



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA EN EL DESARROLLO DE
OBRA CIVIL**

MARIA FERNANDA CAMELO CAPADOR

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Departamento de Construcción

Bogotá, Colombia

2017

APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA EN EL DESARROLLO DE OBRA CIVIL

MARIA FERNANDA CAMELO CAPADOR

Tesis como requisito parcial para optar al título de:

MAGISTER EN CONSTRUCCIÓN

Director:

MIGUEL ARTURO GAMBA FUENTES

Arquitecto MSc

Línea de Investigación:

Sostenibilidad

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Departamento de Construcción

Bogotá, Colombia

2017

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, Noviembre de 2017

A mi esposo, mi fiel compañero, quien me apoya en cada momento y decisión, y a mi familia que me guía, y siempre está presente.

Resumen

El constante crecimiento de la población y el poco cuidado que se tiene por los recursos naturales crea la obligación de buscar alternativas de solución para el cuidado del medio ambiente. El enfoque del presente proyecto de investigación es hacia el agua, recurso vital para la sobrevivencia del ser humano, pero que con el paso de los años se vuelve más escasa debido al uso inadecuado y a la contaminación por parte de la humanidad.

Con este trabajo de investigación se pretende describir el proceso necesario para aprovechar el agua lluvia en una obra, con el fin de que los grandes constructores encuentren en el agua lluvia un recurso natural que puede ser aprovechado, no solamente en el producto final que entregan, es decir para riego de jardines o descargas de sanitarios, sino también como un recurso aprovechado desde el desarrollo mismo de la obra, como alternativa que reemplace el agua potable en las actividades que no la requieran.

Mediante la guía aquí presentada, el constructor podrá identificar las actividades que pueden reemplazar el agua potable por agua lluvia, la forma de calcular la demanda de agua que podrá reemplazar por agua lluvia en el proceso de desarrollo de las obras y la forma de calcular la oferta según las precipitaciones mensuales de la región analizada. Con el fin de evaluar qué tanto es el consumo de agua y qué tanto se puede ahorrar, se toma como ejemplo un proyecto de vivienda multifamiliar, con el cual se determina el volumen de agua utilizada en la obra en actividades que puede hacer uso de agua lluvia y volumen de agua captada.

Palabras clave: (agua, lluvia, recurso, potable, oferta, demanda, obra, proceso constructivo)

Abstract

The continuous growth of the population and the lack of care of natural resources, create the responsibility to search new possible solutions to protect the environment. This research project has as approach: the water, a vital resource for the human survival that has become, over the years, limited as a result of the inadequate use and the pollution.

This research project expects to describe the necessary draft to take advantage of the rainwater in a construction work, in order that the great builders find the rainwater as a natural resource that can be used not only in the final product, that means the watering gardens or the sewage station, but also as a tapped resources in its development, as a possibility to replace potable water in activities that do not require it.

In this project, the builders can identify the activities that will replace the potable water in rainwater, the way to calculate the water demand that would be replaced by rainwater, in the process of developing the construction works. And the way to calculate the supply according to the monthly precipitation in the analyzed region. In order to assess how much water use is and how much can be save, we take as an example a multifamily housing project, with which we can identify the volume of water used in the construction work activities that can make use of the rainwater and the volume of water collected.

Keywords: (Water, rain, resource, potable, supply, demand, construction work, design process)

Contenido

	<u>Pág.</u>
Resumen	VI
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas.....	XII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIII
1. Introducción.....	17
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Pregunta de Investigación	19
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 Antecedentes.....	20
1.4.1 Aprovechamiento de agua lluvia en el mundo.....	20
2. Marco Teórico	27
2.1 Panorama mundial del agua	27
2.2 Panorama del agua en Colombia	28
2.2.1 Agua lluvia en Colombia.....	32
2.2.2 Panorama del agua en Bogotá.....	36
2.2.3 Agua lluvia en Bogotá D.C.	39
2.3 Componentes de un sistema de agua lluvia	41
Figura 2-8: Componentes de un sistema de agua lluvia	42
2.3.1 Área de captación	43
2.3.2 Conducción	43
2.3.3 Filtración o tratamiento.....	43
2.3.4 Almacenamiento	44
2.3.5 Distribución	45
2.4 Tecnologías de aprovechamiento de agua lluvia	45
2.4.1 Ecobloc inspect flex drenaje sostenible (graf), (alemania)	45
2.4.2 Depósito carat (graf), (alemania).....	46
2.4.3 Aquacell (wavin - pavco), (reino unido)	47
2.4.4 Stormtech (ads tigre), (estados unidos).....	48
2.4.5 Flo-tank (atlantis), (australia).....	49

2.5	Tecnologías ahorradoras de agua	50
2.5.1	Sanitarios con tecnología de vacío.....	50
2.5.2	Sanitarios ahorradores	51
2.5.3	Sensores infrarrojos	51
2.5.4	Temporizador o push – button.....	52
2.5.5	Regulador de caudal	52
2.5.6	Perlizador	53
3.	Guía de aprovechamiento de agua lluvia en el desarrollo de la obra civil.....	54
3.1	Ciclo de la obra.....	54
3.2	Ciclo del agua en el proceso constructivo.....	56
3.3	Identificación del agua en las obras de construcción	57
3.3.1	Agua como componente indispensable.....	58
3.3.2	Agua como componente de desarrollo del proceso.....	59
3.3.3	Agua como componente auxiliar	59
3.3.4	Agua como componente de pruebas.....	60
3.4	Cálculo de la demanda	60
3.5	Resultados cálculos de demanda	63
3.5.1	Volumen de agua como componente indispensable	63
3.5.2	Volumen de agua como componente de desarrollo del proceso	64
3.5.3	Volumen de agua como componente auxiliar.....	70
3.5.4	Volumen de agua como componente de pruebas	76
3.5.5	Resumen de volúmenes de agua (Demanda)	78
3.6	Cálculo de la oferta.....	79
3.6.1	Información pluviométrica	80
3.6.2	Coeficiente de escorrentía	87
3.6.3	Oferta de agua en el mes.....	87
3.7	Resultados cálculo de la oferta.....	88
3.7.1	Volumen de almacenamiento de agua lluvia.	88
3.8	Buenas prácticas en el manejo del agua	91
3.9	Resumen de pasos para aprovechar agua lluvia durante el desarrollo de la obra civil. 95	
4.	Ejemplo de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda multifamiliar en la ciudad de Bogotá.....	98
4.1	Datos del proyecto	98
4.2	Identificación de las actividades en las que se va a reemplazar el uso del agua potable por agua lluvia:	100

4.3	Cantidades de obra de las actividades a reemplazar el agua potable por agua lluvia.	100
4.4	Programación de obra	102
4.5	Calcular la demanda	105
4.6	Calcular oferta	107
4.7	Programación de obra de las actividades a reemplazar agua potable por agua lluvia (ciclo del agua en la obra)	109
4.8	Aprovechamiento de agua lluvia en el uso final	113
5.	Conclusiones	115
5.1	Conclusiones y recomendaciones	115
6.	Bibliografía.....	118
7.	Referencias Bibliográficas.....	122

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 1-1: Aprovechamiento de agua lluvia en el mundo	21
Figura 2-1: Distribución del agua en la tierra.....	27
Figura 2-2: Oferta nacional Hídrica en Colombia	29
Figura 2-3: Distribución de las cabeceras municipales identificadas con condiciones de desabastecimiento, por área hidrográfica	30
Figura 2-4: Distribución cabeceras municipales según tipo de fuente de abastecimiento	30
Figura 2-5: Rendimiento Hídrico	33
Figura 2-6: Sistema de captación de aguas del acueducto de Bogotá.....	37
Figura 2-7: Conductividad y pH de la lluvia en Bogotá, 2001-2006.....	41
Figura 2-8: Componentes de un sistema de agua lluvia	42
Figura 2-9: Sistema Ecobloc inspect flex	46
Figura 2-10: Deposito Carat.....	47
Figura 2-11: Sistema AQUACELL.....	48
Figura 2-12: Sistema STORMTECH	48
Figura 2-13: Sistema FLO-TANK	49
Figura 2-14: Sanitario con tecnología de vacío	51
Figura 2-15: Sanitarios ahorradores.....	51
Figura 2-16: Grifería con sensores infrarojo.....	52
Figura 2-17: Grifería tipo push	52
Figura 2-18: Reguladores de Caudal	52
Figura 2-19: Perlizador	53
Figura 3-1: Ciclo de la obra.....	55
Figura 3-2: Ciclo del agua en el proceso constructivo.....	58
Figura 3-3: Precipitación promedio mensual - Estación Emmanuel D'Alzon	83
Figura 3-4: Precipitación promedio mensual - Estación El Dorado	84
Figura 3-5: Precipitación promedio mensual – Estación IDEAM Kra. 10.....	85
Figura 3-6: Precipitación promedio mensual estación Santa María de Usme	86
Figura 3-7: Buenas prácticas del manejo del agua	91

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 2-1: Clasificación del agua lluvia de acuerdo al pH.	35
Tabla 3-1: Resumen de ecuaciones para calcular volúmenes de agua	62
Tabla 3-2: Tiempos aproximados para curar una columna de 0.7x0.7x2.5m	67
Tabla 3-3: Tiempos aproximados para el lavado de llantas de una volqueta o mixer.	71
Tabla 3-4: Referencia ficha técnica hidrolavadora	71
Tabla 3-5: Referencia ficha técnica de hidrolavadora industrial	75
Tabla 3-6: Tiempos aproximados para prueba de hermeticidad de una ventana de 1mx1m.	76
Tabla 3-7: Lámina de agua para prueba de estanqueidad en cubiertas.....	77
Tabla 3-8: Resumen demanda de agua en el desarrollo de obra.....	79
Tabla 3-9: Valores totales mensuales de precipitación Estación Emmanuel D'Alzon	81
Tabla 3-10: Valores totales mensuales de precipitación Estación El Dorado.....	81
Tabla 3-11: Valores totales mensuales de precipitación Estación IDEAM Kra.10	82
Tabla 3-12: Valores totales mensuales de precipitación Estación Santa María de Usme	82
Tabla 3-13: Valores de precipitación promedio mensual por los 15 años analizados. Zona Norte.....	83
Tabla 3-14: Valores de precipitación promedio mensual por los 15 años analizados. Zona Occidental.....	84
Tabla 3-15: Valores de precipitación promedio mensual por los 15 años analizados. Zona Oriental	85
Tabla 3-16: Valores de precipitación promedio mensual por los 11 años analizados. Zona Sur	86
Tabla 3-17: Coeficiente de escorrentía	87
Tabla 3-18: Volumen de almacenamiento de agua lluvia zona Norte	88
Tabla 3-19: Volumen de almacenamiento de agua lluvia zona Occidental	89
Tabla 3-20: Volumen de almacenamiento de agua lluvia zona Oriental.....	89
Tabla 3-21: Volumen de almacenamiento de agua lluvia zona Sur.....	90
Tabla 3-22: Comparación de volúmenes según estación pluviométrica.....	90

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolo	Definición
d	día
	-
gpf	galones por descarga
hc	hora cuadrilla
Kg	Kilogramo
Km ²	Kilómetro cuadrado
l	litro
lpf	litros por descarga
m	metro
min	minuto
ml	metro lineal
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
Q	caudal
r	radio
s	segundo
Sant	sanitario
T	Tiempo
V	Volumen
Volq	Volqueta
%	porcentaje

Glosario

Agua cruda Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.

Agua de escorrentía Son las aguas que caen y corren sobre los techos de los edificios, en calles, aceras y en cualquier otra superficie impermeable durante un evento de lluvia.

Agua lluvia Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

Agua potable Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

Agua superficial son aquellas que se encuentran sobre la superficie del suelo. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas.

Captación Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

Ciclo hidrológico es un proceso complejo que incluye por un lado las precipitaciones (tanto bajo la forma de agua líquida como de nieve o hielo), que son las que periódicamente aportan agua a la superficie de la tierra y por otro lado la evaporación (tanto directa, como indirecta, a través de las plantas), la infiltración con o sin recarga de los reservorios subterráneos, el afloramiento de manantiales y finalmente, el escurrimiento (superficial, torrencial, fluvial).

Coefficiente de escorrentía Relación que existe entre la escorrentía y la cantidad de agua lluvia que cae en una determinada área.

Conducción Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o a presión.

Contaminación del agua Alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

Constructor Esta palabra etimológicamente está compuesto del verbo activo transitivo “construir” y del sufijo “tor” que indica como agente o instrumento, también procede del latín “constructor”. La definición de constructor es el que construye, cimienta, edifica, fabrica y levanta cualquier obra de albañilería ingeniería y la arquitectura.

Cuadrilla Una cuadrilla es la forma en como son agrupados los trabajadores para realizar un determinado trabajo, de forma eficiente. La cuadrilla AA corresponde a la Albañilería y está conformada por un oficial y un ayudante, los cuales ejecutan las tareas más comunes en obra entre las que se incluyen excavación, rellenos, demoliciones, cimentación, estructuras en concreto, mampostería, enchapes, cubiertas, fachadas y pisos.

Demanda Se define como la cantidad y calidad de bienes y servicios que pueden ser adquiridos

Desarenador Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica.

Directiva Marco del Agua (DMA) Es una norma del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas. Nace con la vocación de garantizar la protección de las aguas y promover un uso sostenible que garantice la disponibilidad del recurso natural a largo plazo.

Dosificación Determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias.

Evapotranspiración Es la consideración conjunta de dos procesos diferentes: la evaporación y la transpiración. La primera es el fenómeno en el que el agua pasa de líquido a vapor y la transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera. Toman agua del suelo a través de sus raíces, toman una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo traspiran.

Impacto ambiental: cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso, o benéfico, total o parcial como resultado de un proyecto, obra o actividad.

Intensidad de precipitación Cantidad de agua lluvia caída sobre una superficie durante un tiempo determinado.

Lluvia Ácida Se forma cuando la humedad del aire se combina con los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre y el trióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas, calderas de calefacción y vehículos que queman carbón o productos derivados del petróleo que contengan azufre. En interacción con el agua de la lluvia, estos gases forman ácido nítrico, ácido sulfuroso y ácido sulfúrico. Finalmente, estas sustancias químicas caen a la tierra acompañando a las precipitaciones, constituyendo la lluvia ácida.

Obra civil está vinculada al desarrollo de infraestructuras para la población.

Oferta Se define como la cantidad de bienes o servicios que los productores están dispuestos a ofrecer.

Precipitación es el volumen de agua que cae por acción de la gravedad sobre la superficie terrestre en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo procedentes de la condensación del vapor de agua.

pH: Medida de la acidez o basicidad de una solución. Se indica con una escala logarítmica cuyos valores usuales van de 0 a 14. El valor 7 corresponde al agua pura y las soluciones neutras

Rebosadero Estructura hidráulica destinada a evitar que el nivel del agua sobrepase una cota determinada; permite la evacuación del agua de exceso en un embalse, tanque o cualquier estructura que almacene agua hacia un lugar conveniente.

Recurso natural es un bien o servicio proporcionado por la naturaleza sin alteraciones por parte del ser humano.

Recurso renovable Es un recurso natural que se puede restaurar por procesos naturales a una velocidad superior a la del consumo por los seres humanos.

Red de distribución Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento hasta los puntos de consumo.

Rendimiento hídrico Se define como la cantidad de agua superficial por unidad de superficie de una cuenca, en un intervalo de tiempo dado ($l/s\text{-km}^2$). Este concepto permite expresar la esorrentía por unidad de área para cuantificar la oferta hídrica superficial, estimar valores en unidades hidrográficas no instrumentadas y establecer comparaciones en diferentes unidades de análisis.

Ripario: todo lo que está a la orilla de un río, quebrada, o masa de agua. Generalmente se dice de ecosistemas, hábitats, plantas, animales o comunidades humanas que se ubican, frecuentan, crecen o viven en las márgenes de los ríos; también son denominadas ripícolas. Ripario es sinónimo de ribereño, aunque este último término muchas veces se refiere, además, a la ribera de los ríos, es decir, incluye la tierra adyacente a la orilla.

Sedimentación Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

1. Introducción

Las altas presiones en la demanda de los recursos hídricos y el manejo deficiente de éstos, es decir las contaminaciones y los vertimientos no controlados en las fuentes de agua, de las cuales tan solo el “2.5% es agua dulce y las dos terceras partes pertenecen a los glaciares y las nieves perpetuas” (UNESCO, 2003), conduce a que en pocos años, la población padezca de desabastecimiento de agua, ya que ésta crece constantemente y no hay suficiente conciencia frente al cuidado de los recursos naturales, pues existe una errónea interpretación sobre la capacidad de las cuencas naturales y la renovación de las corrientes, lo que apoya la falsa idea de renovación permanente del agua, producto del ciclo hidrológico.

Por lo tanto, debido a que el agua es cada vez más escasa, por medio de esta investigación se pretende que las grandes y medianas constructoras, implementen una práctica que contribuya con el cuidado del medio ambiente, desde el momento en que inician el desarrollo de una obra, mediante la guía que se describirá para aprovechamiento de agua lluvias en las obras. Un recurso importante dentro la obra, es el del agua, la cual puede ser sustituida por agua lluvia en algunas actividades, con el fin de minimizar el gasto de agua potable donde no necesariamente se requiere.

De conformidad con lo anterior, este documento presenta un panorama que aborda la problemática del agua, incluyendo la concepción del agua lluvia en el país y en Bogotá D.C, que es la zona tomada como ejemplo, pasando a identificar los componentes de un sistema de agua lluvia, y las diferentes tecnologías de aprovechamiento de este recurso, con el fin de que para los casos en que sea posible, puedan adoptarlos. Finalmente se identifica el ciclo de la obra, y el ciclo del agua en la obra, reconociendo qué actividades pueden hacer uso del agua lluvia, cuánta agua consumen, es decir la demanda y cuánta agua lluvia se puede captar según el área, lo que corresponde a la oferta. Para evidenciar lo anterior, se toma como ejemplo un proyecto de vivienda multifamiliar, aplicando la guía expuesta, para determinar ahorro de agua mediante aprovechamiento de agua lluvia, unificando dicho aprovechamiento con el uso final de la edificación.

1.1 Planteamiento del problema

El agua es un recurso natural vital para el ser humano, que aparentemente se concibe como un recurso infinito, debido a su generosa presencia en el planeta. Sin embargo, la mayor parte de esta agua, se encuentra en los océanos, los cuales contienen grandes volúmenes de sales disueltas, y como se mencionaba tan solo el 2.5% es agua dulce, porcentaje de agua del que hace uso el ser humano para su supervivencia.

En Colombia el recurso hídrico, se encuentra representado en cinco áreas hidrográficas; Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoquía, Amazonía y pacífico, las cuales en términos hidrológicos no son homogéneas dentro del territorio nacional, pues 318 cabeceras municipales se encuentran en alto riesgo de desabastecimiento, ya que de acuerdo al estudio nacional del agua del 2014, en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca, donde se presenta el 13,4% de la oferta total nacional, se concentra el 70,7% de las cuencas abastecedoras, es decir, 224 cabeceras municipales en condiciones de desabastecimiento, mientras que en el área hidrográfica del Amazonas, donde se halla el 37,3% de la oferta media total nacional, únicamente se identifica el 1,2% de las cabeceras municipales con esta condición.

Por tal razón, es que no se puede continuar haciendo uso del agua potable en actividades que no la requieren, como es el caso de actividades durante el desarrollo de una obra civil, pues el agua es un recurso importante en las obras. Desde el inicio de la misma, se requiere de su uso para instalaciones provisionales tales como; sanitarios, y para el lavado de llantas de volquetas, que se llevan el material de descapote, limpieza y excavación. Continúa su uso para el curado del hormigón, para morteros de pega, pañetes o para la cortadora de ladrillo y finalizando la obra se sigue requiriendo para las pruebas y lavado de herramientas.

Esto quiere decir que el agua está presente durante todo el desarrollo de la obra y varias actividades que la necesitan, no requieren que sea potable, por lo que se puede aprovechar el agua lluvia, para llevar a cabo las actividades y así contribuir con el ahorro y manejo del agua de forma adecuada.

De esta manera, el propósito de esta investigación cualitativa exploratoria con datos no probabilísticos, es describir el proceso de aprovechamiento de agua lluvia en una obra de vivienda multifamiliar ejecutada en la ciudad de Bogotá, identificando el porcentaje de

ahorro de agua si se hace uso del agua lluvia en todas aquellas actividades, que no requieren de agua altamente tratada durante su desarrollo. Para identificar los volúmenes de agua requeridos por actividad, se tuvo en cuenta las experiencias de trabajos de arquitectos e ingenieros civiles vinculados con el sector de la construcción, los cuales mediante entrevista, contaron como realizan las actividades que involucran agua no potable, en que tiempo las realizan y qué herramienta o maquinaria utilizan. Una vez obtenidos estos volúmenes de agua e identificado el ciclo del agua dentro de las obras, se tomó un caso específico de aplicación, correspondiente a vivienda multifamiliar en la ciudad de Bogotá, donde se identificó el porcentaje de ahorro de agua que representa el aprovechamiento de agua lluvia.

1.2 Pregunta de Investigación

De acuerdo con la problemática planteada, la pregunta de investigación que surge es ¿Cómo aprovechar el agua lluvia en el desarrollo de una obra civil de vivienda multifamiliar en la ciudad de Bogotá?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaborar una guía donde se describa el proceso necesario para aprovechar el agua lluvia en una obra de vivienda multifamiliar en la ciudad de Bogotá, Identificando el porcentaje de ahorro de agua potable al hacer uso del agua lluvia.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las actividades que no requieran de agua potable y puedan hacer uso del agua lluvia.
- Evaluar el volumen de agua que requieren las actividades que reemplazarán el agua potable por agua lluvia.
- Evaluar el consumo de agua, de acuerdo al ciclo de la obra, para identificar los ahorros de agua por actividad, según duración de las mismas.

- Identificar el volumen de agua lluvia que se puede captar, para unificar el aprovechamiento de agua lluvia en la obra con el uso final según el volumen de agua requerida para sanitarios.

1.4 Antecedentes

El hombre desde sus inicios, siempre ha aprovechado el agua superficial como fuente de suministro de agua. Las primeras civilizaciones se asentaron en el valle de los ríos y aprendieron a cultivar, lo que conllevó a encontrar la primera aplicación del agua lluvia. Sin embargo, estas no dependían directamente de esta fuente para sobrevivir, fue solo hasta que las civilizaciones crecieron demográficamente y tuvieron que habitar zonas áridas, que desarrollaron formas de captación de aguas lluvias, como alternativa para el riego de cultivos y el consumo humano.

La Antigua Republica Romana, en los siglos III y IV a.C. La ciudad de Roma estaba conformada por edificaciones unifamiliares denominadas “Domus” que poseían un espacio principal a cielo abierto llamado “Atrio” en el que se alojaba un estanque principal que recolectaba el agua lluvia llamado “impluvium”, el agua pasaba por un orificio en el techo llamado “compluvium. (Ballén Suárez et al., 2006)

Lo anterior demuestra que el aprovechamiento de agua lluvia, viene llevándose a cabo desde hace varios siglos, debido a la escasez del recurso del agua. Esta no es una práctica moderna, lo que se pretende es tomar como ejemplo estas referencias de aprovechamiento, para así mismo proponer alternativas en nuevos campos como el de la construcción, donde se puede captar el agua lluvia y utilizarla en actividades que no requieran necesariamente el uso de agua potable.

