presupuesto	50
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	55
	ANEXOS	58

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1	Caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario Longitud equivalente en pérdidas localizadas (en metros de tubería rectilínea)	30
TABLA 2	Valores de consumo y costo de agua potable, de seis meses, en la Institución Educativa María Auxiliadora	42
TABLA 3	Fenómenos de El Niño y La Niña entre 1998 y 2008	42
TABLA 4	Valores de precipitación promedio mensual en litros por metro cuadrado para los 10 años analizados	43
TABLA 5	Resultados de precipitación promedio mensual, demanda y oferta mensual, demanda y oferta acumulada, volúmenes de almacenamiento y potencial de ahorro de agua potable	44
TABLA 6	Dimensionamiento de las redes de distribución	47
TABLA 7	Dimensionamiento del sistema de bombeo	48
TABLA 8	Cantidades de obra y presupuesto para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias	48
TABLA 9	Costo de agua potable para cubrir la demanda faltante	50
TABLA 10		
CUADRO 1	Índice de escasez por municipios.	10
FIGURA 1	Distribución del agua en el planeta	6
FIGURA 2	Presión de la calidad del agua por vertimientos municipales.	8
FIGURA 3	Índice de Presión como indicativo de la relación demanda/oferta, para condiciones hidrológicas de año medio	9
FIGURA 4	Ubicación del Municipio de Caldas, Antioquia	11
FIGURA 5	Sistema típico de captación de agua lluvia en techos	22
FIGURA 6	Áreas de captación para tres tipos diferentes de techos	22
FIGURA 7	Tipos de canaletas para recolección de agua lluvia	23
FIGURA 8	Tanque interceptor de primeras aguas	24
FIGURA 9	Válvula flotador para Tanque Interceptor	24
FIGURA 10	Tanque de almacenamiento semienterrado en ferro-cemento	25

FIGURA 11	Sistema de bombeo	41
FIGURA 12	Precipitación promedio mensual durante 10 años (sin evaporación)	43
FIGURA 13	Volúmenes de almacenamiento de agua lluvia, por mes	45
FIGURA 14	Potencial de ahorro de agua potable, por mes	46

RESUMEN

El aprovechamiento del agua lluvia para diferentes usos, 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.

Éste 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. Además se presenta un análisis de la viabilidad técnica y económica de dicho aprovechamiento, en una institución educativa del municipio de Caldas, Antioquia.

Se desarrollan en éste documento tres aspectos principales: (i) cálculo de los volúmenes disponibles de agua lluvia en la zona estudiada, (ii) evaluación del volumen de agua potable ahorrado con el aprovechamiento del agua lluvia y (iii) estimación del presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del ahorro generado al utilizar la solución propuesta.

Los resultados sugieren que el aprovechamiento de agua lluvia es una opción técnicamente viable, pero requiere de una inversión inicial que puede ser alta sino se tienen los suficientes recursos que la financien, por lo que puede representar una solución interesante para contribuir a la gestión y el desarrollo sostenible de la Institución Educativa, siempre y cuando haya apoyo externo a la misma para desarrollar éste tipo de proyectos.

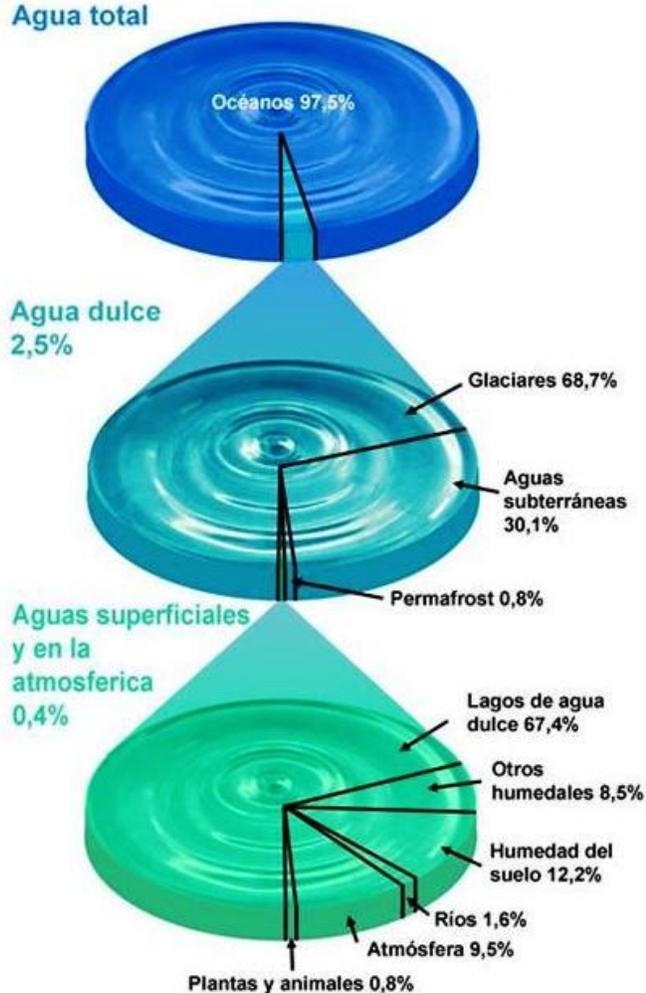
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua del mundo existe de manera natural bajo distintas formas y en distintos lugares: en el aire, en la superficie, bajo el suelo y en los océanos, pero sólo el 2.5% del agua total es agua dulce, aunque de éste valor no todo está disponible, pues únicamente el 0.4% del agua dulce está en condiciones aptas para ser utilizadas por los seres vivos (Figura 1). Éste pequeño valor, equivalente a $35'029.210\text{Km}^3$ de agua (IDEAM [21]) se ve claramente afectado por diversos factores que ponen en riesgo la sostenibilidad del recurso para garantizar el abastecimiento de las poblaciones, en donde la combinación de factores naturales y la acción del ser humano origina presiones sobre el mismo. Adicionalmente, el cambio climático y la variabilidad natural en la distribución y la presencia del agua, son las fuerzas naturales que complican dicho desarrollo sostenible. Algunas de los principales factores que afectan al recurso hídrico son (Naciones Unidas [25]):

- El crecimiento de la población, en especial en regiones con escasez de agua.
- Grandes cambios demográficos a medida que la población se desplaza de entornos rurales a urbanos.
- Mayores demandas de seguridad alimentaria y de bienestar socioeconómico.
- Mayor competencia entre usuarios y usos.
- Contaminación de origen industrial, municipal y agrícola.

El desequilibrio existente entre el volumen de agua dulce disponible y la demanda de la misma no sólo ha llevado a escasez de agua sino también a otros serios problemas como por ejemplo las enfermedades asociadas con la calidad del recurso. De tres (3) a cuatro (4) millones de personas mueren cada año a causa de enfermedades ocasionadas por la falta de agua potable; cada ocho segundos muere un niño por alguna enfermedad relacionada con el agua no apta para el consumo debido a las malas condiciones de saneamiento e higiene; además la disminución de las reservas de aguas subterráneas, su contaminación y el deterioro general de los recursos hídricos han llevado a la disminución de la diversidad de especies acuáticas y a un aumento en el número de especies en grave peligro de extinción alrededor del mundo. Más allá del impacto del crecimiento de la población, la demanda de agua dulce ha estado aumentando en respuesta al desarrollo industrial, la dependencia creciente en la agricultura de regadío, la urbanización masiva y la tendencia a tener niveles de vida más altos (Hernández [18]).

Figura 1. Distribución del agua en el planeta



Fuente: Shiklomanov y Rodda, 2003. UNESCO. The United Nations World Water Development Report

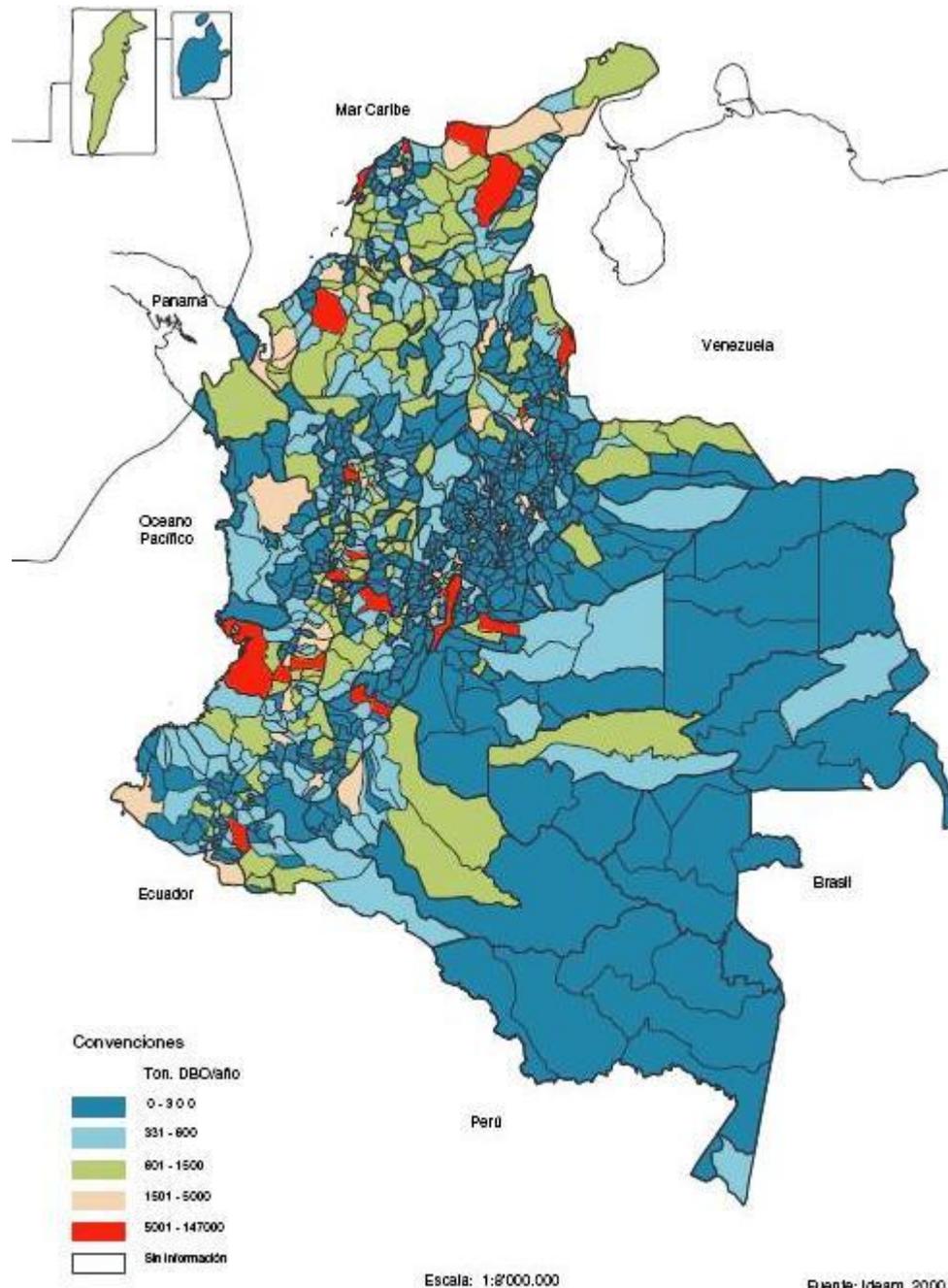
A pesar de que Colombia es un país rico en recursos naturales (agua, suelo, fauna y flora), ocupando el puesto 24 entre 203 países (IDEAM [20]), y que aún no se ha catalogado con graves problemas ambientales por las Agencias Internacionales, sí se ven presionados, a un ritmo más frecuente, los recursos naturales, debido al aumento de las actividades antropogénicas que ponen en peligro la sostenibilidad de los ecosistemas. Y dichas actividades se ven acentuadas por el deseo de crecimiento que existe en los países en desarrollo.

Con respecto al recurso hídrico como tal, la presión existente sobre él se enfoca principalmente en la demanda actual y la calidad del mismo, factores que aumentan con el crecimiento poblacional, impidiendo que haya un alta disponibilidad del agua en las fuentes de extracción (superficiales, en la mayoría de los casos) y lo que genera conflictos entre las mismas poblaciones por el recurso. Estos conflictos se ven acentuados especialmente entre las zonas rurales y las grandes ciudades, ya que de acuerdo con los informes presentados por el Conpes Social 91 [12], hasta 2003, sólo el 66% del sector

rural (comparado con el 97.4% en las zonas urbanas) contaba con abastecimiento de agua potable, lo cual traslada el conflicto hacia las cabeceras municipales, donde la presión sobre el recurso aumenta, debido a la alta demanda sobre las fuentes locales y/o vecinas. (IDEAM [21])

Otra problemática existente con respecto al recurso hídrico es su inadecuado uso. En la actualidad aún se cree que el agua es un recurso renovable, pero ésta es una mala interpretación del ciclo hidrológico, pues aunque el agua se encuentra en la Tierra en la misma cantidad (cambiando continuamente de estados), se excluye de ésta teoría la calidad del recurso. Es por eso que aún se cree que el agua está auto-recuperándose continuamente mediante el ciclo hidrológico. Este concepto errado (si se tiene presente que el ritmo de contaminación de las fuentes es mucho mayor al tiempo de renovación de los cuerpos de agua) crea en la gente falsas ilusiones, lo que conlleva en gran parte a que haya despilfarros y usos inadecuados del recurso hídrico. Otro factor importante que interviene con la calidad del agua, es la limitación en los posibles usos, lo que disminuye en gran proporción la disponibilidad de agua. Dicha calidad se ve afectada básicamente por el vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento previo hacia las fuentes cercanas, especialmente en la cordillera central, donde están ubicadas la mayoría de las fuentes y en donde están asentadas gran cantidad de ciudades, aunque en materia de normatividad se ha ido avanzando poco a poco para disminuir estas prácticas. La Figura 2 ilustra la presión existente sobre el recurso, debido a los vertimientos de aguas residuales sobre las fuentes, las cuales, en su mayoría pertenecen a las cuencas grandes de Magdalena y Cauca, principalmente.