1.4.1 Aprovechamiento de agua lluvia en el mundo

Utilizar el agua lluvia como una fuente de abastecimiento, se ha convertido en una necesidad mundial, pues cuando no hay red de agua potable o tiene un costo muy alto o es deficiente, se piensa en buscar sistemas alternativos de almacenamiento y conducción de otras fuentes de agua, como lo es el agua lluvia.

A continuación se describe brevemente los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en los diferentes continentes, tomando como base el artículo *Historia de los sistemas de*

aprovechamiento de agua lluvia, presentado dentro del Seminario sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua. ¹

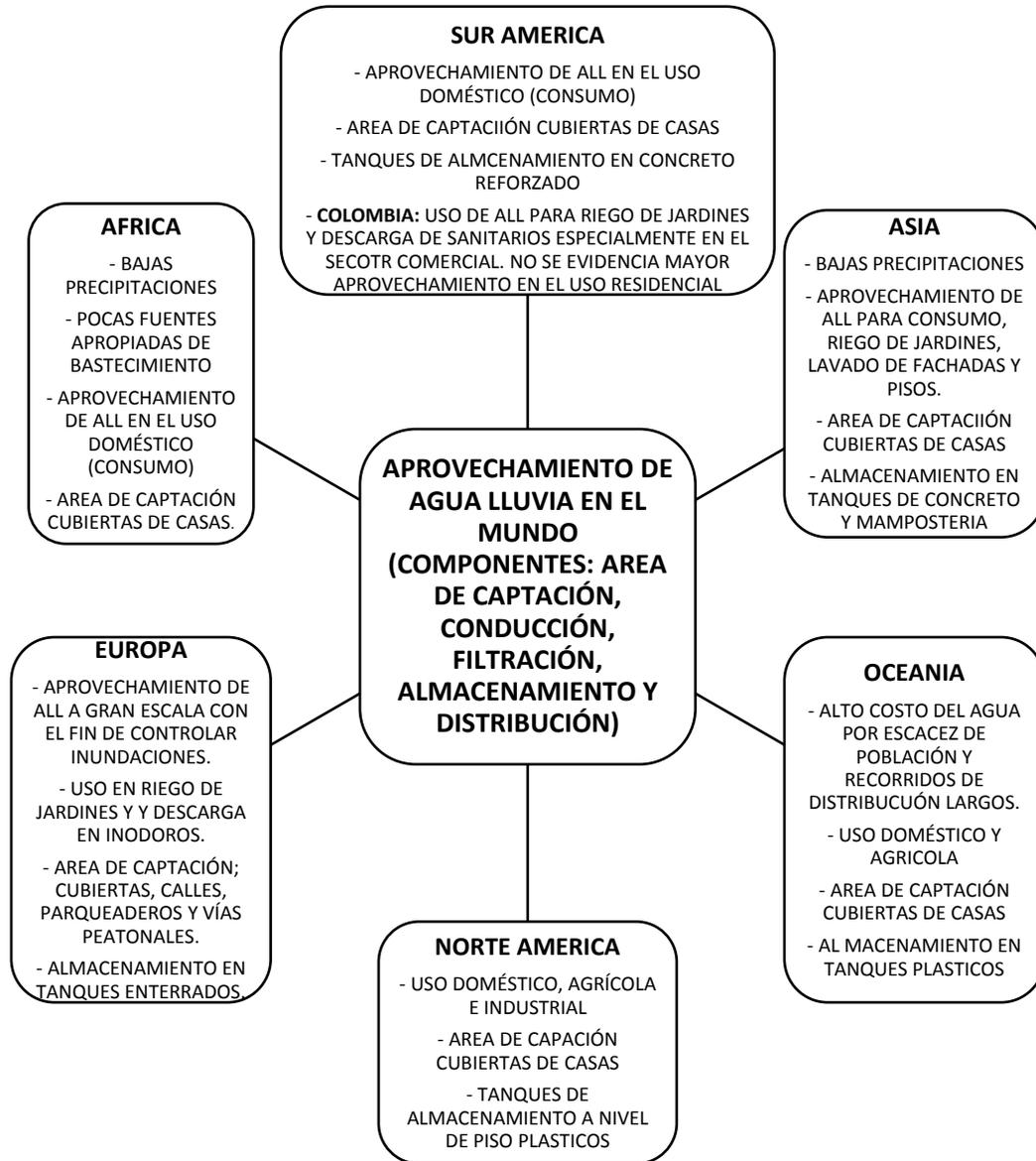


Figura 1-1: Aprovechamiento de agua lluvia en el mundo
Fuente: María Fernanda Camelo Capador

¹ Ballén Suárez, J.A., Galarza García, M.A., y Ortiz Mosquera, R.O. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. En VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (5 -7 junio de 2006). Brasil

- **África**

Es uno de los continentes con mayor problemática respecto al recurso del agua, no solo porque presenta una alta concentración de pobreza, sino porque no cuenta con fuentes suficientes y apropiadas para garantizar la seguridad y calidad del suministro. Adicionalmente, las precipitaciones son bajas, las cubiertas impermeabilizadas son mínimas y el costo de la construcción es alto, debido a la poca disponibilidad de cemento y arena, lo que eleva el precio de las instalaciones. Uno de los proyectos que han venido implementando son las tecnologías de “muy bajo costo”, la cual con una inversión que no supera los 120 dólares y utilizando materiales de la zona se quiere suplir un porcentaje de la demanda total.

- **Asia**

Es el continente con mayor población, razón por la cual, los países que confirman este continente, especialmente aquellos que cuentan con millones de habitantes, han buscado la forma de aprovechar el agua lluvia para suministrar los servicios básicos a su población. En India la solución que se ha implementado para enfrentar estos problemas, está enfocada en el desarrollo de técnicas de aprovechamiento de agua lluvia. “El monzón es un diluvio breve, allí se dan aproximadamente 100 horas de lluvia por año. En estas 100 horas se debe captar y almacenar el agua para las otras 8,660 horas que constituyen un año.” (Ballén Suárez et al., 2006)

En Bangladesh desde 1977, cerca de 1.000 sistemas de aprovechamiento de agua lluvia han sido instalados en el país por la ONG Forum for Drinking Water Supply & Sanitation: tanques de concreto reforzado, tanques de mampostería, cisternas y tanques subterráneos, que tienen un costo que varía entre US\$ 50 y US\$ 150. El agua lluvia almacenada se usa para el consumo y para la preparación de alimentos, esta es aceptada como segura y cada vez es más utilizada por los usuarios locales.

China es uno de los países que más ha padecido de sed durante siglos, en el noroeste del país el escurrimiento y agua superficial es muy escaso, por tal razón cualquier gota de lluvia es valiosa en este país, el más poblado del mundo.

Desde 1988, se han probado en China eficientes técnicas de captación de agua lluvia. Entre los años de 1995 y 1996, el gobierno local implementó el proyecto

llamado “121” para captación de agua lluvia, apoyando económicamente a cada familia para la construcción de un campo de recolección de agua, dos almacenamientos y un terreno adecuado para cultivar, suministrando agua a 1.2 millones de personas (260,000 familias) y 1.18 millones de cabezas de ganado. (Ballén Suárez et al., 2006)

En Tokio se están implementado instalaciones que involucran a la población, en la utilización del agua lluvia, estas son llamadas “*Ronjinson*”, los cuales se encuentran en la vía pública del distrito de Mukojim y reciben el agua lluvia de las cubiertas de las casas, que luego es almacenada en un pozo subterráneo. Para extraer el agua se utiliza una bomba manual. El agua captada se almacena con el fin de utilizarla para el riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, para combatir incendios y como agua de consumo en situaciones de emergencia. (Ballén Suárez et al., 2006)

- **Norte América**

En Estados Unidos, 15 de sus estados utilizan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, estimándose que más de medio millón de personas, aprovechan el agua lluvia para uso doméstico, propósitos agrícolas, comerciales o industriales.

Texas es el estado donde más aprovechan el agua lluvia. Una casa en Texas tiene aproximadamente un área de 200 m² de cubierta y puede producir más de 150.000 litros de agua al año con una precipitación anual media de 850 mm.

En Toronto Canadá, se encuentra “HEALTHY HOUSE” una casa familiar con un área de 158 m², dicha casa no depende del acueducto ya que es autosuficiente. Aprovecha el agua lluvia mediante un sistema de canales que conducen el agua lluvia hacia un tanque de almacenamiento donde se le adiciona cal, esta es utilizada para reducir la acidez del agua y darle un sabor fresco, posteriormente el agua pasa a través de un filtro de arena fina y carbón activado para remover todas las impurezas y por último es sometida a un proceso de desinfección mediante luz ultravioleta” (Ballén Suárez et al., 2006).

- **Europa**

Alemania es uno de los países que más ha trabajado en el aprovechamiento de agua lluvia. Desde 1998 estos sistemas se han introducido en Berlín, como parte de un redesarrollo urbano a gran escala, con el fin de controlar las inundaciones, utilizar racionalmente el agua de la ciudad y crear un mejor microclima. En un tanque subterráneo de 3500 m³ se recoge y almacena el agua de 19 edificios que comprenden un área aproximada de 32.000

m². Esta agua se utiliza en la descarga de inodoros, el riego de zonas verdes. Otro proyecto de aprovechamiento de agua lluvia es el proyecto Belss-Luedecke-Strasse Building State en Berlín, que almacena 160 m³ de agua lluvia de 7000m² de cubiertas, junto con el agua de escurrimiento de las calles, espacios de parqueadero y vías peatonales (área de 4.200 m²). El agua es tratada en varios pasos y usada en la descarga de sanitarios y el riego de jardines.” (Ballén Suárez et al., 2006)

- **Oceanía**

Es el continente con menor población, lo que hace que el agua deba recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, haciendo que esta sea muy costosa o que en algunos lugares muy lejanos no se suministre el servicio.

En 1994 el Australian Bureau of Statistics (Oficina Australiana de Estadística) realizó un estudio mostrando que el 30.4 % de los hogares australianos ubicados en las zonas rurales y el 6.5% de los hogares en las ciudades utilizan algún sistema de aprovechamiento de agua lluvia, también se indica en el estudio que el 13 % de las casas donde se ha implementado un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, el agua se utiliza para beber y cocinar. (Ballén Suárez et al., 2006)

Adicional Australia es líder a nivel mundial en el aprovechamiento de agua lluvia, a través de la generación de políticas de aprovechamiento, conjuntas con incentivos tributarios y conciencia ambiental. Cuenta con centenares de experiencias exitosas, entre ellas: el aprovechamiento para usos agrícolas en la Universidad de Western Sydney (Hawkesbury), y el uso en rascacielos y zonas residenciales en Melbourne, Sydney, Perth y Darwin. (Duan, Attwater, et al., 2008; Zhang, et al., 2009).

- **Sur América**

En Brasil, por ejemplo, “una ONG y el gobierno de Brasil iniciaron un proyecto para construir un millón de tanques para la recolección de agua lluvia en un periodo de 5 años, para beneficiar a 5 millones de personas. En su mayoría, estos tanques fueron hechos con estructuras de concreto prefabricado o concreto reforzado con mallas de alambre” (Ballén Suárez et al., 2006).

A diferencia de muchos países, Colombia cuenta con una gran riqueza hídrica, razón por la que “la mayoría de las poblaciones se abastecen de fuentes superficiales de agua

(embalses, ríos, lagos y quebradas)” (Ballén Suárez et al., 2006), dejándose de lado el desarrollo de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. “Como casos aislados existen algunas edificaciones de tipo institucional, comercial o residencial, donde se realizaron diseños de instalaciones hidráulicas para el aprovechamiento del agua lluvia cubriendo total o parcialmente la demanda” (Ballén Suárez et al., 2006). El agua lluvia es aprovechada en el riego de jardines y para sanitarios y orinales.

Este panorama muestra, cómo Colombia está atrasada en la toma de conciencia acerca del cuidado del agua potable, ya que no hay una cultura de ahorro, de reutilización de aguas o de aprovechamiento de aguas lluvias. Desde hace poco tiempo, se ha tratado de implementar el uso de agua lluvia, en riego de jardines o en la utilización para descargas de sanitarios y orinales en el sector comercial e institucional, sin embargo, en comparación con los países de los otros continentes, donde el sector residencial es el que mayor provecho toma del agua lluvia, en Colombia es muy poco el ahorro que se hace desde las viviendas.

Algunos de los proyectos documentados de aprovechamiento de agua lluvia en Colombia son:

- **Sede Bancolombia Medellín:** Es un edificio con un área de 138.101 m², que posee la certificación Leed EB: OM v2009. La edificación está completamente automatizada en sistemas hidrosanitarios contando con red de riego, electroválvulas, aguas de condensación y recolección de aguas lluvias que cooperan con el sistema de aire acondicionado en la estructura, adicional cuenta con un sistema óptimo para la red contra incendios que también funciona con estas aguas.
- **Edificio Farmacéutica Novartis Sede Multinacional en Bogotá:** fue la primera en poseer la certificación LEED en la escala Plata; se destacan los procesos de implementación de energías alternativas, con una reducción significativa del impacto al medio ambiente y en el consumo de agua. En los tanques de aguas lluvias, se almacenaron 108m³ para la red contra incendio y los restantes 120 m³ para abastecer los sanitarios y orinales de las baterías sanitarias del edificio para una reserva de 3 días. El sistema de desagües de aguas lluvias consistió en una red de bajantes que conduce las aguas captadas en las cubiertas hasta el sótano 3, en donde se construyeron los tanques de almacenamiento. Las aguas lluvias antes de ser

almacenadas en el tanque, pasan previamente por un desarenador que está construido en concreto reforzado que se encuentra ubicado bajo la placa de sótano 2. Allí se lleva a cabo la retención inicial de sólidos. Dentro del tanque de aguas lluvias, se lleva a cabo un proceso químico para el tratamiento del agua, el cual consiste principalmente en retirar las bacterias presentes y controlar la coloración del agua para que esta no sea visible al utilizar los aparatos sanitarios.

- **Colegio Rochester en Chía:** El Colegio se encuentra en el municipio de Chía, Cundinamarca, la estructura posee un diseño y sistemas para reducir el consumo del agua potable. Cuenta con un diseño que le otorga beneficios hidráulicos, un sistema que controla las escorrentías por eventos de lluvias torrenciales, instalación de dispositivos ahorradores para duchas, lavamanos y sanitarios con el fin de reducir el consumo de agua.

Después de ver el panorama del agua lluvia en el mundo, se concluye que en general, no se identifican referentes de reciclaje de agua lluvia, que sean utilizadas durante el desarrollo de las obras de construcción. El reciclaje se hace para el uso final de la edificación, es decir para consumo, riego de jardines o en aparatos sanitarios como sanitarios y orinales. Sin embargo los componentes de los sistemas de captación, que desde los inicios de las civilizaciones se han venido implementando, son los mismos que se requieren tanto para la utilización en el uso doméstico o agrícola, como en el desarrollo de las obras civiles, ya que se requiere; un área de captación, conducción, filtración, almacenamiento y distribución independientemente del uso final que se le dé a dicha agua. Se toma como base el documento de Ballén del 2006, ya que es el documento más reciente público sobre aprovechamiento de agua lluvia en el mundo.

2. Marco Teórico

El agua es un recurso natural vital para la existencia de todos los seres vivos y para el bienestar de su entorno ambiental, por esta razón es importante para la planificación sostenible del recurso, conocer la cantidad de agua disponible, los niveles de demanda y las condiciones de interacción para mantener la salud de la fuente abastecedora del agua. Con el fin de identificar como está el mundo, Colombia, y Bogotá, se muestra a continuación un panorama general del agua y del agua lluvia.

2.1 Panorama mundial del agua

Pensar en la amplia cantidad de agua con la que cuenta el planeta tierra, conduce a la errada concepción de creer que se cuenta con ilimitadas fuentes de agua, sin embargo, se debe tener muy claro, que de la cantidad total de agua del planeta, “solo el 2.5% es agua dulce y las dos terceras partes pertenecen a los glaciares y las nieves perpetuas”(UNESCO, 2003).

El ser humano extrae un 8% del total anual de agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles. El control que la humanidad ejerce sobre las aguas de escorrentía es ahora global y el hombre desempeña actualmente un papel importante en el ciclo hidrológico. El consumo de agua per cápita aumenta (debido a la mejora de los niveles de vida), la población crece y en consecuencia el porcentaje de agua objeto de apropiación se eleva (UNESCO, 2003).



Figura 2-1: Distribución del agua en la tierra.

Fuente: Revista construcción sostenible. Construdata. Ed 6. 13/7/2012

Por otro lado, los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación. Unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). Aunque los datos confiables sobre la extensión y gravedad de la contaminación son incompletos, se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km³. Asumiendo que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender a 12.000 km³ (UNESCO, 2003).

Lo anterior indica que el poco porcentaje de agua dulce que se puede aprovechar, está siendo contaminada de forma acelerada por el ser humano, lo que llevará al desabastecimiento de agua en unos años no muy lejanos, por tal razón se debe orientar la mirada hacia otras fuentes naturales de abastecimiento como lo es el agua lluvia, un bien público, ofrecido por la naturaleza y altamente aprovechable. La Directiva Marco del Agua (DMA) ha formalizado el papel creciente de la economía en la gestión del agua. En efecto, la DMA propone la aplicación de principios (recuperación de costes, quien contamina paga), metodologías y herramientas (análisis coste-eficacia y coste-beneficio, con un papel relevante en el diseño de programas de medidas y la justificación de posibles excepciones) e instrumentos económicos (precios del agua) en la gestión a escala de cuenca (Wateco, 2002). “El precio del agua se contempla en la DMA con un doble rol: como incentivo para un uso eficiente (instrumento económico) y a la vez como instrumentos de recuperación de costes (instrumento financiero)” (Pulido-Velazquez et al., 2014).

2.2 Panorama del agua en Colombia

La riqueza hídrica del territorio colombiano obedece a la ubicación geográfica y la influencia de factores como la circulación atmosférica, la topografía, la interacción entre la tierra y el mar y la influencia de las zonas selváticas (IDEAM, 2015). Ha sido reconocida por su abundante oferta hídrica, pero, en términos hidrológicos el territorio nacional no es homogéneo, las cinco áreas hidrográficas del país albergan sensibles diferencias que repercuten en la vulnerabilidad tanto del sistema natural como de la estructura socioeconómica. Colombia se divide en cinco áreas hidrográficas; Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco, Amazonas y Pacífico. Las cinco áreas hidrográficas están asociadas a

las principales vertientes del país. La distribución por área hidrográfica de las 318 cabeceras municipales que presentan alta probabilidad de desabastecimiento muestra que el mayor número se localiza en la cuenca Magdalena-Cauca, seguida de la Caribe, Orinoquia, Amazonia y Pacífica (IDEAM, 2014).

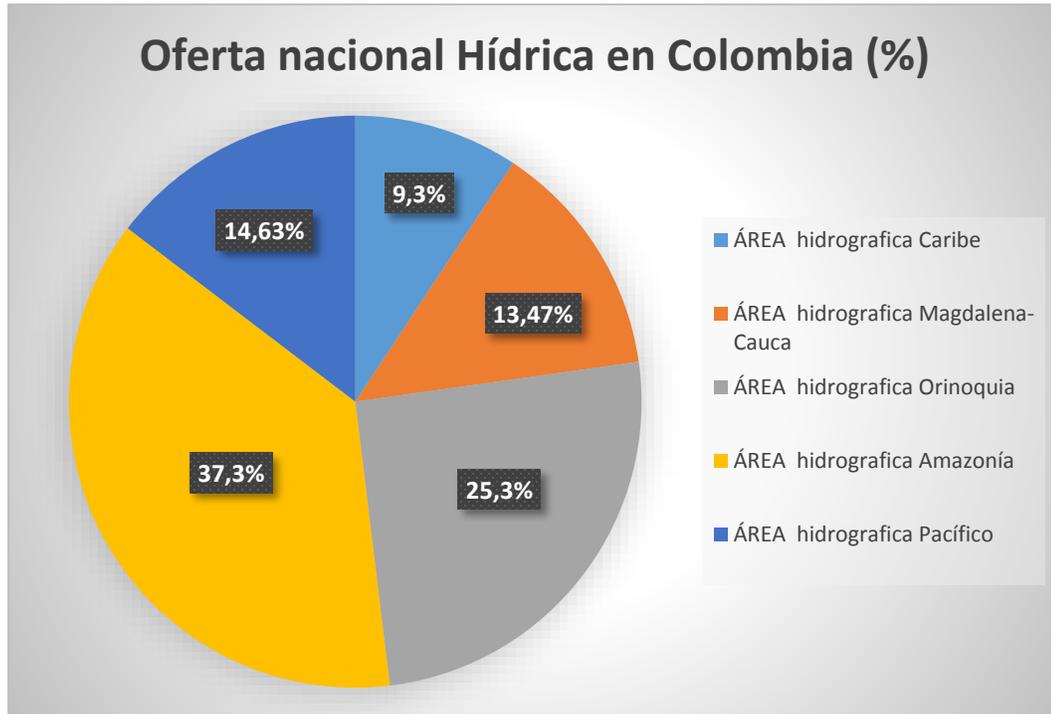


Figura 2-2: Oferta nacional Hídrica en Colombia
Fuente: María Fernanda Camelo

De acuerdo al estudio nacional del agua del 2014, en este sentido, en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca, donde se presenta el 13,4% de la oferta total nacional, se concentra el 70,7% de las cuencas abastecedoras, es decir, 224 cabeceras municipales en condiciones de desabastecimiento, mientras que en el área hidrográfica del Amazonas, donde se halla el 37,3% de la oferta media total nacional, únicamente se identifica el 1,2% de las cabeceras municipales con esta condición. De igual manera, en el área hidrográfica del Caribe, donde se concentra el 21,2% de las cabeceras municipales, solo se cuenta con el 9,3% de la oferta media total nacional, mientras que en la Orinoquia, donde se presenta el 25,3% de la oferta total nacional, apenas se localiza el 5,3% de las cabeceras municipales. Ver Figuras 2-2 y 2-3.



Figura 2-3: Distribución de las cabeceras municipales identificadas con condiciones de desabastecimiento, por área hidrográfica
Fuente: María Fernanda Camelo

Respecto de la oferta hídrica en fuentes que abastecen los acueductos de las cabeceras municipales, al actualizar las fuentes abastecedoras en las 318 cabeceras municipales que han presentado condición de desabastecimiento se identifica que 24 de esas cabeceras se abastecen únicamente de agua subterránea (pozos profundos), 11 se abastecen tanto de fuente superficial como subterránea, 14 obtienen el agua de reservorio y 4 compran el agua en bloque. Las restantes 265 se abastecen exclusivamente de agua superficial, ya sea de ríos, quebradas, caños, nacederos o aljibes (IDEAM, 2014). Ver Figura 2-4.



Figura 2-4: Distribución cabeceras municipales según tipo de fuente de abastecimiento
Fuente: María Fernanda Camelo

Lo anterior refleja que somos un país privilegiado porque poseemos una gran riqueza hídrica, pero que desafortunadamente, estamos mal distribuidos dentro del territorio, por lo que hay lugares donde el agua escasea, debido a que la población crece y las fuentes hídricas no se protegen. Según el último estudio nacional del agua del 2014 indica:

- Colombia cuenta con un rendimiento hídrico promedio que equivale a 6 veces el promedio mundial y a 3 veces el de Latinoamérica; además de reservas de aguas subterráneas que triplican esta oferta y se distribuyen en el 74% del territorio nacional. Sin embargo, la distribución del agua es desigual para las diferentes áreas hidrográficas. En las áreas hidrográficas Magdalena-Cauca y Caribe, donde se encuentra el 80% de la población nacional y se produce el 80% del PIB Nacional, se estima que está sólo el 21% de la oferta total de agua superficial.
- Las condiciones más críticas del recurso hídrico, asociadas a presión por uso, contaminación del agua, vulnerabilidad al desabastecimiento, vulnerabilidad frente a variabilidad climática y condiciones de regulación; se concentran en 18 subzonas hidrográficas en las áreas Magdalena-Cauca y Caribe que abarcan 110 municipios con una población estimada de 17.500.000 habitantes.
- La afectación a la calidad del agua, expresada en cargas contaminantes de material biodegradable, no biodegradable, nutrientes, metales pesados y mercurio; se concentra en cerca de 150 municipios que incluyen ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Villavicencio, Manizales y Bucaramanga.
- La materia orgánica biodegradable vertida a los sistemas hídricos en 2012 se estima en 756.945 t/año, mientras que la materia orgánica no biodegradable, es decir sustancias químicas, se estima en 918.670 t/año, siendo Bogotá, Cali, Medellín y Cartagena los principales aportantes.
- 205 toneladas de mercurio son vertidas al suelo y al agua de los ríos a nivel nacional.
- 318 cabeceras municipales pueden presentar problemas de desabastecimiento en épocas secas, lo cual podría afectar una población de aproximadamente 11.530.580 habitantes entre las cuales se destacan Chiquinquirá, Paipa, Floresta, Soracá, Manzanares, Yopal, Neiva, Maicao, Santa Marta, Buga, Palmira entre otras.
- Se identificaron 61 sistemas acuíferos, cuya ubicación geográfica coincide con subzonas caracterizadas por altas presiones de uso, contaminación, vulnerabilidades al desabastecimiento, a la variabilidad y al Cambio Climático.

2.2.1 Agua lluvia en Colombia

El régimen hidrológico en Colombia se caracteriza a nivel intraanual por periodos secos y húmedos, que serán referidos como régimen monomodal y bimodal para indicar la existencia de uno o dos periodos secos y/o húmedos (IDEAM, 2014).

Por su ubicación geográfica Colombia está bajo la influencia de los vientos alisios del noreste y del sureste, que concurren en una franja denominada “zona de confluencia intertropical”, que favorece la formación de nubosidad. Este fenómeno se ve reforzado por estar situado en la zona ecuatorial, provocando el calentamiento de la superficie terrestre por la incidencia casi vertical de la radiación solar (IDEAM, 2015).

La interacción de la zona de confluencia intertropical con las cordilleras colombianas propicia la presencia, en gran parte del territorio colombiano, de dos temporadas húmedas a lo largo del año; la primera de ellas entre los meses de marzo y abril, y la segunda entre septiembre y noviembre. En el sureste del país también son importantes los efectos de un sistema de baja presión que se forma en la cuenca amazónica, que interactúa con el movimiento del sol y la topografía del territorio, provocando la mayor frecuencia de lluvias entre los meses de marzo y noviembre (IDEAM, 2015).

Según el último estudio nacional del agua, en el orden nacional se estima un rendimiento hídrico (o cantidad de agua que fluye por unidad de área) de 56 l/s/km². Este rendimiento hídrico está por encima del promedio mundial (10 l/s-km²) y del rendimiento latinoamericano (21 l/s-km²) (IDEAM, 2010). Bajo estas condiciones se alcanza una escorrentía superficial de 1.764 mm, equivalente a un volumen anual de 2.012 km³. El volumen total anual de precipitación empleado en el balance hídrico en este estudio es de 3.267 km³, que equivale a 2.864 mm/año. De acuerdo con lo anterior, el 62% de la precipitación se convierte en escorrentía, lo que equivale a un caudal medio de 63.789 m³/s.



Figura 2-5: Rendimiento Hídrico
Fuente: María Fernanda Camelo

Por tal razón. En Colombia se identifican ciudades que se caracterizan por ser de las más lluviosas del mundo, pero paradójicamente, son aquellas que más padecen de problemas de agua, debido a la falta de agua potable. En Colombia, las aguas pluviales urbanas son subutilizadas debido a que no se encuentran comprendidas como un recurso; pero en cambio, sí representan un problema para su evacuación, debido a que el drenaje urbano tradicionalmente, ha sido concebido para agrupar ligeramente el agua lluvia y conducirla fuera de las zonas urbanas; los cauces urbanos han sido canalizados y el alcantarillado diseñado para recolectar toda el agua producto de la escorrentía superficial, originando en los sistemas hídricos la pérdida de la riqueza natural y su capacidad de respuesta ante las crecientes presentadas (Estupiñán Perdomo & Zapata García, 2011).

Así mismo, por el aumento de las superficies impermeables en las ciudades, los sistemas de drenaje resultan ser incapaces para infiltrar los volúmenes de agua circulantes, generando con mayor frecuencia las inundaciones (Sánchez & Caicedo, 2004).

Quibdó y Buenaventura, ubicadas en el litoral Pacífico de Colombia, son una de las zonas más pobres y lluviosas del mundo, la población se queja de falta de agua potable. Los acueductos existentes no tienen la cobertura deseada ni la cantidad y calidad aceptable. Las enfermedades gastrointestinales ocupan el primer lugar en morbilidad y mortalidad infantil (Montes, 2008).

De acuerdo al informe anual sobre el estado del medio ambiente y recursos renovables en Colombia del 2007, a pesar de que no se han evidenciado científicamente efectos importantes relacionados con la lluvia ácida sobre los ecosistemas, se cuenta con un monitoreo del comportamiento del agua lluvia en diferentes ciudades del país. Para determinar dicho comportamiento químico, se debe hacer un seguimiento del pH, conductividad, nitratos y sulfatos de las muestras que se recolectan en los sitios de monitoreo.

La lluvia por su naturaleza se considera una sustancia ácida, ya que alcanza un pH de 5.6 unidades aproximadamente, “esto debido al equilibrio existente con el bióxido de carbono (CO_2), formando el ácido carbónico (H_2CO_3) ácido débil” (IDEAM, 2007). No obstante, depende del hombre que estos niveles no disminuyan por debajo de estas unidades, convirtiendo el agua lluvia en lluvia ácida, la cual no podría utilizarse en varias de las actividades como sustitutiva del agua potable. No es fácil encontrar agua lluvia pura, ya que la contaminación depende de componentes presentes en la atmosfera, que se precipitan inmersos en las gotas de lluvia. Lo anterior, sumado a la acumulación de contaminantes en las zonas de captación que son lavados durante los eventos de lluvia y a la gama de materiales constitutivos como infraestructura de aprovechamiento o drenaje, permiten justificar por qué la calidad del agua lluvia es tan variable (Estupiñán Perdomo & Zapata García, 2011). Esta característica se hace mucho más crítica en las ciudades que en zonas rurales debido a la concentración de industrias y procesos productivos (Coombes, Argue, & Kuczera, 2000).

“La lluvia aumenta su acidez cuando los óxidos de azufre y nitrógeno intervienen en la química de la atmósfera y en su equilibrio, causando que el pH de la lluvia disminuya por debajo de 5,6 unidades de pH, mientras que la conductividad aumenta por la presencia de iones” (IDEAM, 2007). Se toma como referencia el estudio del IDEAM del 2007 ya que es el último estudio publicado sobre el agua lluvia en Colombia.

La siguiente tabla indica la clasificación del agua lluvia de acuerdo al pH.

pH	Clasificación de la lluvia
$\text{pH} > 5,6$	No ácida
$4,7 < \text{pH} < 5,6$	Ligeramente ácida
$4,3 < \text{pH} \leq 4,7$	Medianamente ácida
$\text{pH} \leq 4,3$	Fuertemente ácida

Tabla 2-1: Clasificación del agua lluvia de acuerdo al pH.
FUENTE: IDEAM 2007

El ideal de agua lluvia a reciclar, debe ser aquella que contenga un pH mayor o igual a 5.6 unidades, con el fin de que se clasifique como agua lluvia no ácida. El agua lluvia que corresponda a un nivel ligero o mediano debe ser analizada para determinar si al reutilizarla, no altera las propiedades de las actividades en las que se reutilice, como puede ser el uso en los morteros.

Como se ha indicado, Colombia es un país con una oferta hídrica alta y un rendimiento hídrico muy por encima del promedio mundial, lo que nos hace un país altamente rico en este recurso, pero que debido a su confiabilidad en el mismo, no aprovecha del recurso natural de la lluvia para utilizarlo en actividades que no requieren de agua altamente tratada, como lo es en el desarrollo de las obras, donde varias de las actividades pueden hacer uso del agua lluvia sin mayor tratamiento. En Colombia han desarrollado en los grandes proyectos comerciales, la utilización del agua lluvia para descarga de sanitarios y riego de zonas verdes, como en los centros comerciales y en proyectos residenciales la utilización de agua lluvia para riego de jardines. Sin embargo, no se encuentran obras documentadas donde implementen el aprovechamiento de agua lluvia durante el desarrollo de las obras, para reducir el uso del agua potable en actividades que no requieran de agua altamente tratada y en la parte residencial, no es mayor el aprovechamiento del agua lluvia como podría llegar a ser, si se tuviera conciencia de que al 2014 ya 318 cabeceras municipales presentan condición de desabastecimiento.

Otros de los proyectos donde se evidencia, que es en el uso final donde hay implementaciones de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia corresponden a:

- Almacén Alkosto Venecia, el cual mediante 6.000 m² de cubierta captan alrededor de 4.820 m³ de agua lluvia al año, satisfaciendo el 75% de la demanda actual de agua potable de la edificación.
- Almacén Alkosto de Villavicencio, que con una cubierta de 1.061 m² capta el agua lluvia y la almacenan en un tanque de 150 m³, posteriormente el agua es tratada por medio de los procesos de floculación, filtrado y cloración realizada en una planta de tratamiento, el sistema proporciona agua potable para todas las necesidades del almacén durante todo el año.
- El edificio de Postgrados de Ciencias Humanas de la sede Bogotá de la Universidad Nacional, mediante una cubierta protegida con grava, capta agua lluvia y la lleva hacia un tanque subterráneo, y mediante un sistema de presión descarga el agua hacia los inodoros, y alimentar las fuentes y los espejos de agua.

2.2.2 Panorama del agua en Bogotá.

El sistema hídrico de Bogotá está constituido por las cuencas media del río Bogotá y alta del río Sumapaz, ambas afluentes del río Magdalena, y la cuenca alta del río Blanco, tributario del río Orinoco (Alcaldía mayor de Bogota , 2008).

De acuerdo al informe de calidad del sistema hídrico de Bogotá, La cuenca del río Bogotá se localiza en el centro del departamento de Cundinamarca. El río nace en el Alto de la Calavera, en el municipio de Villapinzón, sobre los 3.400 msnm, en el páramo de Guacheneque, y desemboca en el río Magdalena alrededor de la costa a 280 msnm. Su longitud aproximada es de 335 km y tiene un área tributaria de 5.671 km². Su sistema está conformado por 18 subcuencas, un sistema de regulación para abastecimiento y generación eléctrica conformado por nueve embalses y un distrito de riego. Esta cuenca se divide en tres sectores. Primero la cuenca alta, que va desde su nacimiento hasta la confluencia de los ríos Neusa y Bogotá (sector Sisga-Tibitóc); en este trayecto recibe las aguas de los embalses de Sisga y Tominé, y el río Neusa. Segundo la cuenca media que empieza desde la confluencia del río Neusa hasta Alicachín en el Salto del Tequendama; en este tramo el río Bogotá presenta un cauce meandrico con baja pendiente. En Aposentos recibe las aguas del río Teusacá, cuyas aguas son reguladas por el embalse de San Rafael. A su vez, a este embalse le llegan las aguas trasvasadas de los ríos Chuza, Guatiquía y Blanco (que pertenecen a la cuenca del río Orinoco). Y por último la cuenca baja, que comienza a partir del embalse del Muña, aguas abajo de Alicachín, hasta

desembocar al río Magdalena en el municipio de Girardot. El Distrito Capital hace parte de la cuenca media del río Bogotá, cuyo sistema hídrico es considerado un conjunto de cuerpos de agua natural y/o artificial superficial y subterráneo.

El agua que se bebe en Bogotá y los municipios aledaños nace en los páramos y bosques andinos del Parque Nacional Natural Chingaza, que Incluye embalses de Chuza y San Rafael y el subsistema río Blanco. Cuenta con la planta de tratamiento Francisco Wiesner, planta No Convencional de filtración directa. El Parque Nacional Natural Sumapaz o cuenca alta del río Tunjuelo. Incluye los embalses de La Regadera y Chizacá y la laguna de Los Tunjos o Chizacá. Cuenta con las plantas de tratamiento La Laguna y El Dorado (tratamiento Convencional) y el subsistema Cerros Orientales, que a su vez cuenta con las plantas de tratamiento Vitelma y Yomasa (tratamiento Convencional). Y el sistema Tibitoc - Agregado Norte. Incluye el embalse de Aposentos y los embalses de Neusa (Corporación Autónoma Regional -CAR-, Cundinamarca), Sisga (CAR, Cundinamarca) y Tominé (Empresa de Energía de Bogotá S. A. -ESP), que aunque no son de propiedad del Acueducto de Bogotá cumplen con la función de regular el Río Bogotá, cuenta con la planta de tratamiento Tibitó (tratamiento Convencional).

FUENTES	EMBALSES	Capacidad de almacenamiento mm ³		Plantas	Distribuye agua a:	Tipo de tratamiento	Capacidad de tratamiento	
		Parcial	Total				Máx	Act
SISTEMA TUNJUELITO (Sur de Bogotá)								
Tunjuelo, San Francisco, San Cristobal	Chizacá	6.3	10.4	El Dorado 2001	Bogotá	Convencional	1.6	0.05
	La Regadera	4.1		Vitelma 1938		Convencional	1.5	1.1
				La Laguna 1984		Convencional		
SISTEMA TIBITOC (Norte de Bogotá)								
Cuenca alta del Río Bogotá	Sisga, Tominé y Neusa		887	Tibitoc 1959	Bogotá y a los municipios de Sopo, Gachancipa, tocancipá, Cajica y Chía	Convencional	12	4.5
SISTEMA CHINGAZA (50 Km. al oriente de Bogotá)								
Ríos Guatiquía, Blanco y Teusacá	Chuza	250	325	Francisco Wiesner 1982	La Calera y al 70% de la ciudad de Bogotá	Filtración directa	14	8.8
	San Rafael	75						

Figura 2-6: Sistema de captación de aguas del acueducto de Bogotá.
Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

Lo anterior muestra un panorama que debería ser muy favorable para Bogotá ya que cuenta con un numero considerables de cuerpos de agua, que aparentemente mantendrían en constante abastecimiento a la ciudad, sin embargo el crecimiento urbano ha conducido al confinamiento de muchos de estos cuerpos de agua, a la contaminación, a la colmatación y hasta la desaparición de estos elementos de la estructura ecológica principal; así mismo, la pérdida de suelo y de áreas blandas que cumplen el papel de regulación hídrica mediante la infiltración, ha generado efectos secundarios que han puesto en peligro, no solo a la subsistencia de los recursos naturales de la ciudad, sino que además a la población capitalina. Los suelos asfaltados llevan a la pérdida de la regulación y captación de agua proveniente de la esorrentía natural, que unido a la falta de compromiso, sentido de pertenencia y conciencia ciudadana, conducen a las grandes inundaciones en la ciudad (Secretaria Distrital de Ambiente , 2013).

En los dos primeros tramos hay influencia sobre el cuerpo de agua en Villapinzón, por las descargas de las curtiembres ubicadas en esta zona; adicionalmente recibe las descargas de varios sistemas de tratamiento de aguas residuales de Gachancipá, Tocancipá y Chía, así como de varios sectores productivos ubicados en el área aferente al río. (Secretaria Distrital de Ambiente , 2013). Esto quiere decir que antes de que el río llegue a la ciudad, ya viene con cargas contaminantes de materia orgánica total y biodegradable, así como de nutrientes y trazas de metales pesados. Los vertimientos sobre el río y las cargas aportadas por los ríos que atraviesan la ciudad aportan, desde la entrada del perímetro urbano hasta el sector de Alicachín, materia orgánica, sólidos, contaminación bacteriológica, entre otros contaminantes. Otra fuente de contaminación es la originada por las actividades agrícolas y de pastoreo que se desarrollan en la ronda del río (Alcaldia mayor de Bogota , 2008).

Según la guía de manejo ambiental para el sector de la construcción las principales causas de afectación ambiental del recurso agua son:

- Contaminación por vertimientos de origen industrial, comercial, doméstico y agropecuario entre otros.
- Contaminación por disposición de residuos sólidos ordinarios, peligrosos, especiales, de construcción y demolición.

- Reducción de áreas por ocupación de suelos con desarrollo de actividades económicas ilegales (parqueaderos, talleres, comercio informal, entre otros), construcción de vivienda formal e informal, construcción de vías, entre otras.
- Destrucción de espacios del agua (sistemas naturales, ecosistemas y biotopos) para ampliar los suelos para la construcción.
- Extinción de especies, poblaciones o variedades, o disminución de su viabilidad en niveles que aumentan su riesgo de extinción.
- Afectación de la oferta de servicios ambientales o aumento, en niveles no conocidos, de los costos para la reposición de los mismos en valor patrimonial.
- Disminución de la calidad visual de escenarios naturales, cambiando la percepción de los habitantes aledaños hacia los mismos.
- La canalización reduce las áreas de influencia del recurso hídrico (zonas de ronda y zonas de manejo y preservación ambiental), lo que genera: pérdida de los cordones riparios (bosque que se encuentra protegiendo los ríos, quebradas, canales), los cuales se traducen en pérdida de biodiversidad; pérdida de la capacidad de infiltración de agua en el suelo, por reducción de áreas permeables; pérdida de espacio público y zonas de recreación para los habitantes del sector lo que trae como consecuencia la falta de apropiación y defensa de las mismas; y pérdida de las funciones ecológicas del cauce: es decir extinción de los hábitats de especies acuáticas y de aves.

2.2.3 Agua lluvia en Bogotá D.C.

Bogotá, Distrito Capital, está localizada en una meseta de la cordillera Oriental de los Andes a una altura de 2.630 metros sobre el nivel del Mar. Debido a su ubicación geográfica en la cordillera de los Andes, la ciudad se encuentra dentro de la zona de confluencia intertropical (es la región del globo terrestre donde convergen los vientos alisios del hemisferio norte con los del hemisferio sur.), la cual origina un comportamiento bimodal: dos épocas de lluvia bien marcadas durante el primer semestre del año, en marzo, abril y mayo, y en el segundo semestre en septiembre, octubre y noviembre. Los meses más secos del año son enero, febrero y diciembre (Alcaldía mayor de Bogotá , 2008).

Según informes del IDEAM el promedio de lluvia total anual en Bogotá es de 797 mm. En los meses secos de principios de año, llueve alrededor de 8 días/mes; en los meses de mayores lluvias puede llover alrededor de 18 días/mes.

Los datos anteriores comprueban que Bogotá cuenta con un recurso bueno del agua lluvia, el cual podría aprovecharse mediante la recolección y uso del mismo, para nuestra investigación en actividades de obra que no requieren de agua potable para su desarrollo. Sin embargo, la ciudad en lo que se refiere a producción industrial representa alrededor de la cuarta parte del total nacional. Y la infraestructura vial representa la más densa del país. Esta contaminación, le confiere una tendencia a que se produzca lluvia ácida.

El pH presenta un comportamiento que se mantiene relativamente constante a lo largo de la serie, presentado valores fluctuantes por encima y por debajo del pH normal de la lluvia, indicando una mayor preponderancia de lluvia con carácter ácido. Por otro lado, parece existir una notoria relación entre el régimen de precipitación para la ciudad y los valores más bajos de pH, que se presentan en los meses más lluviosos (abril-mayo y octubre-noviembre) lo que lleva a determinar que gran parte de los óxidos de azufre y nitrógeno son lavados constantemente durante las precipitaciones, disminuyendo así el pH (Ospina, 2007).

En Bogotá, de acuerdo al último estudio del agua lluvia publicado por el Ideam en 2007, el pH varía alrededor del valor del pH normal de la lluvia que son 5.6 unidades. De acuerdo a la Figura 2-7, se evidencia un comportamiento bimodal, es decir dos periodos donde se evidencia una disminución del pH, para el mes de enero y un aumento del pH para el mes de julio. Sin embargo se evidencian valores normales y de acidez de la lluvia, aunque en los últimos años el pH está tendiendo a disminuir, por lo que se debe tener muy en cuenta el aumento de la contaminación.

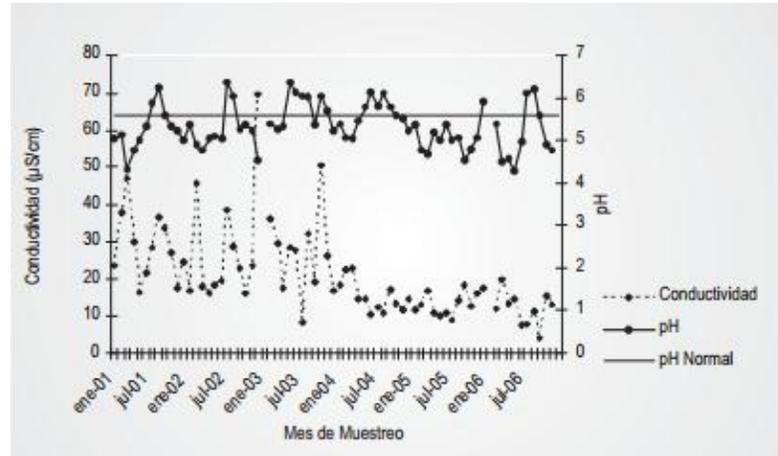


Figura 2-7: Conductividad y pH de la lluvia en Bogotá, 2001-2006.
Fuente: IDEAM 2007

De acuerdo a un Diagnóstico de Lluvia Ácida y Condiciones Meteorológicas Asociadas en el Barrio La Candelaria – Bogotá D.C. realizado en el 2011, durante los meses de enero, febrero y marzo se da un ligero descenso en los valores hasta alcanzar 5.5 que, de acuerdo con la teoría, corresponde a una lluvia ligeramente ácida. Durante abril, mayo, junio y julio, los valores se incrementan hasta alcanzar 6.7.

2.3 Componentes de un sistema de agua lluvia

El país está tomando conciencia acerca del cuidado del medio ambiente y de los abundantes recursos naturales de los que dispone, sin embargo no hay aún, un enfoque claro de todo lo que se puede desarrollar para contribuir con la conservación del mismo, es por esto que se debe empezar a indagar, sobre posibles implementaciones de tecnologías existentes, tanto las que están en funcionamiento en el país, como las que se han desarrollado en otros países.