Figura 2. Presión de la calidad del agua por vertimientos municipales.

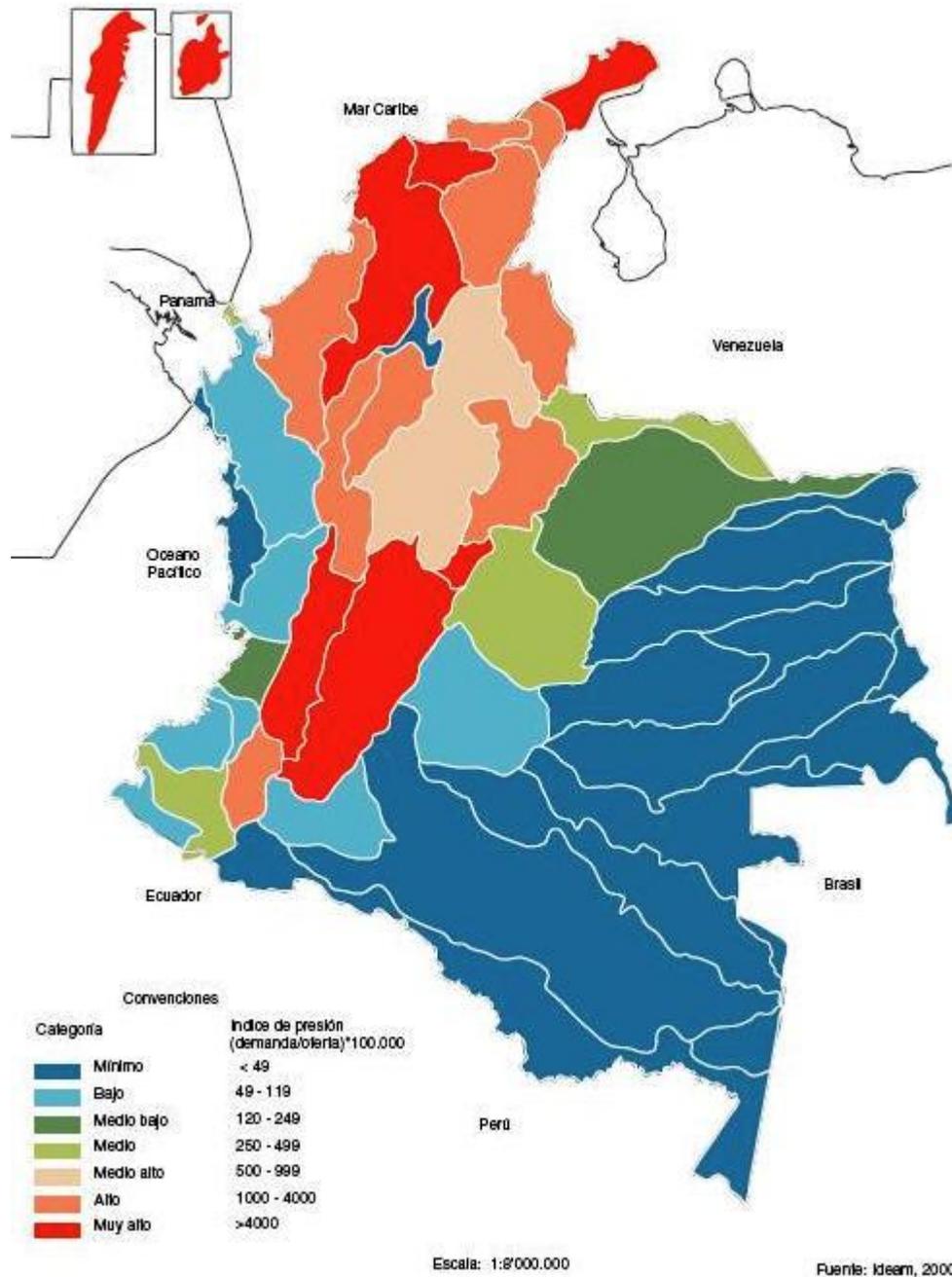


Fuente: Estudio Nacional del Agua. IDEAM, 2000

Para entender mejor la problemática asociada con la disponibilidad del recurso hídrico, internacionalmente se han desarrollado varios índices que muestran dicho factor, entre ellos se encuentra el Índice de Escasez, el cual se define como la relación existente entre la oferta hídrica disponible y las condiciones de demanda predominantes. El IDEAM ajustó este índice ampliándolo cien mil veces, y lo denominó el Índice de Presión. La Figura 3

muestra la presión de la demanda sobre la oferta, para un año medio, sobre cada una de las cuencas de Colombia.

Figura 3. Índice de Presión como indicativo de la relación demanda/oferta, para condiciones hidrológicas de año medio.



Fuente: Estudio Nacional del Agua. IDEAM, 2000

De acuerdo con la Figura 3, la alta presión por demanda del recurso se encuentra en la zona Andina con énfasis en la parte alta y media de la cuenca Magdalena-Cauca.

A nivel regional, en Antioquia, los municipios de Itagüí, Sabaneta, Envigado y Medellín, son los únicos que presentan valores alarmantes de escasez de agua (moderado, medio y alto respectivamente), según los valores presentados por el IDEAM en el Estudio Nacional del Agua en 2008, como se detalla en el Cuadro 1.

De igual manera se puede observar que los demás municipios como Caldas, cuentan con un índice de escasez bajo, en el que la demanda no es tan alta respecto a la oferta hídrica del lugar.

Cuadro 1. Índice de escasez por municipios.

INDICE DE ESCASEZ AÑO SECO											
Código Dane	Departamento	Municipio	Volumen Total mm ³	Reducción Variabilidad %	Reducción Estiaje %	Reducción Total %	Volumen Neto mm ³	Demanda Total mm ³	Índice de Escasez		
05129	ANTIOQUIA	CALDAS	773	15	14	29	549	6,08	Bajo		
05659	ANTIOQUIA	SAN JUAN DE URABÁ	54	35	12	47	54	1,71	Bajo		
05030	ANTIOQUIA	AMAGÁ	413	35	1	36	265	2,00	Bajo		
05079	ANTIOQUIA	BARBOSA	1.625	25	26	51	793	12,15	Bajo		
05318	ANTIOQUIA	GUARNE	1.056	25	20	45	586	9,53	Bajo		
05308	ANTIOQUIA	GIRAROTA	507	35	2	37	321	12,28	Bajo		
05212	ANTIOQUIA	COPACABANA	293	25	23	48	152	5,88	Bajo		
05380	ANTIOQUIA	LA ESTRELLA	144	25	23	48	75	3,92	Bajo		
05088	ANTIOQUIA	BELLO	642	15	6	21	506	38,24	Bajo		
05631	ANTIOQUIA	SABANETA	81	15	7	22	63	8,98	Moderado		
05266	ANTIOQUIA	ENVIGADO	214	35	4	39	130	22,55	Moderado		
05001	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	1.534	35	4	39	929	272,97	Medio		
05360	ANTIOQUIA	ITAGUI	79	25	25	50	40	39,27	Alto		

Fuente: Estudio Nacional del Agua. IDEAM, 2008

De acuerdo con los análisis que se han realizado en materia de disponibilidad de agua, y según los índices mencionados anteriormente, el IDEAM asegura que si se continua con el actual ritmo de explotación de las cuencas y de contaminación de las fuentes de suministro, para el año 2015, en condiciones hidrológicas secas, el 60% de la población colombiana podría estar en riesgo de desabastecimiento de agua potable, y se podría alcanzar el 66% para año 2025 (IDEAM [20]). Es por estas razones que se deben promover las prácticas de reciclaje, reutilización y aprovechamiento de aguas, como técnicas alternativas de abastecimiento.

En la actualidad se está produciendo una gran expansión en el aprovechamiento del agua, tanto en el ámbito doméstico como en el comunitario. El reciclaje y la reutilización del agua, son fenómenos bastante extendidos en las áreas con escasez de agua, pero es precisamente esa limitación regional lo que impide que se desarrollen más alternativas de aprovechamiento. Es decir, se ha tendido a dar solución a las poblaciones con alto nivel de escasez de agua, pues “sólo cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy alto, se piensa en buscar sistemas alternativos de abastecimiento” (Ballén, Galarza y Ortiz [4]), pero no se han difundido dichas prácticas en las regiones donde, aunque haya buena disponibilidad, también se puede reducir la presión sobre las cuencas, y dar un mejor uso al recurso, en materia de ahorro y uso eficiente del mismo.

Es por esto que para lograr reducir un poco la problemática asociada con la presión existente sobre las cuencas hidrográficas, y 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 de ésta, como lo es por ejemplo, una institución educativa.

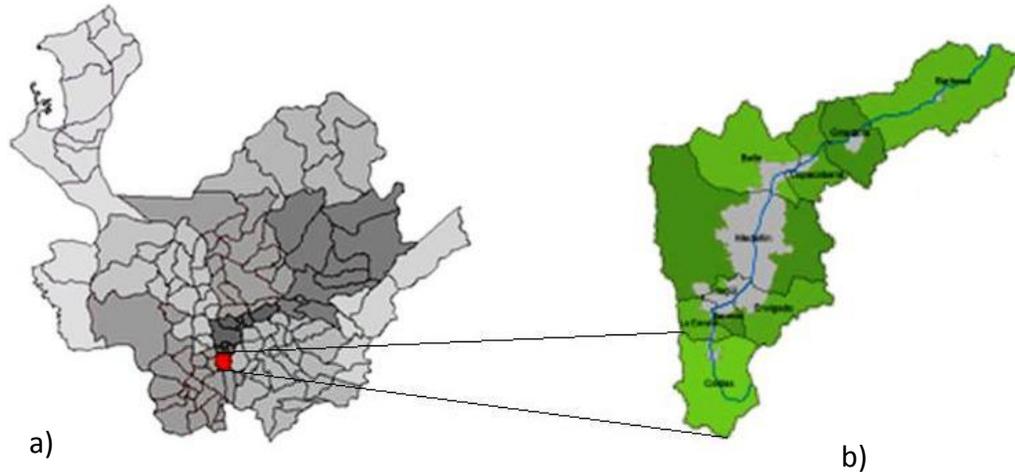
En Colombia, gracias a la alta disponibilidad de agua (57.000 m³ por habitante al año, según estimativos del IDEAM), el aprovechamiento de las aguas lluvias no es una práctica habitual y son muy específicas las regiones en las cuales hay un almacenamiento de ésta para los usos domésticos. A nivel industrial existen pocas empresas que hacen un aprovechamiento del agua lluvia, como por ejemplo Almacenes Alkosto Venecia y Villavicencio, y a excepción de la Universidad Nacional sede Bogotá y la Pontificia Universidad Javeriana, es desconocido el aprovechamiento tecnificado de aguas lluvias en instituciones educativas.

En las demás regiones, donde el abastecimiento con agua potable es adecuado, no existe un conocimiento pleno acerca de las técnicas de aprovechamiento de agua lluvia (ya sea para consumo humano o para riego), pues debido a la alta disponibilidad de aguas superficiales y al buen suministro de agua potable (como es el caso del Valle de Aburrá), no se considera primordial adoptar las aguas lluvias para usos domésticos, educativos, institucionales, entre otros.

A pesar de las campañas que adelantan las autoridades ambientales y algunas empresas de servicios públicos, y a la normatividad vigente en cuanto al ahorro y uso eficiente del agua (ley 373 de 1997), las técnicas de aprovechamiento de aguas lluvias no han tenido un papel importante dentro de estos esfuerzos y su práctica es empírica y no muy difundida entre los habitantes, especialmente en regiones de alta precipitación, como lo es el municipio de Caldas, Antioquia.

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. Es uno de los municipios del Valle de Aburrá con mayor 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. Adicionalmente los principales estratos que predominan en el municipio son el 1, 2 y 3 (según información de la Alcaldía Municipal), estratos en los cuales los costos de abastecimiento son un porcentaje alto dentro del presupuesto educativo, pues la mayoría de ellos son abastecidos por las Empresas Públicas de Medellín o por acueductos veredales. Dentro del municipio existen aproximadamente 22 instituciones educativas ubicadas en zona rural y urbana (Municipio de Caldas, Secretaría de Educación[5]), potenciales para implementar un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, ya que este tipo de edificaciones, por sus amplias áreas, permiten la captación de grandes cantidades de aguas lluvias y gran facilidad de instalación de estos sistemas.

Figura 4. Ubicación del Municipio de Caldas, Antioquia



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de Wikipedia. Caldas, Antioquia.
a) Departamento de Antioquia, b) Área Metropolitana del Valle de Aburrá

El aprovechamiento de las aguas lluvias en el municipio de Caldas, lograría en primera instancia, disminuir los consumos de agua potable en las instituciones educativas (centros de alta demanda del recurso), permitiendo así disminuir los gastos económicos debidos a estos consumos y darle un uso eficiente al recurso, al aprovechar el agua lluvia en las descargas de los sanitarios, el riego de jardines, el lavado de patios y áreas comunes, entre otros usos que no requieren agua potable.

La institución elegida para el desarrollo del sistema de aprovechamiento de agua lluvia es La Institución Educativa María Auxiliadora, la cual está ubicada en el centro del Municipio de Caldas, cerca al parque principal, y pertenece al estrato socio-económico número 3. Es una institución fundada en el año 1868, y en la actualidad cuenta con 1220 estudiantes y 80 personas entre profesores y empleados de planta.

La institución cuenta con servicios básicos de agua potable, alcantarillado y electricidad, los cuales son prestados por Las Empresas Públicas de Medellín y son pagados por el Municipio de Caldas. En promedio, la institución consume 455.8m^3 de agua potable al mes, la cual tiene un costo aproximado de \$490.500, de acuerdo con las facturas de la empresa prestadora del servicio.