En este proyecto de investigación, como se ha mencionado anteriormente, se pretende indagar sobre las diferentes formas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias. La concepción generalizada del agua, basada en el cuidado de este recurso en la protección de su nacimiento para que no sea contaminado, pero no apunta a disminuir su explotación, ni a mecanismos efectivos para un mejor aprovechamiento, por ejemplo a través de la utilización del agua lluvia.

Para crear un sistema eficiente de aprovechamiento de aguas lluvias es indispensable considerar los siguientes componentes (UNATSABAR, 2004):

- 1- Área de captación
- 2- Conducción
- 3- Filtración o tratamiento
- 4- Almacenamiento
- 5- Distribución

Esto con el fin de que el sistema, sea autosuficiente para abastecer las diferentes actividades que requieran del uso de agua durante la construcción.

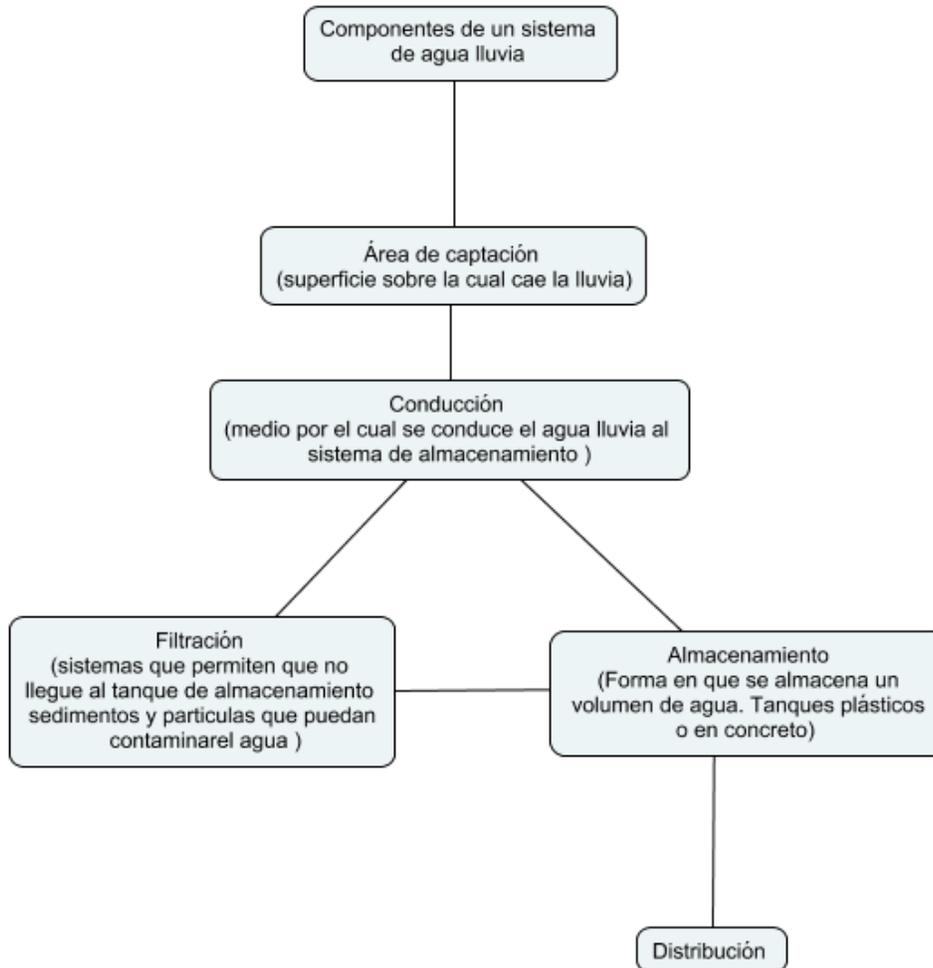


Figura 2-8: Componentes de un sistema de agua lluvia
Fuente: María Fernanda Camelo

2.3.1 Área de captación

Es la superficie sobre la cual cae la lluvia. Para este estudio, se tendrán en cuenta área de techos como campamentos o acopio de material y las posibles áreas exteriores que permitan captar el agua. El área de captación además de ser el lugar para coleccionar la mayor cantidad de agua, es el principal punto de contaminación. Precisamente en este último aspecto, es donde se puede generar mayor control, debido a que diferentes análisis han determinado que las mayores fuentes de contaminación en la fuente corresponde a techos de zinc, aluminio, cobre y bambú, este último no recomendado por salubridad. Diferentes impermeabilizantes que contienen derivados de petróleo pinturas metalizadas, bajantes de hierro y cobre (Coombes et al., 2000; Helmreich & Horn, 2009; Morrow, Dunstan, & Coombes, 2010). Así mismo, otro tipo de contaminación es la generada por contaminación fecal de las aves, y roedores que tienen acceso a zonas de captación de aguas pluviales, generando la reproducción de bacterias, virus y protozoos (Helmreich & Horn, 2009).

2.3.2 Conducción

El sistema de conducción hace referencia a las canaletas, tuberías, cárcamos o cañuelas de diferentes materiales que permiten conducir el agua lluvia hasta el sistema de almacenamiento. Son parte necesaria en cualquier sistema hidráulico para la conducción del fluido. Una vez captada el agua de lluvia por el techo, se requiere canalizarla al tren de tratamiento, al tanque de almacenamiento y distribuirla para su aprovechamiento (García, 2012).

2.3.3 Filtración o tratamiento

Generalmente los procesos de tratamiento dependen de la calidad del agua y de los usos que ésta pueda tener (durante el desarrollo de una obra civil.).

Este sistema permite que no lleguen al tanque de almacenamiento sedimentos y partículas que puedan contaminar el agua captada. Algunos de los sistemas utilizados son desarenadores, tanques interceptores de primeras aguas o filtros mecánicos que no consumen energía y operan 100% por gravedad. Algunos de estos filtros son:

-*Filtros básicos*: filtran el agua tamizándola primeramente a través de una rejilla en acero inoxidable de 200 micras de ojo de malla. Esta rejilla puede ser retirada manualmente y su mantenimiento se hace con un cepillo metálico, agua caliente y jabón de manera fácil y rápida.

-*Oxigenadores*: se instalan en el fondo del tanque dispuesto para aguas lluvias y su objetivo es que el agua lluvia siempre entre al tanque de abajo hacia arriba; las ranuras que tienen en su diseño, permiten que las partículas del agua se rompan y generen un efecto difusor, sin alterar la calidad del agua.

-*Desnatadores*: se instalan a manera de rebose en el tanque de aguas lluvias. Además de rebosar los excedentes de agua lluvia, extraen la grasa, aceites, residuos de smog y otras partículas de contaminación ambiental.

- *Las succiones de media*: se instalan en el tanque de aguas lluvias directamente a la succión de la válvula de pie del equipo hidroneumático. Fabricadas en acero inoxidable, tienen un sistema de flotación que permite que la rejilla de tamiz de 280 micras de ojo de malla, siempre se ubique en la mitad de la columna de agua, que es donde está la mejor calidad de agua lluvia.

2.3.4 Almacenamiento

Hace referencia a la forma en que se puede almacenar el volumen de agua captada, para esto se hace uso de tanques plásticos o se construyen tanques enterrados que permiten la captación y almacenamiento de agua lluvia con el fin de utilizarla con fines no potables.

Gould y Nissen-Petersen (1999) describen diversas maneras y materiales para construir el depósito de almacenamiento. Algunos ejemplos son tanques superficiales, subterráneos y elevados, de tabique, cemento, ferrocemento, metálicos y plásticos, de diversas formas y tamaños según la necesidad particular.

La experiencia del proyecto Isla Urbana propone que materiales como el cemento, tienen la característica de tener un efecto de neutralización sobre el pH del agua de la lluvia, por la interacción de compuestos alcalinos que contienen calcio y magnesio. La desventaja de estos depósitos es su poca flexibilidad una vez construidas, además que pueden favorecer el crecimiento microbiológico y su mantenimiento es complicado y costoso. De manera comercial se pueden adquirir tanques plásticos que ofrecen una mejor calidad de agua al igual que los tanques metálicos, por no contribuir con sólidos, olor, color, sabor y evitar el crecimiento microbiológico, pero tienen la desventaja de no neutralizar el pH (en caso de acidez)(García, 2012).

2.3.5 Distribución

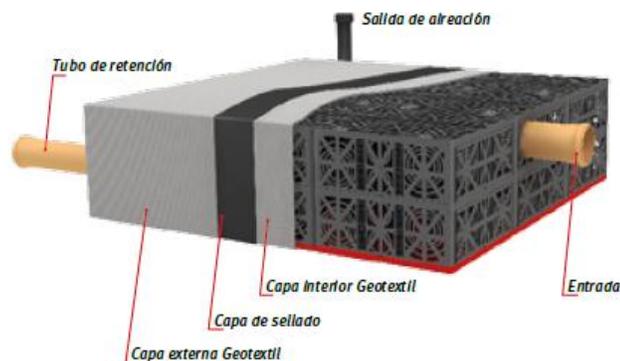
Es el conjunto de elementos que son necesarios para suministrar agua a los beneficiarios, dentro de estos elementos pueden ser consideradas tuberías, accesorios, grifos de agua entre otros (Hernández Malca, 2014).

2.4 Tecnologías de aprovechamiento de agua lluvia.

Debido a la toma de conciencia en el mundo por la escasez del agua y el constante crecimiento de la población, se encuentran en el mercado diferentes tecnologías de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, que ofrecen diversas alternativas para aprovechar el recurso natural.

2.4.1 Ecobloc inspect flex drenaje sostenible (graf), (alemania)

Los bloques Graf se pueden utilizar como depósito de almacenamiento de agua o como depósito de retención. Es un sistema eficaz y económico para construir un depósito de agua transitable con la forma que se desee. La infiltración del agua lluvia es la solución a muchas inundaciones y a la protección del ciclo del agua. Permite construir depósitos de agua lluvia que acumulan e infiltran el agua gradualmente al terreno. Es la solución ideal para gestionar la escorrentía de aguas pluviales de una forma eficaz e inteligente. Para ahorrar espacio durante el transporte se apilan dos EcoBloc, uno dentro del otro. Esto reduce a la mitad los costes de transporte y las emisiones de CO₂. La placa base EcoBloc es la base del sistema, se pueden instalar hasta 14 módulos EcoBloc en una base, cada bloque proporciona 195 l de capacidad. Los extremos frontales se cierran con placas laterales EcoBloc. El sistema EcoBloc se puede ajustar individualmente para adaptarse a los requisitos y permite la conexión de tubos DN 100, 150 o 200.



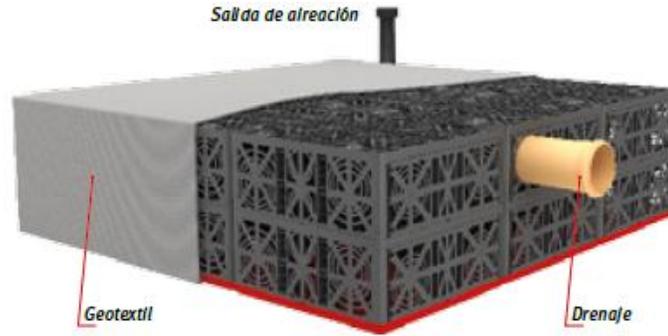


Figura 2-9: Sistema Ecobloc inspect flex
Fuente: catalogo GRAF Sistemas de recuperación de Agua de Lluvia

2.4.2 Depósito carat (graf), (alemania)

El depósito enterrado Carat es distinto a cualquier otro depósito enterrado del mundo. Es el mayor depósito de sus características fabricado por inyección, lo que le proporciona una estabilidad excepcional y garantiza que cada componente sea producido con la mayor precisión. Al contrario de otros depósitos del mercado, el grosor de las paredes del depósito es constante en toda su estructura. Las tolerancias en su producción son mínimas dando como resultado un producto de máxima calidad caracterizado por su robustez, seguridad y fácil montaje. El filtro Optimax-Pro de GRAF integrado, está diseñado especialmente para su uso en el depósito.

Sus beneficios son; tecnología de filtrado integrada en el depósito que ahorra espacio, bajo mantenimiento gracias a la autolimpieza, unidad de limpieza interna, tapa transparente que facilita la inspección y más del 95 % de aprovechamiento del agua. Su proceso de filtración se realiza en cuatro fases de limpieza:

- 1.) Filtración y first-flush: El agua lluvia se filtra a través del filtro autolimpiante ptimax, cuando el filtro está seco, rehúsa la primera agua haciendo la función first-flush. El agua limpia fluye al interior del depósito mientras que las partículas de suciedad se van por el rebosadero.
- 2.) Sedimentación: Para facilitar la sedimentación de las partículas de suciedad más finas (< 0.35 mm) en el fondo del depósito, el agua filtrada es conducida al interior mediante el tubo a la zapata de entrada tranquila. Esto evita el continuo arremolinamiento del agua y mejora la oxigenación en el fondo del depósito. Esto facilita la renovación continua del agua.

- 3.) Rebosadero: Las partículas de suciedad más ligeras, se quedan en la superficie del agua formando una capa flotante. El rebosadero permite la eliminación de esta capa cuando el depósito llega al límite de su capacidad.
- 4.) Captación del agua: El agua de lluvia almacenada en el interior del depósito se capta unos 10 cm de la superficie mediante la captación flotante. A esta profundidad encontramos siempre el agua de mejor calidad.



Figura 2-10: Deposito Carat

Fuente: catalogo GRAF Sistemas de recuperación de Agua de Lluvia

2.4.3 Aquacell (wavin - pavco), (reino unido)

AquaCell es una tecnología de origen europeo que se orienta a fortalecer el desarrollo sostenible que se basa en el almacenamiento de agua en el área donde se precipita, luego es adsorbida dentro de la estructura formada por las celdas denominadas AquaCell, que luego se infiltra en el suelo o puede ser retenida por un tiempo antes de ser descargada al alcantarillado o conservada para ser reusada.

La unidad de AquaCell es de forma modular (1x0.5x0.39m), liviana (9Kg) y con una capacidad del 95%. Pueden ser grapadas en capas simples o sobrepuestas en múltiples capas. Las conexiones al sistema, se realizan por medio de tubos novafort de 160mm. Cuando se requiere retener el agua, el sistema se envuelve en geomembrana de 30 MILS y si se requiere sedimentación del agua antes de entrar a las unidades de AquaCell, se

dispone de sumideros separadores el cual consta de un cuerpo con retenedores que pueden almacenar hasta 45 litros de sedimentos y material particulado.

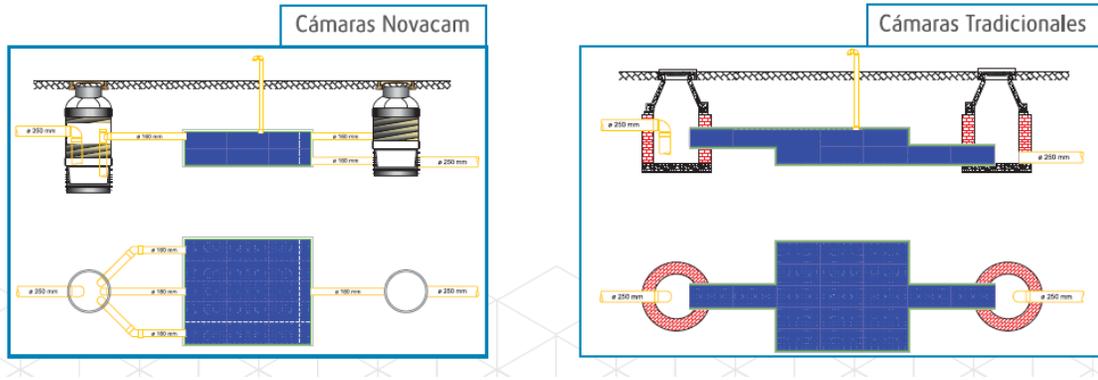


Figura 2-11: Sistema AQUACELL.
Fuente: catálogo AquaCell Pavco

2.4.4 Stormtech (ads tigre), (estados unidos)

Las StormTech es un sistema orientado para la acumulación de aguas lluvias bajo superficie, fabricados en polipropileno y polietileno virgen. Está diseñado principalmente para ser utilizado bajo estacionamientos, carreteras y cargas de tierra pesadas ahorrando valiosas extensiones de área superficial que consiste en la construcción de túneles paralelos de infiltración enterrados, el cual promueve la protección de los recursos.

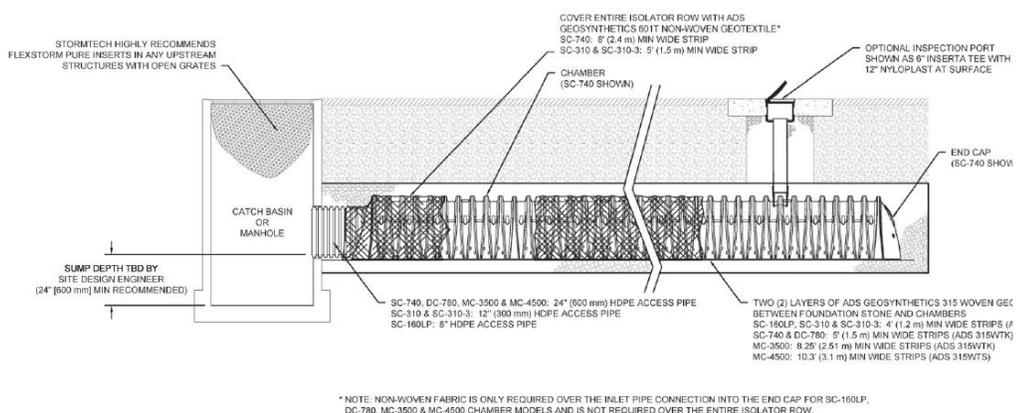


Figura 2-12: Sistema STORMTECH
Fuente: Catálogo de productos STORMTECH

2.4.5 Flo-tank (atlantis), (australia)

El sistema de tanques con módulos Flo-Tank, es un sistema modular que permite construir reservorios de capacidad ilimitada, en múltiples formas y profundidades, para así ajustarse a las exigencias del terreno y geometría del proyecto. Los sistemas de tanques modulares ofrecen una opción altamente eficiente para el manejo de aguas pluviales en cualquier tipo de suelo. Sobresalen cuando existe la necesidad de lograr una alta calidad del agua, particularmente en la eliminación efectiva de nutrientes y contaminantes gruesos. Cuando se envuelve la superficie exterior del tanque con membranas de PVC o Polietileno, se crean volúmenes subterráneos estancos que almacenan agua para ser re utilizada.

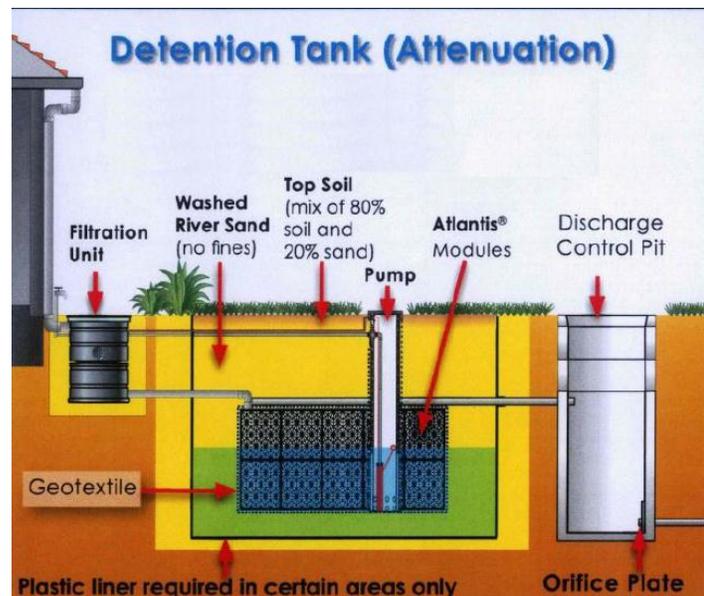


Figura 2-13: Sistema FLO-TANK
Fuente: Catálogo de productos Atlantis

Los sistemas presentados son tecnologías de aprovechamiento que sirven para almacenar agua lluvia, los cuales ofrecen alternativas de retención, e infiltración y que ahorran espacio durante el transporte, lo que reduce costos de transporte y emisiones de CO₂, Adicional ofrecen alternativas integradas con sistemas integrados con procesos de filtración según las necesidades y uso, lo que permitiría ahorrar espacio y puede ser útil tanto para el aprovechamiento de agua en obra, como para continuar su función en el uso final del proyecto a ejecutar.

2.5 Tecnologías ahorradoras de agua

De acuerdo a la NTC 5757 criterios ambientales para aparatos sanitarios de alta eficiencia, los sanitarios que no superen los 4.8 litros por descarga serán considerados de alta eficiencia. Algunas opciones de tecnologías existentes son:

2.5.1 Sanitarios con tecnología de vacío

El inodoro de vacío ha sido particularmente diseñado como un aparato ahorrador de agua y para un máximo de comodidad. Se pueden adquirir comercialmente para ser montados tanto en el piso, como en la pared. Ambos modelos son comúnmente encontrados en China.

El inodoro al vacío está completamente equipado con válvulas de interface y mandos. Este solo requiere un litro de agua por descarga y aproximadamente 60 litros de aire son succionados en el sistema para ayudar a transportar el agua residual a través de la red de tuberías hacia la estación de vacío logrando ahorros hasta de un 80%.

El sanitario tiene una boquilla de acero inoxidable a cada lado del vaso del inodoro a través de la cual el agua es rociada. La tubería de descarga de un inodoro al vacío tiene un diámetro de aproximadamente 50 mm y está conectada al sistema sanitario con una tubería de diámetro similar.

El inodoro al vacío funciona de la siguiente forma:

Paso 1: El usuario presiona el botón, la válvula se abre y el agua residual se evacúa. También se succiona aire al sistema. Al mismo tiempo la válvula de agua se abre y se rocía agua fresca para limpiar el tazón.

Paso 2: La válvula de vacío se cierra pero la válvula de agua se queda abierta. Una cantidad pequeña de agua fresca se rocía en el tazón.

Paso 3: La válvula de agua se cierra, un volumen pequeño de agua limpia se retiene en el tazón y el inodoro está listo para nuevo uso.



Figura 2-14: Sanitario con tecnología de vacío
Fuente: <http://www.trimer.com.ar>

2.5.2 Sanitarios ahorradores

En el mercado colombiano ya se encuentran sanitarios con descargas inferiores a 3.9 litros. Además, se cuenta con diseños que captan el agua del lavamanos para dirigirla al tanque del sanitario y disminuir el uso de agua potable



Figura 2-15: Sanitarios ahorradores
Fuente: <http://www.corona.co>

2.5.3 Sensores infrarrojos

Funcionan mediante infrarrojos que se activa por proximidad, así el agua cae colocando las manos bajo el grifo y deja de hacerlo al quitarlas. Necesitan instalación eléctrica o pilas; según los modelos, este sistema ahorra el consumo de agua de entre el 70% y el 80%, por ello es recomendable para los espacios públicos.



Figura 2-16: Grifería con sensores infrarojo
Fuente: <http://www.acuaval.com>

2.5.4 Temporizador o push – button

Se accionan mediante un pulsador y se cierran después de un tiempo establecido. Normalmente se puede establecer el tiempo que se desee.



Figura 2-17: Grifería tipo push
Fuente: <http://www.acuaval.com>

2.5.5 Regulador de caudal

Dispositivo que dispone de un mecanismo regulador que permite limitar el paso normal del agua; puede alcanzar un ahorro de hasta el 50% del agua consumida.



Figura 2-18: Reguladores de Caudal
Fuente: Guía de manejo ambiental para el sector de la construcción

2.5.6 Perlizador

Es un dispositivo que mezcla agua con aire provocando que las gotas de agua salgan del grifo con forma de perlas, de esta forma se reduce el caudal de agua y se compensa el caudal a la salida del grifo en instalaciones con poco caudal. Así se puede conseguir ahorros superiores al 50% de caudal sin perder volumen de agua a la salida del grifo.

Normalmente los grifos de lavaplatos suministran entre 14 y 17 litros por minuto con presiones de 3 bar, lo cual es demasiado para la mayoría de las necesidades. Mediante el uso de perlizadores o aireadores se puede limitar el caudal a 4, 5,6 litros por minuto obteniendo un ahorro en el consumo de hasta el 70%



Figura 2-19: Perlizador

Fuente: <http://www.aguaflux.es>

3. Guía de aprovechamiento de agua lluvia en el desarrollo de la obra civil

La guía tiene como objetivo orientar a los constructores formales, para que identifiquen la forma de calcular la demanda de agua que se puede reemplazar por el agua lluvia en el proceso de desarrollo de las obras y la forma de calcular la oferta según las precipitaciones mensuales de la región analizada. Para poder determinar las actividades en las que se puede hacer uso del agua lluvia, es indispensable conocer el ciclo de la obra y el ciclo del agua dentro de la obra, para de esta forma identificar las actividades y los tiempos en lo que se hace uso del agua.

3.1 Ciclo de la obra

El proceso constructivo es el conjunto de fases que se requieren para materializar un edificio o cualquier infraestructura y aunque el proceso constructivo es particular para cada una de las obras, según el sistema constructivo escogido, el ciclo de la obra comparte pasos comunes que siempre se deben realizar o se deben tener en cuenta. Partiendo de esto se define el ciclo de la obra para una vivienda multifamiliar, que para el caso de ejemplo que se aplicará en este documento corresponde a un sistema industrializado, por lo que comprende las siguientes fases:

- 1-) Preliminares
- 2-) Estructura
- 3-) Instalaciones técnicas
- 4-) Mampostería
- 5-) Acabado 1
- 6-) Cubierta y Ventanería
- 7-) Acabados finales
- 8-) Finalización

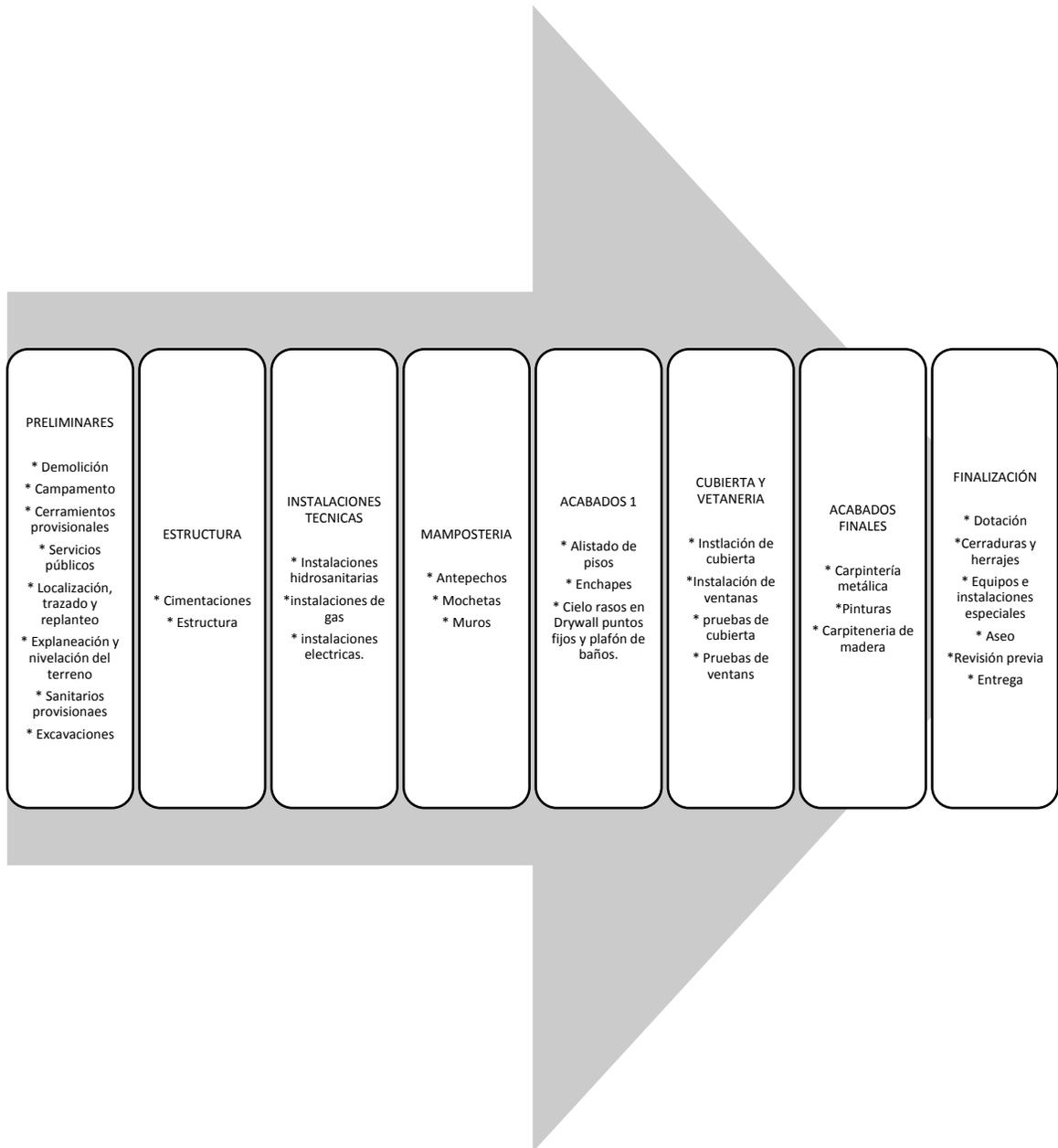


Figura 3-1: Ciclo de la obra
Fuente: María Fernanda Camelo Capador

1-) Preliminares: corresponde a aquellas actividades preliminares necesarias para la ejecución de la obra tales como; demoliciones, campamentos, cerramientos, instalaciones provisionales, limpieza y descapote del terreno y excavaciones. Dentro de este capítulo se tendrá en cuenta para el análisis del agua el lavado de las llantas de las volquetas y sanitarios provisionales.

2-) Estructura: corresponde a aquellas actividades tales como cimientos y en general el esqueleto del edificio. Para el análisis del agua se tendrá en cuenta el curado del concreto.

3-) Instalaciones técnicas: corresponde a aquellas actividades tales como instalaciones de redes hidráulicas y sanitarias, gas, instalaciones eléctricas, y las respectivas pruebas hidráulicas que permitan identificar posibles fugas.

4-) Mampostería: Incluye dentro de este capítulo la construcción de muros, antepechos, mochetas y para el análisis del agua se tendrá en cuenta el mortero de pega y pañetes.

5-) Acabado 1: para esta Fase se incluyen los primeros acabados tales como alistado de pisos, enchapes y cielo rasos para puntos fijos y plafones de baños. Para este capítulo se tendrá en cuenta el lavado de herramientas.

6-) Cubierta y Ventanería: Corresponde a la fase de instalación de cubiertas y ventanas y las respectivas pruebas de hermeticidad.

7-) Acabados finales: Corresponde a la etapa final enfocada en la elaboración de acabados, para obtener el edificio casi habitable. Para este capítulo se tendrá en cuenta el lavado de herramienta.

8-) Finalización: se llama finalización a aquellas actividades que concluyen la obra para que pueda ser entregada. De esta forma se incluye dentro de este capítulo dotación, cerraduras y herrajes, equipos e instalaciones especiales, aseo, recisión previa y entrega. Para este capítulo se tendrá en cuenta el lavado de herramienta.

3.2 Ciclo del agua en el proceso constructivo

Hace referencia al agua necesaria, para el desarrollo del proceso constructivo (analizando actividades que pueden hacer parte o no según el proceso constructivo que se esté desarrollando a la hora de evaluar el volumen de agua dentro de una obra) frente al agua que se evacua hacia el alcantarillado, o al agua que queda atrapada en las actividades que así lo requieran, producto del proceso constructivo mismo.

De esta forma se clasifica el ciclo del agua en dos sub-ciclos:

1. *Ciclo del agua atrapada:* refiriéndose éste al agua que se utiliza dentro del proceso constructivo quedándose así un porcentaje en la obra de manera atrapada, como

podrían ser actividades tales como morteros para pega, pañetes, etc., y corresponde a una cantidad de agua que no se recupera y que forma parte de los elementos constructivos.

2. *Ciclo del agua vertida*: hace referencia al agua, que se requiere dentro del proceso constructivo, pero que es evacuada después de darle algún uso, por ejemplo, actividades tales como el lavado de equipos y herramientas, pruebas de cubiertas o ventanería etc.

3.3 Identificación del agua en las obras de construcción

Normalmente se piensa en el uso racional del agua durante la fase de uso y mantenimiento del edificio, es decir actividades desarrolladas en su interior, como lo son sistemas ahorradores de agua, aparatos ahorradores, tuberías paralelas de agua cruda que abastezcan aparatos sanitarios, que no requieren de agua potable entre otros; lo que permite identificar fácilmente el ahorro de agua en el uso final de la edificación. Sin embargo, en la etapa de construcción, no es tan fácil encontrar datos que permitan identificar el uso del agua y su posible ahorro dentro de dicha etapa, por lo que es aún más complicado, evaluar la cantidad de agua utilizada en el desarrollo de la obra civil.

Para analizar de manera más particular el consumo del agua en las obras, se identificaron todas las actividades que requieren de agua, para luego entrar a evaluar aquellas que utilizan agua potable, pero que en realidad pueden hacer uso de otro tipo de agua con menor tratamiento como lo es el agua lluvia.

El siguiente análisis de identificación de agua, se realizó tomando como referencia la tesis *Construcción ecoeficiente, cuantificación y minimización del consumo de agua en la construcción de edificio*, donde se clasifica el agua según la función de la misma dentro del proceso constructivo.

Clasificación propuesta:

- Agua como componente indispensable
- Agua como componente de desarrollo del proceso
- Agua como componente auxiliar
- Agua como componente de pruebas

Se toma como base dicha tesis, ya que la clasificación descrita se mantiene en el tiempo, es decir que el agua según la función dentro del proceso constructivo, es la misma que la evaluada, pues las actividades de hace 12 años son las mismas que las que se siguen trabajando actualmente en las obras; se utiliza agua para la elaboración de morteros, para curarlos, para el lavado de herramientas, para provisionales, para las pruebas etc.

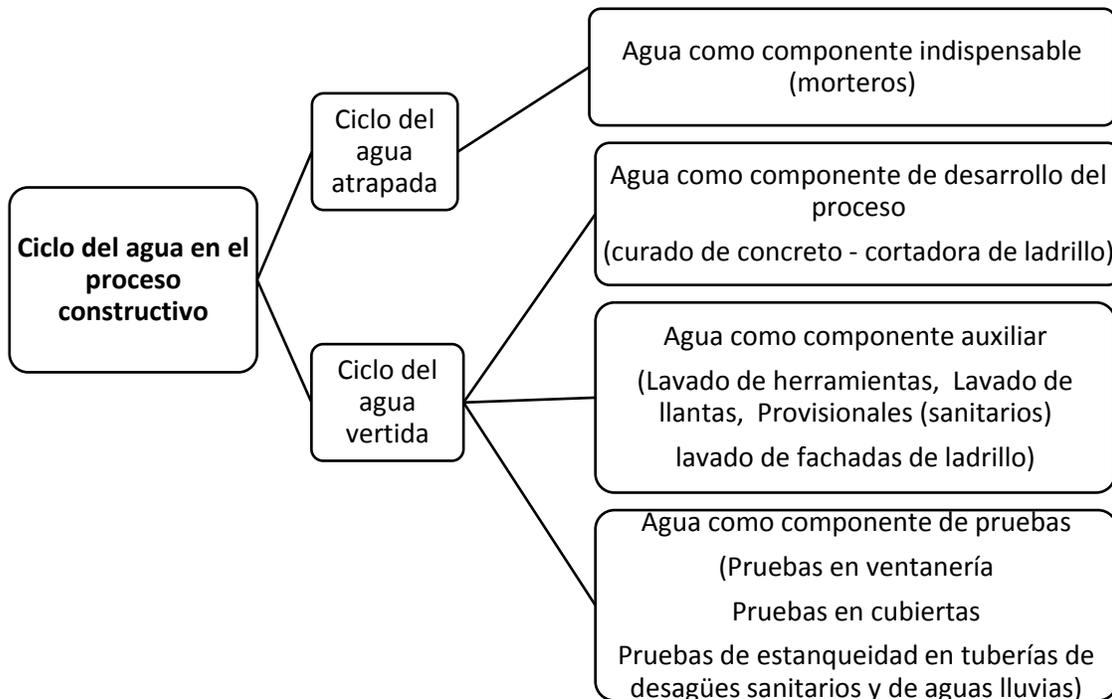


Figura 3-2: Ciclo del agua en el proceso constructivo
Fuente: María Fernanda Camelo Capador

3.3.1 Agua como componente indispensable

Hace referencia al agua que se requiere en las actividades como un elemento esencial, de tal forma que sin ella tal acción sería imposible realizar. Dichas actividades requieren del agua para ejecutar los diferentes elementos constructivos, como aquellos que se analizaron para la presente investigación:

- Mortero 1:2
- Mortero 1:3
- Mortero 1:4
- Mortero 1:5

- Mortero 1:6

Para esta investigación, no se analizó el concreto, a pesar de ser una actividad que consume bastante agua, ya que se asume ésta, como aquella que se realiza fuera de la obra, pues normalmente el concreto es premezclado. Sin embargo, se tomó como referencia para el análisis de los morteros, la tesis *Concreto confeccionado con aguas lluvia* (Medina, 2013), como base para tomar al mortero como una actividad que puede reemplazar el agua potable por agua lluvia, pues las conclusiones de dicha tesis, basadas en diferentes pruebas de laboratorio, determinaron que la confección del concreto con el uso de aguas lluvia, no modifica su resistencia y la apariencia de los concretos confeccionados con agua lluvia, es idéntica a los elaborados con el concreto convencional, lo que valida la utilización de ambos en la elaboración de todo tipo de elementos de construcción.

3.3.2 Agua como componente de desarrollo del proceso

Corresponde a las actividades que requieren del agua en alguna parte del proceso constructivo, al desarrollar las diferentes actividades de un proceso. Las actividades analizadas son:

1. *Curado de concreto*: se aclara que al igual que los morteros el agua a emplear como elemento de curado, debe cumplir con los mismos requisitos del agua de mezclado (libre de sustancias perjudiciales). Siguiendo lo expuesto por Medina (2013) en el trabajo de tesis *Concreto confeccionado con aguas lluvia*, si se puede reemplazar el agua potable por agua lluvia, solo que esta debe tener un pretratamiento y no se debe usar totalmente cruda como se capta.
2. *Cortadora de ladrillo*: el agua que requiere esta máquina es para no quemar el disco diamantado, no obstante, el agua debe provenir de un área de captación que no arrastre demasiados residuos y debe tener un filtrado.

3.3.3 Agua como componente auxiliar

Se refiere al agua utilizada en aquellas actividades que la utilizan como auxiliar para poder desarrollar de una manera adecuada las diferentes actividades del proceso. Las actividades analizadas en este capítulo corresponden a:

- Lavado de herramientas
- Lavado de llantas
- Provisionales (sanitarios)

El agua que se requiere para estas actividades puede ser cruda pero filtrada, sin ningún pre tratamiento ya que esta no afecta dichas actividades, al no ser requerida característica o parámetro especial alguno para su uso.

- Lavado de fachadas de ladrillo

Para el lavado de fachadas el agua a utilizar deber ser pre-tratada.

3.3.4 Agua como componente de pruebas

Hace referencia a aquellas actividades que requieren de controles o pruebas. Las actividades analizadas en este capítulo corresponden a:

- Pruebas en ventanería
- Pruebas en cubiertas
- Pruebas de estanqueidad en tuberías de desagües sanitarios y de aguas lluvias

El agua que se requiere para estas actividades, es usada para probar que el sistema no presente fugas o daños, por lo que es necesario evaluar también el uso de agua lluvia y volúmenes aproximados de utilización para estas actividades. Al igual que en el componente auxiliar, el agua que se requiere para estas actividades puede ser cruda pero filtrada, sin ningún pre-tratamiento ya que esta no afecta dichas actividades, pues no requieren alguna característica o parámetro especial para su uso.

En general, las aguas lluvias a utilizar en cualquiera de los componentes mencionados en este capítulo, deben tener un filtrado para separar los posibles elementos sólidos o impurezas que se arrastren y solo algunas actividades requieren un pre-tratamiento del agua lluvia para su uso.

3.4 Cálculo de la demanda

Siguiendo la identificación del agua en las obras, donde se clasifica este componente según su función, se calcula el volumen de agua para:

- 1- Morteros, donde el agua se clasifica como componente indispensable.

2- Curado de hormigón y la cortadora de ladrillo, donde el agua se identifica como componente de desarrollo del proceso.

3- Limpieza, siendo el agua un componente auxiliar.

4- . Pruebas en ventanearía, cubierta y tuberías, siendo el agua como componente de pruebas.

Para el caso de los morteros se toma el volumen de agua referenciado en las dosificaciones de *Construdata* (Revista de construcción, edición 181, correspondiente al periodo dic2016-feb2017), donde se discrimina el volumen en m³ de agua por morteros.

Para los volúmenes de agua del; 1-) curado de hormigón, 2) lavado de llantas, 3-) lavado de fachadas, 4-) prueba de ventanería, se realiza el cálculo basado en los tiempos según las experiencias de ingenieros y arquitectos que trabajan en obra para realizar dicha actividad, multiplicado por el caudal del equipo a utilizar que para algunos de los casos serán hidrolavadoras o mangueras que son lo que normalmente utilizan en las obras.

Ecuación (1)

$$V = Q \times T$$

Donde:

V: Volumen de agua en litros (l)

Q: caudal de agua en l/s

T: Tiempo aproximado requerido para realizar una actividad (s)

Para el cálculo de los sanitarios provisionales (recomendando el uso de sanitarios de bajo consumo) se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

Ecuación (2)

$$Vs = (Lpf \times Fdp \times Np)$$

Donde:

V: Volumen por sanitario de agua en litros

Lfp: litros por descarga

Fdp: frecuencia diaria de aparato por persona

Np: Número de personas.

Para el cálculo de las pruebas de cubierta, se toma en cuenta el área de la cubierta a probar, multiplicado por la altura de la lámina de agua, para la prueba de estanqueidad.

Ecuación (3)

$$V = (A \times h) \times 1000$$

Donde:

V: Volumen de agua en litros

A: área de cubierta (m²)

h: altura lámina de agua (m)

Para el cálculo de las pruebas de estanqueidad de las tuberías sanitarias y de aguas lluvias se toma el área del tubo, por el largo del tubo, para este caso se determina el volumen de agua por 1m de tubería. De esta forma se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación (4)
$$V = (\pi r^2) \times m \times 1000$$

Donde:

V: Volumen de agua en litros por metro de tubería

r: radio de tubería

m: longitud de tubería

ECUACIONES PARA DETERMINAR DEMANDA DE AGUA EN LAS OBRAS	
ACTIVIDADES	ECUACIÓN
1-) Curado de hormigón 2-) Lavado de llantas 3-) lavado de fachadas de ladrillo 4-) Prueba de ventaneria	Ecuación (1) V=Q x T
5-) Sanitarios Provisionales	Ecuación (2) Vs=(Lpf x Fdp x Np)
6-) Pruebas de cubiertas	Ecuación (3) V=(A x h) x 1000
7-) Pruebas de estanqueidad tuberías sanitarias	Ecuación (4) V=(πr^2) x m x 1000

Tabla 3-1: Resumen de ecuaciones para calcular volúmenes de agua
Fuente: María Fernanda Camelo

3.5 Resultados cálculos de demanda

Los siguientes resultados corresponden a la aplicación de las formulas expuestas en el capítulo 3.4, con el fin de determinar, cuánto es el volumen de agua que se requiere por actividad, de acuerdo a la identificación del agua en las obras de construcción.

Para tener un rango de tiempos entre máximos y mínimos, y conocer qué tipo de maquina utilizaban en el manejo de agua, se realizó una encuesta a diferentes arquitectos, ingenieros civiles y maestros de obra vinculados al trabajo del sector de la construcción en el desarrollo de obras, los cuales según su experiencia manifestaron el tiempo aproximado en realizar las diferentes actividades consultadas.

3.5.1 Volumen de agua como componente indispensable

Como se indicó, los volúmenes descritos a continuación corresponden a las tablas detalladas generales de la revista de construcción *Construdata*, las cuales indican la cantidad de agua que se requiere, para mezclar un m³ de mortero según la especificación del mismo.

MORTERO 1:2		m³
DESCRIPCION	UM	CANT
AGUA	1	250
ARENA FINA	m ³	0.97
CEMENTO GRIS	Kg	610
HERRAMIENTA MENOR	%	5
HORA CUDRILLA AA ALBAÑILERÍA	hc	1
MEZCLADORA DE TROMPO 3BT CON TOLVA	dia	0.13

MORTERO 1:3		m³
DESCRIPCION	UM	CANT
AGUA	1	240
ARENA FINA	m ³	1.09
CEMENTO GRIS	Kg	454
HERRAMIENTA MENOR	%	5
HORA CUDRILLA AA ALBAÑILERÍA	hc	1
MEZCLADORA DE TROMPO 3BT CON TOLVA	dia	0.13

MORTERO 1:4		m³
DESCRIPCIÓN	UM	CANT
AGUA	l	220
ARENA FINA	m ³	1.16
CEMENTO GRIS	Kg	364
HERRAMIENTA MENOR	%	5
HORA CUADRILLA AA ALBAÑILERÍA	hc	1
MEZCLADORA DE TROMPO 3BT CON TOLVA	dia	0.13

MORTERO 1:5		m³
DESCRIPCIÓN	UM	CANT
AGUA	l	182
ARENA FINA	m ³	1.2
CEMENTO GRIS	Kg	302
HERRAMIENTA MENOR	%	5
HORA CUADRILLA AA ALBAÑILERÍA	hc	1
MEZCLADORA DE TROMPO 3BT CON TOLVA	dia	0.13

MORTERO 1:6		m³
DESCRIPCION	UM	CANT
AGUA	l	158
ARENA FINA	m ³	1.2
CEMENTO GRIS	Kg	261
HERRAMIENTA MENOR	%	5
HORA CUADRILLA AA ALBAÑILERÍA	hc	1
MEZCLADORA DE TROMPO 3BT CON TOLVA	dia	0.13

3.5.2 Volumen de agua como componente de desarrollo del proceso

- **Curado del hormigón**

El curado es una actividad importantísima dentro del desarrollo de las obras de construcción, de realizar adecuadamente este proceso depende que el concreto no se fisure o presente grietas, producto de esfuerzos de tensión internos por pérdida de agua

que provoca que el concreto se contraiga. El proceso de curado consiste básicamente en el control de la temperatura y humedad hacia adentro y hacia afuera del concreto.