La captación y aprovechamiento de las aguas lluvias es una técnica de la ingeniería que como tal tiene sus ventajas y desventajas. (Abdulla y Al-Shareef [1], CEPIS [6,7] y Texas Water Development Board [32]).

Entre las muchas razones que se han expresado anteriormente, los principales beneficios que se obtienen de almacenar y utilizar el agua lluvia, son los siguientes:

- Algunos sistemas no requieren de energía para operar.
- El agua lluvia es gratis, los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.

- Alta calidad físico-química del agua lluvia
- Facilidad en la construcción pues se pueden 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 minerales, por lo tanto es suave y puede reducir significativamente la cantidad de jabones y detergentes para la limpieza.
- Se reduce en cierta medida las inundaciones y la erosión.
- El agua lluvia es ideal para la irrigación de los jardines y cultivos.
- Al recolectarse el agua lluvia, se reduce el caudal del alcantarillado pluvial, evitando así el ingreso de altos volúmenes a los sistemas de tratamiento de agua.
- 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:

- 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 altos costos iniciales de construcción del sistema (especialmente del tanque de almacenamiento), lo que puede volverlo inaccesible para algunas poblaciones.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Proponer un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias de bajo costo, fácil implementación y mantenimiento, como alternativa para el ahorro de agua potable, la disminución de los gastos debidos al consumo y un uso eficiente del recurso, en la Institución Educativa María Auxiliadora del municipio de Caldas, Antioquia.

2.2. Objetivos Específicos

- 2.1.1.** Desarrollar un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa para usos no potables (sanitarios, riego de jardines, lavado de patios y áreas comunes, entre otros).
- 2.1.2.** Evaluar el potencial de ahorro de agua potable implementando un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.
- 2.1.3.** Hacer una aproximación de la relación costo-beneficio para la instalación de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en una institución educativa del municipio de Caldas.

3. 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, siendo 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 donde el aprovechamiento de aguas lluvias para los usos domésticos se vuelve una necesidad. Es así como desarrollaron mecanismos de almacenamiento de aguas lluvias que hoy son encontrados en los rescates arqueológicos que datan de 4000 años a.C, y que demuestran la alta importancia que tenía su aprovechamiento en siglos pasados, como por ejemplo los hallazgos en Israel, Jordania, Yemen, Roma, China, Irán, y algunas culturas indígenas de Centroamérica. Todas estas experiencias coincidían en dirigir las aguas de escorrentía, de patios y techos hacia lugares de almacenamiento para luego ser aprovechadas en la agricultura y en usos domésticos. (FAO [30]), (Ballén, Galarza y Ortiz [4]).

En la actualidad, muchas de esas prácticas siguen siendo utilizadas, en especial en regiones áridas o semiáridas, y su principal función es el almacenamiento del agua lluvia para usos agrícolas y domésticos.

Los sistemas de recolección de agua lluvia no tienen grandes variaciones entre sí, la mayoría constan básicamente de tres (3) componentes: captación, conducción y almacenamiento (Abdulla y Al-Shareef [1]). Pero dependiendo de los usos para los cuales esté diseñado el sistema y de su complejidad, existen otros componentes adicionales, como por ejemplo 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) (Texas Water Development Board [32]), los cuales representan mayores costos.

En general las diferencias más significativas tienen que ver con la forma de captación del agua lluvia (de acuerdo con las áreas, la geometría y el material de los techos), y el tipo de almacenamiento, según el material escogido para su fabricación.

Algunos ejemplos encontrados de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para Estados Unidos, son presentados por Texas Water Development Board [32], y se resumen a continuación:

- Para agua de riego suplementario, los pozos del Branch Municipal Utility District en el Norte de Austin, capturan el agua lluvia y el condensado de los aires acondicionados de un nuevo centro de recreación de 929m², en un tanque de 140m³, para servir como agua de riego a 48.6m² del parque municipal (campos de fútbol y oficinas).
- En el Centro de Investigación de Plantas Nativas Lady Bird Johnson en Austin, Texas, se recolecta el agua lluvia a partir de tres zonas de captación independientes que proporcionan entre el 10 y el 15% del agua para el riego de jardinería. Una parte integral es su arquitectura, el sistema de captación de aguas pluviales del Centro, no sólo sirve para conservar el agua, sino también como una herramienta de educación

pública. El Centro recoge el agua de 17.000 pies cuadrados de área de la azotea y puede almacenar más de 70.000 galones en la cisterna.

- The Advanced Micro Devices, planta de fabricación de semiconductores en Austin, Texas, al no utilizar el agua potable para riego, ahorra \$1,5 millones de dólares al año, usando el agua lluvia recogida y algunas aguas subterráneas.
- Reynolds Metals en Ingleside, Texas, usa las aguas pluviales almacenadas en tanques de contención, para su planta de procesamiento de metales, compensando en gran medida el volumen de agua comprada.

En Colombia específicamente, el almacenamiento y uso de las aguas lluvias se ha implementado principalmente en las regiones con problemas de abastecimiento de agua potable para consumo doméstico, como lo son La Bocana (Buenaventura), El Chocó, San Andrés; Puerto Carreño (Vichada), Cartagena; Cali, entre otros, de los cuales la mayoría son sistemas rurales empíricos. (Ballén, Galarza y Ortiz [4]).

A nivel industrial son pocos los ejemplos que ilustran ésta práctica: Almacén Alkosto Venecia (Bogotá), donde se aprovechan 6.000m² de cubierta para captar alrededor de 4.820m³ de agua lluvia al año, con lo cual se satisface el 75% de la demanda actual de agua potable de la edificación; El almacén Alkosto de Villavicencio tiene una cubierta de 1.061m² con la cual se capta el agua lluvia para ser almacenada en un tanque de 150m³, posteriormente el agua es potabilizada en una planta de tratamiento, el sistema proporciona agua potable para todas las necesidades del almacén durante todo el año. (Ballén, Galarza y Ortiz [4]).

En cuanto al aprovechamiento a nivel educativo, solamente son conocidas las experiencias en el Edificio de Postgrados de Ciencias Humanas de la sede Bogotá de la Universidad Nacional, que cuenta con un sistema de cubierta protegida con grava en la cual se capta agua lluvia que es llevada a un tanque subterráneo, desde el cual se bombea agua para la descarga de los inodoros, y alimentar las fuentes y los espejos de agua, y la Pontificia Universidad Javeriana, en donde se realizaron estudios para evaluar la viabilidad técnica y económica de utilizar agua lluvia para el lavado de fachadas del Campus Universitario (Lara et al.[22]), (Ballén, Galarza y Ortiz [4]).

Debido a la baja información encontrada sobre la utilización de las aguas lluvias para usos escolares en Colombia, con éste proyecto se busca plantear la ingeniería conceptual para aprovechar las aguas lluvias en usos no potables, como lo 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.

Éste proyecto plantea entonces, tres aspectos principales: a) el cálculo de los volúmenes disponibles de agua lluvia en la zona estudiada, b) la evaluación del potencial de ahorro de agua potable de acuerdo con el volumen de agua lluvia captado y c) la estimación del presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del ahorro generado al utilizar la solución propuesta.

4. ESTADO DEL ARTE

La literatura existente plantea diferentes técnicas para el aprovechamiento de las aguas lluvias, la mayoría de ellas para ser implementadas en residencias rurales, o en regiones de alto grado de desabastecimiento de agua potable, debido a su fácil implementación en zonas dispersas o alejadas, y a los bajos costos asociados a la operación y el mantenimiento. Las principales metodologías encontradas plantean típicos sistemas de captación de agua en los techos, por medio de canaletas que conducen el agua lluvia hacia un tanque de almacenamiento para su posterior uso, que en la mayoría de los casos es el consumo humano, y en menor proporción, los usos no potables.

En la actualidad la práctica de recolección de aguas lluvias sigue siendo importante en las regiones áridas o semiáridas del mundo, y la mayoría de las publicaciones existentes sobre ésta técnica se basa en experiencias del Medio Oriente, Australia, África del Norte, India, norte de México y sur este de Estados Unidos. Recientemente han aparecido más publicaciones sobre experiencias en África (Sub-Sahara y del Sur) y sobre América Latina. Estas publicaciones describen algunas experiencias en México, Brasil y (en menor cantidad) en los Andes. (FAO [30])

Factores tales como el lugar de aplicación, el método, las tecnologías, la complejidad del sistema, la finalidad y los usos posibles, hacen que los sistemas varíen desde barriles de agua lluvia para el riego de jardines en zonas urbanas, hasta la recolección a gran escala de agua lluvia para todos los usos domésticos de una ciudad. (Texas Water Development Board [32])

Dentro de la revisión bibliográfica se encontraron similitudes en cuanto a la definición de los componentes básicos de los sistemas de aprovechamiento. Texas Water Development Board[32] plantea que los sistemas deben tener seis (6) componentes básicos: captación en techos, recolección por canaletas y bajantes, interceptor de primeras aguas, almacenamiento en tanques, sistema de distribución y tratamiento. Estos componentes serían los requeridos para utilizar el agua lluvia para consumo humano y usos domésticos. Pero independientemente del uso que se vaya a dar al agua lluvia, todo sistema debe tener al menos tres (3) componentes básicos: captación, interceptor y almacenamiento (Abdulla y Al-Shareef [1]). El CEPIS[6,7], plantea la necesidad de instalar un filtro de arena para remover las partículas que no fueron captadas por el interceptor de las primeras aguas, previo al tratamiento con cloro. El sistema propuesto para éste proyecto constará de cinco (5) componentes: captación, recolección, interceptor, almacenamiento y distribución.

Uno de los parámetros más importante dentro del diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, es la determinación de los volúmenes de almacenamiento, seguido del potencial de ahorro de agua potable. Dentro de la literatura revisada se encontraron similitudes para la determinación de dichos parámetros. El cálculo del volumen de almacenamiento de agua lluvia es descrito claramente por el CEPIS [6,7], el cual se determina a partir de la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada. Autores como Abdulla y Al-Shareef [1,2] y Ghisi [17] realizan dicho cálculo como el producto entre la precipitación promedio mensual o anual, el área de

captación y el coeficiente de escorrentía, lo cual brindaría únicamente el valor de la oferta disponible. Corcho y Duque [10] afectan el volumen de almacenamiento por un porcentaje de evaporación asumido para la zona y Fewkes [15] lo afecta por una variable adicional que es la pérdida en el almacenamiento por depresión (D), variable que no fue utilizada en este trabajo debido a que su determinación es a partir de la modelación en el área de estudio, lo cual está fuera del alcance de esta monografía, pero de acuerdo con Abdulla y Al-Shareef [1,2], se tomará un valor del 20% anual que representa las pérdidas globales debidas a la evaporación, pérdidas en la recolección, conducción y almacenamiento, entre otras. Por lo tanto el cálculo del volumen de almacenamiento se realizó de acuerdo con las sugerencias del CEPIS, Corcho y Duque y de Abdulla y Al-Shareef.

Ghisi [17] plantea la metodología para determinar el potencial de ahorro de agua potable, el cual es un valor porcentual que se expresa como la relación entre el volumen total captado de agua lluvia y la demanda total. La misma expresión es luego utilizada por Ghisi, Lapolli y Martini [16] en su evaluación para un sector residencial del sur de Brasil. La ecuación para el cálculo del potencial de ahorro de agua potable, aparece de nuevo expresada de la misma manera por Abdulla y Al-Shareef [1,2] y por Cheng y Liao [8]. Corcho y Duque [10] plantean la misma metodología para determinar el potencial de ahorro, pero su nombre es diferente, siendo llamado %Dotación, que equivale al valor porcentual del volumen captado, sobre la demanda, por cien. Para éste diseño se utilizará la ecuación propuesta, pero teniendo en cuenta el volumen total acumulado posible de ser captado y la demanda acumulada, esto porque se deben considerar los remanentes que quedan cuando el consumo es menor a la oferta, tal y como es planteado por la metodología del CEPIS [6,7].

Hernández [18] describe los diferentes tipos de techos en los cuales se puede realizar captaciones de agua lluvia y Abdulla y Al-Shareef [1,2] y el CEPIS [6,7], explican detalladamente los materiales utilizados en ellos. La selección del material se hace de acuerdo con las condiciones existentes y/o con el presupuesto que se tenga para construir los sistemas, de ésta manera, para un presupuesto económico, los materiales más comunes para los techos son el concreto y las tejas de arcilla, debido a su durabilidad, bajo costo y calidad del agua lluvia. De igual manera Texas Water Development Board [32] explica que los techos construidos en concreto y en tejas de arcilla son responsables del 10% de las pérdidas de agua, debido a la evaporación y la alta porosidad de dichos materiales, por lo que recomienda pintar las superficies o cubrirlas con un sellador para mejorar el escurrimiento del agua y prevenir el crecimiento bacteriano en sus poros. Para este trabajo se utilizarán techos en teja de arcilla (que son los techos existentes actualmente en la Institución), además el agua captada no se utilizará para consumo humano, por lo tanto el crecimiento bacteriano no es un factor determinante dentro del diseño, pues se supone que éste es removido en parte por el interceptor de primeras aguas, pero se recomendará que los techos se mantengan en buen estado para evitar las pérdidas en el flujo. Otros materiales utilizados en los techos son: metal, tejas de asfalto, tejas de madera, alquitrán y grava (Texas Water Development Board [32]).

Con respecto al diseño de las canaletas, Abdulla y Al-Shareef [1,2] explican que los materiales más comunes son el aluminio sin soldadura, el acero galvanizado, el cobre y el acero inoxidable, pero éste último es más costo. Texas Water Development Board [32] explica que el plomo no puede ser utilizado para soldar las canaletas entre sí, porque en

caso de haber una lluvia ligeramente ácida, el plomo se disuelve y contamina el agua almacenada. Hernández [18] y el CEPIS [6,7] además incluyen el PVC como material más común para las canaletas y los bajantes, y los recursos maderables que haya en la región donde se implementará el sistema.