Las labores de protección y curado tienen una gran influencia sobre las propiedades del concreto, tanto en estado plástico, como en estado endurecido, particularmente, en lo que se refiere a fraguado, estabilidad volumétrica, permeabilidad, densidad, resistencia mecánica, durabilidad, y resistencia a la abrasión. La mayoría de los concretos en estado plástico contienen una cantidad de agua considerablemente mayor que la requerida para que tenga lugar su combinación química y la hidratación completa del cemento, sin embargo durante el fraguado, se pierde agua por exudación y posterior evaporación o por absorción de los agregados, las formaleas o el suelo, que evitará la completa hidratación. Por ellos todas las superficies deben protegerse de la evaporación de la humedad (Sánchez de Guzman, 2004).

De acuerdo a la guía básica para el curado del concreto de Toxement, el curado ayuda a proveer una temperatura adecuada para que el proceso de hidratación se desarrolle de manera normal. Cuando un concreto no se cura, alcanza tan solo cerca del 55% de su resistencia potencial; cuando se cura solo por 3 días, alcanza aproximadamente el 75% de la resistencia potencial; cuando el curado se hace durante los primeros 7 días, puede llegar al 98% de su resistencia potencial; y cuando se cura permanentemente, la resistencia potencial puede alcanzar alrededor del 125% de su resistencia.

Métodos de curado

En general existen 2 métodos: Los húmedos, que consisten en un suministro de agua adicional; y los tratamientos para evitar la pérdida de humedad en el concreto, que usan materiales que generan una membrana en la superficie del concreto.

- Métodos húmedos

- **Inmersión:** Consiste en la inmersión total del elemento en agua; es ideal para estructuras como pavimentos (losas), pisos y techos horizontales. Se crea un borde impermeable en los extremos de la estructura para que contenga el agua; se debe tener cuidado que el agua no afecte el suelo portante.
- **Riesgos o rocíos de agua:** Es muy efectivo para altas temperaturas. Los dispositivos giratorios son buenos cuando no hay problema que el agua escurra fuera del área por curar. Para estructuras verticales se recomienda riego con manguera (por aspersión).

- Cubiertas con material absorbente: Se emplean mantas de algodón, alfombras, estopa (yute), espuma. Consiste en colocar los materiales sobre la superficie del concreto (que no esté recién vaciado) y mantenerlos mojados para que la superficie del concreto permanezca húmeda. Las cubiertas no se deben dejar secar durante el proceso, pues el efecto se invierte. Al finalizar el periodo, es conveniente dejarlos secar antes de retirarlos para que el concreto se vaya secando paulatinamente.
- Arena o aserrín: La arena debe ser limpia; el aserrín puede contener ácido tánico que mancha y deteriora la superficie del concreto. Es aconsejable colocar capas de 10 cm y mantener el material lo más húmedo posible para evitar que el viento lo levante.
- Paja o heno: Para lograr un buen desempeño se deben hacer capas de al menos 15 cm y cubrirlas con una malla de alambre o una cubierta para evitar que el viento los arrastre. Si se deja secar, se puede quemar.
- Concreto con formaletas: Las metálicas y las de fibra de vidrio evitan la pérdida de humedad cuando se mantiene húmeda la superficie exterior expuesta. Generalmente se usa el rocío con manguera para controlar la temperatura. Se aconseja dejar las formaletas el mayor tiempo posible. En el caso de formaletas de madera, el rociado es más exigente, aconsejándose retirarlas lo más pronto posible y continuar con otro método.

- Métodos que evitan la pérdida de humedad

Consisten en la colocación de elementos sobre la superficie del concreto que evitan la evaporación del agua de manejabilidad de la mezcla, tales como películas plásticas y membranas de curado.

- Películas plásticas: Son livianas. Se aconseja blanca para climas cálidos y negra para climas fríos; no deben estar rotas para evitar que el agua se escape y debe estar lo más cerca a la superficie para aprovechar el agua evaporada. Se aconseja ponerla lo más pronto posible cubriendo todas las partes expuestas y colocar de vez en cuando agua debajo de la película.

• Membranas de curado: Son parafinas (ceras) o resinas, éstos compuestos deben cumplir con la norma ASTM C309. Se puede utilizar un líquido traslucido o con colores, en el caso de compuestos blancos, éstos aportan propiedades reflectivas y permiten efectuar la inspección visual sobre el cubrimiento de la superficie. Si el concreto va a tener un recubrimiento o terminado adherido, se debe usar un curador de fácil remoción. La aplicación del curador se puede hacer con brocha, rodillo o aspersor.

Con el fin de determinar el volumen aproximado que se requiere de agua por m² de curado, se consultó con diferentes residentes de obra el tiempo y el medio utilizado para curar una columna, del cual se toma un promedio de una columna de 0.70mx0.70mx2.50m, con un rango de tiempo entre 5 y 10 minutos con una manguera que arroja según las pruebas, un caudal de 13 l/min o 0.22 l/s.

ENCUESTA PARA IDENTIFICAR TIEMPOS APROXIMADOS, PARA DETERMINAR VOLUMENES DE AGUA SEGÚN ACTIVIDAD DE OBRA.		
NOMBRE ENCUESTADO	PROFESION	PREGUNTA
		Cuánto tiempo se requiere para curar una columna de 0,70x70x2,50 m?
LINA ZAPATA	Ingeniera Civil	10 min
CAMILO CAPADOR	Arquitecto	8 min
YAMID ALFONSO	Ingeniero Civil	5 min
DIEGO CASTRO	Arquitecto	10 min
ARSENIO ÁLVAREZ	Maestro	10 min
EDISSON MUÑOZ	Arquitecto	10 min
JOSE PUENTES	Maestro	6 min
MAURICIO VARGAS	Ingeniero Civil	10 min
VANESA JARRO	Ingeniera Civil	10 min
HUGO VARGAS	Arquitecto	5 min
MAXIMO		10 min
MINIMO		5 min

Tabla 3-2: Tiempos aproximados para curar una columna de 0.7x0.7x2.5m
Fuente: Encuesta realizada por María Fernanda Camelo

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que por 7 m² correspondientes a la columna anteriormente descrita, para un tiempo de mínimo 5 minutos en curarla completamente con una manguera de ½", que arroja un caudal de 0.22 l/s, por lo tanto para 1m² de área a curar se requiere:

Tiempo:

$$7m^2 \text{ ----- } 5\text{min}$$

$$1m^2 \text{ ----- } T$$

$$\frac{T = 5 \text{ min} \times 1m^2}{7m^2} = 0.71 \text{ min} = 42.6 \text{ s}$$

Para determinar el volumen de agua requerido utilizaremos la ecuación 1.

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.22l}{s} \times 42.6s = 9.37 l$$

Por lo tanto, para 1m² de área a curar se requiere aproximadamente un volumen de:

$$\mathbf{V_{min}: 9.37 l}$$

Para un tiempo de máximo 10 minutos en curarla completamente con una manguera de ½", que arroja un caudal de 0.22 l / s, por lo tanto para 1m² de área a curar se requiere:

Tiempo:

$$7m^2 \text{ ----- } 10 \text{ min}$$

$$1m^2 \text{ ----- } T$$

$$\frac{T = 10 \text{ min} \times 1m^2}{7m^2} = 1.42 \text{ min} = 85.71 \text{ s}$$

Para determinar el volumen de agua requerido utilizaremos la ecuación 1.

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.22l}{s} \times 85.71 s = 18.86 l$$

Por lo tanto, para 1m² de área a curar se requiere aproximadamente un volumen de:

$$\mathbf{V_{max}: 18.86 l}$$

Para el caso en que se requiera saber el volumen aproximado que se requiere de agua por m³ de curado, se toma el mismo promedio de columna de 0.70mx0.70mx2.50m, con un rango de tiempo entre 5 y 10 minutos con una manguera que arroja según las pruebas, un caudal de 13 l/min o 0.22 l/s.

Tiempo:

$$\begin{array}{l} 1.23 \text{ m}^3 \text{ ----- } 5 \text{ min} \\ 1 \text{ m}^3 \text{ ----- } T \end{array}$$

$$\frac{T = 5 \text{ min} \times 1 \text{ m}^3}{1.23 \text{ m}^3} = 4.07 \text{ min} = 244.2 \text{ s}$$

Para determinar el volumen de agua requerido utilizaremos la ecuación 1.

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.22 \text{ l}}{\text{s}} \times 244.2 \text{ s} = 53.72 \text{ l}$$

Por lo tanto, para 1 m³ a curar se requiere aproximadamente un volumen de:

$$\mathbf{V_{min}: 53.72 \text{ l}}$$

Para un tiempo de máximo 10 minutos en curarla completamente con una manguera de ½", que arroja un caudal de 0.22 l / s, por lo tanto para 1 m² de área a curar se requiere:

Tiempo:

$$\begin{array}{l} 1.23 \text{ m}^3 \text{ ----- } 10 \text{ min} \\ 1 \text{ m}^3 \text{ ----- } T \end{array}$$

$$\frac{T = 10 \text{ min} \times 1 \text{ m}^3}{1.23 \text{ m}^3} = 8.13 \text{ min} = 487.8 \text{ s}$$

Para determinar el volumen de agua requerido utilizaremos la ecuación 1.

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.22 \text{ l}}{\text{s}} \times 487.8 \text{ s} = 107.31 \text{ l}$$

Por lo tanto, para 1 m³ a curar se requiere aproximadamente un volumen de:

$$\mathbf{V_{max}: 170.31 \text{ l}}$$

- **Cortadora de ladrillo.**

La cortadora de ladrillo es un equipo menor, usado en el proceso de corte de piezas en ladrillo durante el proceso constructivo de mampostería y acabados. Para la operación del corte de ladrillo se requiere que la máquina no opere en seco, ya que se presentarían problemas

con el disco diamantado, al perder este su fibra de diamante y se llegaría al punto en que se quemaría. Por esta razón es que las cortadoras de ladrillo requieren durante su operación, un flujo de agua. Al revisar las fichas técnicas de las cortadoras de ladrillo no se especifica el volumen de agua que se requiere para su funcionamiento, por lo tanto se tomó el volumen de agua de acuerdo a las experiencias de los arquitectos e ingenieros que trabajan en obra.

Para el funcionamiento de la cortadora se consultó mediante una encuesta, a arquitectos, ingenieros y maestros y se coincidió en que el volumen aproximado que se utiliza es de 2000 litros por cada dos meses o 1000 l cada mes, dicha agua es utilizada varias veces, realizando un proceso de decantación y recirculación del agua, y solo es cambiada cuando está muy contaminada.

3.5.3 Volumen de agua como componente auxiliar

- **Lavado de herramienta menor**

Para el lavado de la herramienta menor debido a que hay variables como las actividades a realizar en el día, o el número de herramientas utilizadas, la encuesta arroja que normalmente se toma el volumen de una batea, ya que normalmente en las obras se llena la batea de agua para lavarlas dentro de esta. Otra opción es lavarlas directamente de una llave de manguera, pero por las variables descritas es difícil determinar cuánto tiempo se toma en lavar todas las herramientas y así poder calcular el volumen de agua. Por lo tanto se toma el volumen de una batea, si se toma como referencia una caneca de 50 galones o 189.27 litros el volumen de la batea sería de 94.64 litros.

Por lo tanto, el volumen aproximado para el lavado diario de herramienta menor corresponde a:

V: 94.64 l

- **Lavado de llantas**

Con el fin de dar cumplimiento a la resolución 541 del 14 de diciembre de 1994; “los sitios, instalaciones, construcciones y fuentes de material deberán contar dentro de los límites del inmueble privado, con sistemas de lavado para las llantas de los vehículos de carga, de tal manera que no arrastren material fuera de esos límites, con el fin de evitar el daño al espacio público.”, el siguiente análisis tiene como objetivo identificar la cantidad de agua

que puede utilizarse en el lavado de las seis llantas de una volqueta u otro equipo como la mixer de concreto.

El lavado de llantas, de acuerdo a la experiencia de los arquitectos e ingenieros que permanecen en obra, se realiza con una hidrolavadora y el tiempo de lavado de las seis llantas de una volqueta es de aproximadamente entre 8 y 15 minutos.

ENCUESTA PARA IDENTIFICAR TIEMPOS APROXIMADOS, PARA DETERMINAR VOLUMENES DE AGUA SEGÚN ACTIVIDAD DE OBRA.		
NOMBRE ENCUESTADO	PROFESION	
		Cuánto tiempo se requiere para lavar las llantas de las volquetas o Mixer ?
LINA ZAPATA	Ingeniera Civil	10 min
CAMILO CAPADOR	Arquitecto	15 min
YAMID ALFONSO	Ingeniero Civil	10 min
DIEGO CASTRO	Arquitecto	8 min
ARSENIO ÁLVAREZ	Maestro	10 min
EDISSON MUÑOZ	Arquitecto	8 min
JOSE PUENTES	Maestro	12 min
MAURICIO VARGAS	Ingeniero Civil	10 min
VANESA JARRO	Ingeniera Civil	10 min
HUGO VARGAS	Arquitecto	12 min
MAXIMO		15 min
MINIMO		8 min

Tabla 3-3: Tiempos aproximados para el lavado de llantas de una volqueta o mixer.
Fuente: Encuesta realizada por María Fernanda Camelo

De esta forma revisando las fichas técnicas de las hidrolavadoras para identificar el caudal se identifica que:

Características técnicas		
No. de parte		1.601-860.0
Código EAN		4054278050218
Presión	bar / MPa / PSI	1800 /
Caudal de agua	l/h	350
Temperatura de entrada máx.	°C	max. 40
Potencia de conexión	kW	1,8
Peso sin accesorios	kg	12,3
Dimensiones (l x a x h)	mm	285 x 309 x 867
Equipamiento		
Pistola de alta presión		Conexión estándar
Lanza Vario Power		■
Boquilla turbo		■
Manguera de alta presión	m	8
Aplicación de detergente		Depósito
Asa telescópica		■
Filtro de agua integrado		■
Adaptador de conexión para mangueras de riego A 3/4 In		■
■ Incluido en el equipo de serie.		

Tabla 3-4: Referencia ficha técnica hidrolavadora
Fuente: Ficha técnica KARCHER

Se tiene para una hidrolavadora un caudal de:

$$Q: 350\text{l/h} = 5.83\text{l/m} = 0.097\text{l/s}$$

Y un tiempo mínimo de:

$$T: 8 \text{ min} = 480 \text{ s}$$

Por lo tanto, utilizando la ecuación 1

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.097\text{l}}{\text{s}} \times 480 \text{ s} = 46.56 \text{ l}$$

El volumen de agua que se requiere para el lavado de llantas de una volqueta es de:

$$\mathbf{V_{min}: 46.56 \text{ l}}$$

Para un tiempo máximo de:

$$T: 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$$

Por lo tanto, utilizando la ecuación 1

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.097\text{l}}{\text{s}} \times 900 \text{ s} = 87.3 \text{ l}$$

El volumen de agua que se requiere para el lavado de llantas de una volqueta es de:

$$\mathbf{V_{max}: 87.3 \text{ l}}$$

- **Provisionales (sanitarios)**

El siguiente análisis se realiza para una persona que haga uso de un sanitario de bajo consumo, en un periodo de trabajo de 8 horas. Una vez obtenido el consumo de agua que genera un sanitario se recomienda de bajo consumo, se multiplica este valor por el número

de trabajadores en la obra y de esta manera se obtiene el volumen total que se requiere para el funcionamiento de un sanitario por día.

Para este cálculo se trabaja con la ecuación 2:

$$Vs = (Lpf \times Fdp \times Np)$$

<i>No total de personas</i>		1	persona
Frecuencia de uso diario de aparatos por persona		3,0	veces/persona-día
Se toma como referencia un sanitario de tanque de bajo consumo			
Consumo Sanitario por Descarga	1,28 gpf	4,8	lpd
Consumo de Agua por sanitario instalado	4 gal/d	,0145,	m ³
Volumen de agua sanitario persona/día		14,53	l/d

De utilizarse un sanitario convencional el cual maneja una descarga de 6 lpf el volumen de gasto del sanitario corresponde a:

<i>No total de personas</i>		1	persona
Frecuencia de uso diario de aparatos por persona		3,0	veces/persona-día
Se toma como referencia un sanitario de tanque de bajo consumo			
Consumo Sanitario por Descarga	1,60 gpf	6,0	lpd
Consumo de Agua por sanitario instalado	5 gal/d	,0181,	m ³
Volumen de agua sanitario persona/día		18,11	L/d

- **Lavado de fachadas en ladrillo**

Según lo expuesto por la ingeniera Pérez de Mejía (2001) en el artículo *Lavado de muros nuevos en ladrillo*, “el procedimiento óptimo depende principalmente del tipo de ladrillo,

siendo también importantes las condiciones específicas del muro en cuanto a la humedad, días de levantado, días de colocados los enchapes o pañetes (revoques, repellos) en las caras interiores y días de vaciados los grouts de las dovelas en la mampostería estructural. No es lo mismo lavar ladrillo de arcilla oscura que ladrillo de arcilla clara o de mezclas especiales, ya que la química de las arcillas varía notablemente, así como su interacción con el mortero de pega”.

En consecuencia, las variables a tener en cuenta para el lavado de las fachadas, parte de que estas, estén contaminadas con residuos cementosos, formación de manchas blancas por calcio y magnesio tanto propio como procedente del mortero. Cuando la fachada se encuentra en esta condición, debe hacerse uso de ácido nítrico, que es el ácido comercial que menos efectos colaterales presenta, diluido en agua y aditivos como un rinse selectivo o hidrosolve, aditivo especial para remover e inhibir la fijación de sales residuales blancas procedentes principalmente, del calcio presente en el mortero de pega en ladrillo rojo.

Independientemente de los productos utilizados en el proceso de lavado, éstos deben enjuagarse mínimo 3 veces con agua limpia antes de que sequen sobre el muro. Se debe emplear la mínima cantidad de agua que garantice su adecuada remoción, sin incurrir en excesos que sobresaturen el muro. El exceso de agua arrastra nuevas sales del mortero y ocasiona nuevas manchas (Pérez de Mejía, 2001).

Cuando los muros estén libres de sales o estén poco contaminados de residuos cementosos, las fachadas pueden lavarse con agua sea a presión o sin presión, lo importante es que si se lava a presión no sobrepase las presiones que pueden erosionar el ladrillo, que sería aproximadamente de 1200 psi máximo. Por otro lado, es importante no usar excesiva agua, ya que se pueden presentar manchas de diversas índoles, porque las arcillas presentan sales solubles o fijación de calcio del mortero.

Siguiendo lo anterior, el análisis de agua que se utiliza para esta actividad, se hará para el caso de fachadas libres de sales y poco contaminadas, en donde se puede hacer uso de agua únicamente y para el lavado de fachadas una vez se haya aplicado el respectivo ácido nítrico y aditivo. El análisis se hará para 1m² de área de superficie a lavar.

Se tiene para una hidrolavadora industrial un caudal de:

Datos técnicos:

Tipo de corriente Ph /V/Hz	3/220/60
Volumen transportado (l/h)	890
Presión de trabajo (bar /MPa)	40-185/4-18,5
Máxima presión (bar /MPa)	220/22
Temperatura de entrada máx. (°C)	hasta 60
Potencia conectada (kW)	6,7
Peso (kg)	43
Dimensiones (la. × an. × al.) (mm)	467x407x1010

Tabla 3-5: Referencia ficha técnica de hidrolavadora industrial
Fuente: Ficha técnica KARCHER

$$Q: 890\text{l/h} = 14.83\text{l/m} = 0.25\text{ l/s}$$

Con el fin de determinar cuánto tiempo aproximado se requiere para lavar 1 m^2 de una fachada de ladrillo, se consultó con empresas especializadas en lavado de fachadas tales como; Go clean sas, Fumy express sas, servicios integrales de aseo y limpieza sas y pro services sas quienes coincidieron en que para 1 m^2 , se toma aproximadamente de 1 min a 1.5 min.

Para un tiempo máximo de 1 min:

$$T: 1\text{ min} = 60\text{ s}$$

Por lo tanto, utilizando la ecuación 1

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.25\text{l}}{\text{s}} \times 60\text{ s} = 15\text{ l}$$

El volumen de agua mínimo que se requiere para el lavado de 1 m^2 de fachada es de:

$$\mathbf{V_{max}: 15\text{ l}}$$

Para un tiempo máximo de 1.5 min:

$$T: 1.5\text{ min} = 90\text{ s}$$

Por lo tanto, utilizando la ecuación 1

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.25l}{s} \times 90 s = 22.5 l$$

El volumen de agua máximo que se requiere para el lavado de 1m² de fachada es de:

$$V_{\max}: 22.5 l$$

3.5.4 Volumen de agua como componente de pruebas

- Prueba de ventanería

Para las pruebas de ventanería tomando como referencia una ventana de 1m x 1m se requiere aproximadamente entre 3 a 5 minutos con una manguera de ½" que arroja un caudal de 0.22 l/s para realizar la respectiva prueba de hermeticidad y sellado de la ventana.

ENCUESTA PARA IDENTIFICAR TIEMPOS APROXIMADOS, PARA DETERMINAR VOLUMENES DE AGUA SEGÚN ACTIVIDAD DE OBRA.		
NOMBRE ENCUESTADO	PROFESION	Para la prueba de hermeticidad en una ventana de 1m x1m cuánto tiempo se requiere para hacerla?
LINA ZAPATA	Ingeniera Civil	5 min
CAMILO CAPADOR	Arquitecto	4 min
YAMID ALFONSO	Ingeniero Civil	3 min
DIEGO CASTRO	Arquitecto	5 min
ARSENIO ÁLVAREZ	Maestro	5 min
EDISSON MUÑOZ	Arquitecto	3 min
JOSE PUENTES	Maestro	5 min
MAURICIO VARGAS	Ingeniero Civil	4 min
VANESA JARRO	Ingeniera Civil	3 min
HUGO VARGAS	Arquitecto	5 min
MAXIMO		5 min
MINIMO		3 min

Tabla 3-6: Tiempos aproximados para prueba de hermeticidad de una ventana de 1mx1m.

Fuente: Encuesta realizada por María Fernanda Camelo

Para un tiempo mínimo de 3 min:

$$T: 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$$

Utilizando la ecuación 1.

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.22l}{s} \times 180 \text{ s} = 39.6 \text{ l}$$

Se requiere para la prueba de hermeticidad de una ventana de 1m² un volumen de:

Vmin: 39.6 litros

Para un tiempo mínimo de 5 min:

T: 5 min = 300 s

Utilizando la ecuación 1.

$$V = Q \times T$$

$$V = \frac{0.22l}{s} \times 300 \text{ s} = 66 \text{ l}$$

Se requiere para la prueba de hermeticidad de una ventana de 1m² un volumen de:

Vmax: 66 litros

▪ **Prueba de cubiertas**

Para las pruebas de cubiertas, se requiere una lámina de agua en la cubierta de aproximadamente entre 10 y 2 cm según las respuestas de los entrevistados, con el fin de verificar que no se presenten fugas. No se toma ninguna referencia de normativa, ya que no existe alguna norma que describa la forma de realizar la prueba, la lámina de agua a utilizar y la duración del agua en la cubierta.

ENCUESTA PARA IDENTIFICAR TIEMPOS APROXIMADOS, PARA DETERMINAR VOLUMENES DE AGUA SEGÚN ACTIVIDAD DE OBRA.		
NOMBRE ENCUESTADO	PROFESION	
		Para la prueba de estanqueidad en cubiertas de qué altura deja la lámina de agua?
LINA ZAPATA	Ingeniera Civil	2 cm
CAMILO CAPADOR	Arquitecto	10 cm
YAMID ALFONSO	Ingeniero Civil	5 cm
DIEGO CASTRO	Arquitecto	5 cm
ARSENIO ÁLVAREZ	Maestro	4 cm
EDISSON MUÑOZ	Arquitecto	5 cm
JOSE PUENTES	Maestro	2 cm
MAURICIO VARGAS	Ingeniero Civil	4 cm
VANESA JARRO	Ingeniera Civil	3 cm
HUGO VARGAS	Arquitecto	5 cm
MAXIMO		10 cm
MINIMO		2 cm

Tabla 3-7: Lámina de agua para prueba de estanqueidad en cubiertas.

Fuente: Encuesta realizada por María Fernanda Camelo

Si se analiza un tramo de cubierta de 1m^2 , basándose en la ecuación 3 se requiere:

$$V = (A \times h) \times 1000$$

$$V = (1\text{m}^2 \times 0.02\text{m}) \times 1000 = 20 \text{ l}$$

Se requiere para la prueba de hermeticidad de una cubierta de 1m^2 un volumen de:

$$\mathbf{V_{min}: 20 \text{ l}}$$

$$V = (A \times h) \times 1000$$

$$V = (1\text{m}^2 \times 0.1\text{m}) \times 1000 = 100 \text{ l}$$

Se requiere para la prueba de hermeticidad de una cubierta de 1m^2 un volumen de:

$$\mathbf{V_{max}: 100 \text{ l}}$$

- **Prueba de estanqueidad tuberías de desagües sanitarias y aguas lluvias**

Basados en la ecuación 4, se toma como referencia para este caso, 1ml de tubería y un diámetro de tubería de 4", uno de los diámetros que más se utiliza en bajantes y colectores principales. El área del tubo varía según el diámetro del tubo al que se le vaya a realizar la prueba.

Ecuación (4)

$$V = (\pi r^2) \times 1\text{ml} \times 1000$$

$$V = (\pi 0.05\text{m}^2) \times 1\text{ml}$$

$$V = 8.10 \text{ l}$$

Por lo tanto, se requiere para la prueba de estanqueidad de un tubo de 4" de 1 ml un volumen de:

$$\mathbf{V = 8.10 \text{ l}}$$

3.5.5 Resumen de volúmenes de agua (Demanda)

A continuación se describe de forma resumida la cantidad de litros de agua requeridos para realizar las actividades que no necesitan del uso del agua potable. Los datos descritos, son los resultados de la aplicación de las ecuaciones descritas en el capítulo 3.4

TABLA RESUMEN DEMANDA DE AGUA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UM	VOLUMEN MIN (l)	VOLUMEN MAX (l)
1	Mortero 1:2	m ³	250	250
2	Mortero 1:3	m ³	240	240
3	Mortero 1:4	m ³	220	220
4	Mortero 1:5	m ³	182	182
5	Mortero 1:6	m ³	158	158
6	Curado Estructuras en concreto	m ²	9,37	22,57
7	Curado Estructuras en concreto	m ³	53,72	170,31
8	Cortadora de ladrillo	mes	1000	1000
9	Lavado de Herramienta menor	d	94,64	94,64
10	Lavado de llantas (Volqueta o mixer)	Volq	46,56	87,3
11	Provisionales (Sanitario)	Sanit	14,53	18,11
12	lavado de fachadas de ladrillo	m ²	15	22,5
13	Prueba de vetanería	m ²	39,6	66
14	Prueba de cubiertas	m ²	20	100
15	Prueba de estanqueidad tuberías	m	8,1	8,1

Tabla 3-8: Resumen demanda de agua en el desarrollo de obra
Fuente: María Fernanda Camelo

3.6 Cálculo de la oferta

Tomando como referencia la *Guía de diseño para captación del agua de lluvia (UNATSABAR, 2004)*, para determinar cuánta agua lluvia se puede captar, es necesario tener los siguientes aspectos:

- *Información pluviométrica:* se deben conocer los datos pluviométricos de por los menos los 15 o 10 últimos años consecutivos, para tener mayor confiabilidad en el diseño.
- *Coefficiente de escorrentía:* el coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía.
- *Área de captación:* para el caso de las obras el área de captación corresponderá a cubiertas de campamentos, centros de acopio de material y en general superficies que puedan utilizarse como captación.
- *Oferta de agua en el mes:* corresponde a la cantidad de agua que se puede captar, con base en las los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el coeficiente de escorrentía, y el área de captación.

3.6.1 Información pluviométrica

Siendo la ciudad de Bogotá D.C la zona de análisis, se solicitó al IDEAM las precipitaciones totales mensuales de cuatro estaciones pluviométricas, en los diferentes puntos cardinales de la ciudad, para un periodo de análisis de 15 años tomado desde el año 2001 hasta el 2015 y un periodo de 10 años para la estación pluviométrica Santa María de Usme que no tenía información completa de algunos años anteriores. A partir de estos datos se obtiene el valor promedio mensual del total de años analizados, este valor puede ser expresado en mm/mes o litros/m²/mes capaz de recolectar en la superficie horizontal. Con los datos diarios obtenidos, se estiman los promedios mensuales de precipitación, de acuerdo con la ecuación 5:

$$P_{pm} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n}$$

Ecuación (5)

Donde:

P_{pm}: 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)

La precipitación promedio mensual (P_{pm}) equivale a la precipitación promedio mensual en litros por metro cuadrado, ya que un milímetro de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado (Hernandez Martinez). Las siguientes tablas corresponden a los valores totales mensuales de precipitación de las estaciones Emmanuel D’Alzon (zona norte), el Dorado (zona occidental), IDEAM Kra. 10 (zona oriental) y Santa María de Usme (zona sur), con el fin de poder analizar más detalladamente el volumen de almacenamiento según la zona donde se vaya a construir.

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mms)

													ESTACIÓN: EMMANUEL DALZON 21201230	
LATITUD	442	N	TIPO EST	PM				DEPTO	BOGOTÁ	FECHA-INSTALACIÓN			1974-ABR	
LONGITUD	7404	W	ENTIDAD	1	IDEAM				MUNICIPIO	BOGOTÁ	FECHA-SUSPENSIÓN			
ELEVACIÓN	2520	m.s.n.m	REGIONAL	11	BOGOTÁ				CORRIENTE	BOGOTÁ				
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	
2001	13,7	27,6	128,9	13,9	64,6	23	30,2	11,4	84	33,4	53	62,3	546	
2002	24,7	53,9	123,2	126,3	108	72,6	23,5	26,3	61,7	84,2	36	87,5	827,9	
2003	10,7	68,3	75	116,3	28	51,9	25,8	32,8	60,6	177,2	194,8	67,2	908,6	
2004	112	82,1	95,4	168,4	103,5	39,6	41,6	16,7	63,1	135,4	131,9	39,4	1029,1	
2005	15,7	74	34	88,3	192,2	28,8	13,4	35,4	58,3	145,4	53	100,6	839,1	
2006	140,2	26,1	119,9	163,8	143,9	83,2	12	29,2	23,1	97	170,5	32,4	1041,3	
2007	20,7	28,4	76,9	128,9	55,2	42,1	25,3	33,5	5,1	230	152,2	171,6	969,9	
2008	25,2	72,4	143,8	127,5	212,8	102	68,4	63,1	40,3	183,3	152,6	78,8	1270,2	
2009	131,7	123,9	76,9	53,5	39,7	51,9	26,8	17,7	10,8	180,5	75,9	45,8	835,1	
2010	31,2	40,4	14,5	168,2	247,4	63,1	134,9	43,5	85,4	223,8	232,4	153,5	1438,3	
2011	117,3	108,7	132,1	248,1	124,7	51,5	43,4	58	60,1	151,7	203,9	221,7	1521,2	
2012	156,1	93,4	117,6	159,1	58,8	28,2	60,5	31,3	17,9	110,9	55,9	58,7	948,4	
2013	1,5	97,7	93,7	151,3	147,1	13,7	28,3	63,9	63,3	80,2	210,2	120,1	1071	
2014	64,5	67,6	122,5	43,3	94,7	34,4	0	6,4	30,2	109,2	164,8	123	860,6	
2015	67,4	36,1	126,3	48	20,8	16,5	21,9	9,2	36,1	66,5	78,9	0,3	528	
MEDIO	62,2	66,7	98,7	120,3	109,4	46,8	37,1	31,9	46,7	133,9	131,1	90,9	975,6	
MÁXIMO	156,1	123,9	143,8	248,1	247,4	102	134,9	63,9	85,4	230	232,4	221,7	248,1	
MÍNIMO	1,5	26,1	14,5	13,9	20,8	13,7	12	6,4	5,1	33,4	36	0,3	0,3	

Tabla 3-9: Valores totales mensuales de precipitación Estación Emmanuel D'Alzon
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
(Transcripción)

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mms)

													ESTACIÓN: EL DORADO 21205790	
LATITUD	442	N	TIPO EST	PM				DEPTO	BOGOTÁ	FECHA-INSTALACIÓN			1972-FEB	
LONGITUD	7409	W	ENTIDAD	1	IDEAM				MUNICIPIO	BOGOTÁ	FECHA-SUSPENSIÓN			
ELEVACIÓN	2547	m.s.n.m	REGIONAL	11	BOGOTÁ				CORRIENTE	BOGOTÁ				
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	
2001	49,3	19,3	81,9	19,4	87	47,2	40,5	17,7	66,4	43,1	54,2	53,8	579,8	
2002	26,8	16,8	111,5	134,8	116,3	74,8	39,7	22,5	45,5	55,7	44	64,1	752,5	
2003	3	24,1	75,4	128	46,4	61,5	31,1	67,6	42,6	54,9	134,8	78,8	748,2	
2004	22	98,7	40,8	197,7	101,4	51,1	51,2	19,7	59	170	118,6	31,9	962,1	
2005	11,1	33,2	33,7	93,6	161,3	36,6	21,4	66	97,8	131,3	47,8	111,2	845	
2006	58,1	31,7	214,9	153,7	194,9	115,4	16,5	22,7	25,1	195,6	91,1	30,2	1149,9	
2007	7,6	10,9	62	150,6	125,4	54,2	56,1	58,9	18	200,6	117,4	82,9	944,6	
2008	30,5	84,6	93,8	112,9	225,6	119,2	61,5	94,7	48,8	140,7	134,2	60	1206,5	
2009	51,4	91,4	142,8	55,2	15,7	64,1	53,2	28,4	21,5	129,1	95,1	58,4	806,3	
2010	6,3	36,6	23,2	187,3	160,3	107,8	136,7	51,8	76,4	133	196,6	134,6	1250,6	
2011	52,1	88	118,1	242,8	161,3	113,5	67,2	60,2	121,7	165,6	239,8	122,3	1552,6	
2012	63,1	67,5	140,9	235,9	89,3	39	48,5	50,2	24,3	131	56,2	34,7	980,6	
2013	21,9	129	61,4	132,7	112,4	26,9	38	68,8	45,5	64,9	182,9	96,9	981,3	
2014	75,6	77,7	83,4	83,4	132,9	41,4	21,8	29,1	66,9	108,5	66,6	86,8	874,1	
2015	36,2	15,2	123,6	128,4	21,5	22,6	31,2	27,7	26,8	35,3	101,3	2,2	572	
MEDIO	34,3	55,0	93,8	137,1	116,8	65,0	47,6	45,7	52,4	117,3	112,0	69,9	947,1	
MÁXIMO	75,6	129	214,9	242,8	225,6	119,2	136,7	94,7	121,7	200,6	239,8	134,6	242,8	
MÍNIMO	3	10,9	23,2	19,4	15,7	22,6	16,5	17,7	18	35,3	44	2,2	2,2	

Tabla 3-10: Valores totales mensuales de precipitación Estación El Dorado
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
(Transcripción)

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mms)

ESTACIÓN: IDEAM KRA 10 2120160

LATITUD	436	N	TIPO EST	PM	DEPTO	BOGOTÁ	FECHA-INSTALACIÓN	1986-SEP					
LONGITUD	7404	W	ENTIDAD	1	MUNICIPIO	BOGOTÁ	FECHA-SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	2685	m.s.n.m	REGIONAL	11	CORRIENTE	BOGOTÁ							
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
2001	30,2	74,1	141,2	62,56	65,1	47,8	45,7	25,4	84,5	60,6	103,5	63,9	804,56
2002	45,2	35,2	104,4	203,6	129,1	115,4	33,8	58,6	56,5	101,3	56,1	104,8	1044
2003	51,7	64,3	135,4	139,3	22	47,1	42,8	18,9	81,8	191	214,3	44,5	1053,1
2004	35,2	119,9	51,1	171,7	99,5	90,8	28,5	54,2	52,8	137,3	154,8	75,6	1071,4
2005	51,3	83,4	29,6	76,9	244,2	33,5	24	31,4	102,7	185,9	133,1	121	1117
2006	154	64,4	161	206,9	178,7	126,6	25,1	58,4	17,5	126,4	175,9	90,2	1385,1
2007	19,6	23,5	70,9	170	53,3	53,4	38,2	41,4	6,2	249,9	148,4	187,3	1062,1
2008	26	49,7	148,9	71	201,9	84,8	83,3	103,6	48,6	140,1	230,3	146,7	1334,9
2009	113,6	147,5	141,3	101,3	67,4	38,4	42,2	32	18,8	156,9	98,2	43,4	1001
2010	24,1	11,3	32,6	305,8	284,8	103,4	153,4	45,7	65	198,8	330,21	206,5	1761,61
2011	126,9	227,4	195	244,6	172	81,1	53,1	33,6	41,4	219	315,7	185	1894,8
2012	132,4	47,9	164,6	247,8	29,4	49	59,8	57,8	27,9	141,8	102,3	74,6	1135,3
2013	15,8	224,7	89,1	181,1	106,5	18,3	51,1	45	49,9	65	283,7	91,3	1221,5
2014	68,7	104,8	135,1	49,9	118,4	53,8	36,1	21,1	31,3	147,7	157,7	160,8	1085,4
2015	23,6	49,4	105,7	69,1	30,7	77,3	41,2	26,8	33,1	57,5	72		
MEDIO	61,2	88,5	113,7	153,4	120,2	68,0	50,6	43,6	47,9	145,3	171,7	114,0	1178,1
MÁXIMO	154	227,4	195	305,8	284,8	126,6	153,4	103,6	102,7	249,9	330,21	206,5	330,21
MÍNIMO	15,8	11,3	29,6	49,9	22	18,3	24	18,9	6,2	57,5	56,1	43,4	6,2

Tabla 3-11: Valores totales mensuales de precipitación Estación IDEAM Kra.10
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
(Transcripción)

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mms)

ESTACIÓN: SANTA MARIA DE USME 2120124

LATITUD	428	N	TIPO EST	PM	DEPTO	BOGOTÁ	FECHA-INSTALACIÓN	1977-DIC					
LONGITUD	7407	W	ENTIDAD	1	MUNICIPIO	BOGOTÁ	FECHA-SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	2800	m.s.n.m	REGIONAL	11	CORRIENTE	BOGOTÁ							
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
2006	24,8	3,2	95,9	120,3	79,8	106,6	0	53,7	26,3	124,6	87,8	5,4	728,4
2007	4,9	24,2	27,9	69,2	29,9	68,8	20,7	49,7	17,5	73,4	39	75,8	501
2008	3,8	45,9	29,9	79,4	186,5	96	66,9	75	55,2	81,8	99,2	82,1	901,7
2009	29,6	41,8	52,1	83,4	35,4	57,4	82,7	45,8	34,2	75,9	33,6	2,6	574,5
2010	0,8	31,6	35,2	234,9	128,7	81,8	98,7	28,2	38	89,9	112,8	85,2	965,8
2011	28,3	69,9	127,9	206,9	119,5	85,6	77,3	37,2	49,8	122,4	155,3	111,6	1191,7
2012	53,9	45,8	108,5	155,5	54,4	56,9	101,6	69,9	37,5	118,8	49,6	56,1	908,5
2013	0,7	73,3	35	63,3	92,3	35,7	103,1	58,8	18,5	63,2	120,3	35,3	699,5
2014	12,5	20	24,5	60,7	79,7	140,3	90,1	49,2	28,9	56,2	57,6	45,4	665,1
2015	10,8	29,7	55	35,4	45,6	132,7	77,8	45,7	42,7	20,5	40,1	7,6	543,6
MEDIO	17,0	38,5	59,2	110,9	85,2	86,2	71,9	51,3	34,9	82,7	79,5	50,7	768,0
MÁXIMO	53,9	73,3	127,9	234,9	186,5	140,3	103,1	75	55,2	124,6	155,3	111,6	234,9
MÍNIMO	0,7	3,2	24,5	35,4	29,9	35,7	20,7	28,2	17,5	20,5	33,6	2,6	0,7

Tabla 3-12: Valores totales mensuales de precipitación Estación Santa María de Usme
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
(Transcripción)

De acuerdo a la ecuación 5, con las estaciones pluviométricas de Bogotá, se identifica que los meses con mayor lluvia corresponden a abril-mayo en el primer semestre del año y octubre-noviembre para el segundo periodo del año, los meses más secos son enero y agosto, lo que permite saber no solo cuando se puede captar mayor volumen de agua, sino programar el trabajo en obra con base en las precipitaciones mensuales. A

continuación se presentan las tablas de precipitación promedio mensuales, donde se identifica el comportamiento de la lluvia durante el año en la ciudad de Bogotá.

MES	PPm (L/m ²)
ENERO	62,2
FEBRERO	66,7
MARZO	98,7
ABRIL	120,3
MAYO	109,4
JUNIO	46,8
JULIO	37,1
AGOSTO	31,9
SEPTIEMBRE	46,7
OCTUBRE	133,9
NOVIEMBRE	131,1
DICIEMBRE	90,9
PROMEDIO ANUAL	975,6
MÁXIMO	133,9
MÍNIMO	31,9

Tabla 3-13: Valores de precipitación promedio mensual por los 15 años analizados. Zona Norte

Fuente: María Fernanda Camelo según

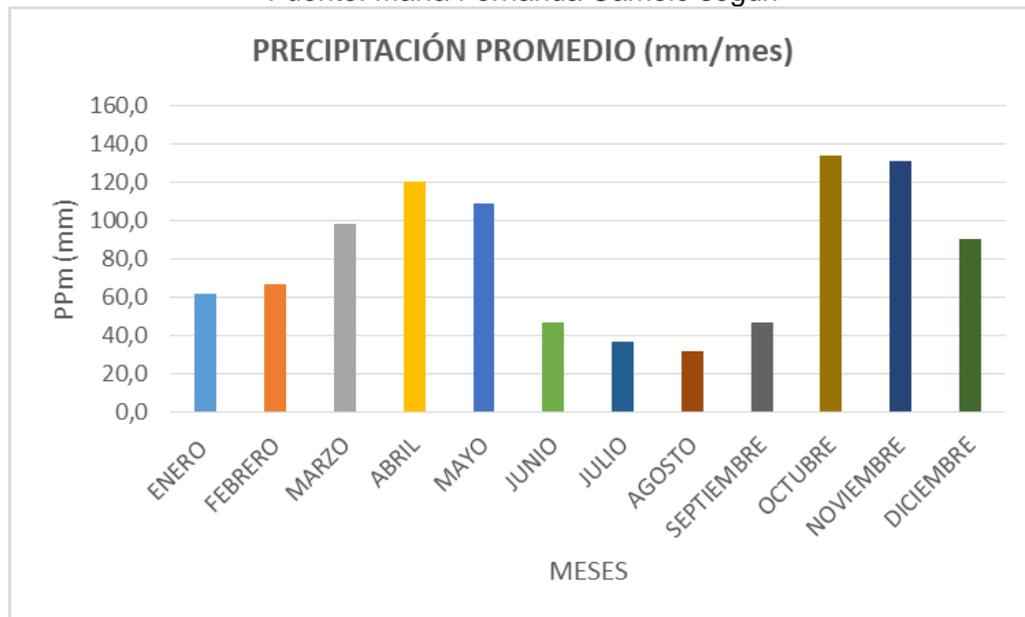


Figura 3-3: Precipitación promedio mensual - Estación Emmanuel D'Alzon

Fuente: María Fernanda Camelo

MES	PPm (L/m2)
ENERO	34,3
FEBRERO	55,0
MARZO	93,8
ABRIL	137,1
MAYO	116,8
JUNIO	65,0
JULIO	47,6
AGOSTO	45,7
SEPTIEMBRE	52,4
OCTUBRE	117,3
NOVIEMBRE	112,0
DICIEMBRE	69,9
PROMEDIO ANUAL	947,1
MÁXIMO (ABRIL)	137,1
MÍNIMO (ENERO)	34,3

Tabla 3-14: Valores de precipitación promedio mensual por los 15 años analizados.
Zona Occidental
Fuente: María Fernanda Camelo

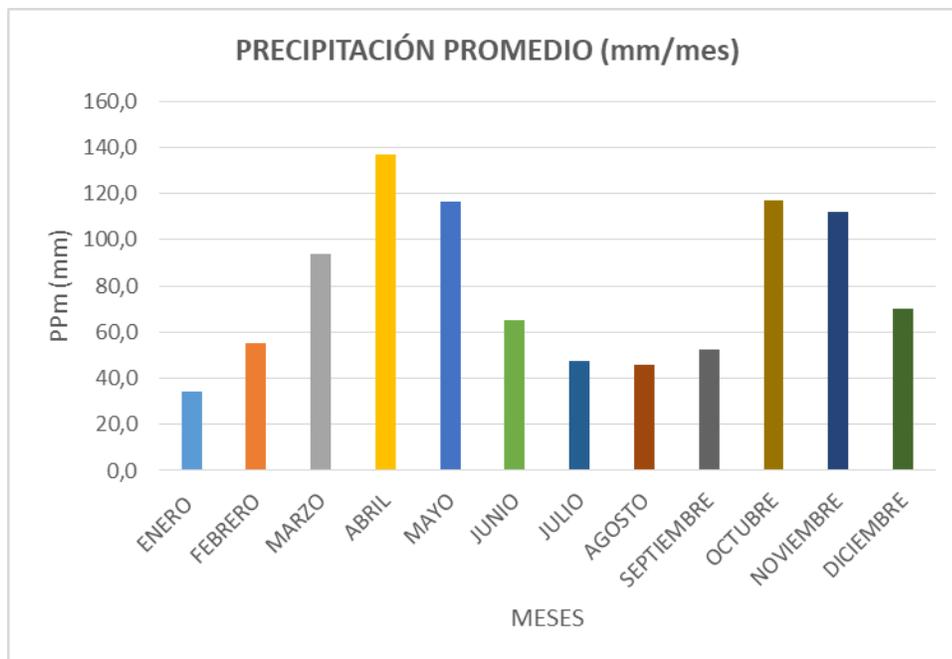


Figura 3-4: Precipitación promedio mensual - Estación El Dorado
Fuente: María Fernanda Camelo