Para los diferentes tipos de interceptores, CEPIS [6,7] plantea un sistema sencillo que consiste en un tanque que recibirá un litro de agua lluvia por cada metro cuadrado de área captada, cuando el sistema esté lleno, el agua seguirá su curso hacia el tanque de almacenamiento. Otros autores (Texas Water Development Board[32], Hernández [18]) plantean sistemas de válvulas dentro de los mismos bajantes, lo cual se vuelve más costoso para éste proyecto, por lo tanto se utilizará la metodología del CEPIS.

Los tanques de almacenamiento pueden ser construidos en diferentes materiales, Hernández [18] explica cada uno de ellos (Plásticos: Fibra de vidrio, polietileno y PVC. Metales: Barril de acero, acero galvanizado. Concreto: Ferrocemento, piedra y bloque de concreto. Madera: Madera roja, abeto, ciprés), sus ventajas y desventajas y una aproximación a sus costos. Abdulla y Al-Shareef [1,2] mencionan la geometría de los tanques en concreto, que es el material más común, los cuales pueden ser cuadrados, rectangulares o cilíndricos, enterrados, semi-enterrados o elevados.

Muchos de los documentos revisados se centran en realizar análisis de la calidad del agua lluvia, inclusive con captaciones en áreas diferentes a los techos, como plantea Nolde [26], quien hace un análisis de la posibilidad de utilizar el agua lluvia de escorrentía de las superficies de tránsito vehicular, logrando demostrar que es viable, a pesar de que la normatividad alemana no esté de acuerdo. Otros autores que hacen referencia a la calidad del agua lluvia para consumo humano son Sazakli, Alexopoulos y Leotsinidis [27]. Durante tres (3) años recolectaron 300 muestras, 156 de los tanques de almacenamiento que recibían directamente el agua lluvia, y las 144 restantes se extrajeron de las aguas subterráneas de la región. Los resultados mostraron que el agua lluvia es la fuente más prometedora para abastecer con agua potable a las poblaciones afectadas. Evans, Coombes y Dunstan[14] analizaron el efecto que tienen los patrones climáticos, como el viento, en la calidad del agua lluvia almacenada. Los resultados mostraron que dichos patrones, en conjunto con el sitio de almacenamiento pueden intervenir significativamente en la carga bacteriana del agua lluvia captada en los techos, siendo el viento un factor directamente proporcional a dicha carga.

Aunque el objetivo de éste proyecto no es utilizar el agua lluvia para consumo humano, la revisión de estas experiencias es importante dentro del estudio, pues demuestra que el agua lluvia cumple con condiciones físico-químicas aptas para su consumo, y que los valores microbiológicos obtenidos pueden ser fácilmente removidos siempre y cuando se garantice que las primeras aguas sean interceptadas, y que el agua almacenada tenga un tratamiento de desinfección previo a su consumo, lo cual podría considerarse en un futuro para la Institución.

Otro tipo de artículos revisados fueron los relacionados con modelos de simulación para el almacenamiento de agua lluvia, como el planteado por Su et al.[29], en donde presentan un modelo de simulación anual para establecer la relación probabilística entre la capacidad de almacenamiento del agua lluvia recolectada y las tasas de déficit de abastecimiento de agua, en la isla de Taiwán. Para el modelo utilizaron datos diarios de precipitación durante 50 años. La metodología planteada corresponde a una evaluación estadística de las variaciones de la precipitación y a un modelo de simulación por medio

de procesos iterativos. Herrmann y Schmida [19] plantean una simulación continua a largo plazo del rendimiento hidráulico de los sistemas de uso de aguas lluvias, en la que se evalúa la eficiencia del sistema, la frecuencia y los volúmenes de sobre-flujos y el tiempo de recurrencia de estos acontecimientos de sobre-flujos. Villarreal y Dixon [31] plantean un modelo a gran escala de aprovechamiento, con captación de aguas lluvias en los techos de las viviendas y edificaciones, para abastecer a toda la ciudad de Ringdansen (Suecia) con dicha agua, especialmente para los usos de descarga de sanitarios, lavanderías, lavado de carros y riego de jardines. El modelo por computador se utilizó para explorar el potencial de ahorro de agua del sistema de recolección de aguas pluviales usando la técnica de Monte Carlo, pero no hay una explicación detallada de los procedimientos para la determinación de los componentes del sistema.

Los anteriores artículos, al desarrollar modelos de simulación por computador no se ajustan a las necesidades de éste proyecto, pero su revisión permitió entender el proceso aleatorio de la precipitación y la manera en que la escorrentía generada por la lluvia puede ser disminuida si se tienen sistemas de captación, especialmente en lugares altamente poblados o en edificios de varios pisos, pues hay un consumo total del agua almacenada, lo cual evita que haya desbordamientos desde los tanques de almacenamiento.

De las fuentes consultadas, la metodología más completa y de mayor aplicabilidad para el diseño del proyecto, debido a que reúne los criterios requeridos para el logro del objetivo general en cuanto a su fácil aplicación y bajo costo dentro de la Institución, está planteada en los dos documentos del CEPIS[6,7]. Ambos documentos plantean los parámetros de diseño para el aprovechamiento del agua lluvia en viviendas, pero debido a que las diferencias con una institución educativa básicamente son pequeñas (número de personas y áreas de captación), el diseño se ajustó adecuadamente según las recomendaciones de ambos textos.

Para la determinación del Potencial de Ahorro de Agua Potable se utilizó la ecuación planteada por Ghisi, Lapolli y Martini[16], pero utilizando los volúmenes acumulados, siendo coherentes con la metodología del CEPIS [6,7], como se mencionó anteriormente.

5. MARCO TEÓRICO

Actualmente la presión existente sobre las cuencas hidrográficas es muy alta, debido a la alta demanda del recurso y al grado de contaminación de las fuentes superficiales. En base a esto, muchas poblaciones urbanas cuentan con un alto grado de desabastecimiento de agua potable (IDEAM [20]). Es necesario entonces, adoptar medidas alternativas que permitan la sostenibilidad del recurso, y conocer las técnicas de aprovechamiento de aguas lluvias es parte fundamental para lograr éste propósito.

El aprovechamiento de agua lluvia para instituciones educativas, es una práctica de fácil implementación, que permite disminuir los consumos de agua potable, logrando así, una reducción en los gastos por dichos consumos, y dando un uso eficiente al recurso, de manera que aquellos sistemas en los cuales el agua potable no es necesaria, puedan ser abastecidos por el agua lluvia.

Siguiendo los parámetros establecidos por el CEPIS [6,7] y por Ghisi, Lapolli y Martini [16], a continuación se presentan las definiciones de los componentes del sistema, el análisis de la información pluviométrica y los cálculos realizados para el diseño del sistema de aprovechamiento de agua lluvia.

5.1. DEFINICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

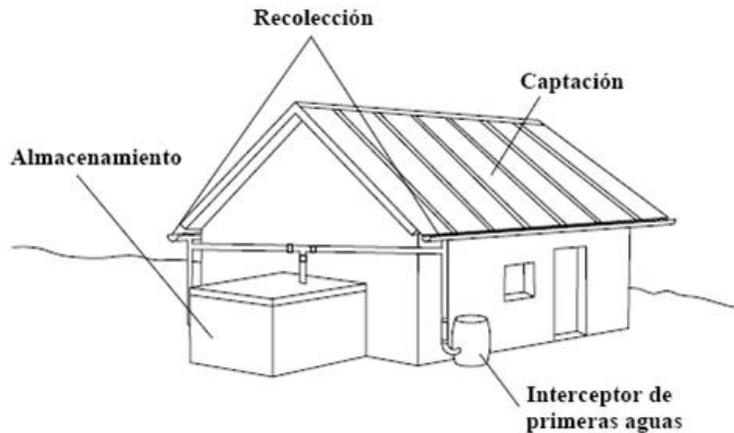
Un sistema básico está compuesto por los siguientes componentes:

- a. Captación
- b. Recolección
- c. Interceptor de primeras aguas
- d. Almacenamiento

Inicialmente el diseño propuesto tendría, además de los componentes mencionados, los siguientes:

- e. Sistema de filtración rápida
- f. Red de distribución de agua lluvia (sistema de bombeo).

Figura 5. Sistema típico de captación de agua lluvia en techos.



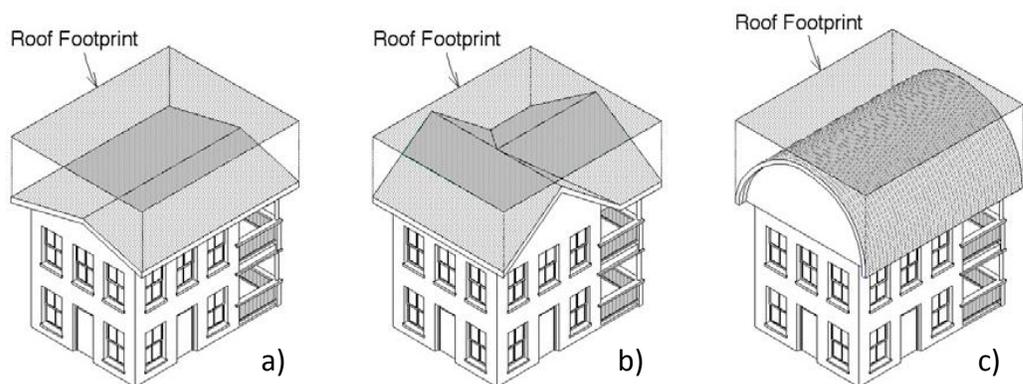
Fuente: Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia. CEPIS, 2004.

5.1.1. Captación

Es la superficie destinada para la recolección del agua lluvia. La mayoría de los sistemas utilizan la captación en los techos, los cuales deben tener adecuada pendiente (no inferior al 5%) y superficie, que faciliten el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección.

Los materiales empleados para los techos pueden ser las tejas de arcilla, madera, paja, cemento, entre otros. Los techos de cemento y de teja son los más comunes debido a su durabilidad, el precio relativamente bajo y porque proveen agua de buena calidad; los que tienen compuestos de asfalto, amianto o los que están pintados se recomienda utilizarlos sólo cuando el agua captada no es para consumo humano, ya que pueden lixiviar materiales tóxicos en el agua lluvia (Abdulla y Al-Shareef [1]).

Figura 6. Áreas de captación para tres tipos diferentes de techos

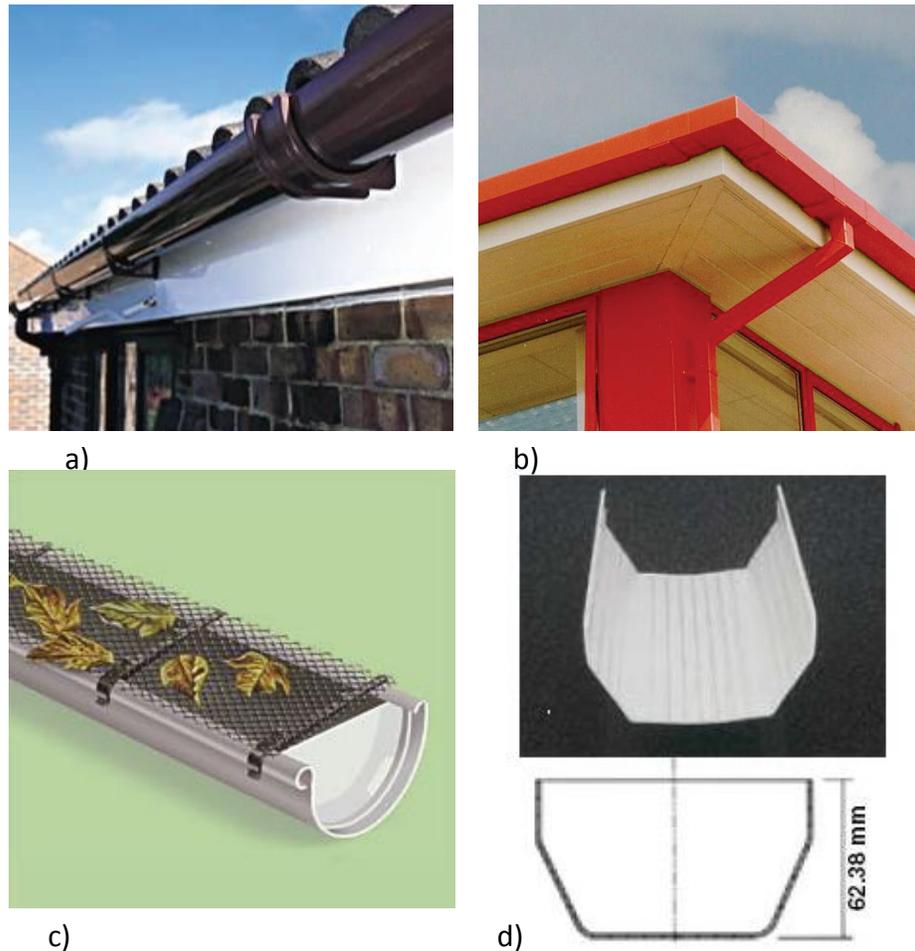


Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board. 2005

5.1.2. Recolección y Conducción

Es el conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado. Las canaletas se deben instalar con una pendiente no muy grande que permitan la conducción hasta los bajantes. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Para tal objetivo se pueden emplear materiales como el bambú, la madera, el metal o el PVC. Se recomienda que el ancho mínimo de la canaleta sea de 75mm y el máximo de 150mm.

Figura 7. Tipos de canaletas para recolección de agua lluvia



Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. Floriana Hernández Martínez.

5.1.3. Interceptor

Es el dispositivo dirigido a captar las primeras aguas lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta

el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo. Se debe tener en cuenta que el agua recolectada temporalmente por el interceptor, también puede utilizarse para el riego de plantas o jardines.

El interceptor consta de un tanque, al cual entra el agua por medio de los bajantes unidos a las canaletas. El tanque interceptor 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 debe tener una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia.

Figura 8. Tanque interceptor de primeras aguas



Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. Floriana Hernández Martínez.

Figura 9. Válvula flotador para Tanque Interceptor



Fuente: Google imágenes. Válvula flotador

5.1.4. Almacenamiento

Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración
- De no más de 2m de altura para minimizar las sobre-presiones
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.

Los tipos de tanques de almacenamiento de agua lluvia a ser empleados pueden ser construidos con los siguientes materiales:

- Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 L)
- Ferro-cemento para cualquier volumen.
- Concreto reforzado para cualquier volumen.

Figura 10. Tanque de almacenamiento semienterrado en ferro-cemento.



Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board. 2005

5.5.1. Red de Distribución de Agua Lluvia y Sistema de Bombeo

Esta red debe ir paralela a la red de acueducto, y debe llegar a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia, así que deberá protegerse la red de suministro de agua potable con una válvula de cheque para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable. El sistema de bombeo distribuirá el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las unidades sanitarias requeridas. Se debe tener presente que la tubería de succión de la bomba debe estar al menos 50cm por encima del fondo del tanque para evitar el arrastre de material sedimentado.

5.6. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Adicional a los componentes mencionados, para desarrollar el diseño se debe tener la información pluviométrica de la zona, la cual debe ser de mínimo diez (10) años consecutivos, para tener mayor confiabilidad en el diseño. Adicionalmente, para un mejor análisis de la información se debe tener presente si durante el periodo contemplado se presentaron los fenómenos de El Niño y La Niña, pues dichos fenómenos intervienen directamente con la disponibilidad de agua lluvia, ya sea porque ésta se vuelva escasa o abundante. La información sobre los periodos de dichos fenómenos en el tiempo de evaluación de la zona, se presentan en la Tabla 4.

Con los datos diarios obtenidos, se estiman los promedios mensuales de precipitación, de acuerdo con la ecuación 1:

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

Donde:

P_{pi} : precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes)

n: número de años evaluados

p_i : valor de precipitación mensual del mes “i”, (mm)

5.7. MODELO DE CÁLCULOS

El desarrollo del diseño consta principalmente de la determinación de la demanda de agua, la oferta relacionada con la precipitación de la zona, el volumen de almacenamiento del agua lluvia, el interceptor de las aguas de lavado del techo, el filtro y la red de distribución de las aguas lluvias. A continuación se presentan los modelos de cálculos para cada componente.

5.7.1. Demanda de agua en el mes “i” (D_i)

La demanda de agua se puede estimar de diferentes maneras, una de ellas, como la plantea el CEPIS[6], es la siguiente: a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de las personas a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

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

Donde:

D_i : demanda mensual (m^3)

Nu : número de usuarios que se benefician del sistema (variable, según el mes, como se indicó anteriormente).

Nd : número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/persona/día)

La ecuación 2 es efectiva cuando se requiere estimar la demanda de agua total para una vivienda, pero para determinar la demanda requerida únicamente para los sistemas sanitarios y para los lava-escobas se debe afectar la anterior ecuación por el 20% y el 5%, porcentajes estimados por el Departamento Nacional de Planeación [11] (Ballén, Galarza y Ortiz [3]), los cuales corresponden a los porcentajes de consumo de las unidades sanitarias y de los lava-escobas, respectivamente.

Así, la demanda de agua para dichas unidades se determina de la siguiente manera:

$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot * 25\%}{1000} \quad (3)$$

Donde:

D_i : demanda mensual (m^3)

Nu : número de usuarios que se benefician del sistema (variable, según el mes, como se indicó anteriormente).

Nd : número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/persona/día)

25%: porcentaje de consumo de sanitarios mas lava-escobas.

5.7.2. Oferta de agua en el mes “i” (A_i)

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000} \quad (4)$$

Donde:

A_i : oferta de agua en el mes “i” (m^3)

P_{pi} : precipitación promedio mensual (L/m^2)

C_e : coeficiente de escorrentía

A_c : área de captación (m^2)

De acuerdo con Abdulla y Al-Shareef [1,2], muchos diseñadores asumen un valor del 20% anual en pérdidas debidas a la evaporación, a la textura del material del techo, a las pérdidas en las canaletas y en el almacenamiento, y a la ineficiencia del sistema de captación, por tal razón se afecta el volumen de la oferta disponible por ese porcentaje para no sobredimensionar el sistema e incluir en el diseño las pérdidas asociadas. De ésta manera ese valor porcentual se distribuye uniformemente durante los doce meses del año para determinar la oferta mensual, de la siguiente manera.

$$A'i = Ai - \left(Ai * \frac{0.2}{12} \right) \quad (5)$$

Donde:

A'i: oferta de agua en el mes "i" teniendo en cuenta las pérdidas (m³)
 Ai: oferta de agua en el mes "i" (m³)

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua potable y de la oferta mensual de agua lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes, encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses.

5.7.3. Demanda acumulada (Dai)

Se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Dai = Da_{(i-1)} + Di \quad (6)$$

Donde:

Dai: demanda acumulada al mes "i" (m³).
 Da_(i-1): demanda acumulada al mes anterior "i-1" (m³).
 Di: demanda del mes "i" (m³)

5.7.4. Oferta acumulada (Aai)

Se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Aai = Aa_{(i-1)} + A'i \quad (7)$$

Donde:

Aai: oferta acumulada al mes "i" (m³).
 Aa_(i-1): oferta acumulada al mes anterior "i-1" (m³).
 A'i: oferta del mes "i" teniendo en cuenta las pérdidas (m³)

5.7.5. Volumen de almacenamiento (Vi)

Para conocer el volumen necesario de almacenamiento se debe encontrar la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada para cada mes, de ésta manera el mayor valor de diferencia será el volumen del tanque adoptado. Si las diferencias dan valores negativos, quiere decir que las áreas de captación no son suficientes para satisfacer la demanda.

$$Vi = Aai - Dai \quad (8)$$

Donde:

V_i : volumen de almacenamiento del mes "i" (m^3)

A_{ai} : oferta acumulada al mes "i" (m^3)

D_{ai} : demanda acumulada al mes "i" (m^3)

5.7.6. Interceptor de primeras aguas

Éste elemento permite recolectar las primeras aguas lluvias que caen y lavan el techo, por lo tanto es necesario desviarlas para no ser almacenadas en el tanque. Su diseño, de acuerdo con los parámetros establecidos en la metodología del CEPIS [6], establece que se requiere un litro de agua lluvia para lavar un metro cuadrado del techo, es decir que el volumen del tanque interceptor se calcula de la siguiente manera:

$$V_{int} = \left(1 - \frac{L}{m^2} * A_{techo} \right) / 1000 \quad (9)$$

Donde:

V_{int} : Volumen del interceptor (m^3)

A_{techo} : Área del techo a captar (m^2)

5.7.7. Potencial de ahorro de agua potable

El potencial de ahorro de agua potable se determina de acuerdo con el volumen de agua lluvia posible de ser recolectada y la demanda existente, en un mes, como se expresa en la siguiente ecuación: (Ghisi, Lapolli y Martini[16]).

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD} \quad (10)$$

Donde:

PPWS: Potencial de Ahorro de Agua Potable (por sus siglas en inglés) (%)

VR ó Ai: Volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado (m^3 /mes)

PWD ó Di: Demanda mensual de agua potable (m^3 /mes).

Para ser coherentes con la metodología propuesta por el CEPIS [6,7], la cual contempla la acumulación del agua en el tanque de almacenamiento, de acuerdo a su consumo, el potencial se debe determinar con los volúmenes acumulados, es decir, la oferta acumulada de agua lluvia posible de ser recolectada, sobre la demanda acumulada. De ésta manera en la ecuación 10, VR cambia por A_{ai} y PWD cambia a D_{ai} .

5.7.8. Red de distribución de agua lluvia

Se diseña por el método de la Certeza Total, explicado por Melguizo [24], en el cual se puede tener la certeza de que durante un periodo determinado, todo un grupo de aparatos sanitarios estarán en funcionamiento, situación muy común en

las instalaciones de tipo colectivo como lo son las escuelas, los internados, los cuartos, entre otros, debido a los horarios que rigen en cada institución. La determinación de los caudales y los diámetros de cada tramo, se realiza por medio del Gasto Máximo Posible, el cual se encuentra con la ecuación 11.

$$\text{GastoMáximoPosible} = Q_i * n \quad (11)$$

Donde:

Q_i: Caudal instantáneo de cada aparato sanitario (L/s)

n: Número de aparatos comunes.

Los caudales instantáneos y los diámetros requeridos por cada aparato se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario.

APARATO	CAUDAL, Q _i (L/s)	DIÁMETRO (Pulgadas)
Bañera	0,30	¾
Calentador	0,30	¾
Ducha	0,25	½
Inodoro Tanque	0,15	½
Inodoro Fluxómetro	2,50	1½
Lavadero	0,20	½
Lava-escobas	0,30	½
Lavamanos	0,10	½
Lavaplatos	0,20	½
Lavadora	0,25	½
Orinal sencillo	0,15	½
Orinal fluxómetro	1,50	¾

Fuente: Elaboración propia según Melguizo[24] 1980.

5.7.9. Sistema de bombeo

Se presenta a continuación el procedimiento del cálculo hidráulico de la bomba requerida para el tanque de almacenamiento. Para llevar a cabo dicho procedimiento se tendrá en cuenta el material y características de la bomba, el motor, la tubería de impulsión y de succión; así como las cotas entre los puntos de inicio (tanque de almacenamiento) y llegada (unidad sanitaria más alejada). Los principales parámetros a tener en cuenta son:

- Caudal a bombear (Q_b)
- Tiempo de bombeo diario
- Temperatura media del agua (T)
- Aceleración de la gravedad (g)

- Número de bombas
- Coeficiente de Hazen-Williams (C)
- Altura sobre el nivel del mar de la bomba (H_{snm})
- Densidad del agua a la temperatura indicada (ρ)
- Densidad del agua a 4°C (ρ_r)
- Tipo de bomba

5.7.9.1. Cálculo de la tubería de succión

Al calcular la tubería de succión, se asume un diámetro de tubería, para verificar las velocidades mínima y máxima de acuerdo con el caudal a transportar. Asumiendo un diámetro de succión de la bomba, el área y la velocidad calculada serán:

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad (12)$$

Donde:

A= Área de la tubería (m²)

ϕ = Diámetro de la tubería (m)

De acuerdo con el caudal obtenido para el abastecimiento de las unidades sanitarias, despejando la siguiente ecuación se determina el valor de la velocidad de succión:

$$Q = V * A \quad (13)$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

V: Velocidad (m/s)

A: Área de la tubería (m²)

Para la velocidad mínima se recomienda un valor de 0,45 m/s (Corcho y Duque [10]) y para la velocidad máxima, el RAS 2000 [13], recomienda 1.45 m/s para el diámetro asumido.

5.7.9.2. Chequeo de la tubería de impulsión

Para este caso, se asume un valor para el diámetro de impulsión y se calcula de nuevo el área y la velocidad de la tubería de impulsión con las ecuaciones 12 y 13.

El valor obtenido para la velocidad de impulsión debe cumplir el rango establecido en el literal B.8.5.6.2 del RAS 2000, $1 > V_i > 3$ m/s.

5.7.9.3. Cálculo de la altura dinámica total

5.7.9.3.1. Altura dinámica total en la succión

La altura dinámica de succión es la sumatoria de la altura estática de succión (h), las pérdidas totales en la succión y las pérdidas por fricción en la succión.

El valor de la altura estática de succión es la diferencia de altura entre el nivel del agua en el tanque de almacenamiento y la bomba.

Para determinar la pérdida de carga unitaria (J) se despeja la siguiente ecuación:

$$Q = 0.2785 * C * \phi^{2.63} * J^{0.54} \quad (14)$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

C = Coeficiente de Hazen Williams

ϕ = Diámetro de la tubería (m)

J = Pérdida de carga unitaria (m/m)

5.7.9.3.1.1. Pérdidas totales en la succión

Las pérdidas que se generan en cada accesorio, se relacionan como longitud equivalente, de acuerdo con la tabla 2, y su sumatoria son las pérdidas totales de la succión (Δh). Los accesorios para la succión son:

- Válvula de retención liviana
- Codo de 90° de radio corto
- Longitud recta de tubería

5.7.9.3.1.2. Pérdidas por fricción en la succión

Estas pérdidas se relacionan con la fricción del líquido contra las paredes de la tubería, y se determinan así:

$$K = \frac{V^2}{2g} \quad (15)$$

Donde:

K = Pérdidas por fricción (m)

V = Velocidad (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

La altura dinámica total en la succión se encuentra entonces por medio de la siguiente ecuación:

$$Hd = h + (J * \Delta h) + K \quad (16)$$

Donde:

Hd: Altura dinámica total (m)

h: Altura estática (m)

J: Pérdida de carga unitaria (m/m)

Δh : Sumatoria de las pérdidas totales (m)

K: Pérdidas por fricción (m)

5.7.9.3.2. Altura dinámica total en la impulsión

La altura dinámica de impulsión es la sumatoria de la altura estática de impulsión (h), las pérdidas totales en la impulsión y las pérdidas por fricción en la impulsión.

El valor de la altura estática de impulsión es la diferencia de altura entre el bombeo y la parte más alta del tanque de almacenamiento.

Para determinar la pérdida de carga unitaria (J) se utiliza la ecuación 14.

5.7.9.3.2.1. Pérdidas totales en la impulsión

Las pérdidas que se generan en cada accesorio, se relacionan como longitud equivalente, de acuerdo con la Tabla 2, y su sumatoria son las pérdidas totales de la succión (Δh). Los accesorios para la impulsión son:

- Válvula de compuerta
- Válvula de retención liviana
- Codo de 90° de radio corto
- Reducción
- Salida de tubería
- Longitud recta de tubería

5.7.9.3.2.2. Pérdidas por fricción en la impulsión

Estas pérdidas también se obtienen con la ecuación 15.

La altura dinámica total en la impulsión se encuentra con la ecuación 16.

Ahora, la altura dinámica total es igual a la altura dinámica de succión más la altura dinámica total de la impulsión, de manera que:

$$Hd = Hd,s + Hd,i \quad (17)$$

Donde:

Hd: Altura dinámica total en la succión e impulsión (m)

Hd,s: Altura dinámica en la succión (m)
Hd,i: Altura dinámica en la impulsión (m)

Se debe aplicar un factor de seguridad del 20%.

Tabla 2. Longitud equivalente en perdidas localizadas (en metros de tubería rectilínea)

DIAMETRO (pulg)	CODO 90° RADIO LARGO	CODO 90° RADIO MEDIO	CODO 90° RADIO CORTO	CODO 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	VALVULA DE CONTEN ABIERTA	VALVULA DE GLOBO ABIERTA	TEE DE PASO DIRECTO	TEE PASO DE LADO	TEE SALIDA BILATERAL	SALIDA DE TUBERIA	VALVULA DE RETENCION TIPO LLAVE	VALVULA DE RETENCION TIPO POZO
1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	0,3	1,0	1,0	0,4	1,1	1,6
3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,2	0,5	0,1	6,7	0,4	1,4	1,4	0,5	1,6	2,4
1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,7	0,2	8,2	0,5	1,7	1,7	0,7	2,1	3,2
1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,9	0,2	11,3	0,7	2,3	2,3	0,9	2,7	4,0
1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	1,0	0,3	13,4	0,9	2,8	2,8	1,0	3,2	4,8
2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,7	1,5	0,4	17,4	1,1	3,5	3,5	1,5	4,2	6,4
2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,9	1,9	0,4	21,0	1,3	4,3	4,3	1,9	5,2	8,1
3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,1	2,2	0,5	26,0	1,6	5,2	5,2	2,2	6,3	9,7
4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,6	3,2	0,7	34,0	2,1	6,7	6,7	3,2	8,4	12,9
6	3,4	4,3	4,9	2,3	2,5	5,0	1,1	51,0	3,4	10,0	10,0	5,0	12,5	19,3
8	4,3	5,5	6,4	3,0	3,5	6,0	1,4	67,0	4,3	13,0	13,0	6,0	16,0	25,0
10	5,5	6,7	7,9	3,8	4,5	7,5	1,7	85,0	5,5	16,0	16,0	7,5	20,0	32,0
12	6,1	7,9	9,5	4,6	5,5	9,0	2,1	102,0	6,1	19,0	19,0	9,0	24,0	38,0
14	7,3	9,5	10,5	5,3	6,2	11,0	2,4	120,0	7,3	22,0	22,0	11,0	28,0	45,0

Fuente: Silva Garavito[28] 1970

5.7.10. Características de la bomba

Para el diseño se debe contemplar qué tipo de bomba se va a utilizar, si ésta es de succión negativa es importante considerar el fenómeno de cavitación. Éste se genera como consecuencia de la vaporización del líquido dentro de la tubería; es decir, la presencia de aire dentro del sistema, lo cual contribuye a un mayor desgaste de la máquina. Para minimizar el efecto de la cavitación se calculará la "Cabeza Neta de Succión Positiva Disponible" (NPSHd), la cual nos indica la máxima altura de succión que otorga el sistema; adicionalmente se debe cumplir que la "Cabeza Neta de Succión Positiva Requerida" (NPSHr), cuyo valor lo proporciona el fabricante de la bomba, debe ser menor que el NPSH disponible, para evitar la cavitación.

El cálculo del NPSHd se debe hacer primero correcciones de la presión barométrica y de la presión de vapor de la siguiente manera:

Corrección de la presión barométrica:

$$\frac{Pa}{\gamma} = 10,33 - \left(\frac{1,2 * H_{snm}}{1000} \right) \quad (18)$$

Corrección de la presión de vapor:

$$\frac{Pv}{\gamma} = ((6 \times 10^{-7} * T^4) + (1 \times 10^{-5} * T^3) + (1,6 \times 10^{-3} * T^2) + (4,34 \times 10^{-2} * T) + (0,6102)) * \left(\frac{1000}{\frac{\rho}{g}} \right) \quad (19)$$

Donde:

Pa / γ : Presión barométrica corregida en el sitio (m)

H_{snm}: Altura sobre el nivel del mar de la bomba (m)

Pv / γ : Presión de vapor a la temperatura indicada (m)

T: Temperatura media del agua en el sitio de bombeo (°C)

ρ : Densidad del agua a la temperatura indicada (Kg/m³)

g: Valor de la aceleración de la gravedad (m/s²)

Ahora se determina el valor del NPSHd por medio de la siguiente ecuación:

$$NPSHd = \left(\frac{Pa}{\gamma} \right) + \left(\frac{Pv}{\gamma} \right) - Hd,s - M - N \quad (20)$$

Donde:

NPSHd: Cabeza neta de succión positiva disponible (m)

Pa / γ : Presión barométrica corregida en el sitio (m)

Pv / γ : Presión de vapor a la temperatura indicada (m)

Hd,s: Altura dinámica de la succión (m)

M: Corrección por posibles depresiones barométricas (m)
N: Corrección por vacío imperfecto de las bombas (m)

5.7.10.1. Potencia del motor de la bomba

Para hallar la potencia del motor de la bomba es necesario primero hallar la densidad relativa del agua, de la siguiente manera:

$$\gamma = \frac{\rho}{\rho_r} \quad (21)$$

Donde:

γ = Densidad relativa del agua

ρ = Densidad del agua a la temperatura indicada (°C)

ρ_r = Densidad del agua a 4°C

Adicionalmente es necesario que el fabricante proporcione el valor de la eficiencia de la bomba (η).

La potencia del motor se halla entonces, de la siguiente manera:

$$P = \left(\frac{g * Q_i * H_d}{\frac{\eta}{100} * 75} \right) \quad (22)$$

Donde:

P= Potencia del motor (HP)

g= Aceleración de la gravedad (m/s²)

Q_i= Caudal en la impulsión (l/s)

H_d=Altura dinámica total (m)

η = Eficiencia de la bomba (%)

5.7.10.2. Verificación de la cavitación en el sistema

En la "Curva Característica de la Bomba" se proporcionan datos sobre la eficiencia óptima del motor y la "Cabeza Neta de Succión Positiva Requerida" (NPSH_r), a partir de estos, se puede verificar la cavitación con la siguiente relación:

$$C = NPSH_d - NPSH_r \quad (23)$$

Si C > 0: "No se genera cavitación"

Si C < 0: "Se genera cavitación"

5.7.10.3. Golpe de Ariete

Un efecto que comúnmente se presenta en los sistemas de bombeo es el conocido como "Golpe de Ariete", el cual es una sobrepresión que se genera en la tubería de impulsión, debido principalmente a los eventuales cortes de energía eléctrica o a la suspensión del flujo. Por lo anterior, se procederá a calcular el efecto, para conocer la resistencia que debe tener la tubería en los puntos críticos donde se presente dicho fenómeno de sobrepresión.

Para determinar el Golpe de Ariete se deben considerar los siguientes factores:

- Velocidad del sonido en el agua (V_w)
- Módulo de elasticidad del agua (E_w)
- Material de la tubería de impulsión
- Diámetro de la tubería de impulsión (ϕ_i)
- Espesor pared tubería de impulsión (e) (Valor suministrado por el fabricante)
- Modulo de elasticidad de la tubería (E)
- Velocidad del agua en la impulsión (V_i)
- Aceleración de la gravedad (g)
- Altura estática de impulsión (h_i)

Con los valores anteriores, es necesario hallar la velocidad de la onda de presión (V_p) de la siguiente manera:

$$V_p = \frac{V_w}{\left(1 + \left(\frac{E_w * \phi_i}{E * e}\right) * \frac{1}{2}\right)} \quad (24)$$

También se debe hallar la sobrepresión producida por el golpe de ariete con la siguiente ecuación:

$$S = \left(\frac{V_i * V_p}{g}\right) \quad (25)$$

Ahora, la presión obtenida cuando ocurra golpe de ariete se calcula con la ecuación 26, (de acuerdo con el Literal B.8.5.7 del RAS 2000)

$$P = (h_i + S) \quad (26)$$

6. METODOLOGÍA

Para la elaboración del proyecto se escogió La Institución Educativa María Auxiliadora, la cual está ubicada en el centro del Municipio de Caldas, y pertenece al estrato 3. En la actualidad cuenta con 1300 personas entre estudiantes, profesores y empleados. La institución cuenta con servicios de agua potable, alcantarillado y electricidad, los cuales son prestados por Las Empresas Públicas de Medellín y son pagados por el Municipio de Caldas.

La infraestructura de la Institución está compuesta por dos pisos, los cuales cuentan con:

- 17 aulas
- Aula de cómputo
- Laboratorio
- Oficina de rectoría
- Oficina de coordinación
- 2 oficinas de secretaría
- Sala de profesores
- Patio de restaurante
- 3 patios de recreación
- Patio para tenis de mesa
- Cocina
- Cafetería
- Sala de materiales
- Sala de materiales de danza
- 29 baños, distribuidos de la siguiente manera:
 - 12 baños de niñas
 - 12 baños de niños + 5 orinales
 - 5 baños adicionales

En total la institución cuenta con un área de 3708m² entre los dos pisos, y un área útil de techos de 1667m², pero no existen jardines, por lo que se omitirá el uso de riego de jardines del diseño.

6.1. Componentes del Sistema

Los componentes utilizados para el desarrollo del diseño son los descritos en el marco teórico, pero 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 se omitirá el componente del filtro para éste 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 debe instalar entonces, un sistema de filtración, seguido de un sistema de tratamiento (desinfección). De ésta manera, los componentes seleccionados y su descripción se detallan a continuación:

6.1.1. Captación

En este caso la captación se realizará en los techos de la Institución Educativa, los cuales tienen adecuada pendiente (20%) y superficie que facilitan el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección.

El material de los techos de la Institución Educativa son las 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.

La geometría de los techos de la Institución, de acuerdo con los planos existentes, se asemeja a la representada en la Figura 6b).

6.1.2. Recolección y Conducción

La Institución ya cuenta con canaletas tipo Raingo® (Figura 7d) y bajantes en PVC de 4", que recolectan y conducen el agua lluvia por todos los techos hacia el alcantarillado, por lo tanto para éste 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 las hojas, lo palos, entre otros (Figura 7c).

6.1.3. Interceptor de Primeras Aguas

El diseño del interceptor propuesto consta de un tanque, de dimensiones determinadas según el modelo de cálculos mencionado en el marco teórico, al cual entrará el agua por medio de un bajante unido a las canaletas. El tanque interceptor contará con una válvula de flotador que permitirá 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.

6.1.4. Almacenamiento

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

6.1.5. 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 éste diseño dicha red sólo llegará a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia, es decir, sanitarios, orinales y lava-escobas, pero la red existente que abastece dichas unidades continuará suministrando agua potable, en los meses en los que el agua lluvia no alcanza a cubrir la demanda completa, así que deberá protegerse la red de suministro de agua potable con una válvula de cheque para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable.

El sistema de bombeo se especifica en el modelo de cálculos y en los resultados. El agua bombeada se distribuirá hacia las unidades sanitarias mencionadas

anteriormente. 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.

6.2. 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[6,7], 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.

6.3. MODELO DE CÁLCULOS

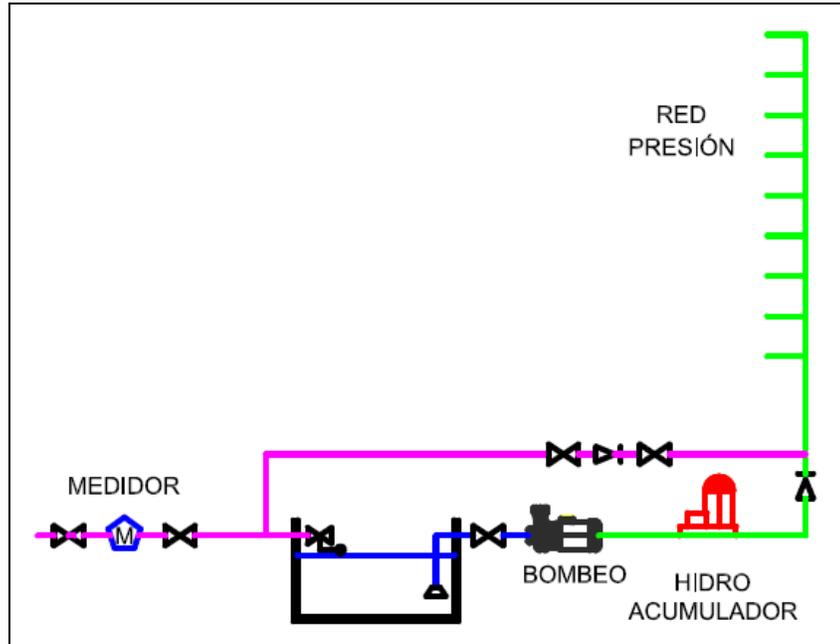
Los parámetros básicos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del diseño fueron los siguientes, según la metodología mencionada en el marco teórico:

- 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 y julio, en los cuales se tienen en cuenta 520 personas y en octubre y marzo (suponiendo marzo como mes constante de semana santa) se tomarán 997 personas.
- Tipo de material del área de captación: Tejas de arcilla
- Coeficiente de escurrimiento (Ce)= 0.8 (CEPIS [6])
- Dotación para alumno externo (Dot)= 40 L/hab/día (Melguizo [23])
- Área de captación (Ac)= 1447 m² (área necesaria para abastecer la demanda, la cual es menor al área útil de techos). Las áreas captadas se muestran en el plano anexo.

La determinación de la precipitación promedio mensual, la demanda (total y acumulada), la oferta (total y acumulada), el volumen de almacenamiento, el potencial de ahorro de agua potable y la red de distribución con su sistema de bombeo, fueron calculados siguiendo las ecuaciones 1 a la 26, planteadas en el modelo de cálculos del marco teórico.

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. El sistema propuesto está representado con la Figura 11.

Figura 11. Sistema de bombeo



Fuente: Notas de clase "Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias". Universidad de Antioquia. 2007.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido a la buena disponibilidad de aguas lluvias presente en el municipio de Caldas, la adecuada área de captación y el 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.

Los valores de consumo y costo de agua potable para la institución evaluada son los siguientes.

Tabla 3. Valores de consumo y costo de agua potable, de seis meses, en la Institución Educativa María Auxiliadora.

MES	CONSUMO AGUA POTABLE (m ³)	COSTO POR CONSUMO AGUA POTABLE (\$)	COSTO DEL AGUA POR METRO CÚBICO (\$)
Junio	457	491.657	1075,84
Julio	418	450.287	1077,24
Agosto	369	398.331	1079,49
Septiembre	490	526.631	1074,76
Octubre	539	578.587	1073,45
Noviembre	462	496.941	1075,63
Promedio	455,8	490.405,7	1075,92

Fuente: Elaboración propia según facturación EPM Junio-Noviembre 2009.

7.1. Precipitación promedio mensual (Ppi)

De acuerdo con la ecuación 1, la precipitación promedio mensual (sin tener en cuenta la evaporación), expresada en mm, equivale a la precipitación promedio mensual en litros por metro cuadrado, pues se requiere de 1mm de agua para mojar 1m² de área (Hernández [18]). Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Los periodos en los cuales se presentaron fenómenos hidrológicos de El Niño y La Niña se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Fenómenos de El Niño y La Niña entre 1998 y 2008

FENÓMENO	INICIA	FINALIZA
El Niño	Enero 1998	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

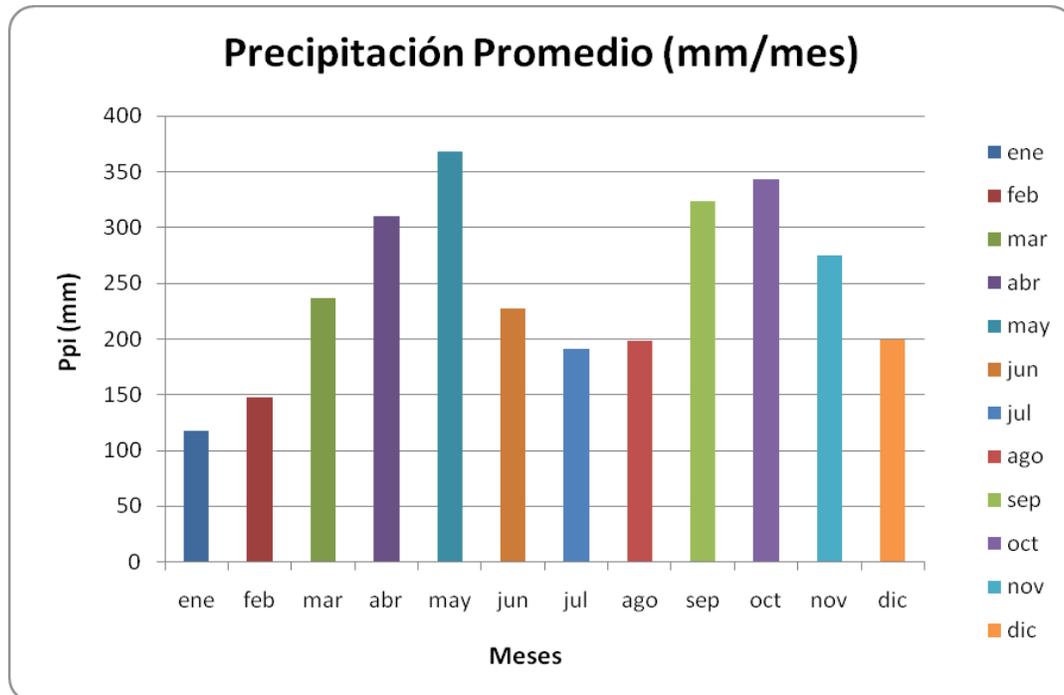
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del National Oceanic and Atmospheric Administration- NOAA[9].

Tabla 5. Valores de precipitación promedio mensual en litros por metro cuadrado para los 10 años analizados

MES	Ppi (L/m ²)
Enero	117,68
Febrero	147,69
Marzo	236,55
Abril	309,85
Mayo	368,07
Junio	227,40
Julio	190,80
Agosto	198,29
Septiembre	323,43
Octubre	343,77
Noviembre	275,44
Diciembre	199,49
Promedio anual	2938,4

Fuente: Elaboración propia según datos pluviométricos de la Estación La Salada, Caldas, años 1998-2008.

Figura 12. Precipitación promedio mensual durante 10 años (sin evaporación).



Fuente: Elaboración propia

Los datos analizados muestran que en promedio, el mes más lluvioso del año es mayo, con valores superiores a los 350mm al mes y que el mes más seco es enero.

Para la determinación de los parámetros mencionados en el marco teórico, y lograr obtener adecuadamente el volumen de almacenamiento de agua lluvia y el potencial de ahorro de agua potable, según la metodología del CEPIS [6,7], se debe distribuir la precipitación ubicando en la fila superior el mes de mayor lluvia durante los 10 años evaluados y se continua con el orden regular de los meses siguientes. La oferta de agua lluvia se calculó teniendo como base un área de captación de 1447m², esto debido a que si se captaba la totalidad del área útil (1667m²), los volúmenes de almacenamiento serían muy grandes y habría un sobredimensionamiento del sistema con respecto a la demanda, por lo tanto, la definición del área de captación se realizó tanteando la capacidad máxima de almacenamiento de acuerdo con el área disponible dentro de la instalación. Las áreas de los techos a captar, son mostradas en el plano anexo. La determinación de la demanda acumulada y de la oferta acumulada se realizó según el procedimiento descrito anteriormente, en el que la diferencia entre estos dos parámetros arroja los valores del volumen almacenado durante cada mes. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 6. Resultados de precipitación promedio mensual, demanda y oferta mensual, demanda y oferta acumulada, volúmenes de almacenamiento y potencial de ahorro de agua potable.

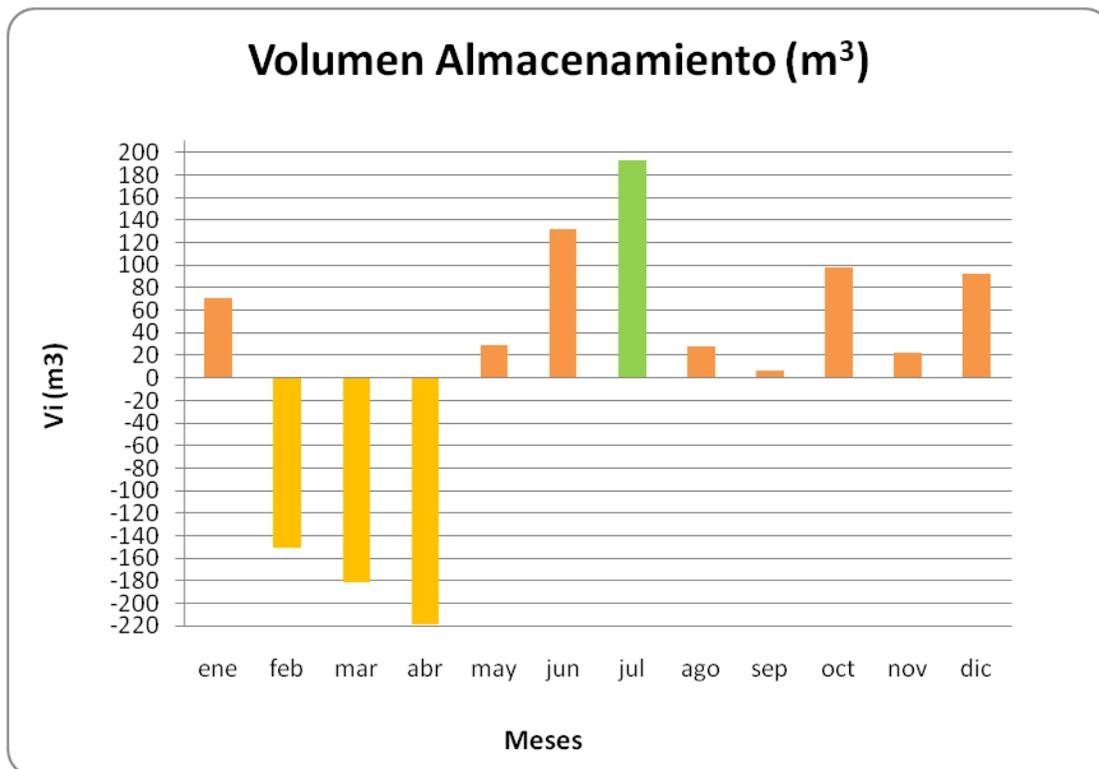
Mes	Ppi (L/m ²)	Días mes	Demanda, Di (m ³ /mes)	Dai (m ³ /mes)	Oferta, Ai (m ³ /mes)	Aai (m ³ /mes)	Volumen, Vi (m ³ /mes)	PPWS (%)
Mayo	368,07	31	390,0	390,0	418,84	418,84	28,84	107,39
Junio	227,40	30	156,0	546,0	258,76	677,60	131,60	124,10
Julio	190,80	31	156,0	702,0	217,11	894,71	192,71	127,45
Agosto	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

Fuente: Elaboración propia

7.2. Volumen de almacenamiento de agua lluvia.

El volumen de almacenamiento mensual se presenta en la Figura 13.

Figura 13. Volúmenes de almacenamiento de agua lluvia, por mes.



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con los resultados de la Tabla 6.

La figura 13 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. Esos 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 4, en donde 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.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 6 y la Figura 13, 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; 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 volumen de almacenamiento del tanque es el mayor valor obtenido de la acumulación de agua lluvia, es decir, el mayor volumen acumulado equivale al mes de julio con un valor de 192.71m^3 . Este volumen permitirá

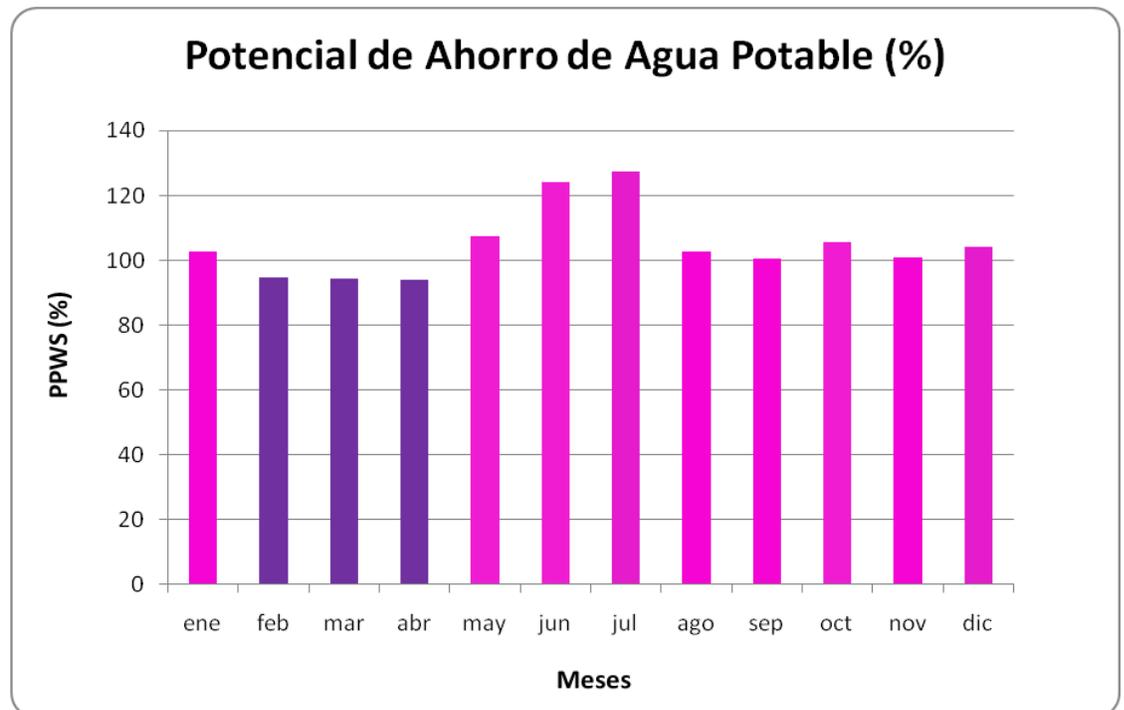
abastecer a la institución durante nueve (9) meses. Para los demás meses se completará el consumo con agua potable, como se mencionó anteriormente.

Para efectos constructivos se propone construir un tanque enterrado de 200m³ 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.

7.3. Potencial de Ahorro de Agua Potable

Éste 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 6 y la Figura 14, 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 el 104,85% de la demanda será cubierta por agua lluvia, lo cual representa un valor muy alto que permite la justificación técnica de éste proyecto.

Figura 14. Potencial de Ahorro de Agua Potable, por mes.



Fuente: Elaboración propia de acuerdo con los resultados de la Tabla 6.

7.4. 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, de acuerdo con la ecuación 9, para un área de 1447m², el volumen de agua lluvia que no será almacenado es de 1447 litros, lo que equivale a un tanque de **1500 litros**. Debido a que éste 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. Éste interceptor se ubicará a la entrada del tanque de almacenamiento, a nivel del suelo del patio.

7.5. 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 siguiente tabla. La ubicación de los tramos y de las redes se muestra en el plano anexo. El punto 'A' indica el lugar de bombeo hacia los diferentes puntos de abastecimiento. El caudal total requerido para el funcionamiento de los sanitarios y los lava-escobas es la suma de los caudales de los tramos A-C y A-B y el diámetro del tramo es obtenido a partir de la Tabla 1 de "Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones. Segunda parte." Samuel Melguizo. Pág 119.

Tabla 7. Dimensionamiento de las redes de distribución.

Baños	Tramos	Aparato	n	Qi (L/s)	Gasto Max. Posible	GMP (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
	A-B	Inodoro tanque	17	0,15	2,55	2,85	2"	17,0
		Lava-escobas	1	0,3	0,3			
GMP Total						6		

Fuente: Elaboración propia

7.6. Sistema de bombeo

El diseño del sistema de bombeo se puede resumir en la Tabla 8:

Tabla 8. Dimensionamiento del sistema de bombeo

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 disp.	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

Fuente: Elaboración propia

7.7. 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 9. Cantidades de obra y presupuesto para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1	TANQUE ALMACENAMIENTO				
1.1	Replanteo	día	1,0	150.000	150.000
1.2	Rotura y retiro de pavimento rígido	m ³	15,0	80.000	1.200.000

1.3	Excavación manual en material común húmedo 0-2 m	m ³	200,0	8.000	1.600.000
1.5	Entibado temporal 0-2 m	m ²	250,0	12.000	3.000.000
1.6	Llenos con material selecto de la excavación	m ³	140,0	5.000	700.000
1.7	Llenos compactado mecánicamente con material de préstamo (con densidad > 90% del Proctor Modificado)	m ³	60,0	45.000	2.700.000
1.8	Regada de material excedente de la excavación	m ³	60,0	10.000	600.000
1.9	Entresuelo en piedra para afirmado e = 0,20 m	m ³	20,0	50.000	1.000.000
1.10	Solado en Concreto f'c =140 Kg/cm ² e= 0,05 m	m ³	3,3	160.000	533.333
1.11	Concreto f'c =245 Kg/cm ² para losas de fondo incluye impermeabilizante y aditivos de fraguado	m ³	25,0	480.000	12.000.000
1.12	Concreto f'c =245 Kg/cm ² para muros, incluye formaletería e impermeabilizante	m ³	25,6	520.000	13.325.000
1.13	Concreto f'c =245 Kg/cm ² para tapas, incluye formaletería e impermeabilizante	m ³	25,0	520.000	13.000.000
1.14	Acero de refuerzo fy = 60.000 p.s.i. (norma NTC 2289)	kg	7.593,8	4.200	31.893.750
1.15	Cinta PVC de e = 22 cm para juntas de construcción	ml	41,0	32.000	1.312.000
SUBTOTAL TANQUE ALMACENAMIENTO					83'014.083
2 INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS					
2.1	Tanque interceptor de 2000 L	un	1,0	520.000	520.000
2.2	Válvula de bola tipo llave de 1/2"	un	1,0	15.000	15.000
2.3	Válvula flotador 2"	un	1,0	170.000	170.000
SUBTOTAL INTERCEPTOR					705.000
3 SISTEMA DE BOMBEO					
3.1	Motobomba centrífuga horizontal de uso general marca IHM de la serie HY - FLO	un	1,0	1.712.640	1.712.640
3.2	Tanque metálico con membrana para equipo hidrófó marca IHM	un	1,0	1.472.280	1.472.280
3.3	Arrancador directo en caja plástica debidamente alambrado, material Siemens o de similar calidad para el trabajo de 1 motobomba con motor de 5.0HP/220V/3F/ (11-16A) 60Hz de incluyendo contactor, relé bimetálico y botones star stop.	un	1,0	501.360	501.360

3.4	Accesorios normales de instalación para equipo hidroflo incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> • 1 switch flotador para control de nivel • 1 presóstato rango 40-60 PSI • 1 manómetro • 1 válvula cheque hidro 2" • 2 válvulas paso libre Red White de 2" (succión, descarga) • 1 válvulas paso libre Red White de 1 1/2" (tanque) • 1 válvula de paso libre Red White de 1" (desagüe tanque) 	un	1,0	1.035.424	1.035.424
SUBTOTAL SISTEMA DE BOMBEO					4'721.704
4 SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN					
4.1	Tubería ventilación PVC 4" para bajantes	ml	24,0	45.000	1.080.000
4.2	Codos, semicodos, uniones	glb	4,8	12.000	57.600
4.3	Pintura coraza	gal	0,5	16.000	8.000
4.4	Brocha, Thinner	glb	1,0	15.000	15.000
SUBTOTAL SISTEMA RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN					1'160.600
5 RED DE DISTRIBUCIÓN					
5.1	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 3/4"	ml	8,0	7.510	60.080
5.2	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 1/2"	ml	35,0	7.500	262.500
5.3	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 1"	ml	33,0	8.400	277.200
5.4	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 1 1/4"	ml	37,0	10.640	393.680
5.5	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 1 1/2"	ml	2,0	12.190	24.380
5.6	Suministro e instalación de Tubería presión PVC 2"	ml	4,0	15.750	63.000
5.7	Construcción de Cámara de aire para golpe de ariete	un	60,0	12.000	720.000
5.8	Suministro e instalación de Salida de presión en 1/2"	un	29,0	30.000	870.000
5.9	Suministro e instalación de Válvula de cierre 1/2"	un	33,0	40.000	1.320.000
5.10	Suministro e instalación de Válvula de cierre 1"	un	6,0	58.000	348.000
SUBTOTAL SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN					4'338.840
TOTAL COSTOS DIRECTOS					93'940.227

Fuente: Elaboración propia. Valores en pesos colombianos año 2009.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 6, 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 (según valores de la Tabla 3), el pago por estos tres meses sería el siguiente:

Tabla 10. Costo de agua potable para cubrir la demanda faltante

MES	VOLUMEN DE AGUA POTABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA (m ³)	COSTO POR m3 AGUA POTABLE (\$/mes)
Febrero	151,14	162.615
Marzo	181,06	194.806
Abril	218,48	235.067
TOTAL al año	550,68	592,488

Fuente: Elaboración propia. 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 (según valores de la Tabla 3), implementando el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, se tendría que hacer una inversión inicial alta, de acuerdo con la Tabla 9, 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 8 (un total de 94'532.715 pesos), es decir que para implementar el sistema de aprovechamiento de agua lluvia, la inversión inicial se recuperaría en 16 años aproximadamente.

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 éste tipo de proyectos para lograr su implementación. Así el presupuesto de la Institución, ni el de la Alcaldía estarían comprometidos y adicionalmente dejarían de pagarse los seis (6) millones aproximados al año por agua potable.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que el proyecto cumple el objetivo general en cuanto a que es técnicamente viable para hacer un uso eficiente del agua dentro de las instituciones educativas, pues con la precipitación de la zona y el espacio disponible, se logra abastecer completamente los sanitarios y lava-escobas durante nueve meses del año, y los tres 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 6 y la Figura 11), 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 externa para desarrollar el proyecto.

Se debe tener presente que el sistema está diseñado para las condiciones hidrológicas presentadas en las Tablas 4 y 5, 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 éste 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.

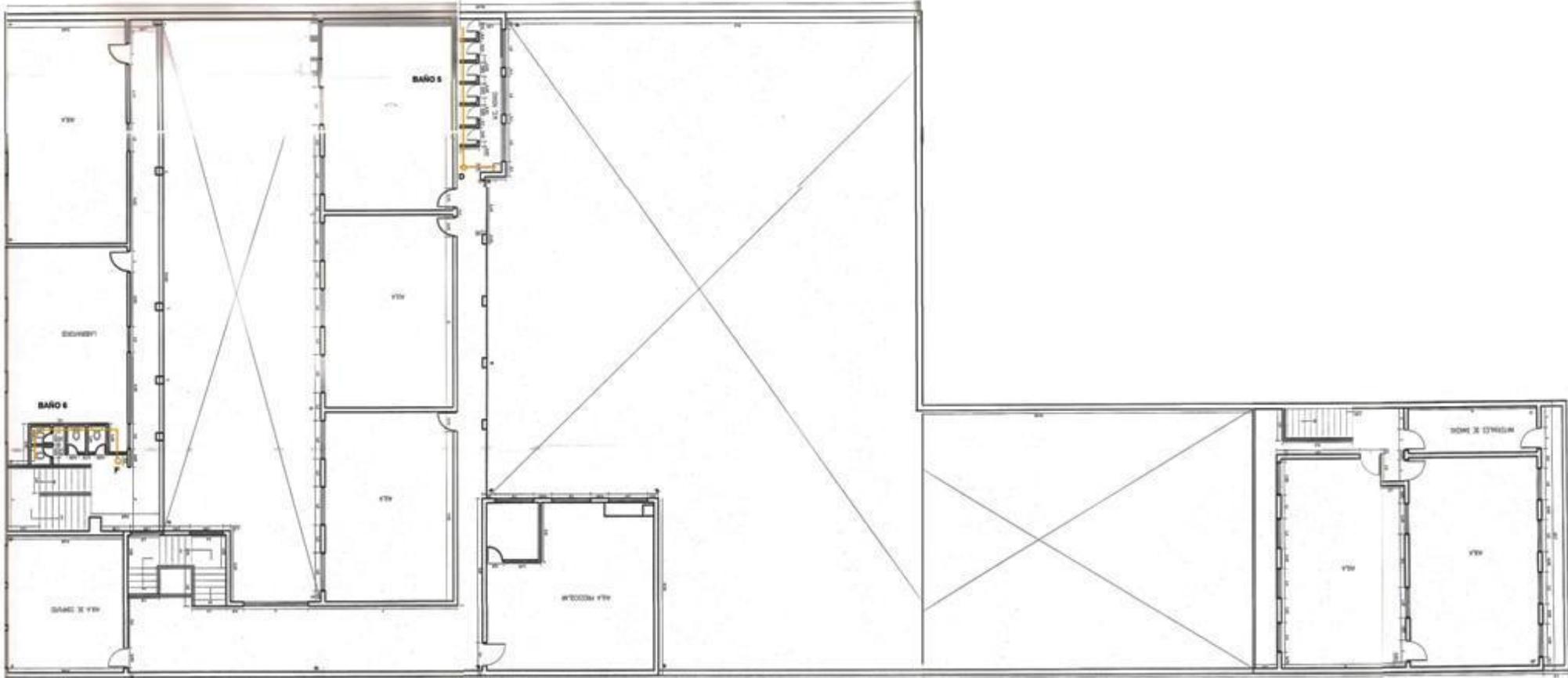
9. BIBLIOGRAFÍA

1. Abdulla, F.A. and Al-Shareef, A. Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan. *October*, (2006), 291-300.
2. Abdulla, F.A. and Al-Shareef, A. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination* 243, 1-3 (2009), 195-207.
3. Ballén S., J.A., Galarza G., M.A., and Ortiz M., R.O. Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia para Vivienda Urbana. *VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua.*, (2006).
4. Ballén S., J.A., Galarza G., M.A., and Ortiz M., R.O. Historia de los Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia. *VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua.*, (2006).
5. Base Sólida. Municipio de Caldas. 2009.
<http://www.caldasantioquia.gov.co/Sitio/Index.asp?LANG=&IP=6>.
6. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente., Organización Panamericana de la Salud, and Organización Mundial de la Salud. Especificaciones Técnicas Captación de Agua de Lluvia para Consumo Humano. 2003.
7. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente., Organización Panamericana de la Salud, and Organización Mundial de la Salud. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. 2004.
8. Cheng, C. and Liao, M. Regional rainfall level zoning for rainwater harvesting systems in northern Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling* 53, 8 (2009), 421-428.
9. Climate Prediction Center Internet Team. National Water Service. Climate Prediction Center. http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.
10. Corcho R., F.H. and Duque S., J.I. *Acueductos Teoría y Diseño*. Universidad de Medellín, Medellín, 1993.
11. Departamento Nacional de Planeación. Determinación de los consumos básicos de agua potable en Colombia. 1991.
12. Departamento Nacional de Planeación. Conpes Social 91. "Metas y estrategias de Colombia para el logro de los Objetivos Del Milenio- 2015". 2005.
13. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS 2000. Título B. Sección II. Sistemas de Acueducto. 2000, 206.

14. Evans, C.A., Coombes, P.J., and Dunstan, R.H. Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. *Water research* 40, 1 (2006), 37-44.
15. Fewkes, A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment* 34, (1999), 765-772.
16. Ghisi, E., Bressan, D., and Martini, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*. 42, 4 (2007), 1654-1666.
17. Ghisi, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment* 41, 11 (2006), 1544-1550.
18. Hernández M., F. Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria.
19. Herrmann, T. and Schmida, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*. 1, 1999 (2000), 307-316.
20. Instituto De Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Estudio Nacional del Agua. 2000.
21. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia. Estudio Nacional del Agua Relaciones de demanda de agua y oferta hídrica. 2008.
22. Lara B, A.J., Torres A., A.E., Campos P., M.C., Duarte C., L., Echeverri R., J.I., and Villegas G., P.A. Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). 2 (2007), 193-202.
23. Melguizo B., S. *Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones. Primera parte*. Centro de publicaciones Universidad Nacional., Medellín, 1977.
24. Melguizo B., S. *Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones. Segunda parte*. Centro de publicaciones Universidad Nacional., Medellín, 1980.
25. Naciones Unidas. El agua, una responsabilidad compartida. 2do informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo. *Confluencia Revista Hispanica De Cultura Y Literatura*, 2006.
26. Nolde, E. Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination* 215, 1-3 (2007), 1-11.

27. Sazakli, E., Alexopoulos, A., and Leotsinidis, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water research* 41, 9 (2007), 2039-47.
28. Silva G., L.F. *Diseño de Acueductos y Alcantarillados*. Bogotá, D.C., 1970.
29. Su, M., Lin, C., Chang, L., Kang, J., and Lin, M. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resources, Conservation and Recycling* 53, 7 (2009), 393-399.
30. Veenhuisen, R. and Prieto C., M. Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Experiencias en América Latina. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 13. 1991, 1-5.
31. Villareal, E. and Dixon, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment* 40, 9 (2005), 1174-1184.
32. Water Texas Development Board. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. *Development*, 2005.

PLANO DE LA INSTITUCIÓN, SEGUNDO PISO



PLANO DE LA INSTITUCIÓN, TECHOS