MES	PPm (L/m ²)
ENERO	61,2
FEBRERO	88,5
MARZO	113,7
ABRIL	153,4
MAYO	120,2
JUNIO	68,0
JULIO	50,6
AGOSTO	43,6
SEPTIEMBRE	47,9
OCTUBRE	145,3
NOVIEMBRE	171,7
DICIEMBRE	114,0
PROMEDIO ANUAL	1178,1
MÁXIMO	171,7
MÍNIMO	43,6

Tabla 3-15: Valores de precipitación promedio mensual por los 15 años analizados. Zona Oriental

Fuente: María Fernanda Camelo

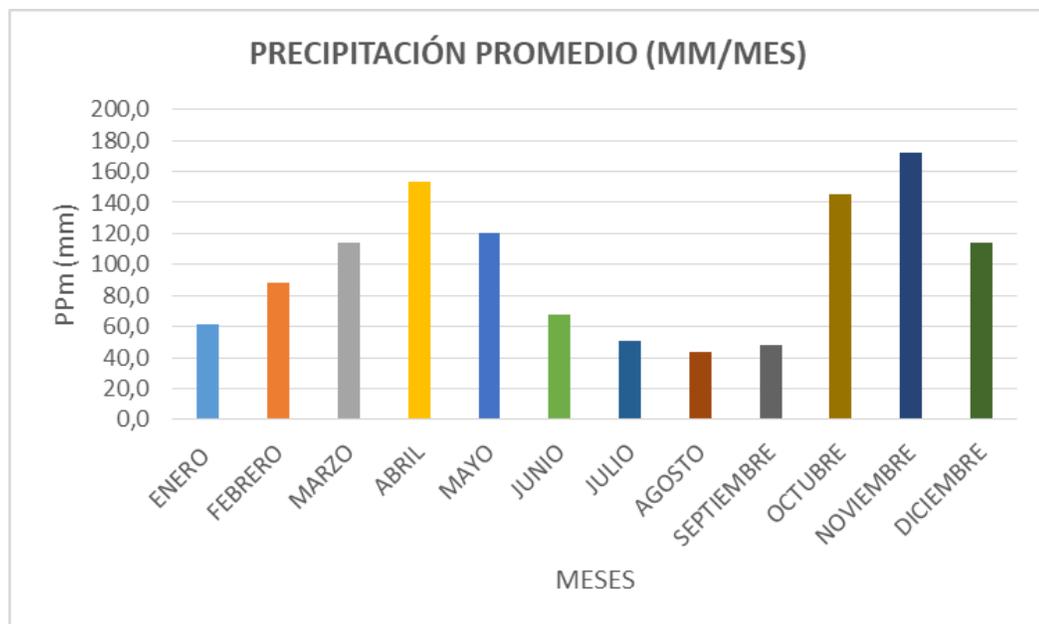


Figura 3-5: Precipitación promedio mensual – Estación IDEAM Kra. 10

Fuente: María Fernanda Camelo

MES	PPm (L/m ²)
ENERO	17,0
FEBRERO	38,5
MARZO	59,2
ABRIL	110,9
MAYO	85,2
JUNIO	86,2
JULIO	71,9
AGOSTO	51,3
SEPTIEMBRE	34,9
OCTUBRE	82,7
NOVIEMBRE	79,5
DICIEMBRE	50,7
PROMEDIO ANUAL	768,0
MÁXIMO	110,9
MÍNIMO	17,0

Tabla 3-16: Valores de precipitación promedio mensual por los 11 años analizados. Zona Sur

Fuente: María Fernanda Camelo

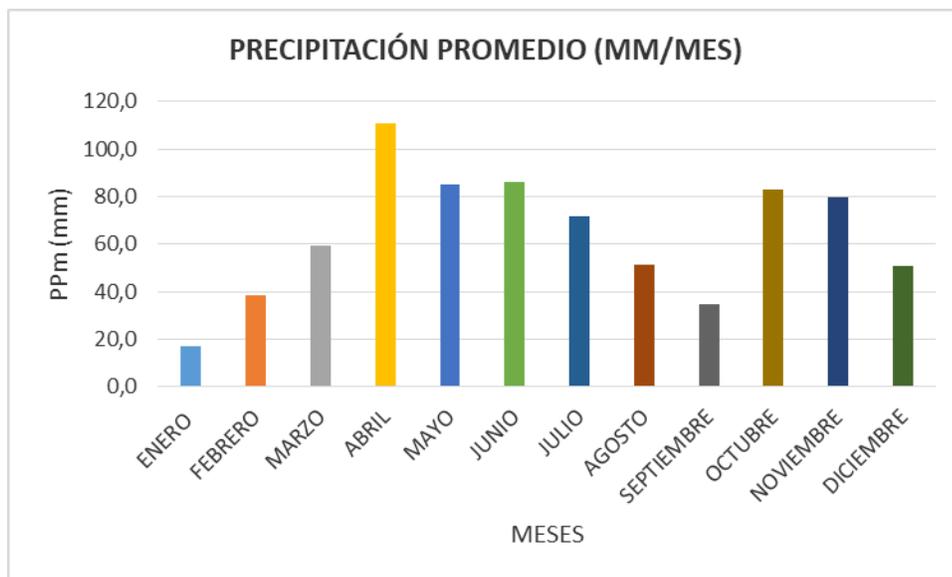


Figura 3-6: Precipitación promedio mensual estación Santa María de Usme

Fuente: María Fernanda Camelo

3.6.2 Coeficiente de escorrentía

De acuerdo al Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000), este coeficiente es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. Para la estimación de C existen tablas de valores, algunas de las cuales se presentan en la Tabla 3-17 como guía para su selección según el tipo de superficie de captación.

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

Tabla 3-17: Coeficiente de escorrentía

Fuente: RAS 2000 Título D

3.6.3 Oferta de agua en el mes

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el coeficiente de escorrentía, y el área de captación, se procede a determinar la cantidad de agua que se puede captar por mes.

Ecuación (6)

$$A_i = \frac{P_{pm} \times C_e \times A_c}{1000}$$

Donde:

A_i: oferta de agua en el mes "i" (m³)

P_{pm}: precipitación promedio mensual (l/m²)

C_e: coeficiente de escorrentía

A_c: área de captación (m²)

3.7 Resultados cálculo de la oferta.

El volumen de agua de captación de agua lluvia, se realiza bajo la guía de cálculo descrita en el capítulo anterior, tomando como referencia un área de 1m^2 , con el fin de, teniendo conocimiento de cómo obtener agua para esta unidad de medida, obtener la cantidad de agua a captar para cualquier área.

3.7.1 Volumen de almacenamiento de agua lluvia.

Con base en la precipitación promedio mensual y la ecuación 6, se determina el volumen de almacenamiento tomando un área de captación de 1m^2 . El objetivo de esta guía es que cualquier persona basándose en estos cálculos, pueda determinar el volumen de almacenamiento según las áreas de captación de la obra analizada.

ESTACIÓN EMMANUEL D'ALZON (ZONA NORTE)		
MES	PPm (l/m^2) (Tomado de la tabla 12)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)
ENERO	62,2	56,0
FEBRERO	66,7	60,0
MARZO	98,7	88,8
ABRIL	120,3	108,3
MAYO	109,4	98,5
JUNIO	46,8	42,2
JULIO	37,1	33,4
AGOSTO	31,9	28,7
SEPTIEMBRE	46,7	42,0
OCTUBRE	133,9	120,5
NOVIEMBRE	131,1	118,0
DICIEMBRE	90,9	81,8

Tabla 3-18: Volumen de almacenamiento de agua lluvia zona Norte
Fuente: María Fernanda Camelo

ESTACIÓN EL DORADO (ZONA OCCIDENTAL)		
MES	PPm (l/m²) (Tomado de la tabla 13)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)
ENERO	34,3	30,9
FEBRERO	55,0	49,5
MARZO	93,8	84,4
ABRIL	137,1	123,4
MAYO	116,8	105,1
JUNIO	65,0	58,5
JULIO	47,6	42,9
AGOSTO	45,7	41,2
SEPTIEMBRE	52,4	47,2
OCTUBRE	117,3	105,6
NOVIEMBRE	112,0	100,8
DICIEMBRE	69,9	62,9

Tabla 3-19: Volumen de almacenamiento de agua lluvia zona Occidental
Fuente: María Fernanda Camelo

ESTACIÓN IDEAMKRA 10 (ZONA ORIENTAL)		
MES	PPm (l/m²) (Tomado de la tabla 14)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)
ENERO	61,2	55,1
FEBRERO	88,5	79,7
MARZO	113,7	102,4
ABRIL	153,4	138,1
MAYO	120,2	108,2
JUNIO	68,0	61,2
JULIO	50,6	45,5
AGOSTO	43,6	39,2
SEPTIEMBRE	47,9	43,1
OCTUBRE	145,3	130,8
NOVIEMBRE	171,7	154,6
DICIEMBRE	114,0	102,6

Tabla 3-20: Volumen de almacenamiento de agua lluvia zona Oriental
Fuente: María Fernanda Camelo

SANTA MARIA DE USME (ZONA SUR)		
MES	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 15)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)
ENERO	17,0	15,3
FEBRERO	38,5	34,7
MARZO	59,2	53,3
ABRIL	110,9	99,8
MAYO	85,2	76,7
JUNIO	86,2	77,6
JULIO	71,9	64,7
AGOSTO	51,3	46,2
SEPTIEMBRE	34,9	31,4
OCTUBRE	82,7	74,4
NOVIEMBRE	79,5	71,6
DICIEMBRE	50,7	45,6

Tabla 3-21: Volumen de almacenamiento de agua lluvia zona Sur
Fuente: María Fernanda Camelo.

MES	ESTACIÓN EMMANUEL D'ALZON (ZONA NORTE)		ESTACIÓN EL DORADO (ZONA OCCIDENTAL)		ESTACIÓN IDEAMKRA 10 (ZONA ORIENTAL)		SANTA MARIA DE USME (ZONA SUR)	
	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 12)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 13)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 14)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 15)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)
ENERO	62,2	56,0	34,3	30,9	61,2	55,1	17,0	15,3
FEBRERO	66,7	60,0	55,0	49,5	88,5	79,7	38,5	34,7
MARZO	98,7	88,8	93,8	84,4	113,7	102,4	59,2	53,3
ABRIL	120,3	108,3	137,1	123,4	153,4	138,1	110,9	99,8
MAYO	109,4	98,5	116,8	105,1	120,2	108,2	85,2	76,7
JUNIO	46,8	42,2	65,0	58,5	68,0	61,2	86,2	77,6
JULIO	37,1	33,4	47,6	42,9	50,6	45,5	71,9	64,7
AGOSTO	31,9	28,7	45,7	41,2	43,6	39,2	51,3	46,2
SEPTIEMBRE	46,7	42,0	52,4	47,2	47,9	43,1	34,9	31,4
OCTUBRE	133,9	120,5	117,3	105,6	145,3	130,8	82,7	74,4
NOVIEMBRE	131,1	118,0	112,0	100,8	171,7	154,6	79,5	71,6
DICIEMBRE	90,9	81,8	69,9	62,9	114,0	102,6	50,7	45,6

Meses más lluviosos
Meses menos lluviosos

Tabla 3-22: Comparación de volúmenes según estación pluviométrica
Fuente: María Fernanda Camelo.

Como se evidencia en la Tabla 3-22, los meses más lluviosos corresponden especialmente a abril y octubre, donde se puede almacenar un volumen de agua para 1m² de 119.4 litros en la zona norte en el mes de octubre y 103.7 litros en el mes de abril, 118.9 litros en la zona occidental en el mes de abril y 104.1 litros en el mes de octubre, 102.5 litros para la zona sur en el mes de abril y 83 litros en el mes de octubre y 135.7 litros en la zona oriental de Bogotá en el mes de abril y 129.9 litros en el mes de octubre. Los periodos secos, como se mencionaba anteriormente, se evidencian para los meses de enero y agosto, donde se

registra para 1m² volúmenes mínimos de tan solo 14.3 litros para la zona sur en el mes de enero. De esta forma es posible identificar el volumen de agua que se puede almacenar por mes, según la zona y según el área de captación. Tener en cuenta los datos anteriores es un factor clave para obtener un mayor volumen de agua a utilizar.

3.8 Buenas prácticas en el manejo del agua

Con el fin de mitigar y controlar los impactos ambientales producto de las actividades propias de las obras de construcción, las cuales hacen uso del agua en bastante proporción, utilizándose en la mayoría de veces para actividades que no requieren agua potabilizada y la afectación directa al recurso hídrico, ya que en la descarga de aguas vierten hacia el alcantarillado o cuerpos de agua circundantes, concentraciones de sólidos y líquidos sin tratamientos previos, o por arrastre de materiales y sedimentos en las zonas de acceso y salida de vehículos, por escorrentía en obras con pendiente; por derrame de sustancias líquidas; descarga de aguas lluvias; o efluentes de sistemas de tratamiento, por el corte de taludes y excavaciones para las cimentaciones, se deben implementar buenas prácticas en el manejo del agua. La Figura 3-7 muestra de manera resumida las buenas prácticas que se deben adoptar tanto en la obra, como en los vertimientos, como en el uso final.

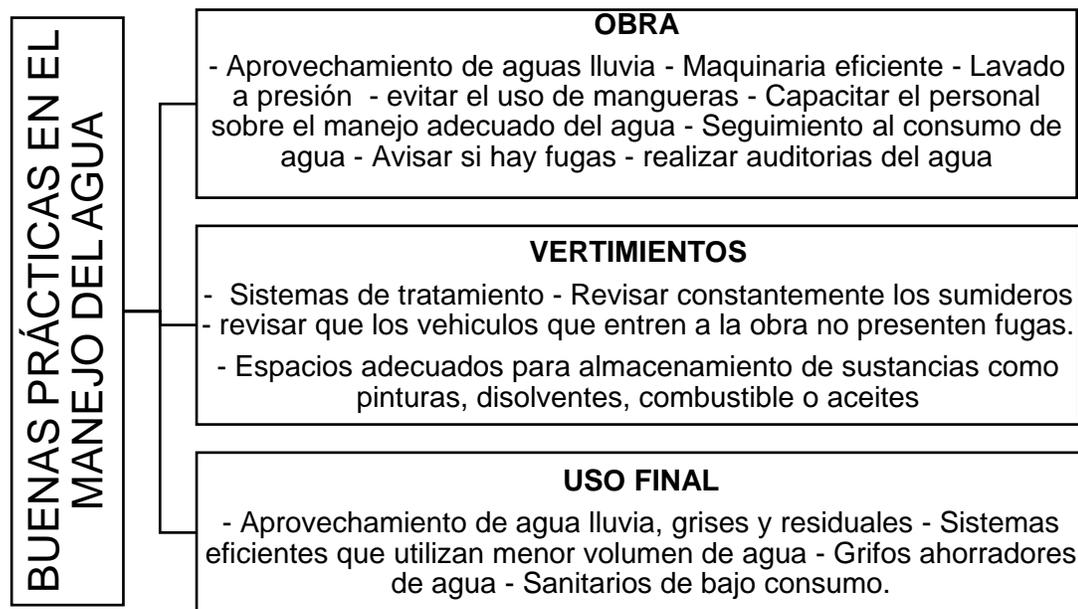


Figura 3-7: Buenas prácticas del manejo del agua

Fuente: María Fernanda Camelo

En las obras es necesario controlar el uso del agua, actuando sobre los puntos en los que se produce un mayor consumo, a través de la instalación de equipos que hagan un uso racional del agua y aplicando buenas prácticas que favorezcan un aprovechamiento de este recurso natural mediante su reutilización. Basados en la guía de buenas prácticas ambientales en el Diseño, Construcción, Uso, Conservación y Demolición de Edificios e Instalaciones y en la guía de manejo ambiental para el sector de la construcción de la secretaria Distrital de Ambiente, algunas de las buenas prácticas a implementar dentro de las obras son:

- Instalar contadores de agua por zonas para conocer los consumos y evaluar los posibles ahorros.
- Instalar dispositivos de ahorro de agua en las zonas de baños durante todo el proceso de obra
- Utilizar maquinaria eficiente en el consumo de agua.
- Limpiar la maquinaria con sistemas que permitan el ahorro de agua, tales como lavado por agua a presión, evitando en lo posible el uso de mangueras.
- Si es necesario la utilización de mangueras, asegurar que dispongan de llave de paso a la entrada y a la salida de agua para evitar el consumo que se produce al tener que desplazarse desde el punto de uso hasta la toma de agua.
- Transmitir información a los trabajadores sobre buenas prácticas en el uso de agua.
- Realizar un seguimiento del consumo de agua y aplicar programas de inspección, para poder identificar malos hábitos y fugas.
- Reservar el agua potable para usos en los cuales ésta sea imprescindible.
- Utilizar agua de lluvia o no potable, mediante un sistema de captación y aprovechamiento de agua lluvia.
- Utilizar aguas regeneradas en fabricación de hormigones, riego de vías y acopios, riego de plantaciones, riego de terraplenes, etc.
- Minimizar el consumo de agua en los trabajos de obra (por ejemplo, remojar todos los ladrillos antes de colocarlo para su utilización evitando así tener que hacerlo uno a uno)
- realizar la limpieza de equipos y vehículos mediante equipos de agua a presión y reutilizando el agua de lavado.
- Realizar campañas de información a los empleados con medidas para ahorrar agua.

- Cerrar los grifos una vez que se terminen de usar.
- No utilizar el inodoro para tirar desechos que puedan ser depositados en papeleras.
- Avisar al personal de mantenimiento respecto de fugas o goteos lo más rápido posible.
- Realizar “auditorías del agua” de manera periódica para comprobar el correcto funcionamiento de las medidas implantadas y para localizar nuevas oportunidades de ahorro. Una auditoría del agua identifica los puntos (procesos/instalaciones) de entrada y salida de agua para establecer un balance entre el agua consumida y el agua realmente aprovechada con la finalidad última de proponer un programa de medidas de ahorro para su implantación y seguimiento.
- Es preciso verificar continuamente que todas las llaves se encuentran cerradas cuando no son requeridas; así mismo revisar periódicamente los sistemas de conducción y distribución de agua en el interior de la obra y controlar la presencia de fugas y pérdidas en la red. De igual forma, las mangueras empleadas en la obra deben contar con dispositivos reguladores (pistolas). Utilizar sistemas efectivos para el uso racional del agua (Ley 373 de 1997).

Con respecto al tema de vertimientos se hacen las siguientes recomendaciones:

- Para evitar la descarga de material de arrastre a la red de alcantarillado, se debe contar con un sistema de tratamiento, como por ejemplo desarenadores y sedimentadores. A estos sistemas se conducen las aguas que se generan en actividades como el lavado de maquinaria, llantas de los vehículos, lavado de herramientas, corte de ladrillos y bloques. El lavado se debe realizar en piso duro y se deben disponer adecuadamente los residuos resultantes.
- Cuando sea necesario almacenar materiales en el espacio público de manera transitoria, deben ser apilados, acordonados y cubiertos, para así prevenir el arrastre por causa de la lluvia a la red de alcantarillado.
- Es importante que los vehículos mezcladores de concreto laven los tambores en la casa matriz y en ningún caso en la obra.
- Como método de verificación de los sistemas de tratamiento, se hace necesario revisar constantemente los sumideros, y en caso de que se encuentren en mal estado y con obstrucciones se debe gestionar su limpieza.

- Cuando exista algún derrame de sustancias líquidas en la obra, este debe ser recogido y dispuesto en el lugar autorizado de forma inmediata, de acuerdo a su nivel de peligrosidad.
- Se debe revisar constantemente que los vehículos utilizados en obra no presenten fugas, con el fin de evitar derrames.
- Se debe disponer de espacios adecuados para el almacenamiento de sustancias como, combustibles, pinturas, disolventes y aceites, estos líquidos deben estar aislados, en piso duro, con dique de contención, encerramiento y señalización. Además, deben cumplir con las normas para el almacenamiento y manejo de sustancias peligrosas.
- Cuando se hagan excavaciones y cortes de taludes para la cimentación de las obras, se debe implementar sistemas de cunetas para evacuar el agua a la red de alcantarillado previo permiso respectivo de la autoridad competente.
- Antes del inicio del proceso constructivo, se debe realizar un inventario de los sumideros aledaños a la obra, garantizar el mantenimiento correspondiente en cooperación con la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB) y posteriormente cubrirlos con una malla fina, que impida la filtración de sedimentos a la red de drenaje del Distrito; se debe verificar diariamente su estado, evitar por todos los medios el vertimiento de aguas cargadas con sustancias de interés sanitario y/o ambiental y realizar los mantenimientos necesarios cada vez que se requiera.

Por último para el uso final de la edificación se recomienda:

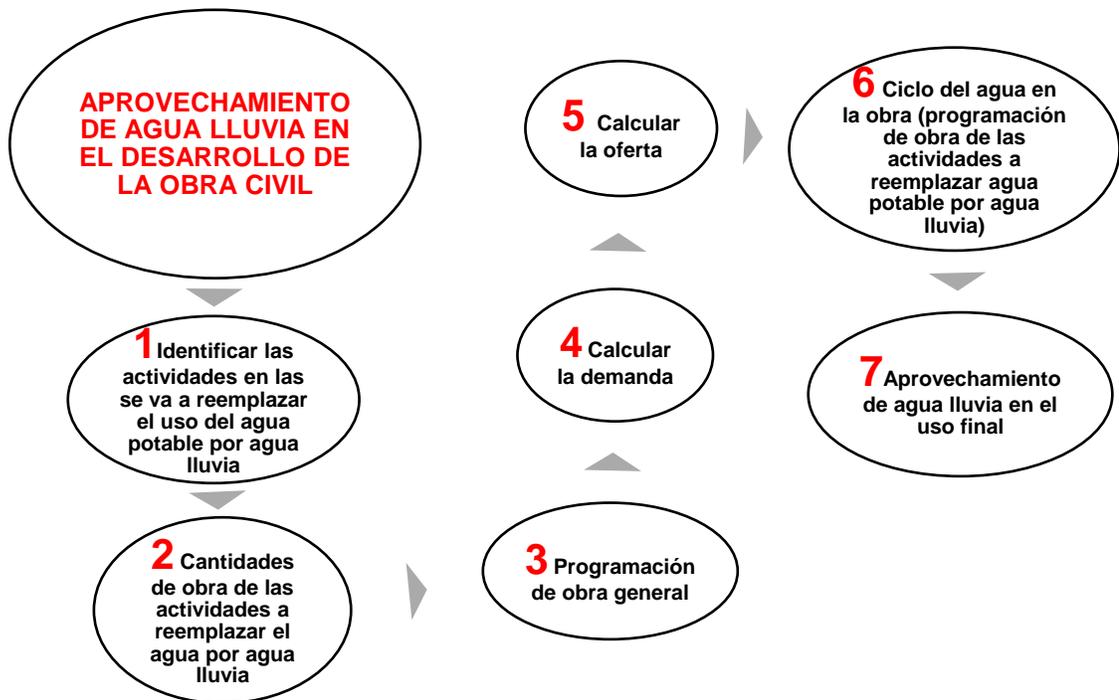
- Sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias y tratamiento de aguas residuales y grises, para reutilización en sanitarios.
- Sistemas eficientes que utilicen menor volumen de agua (válvulas ahorradoras, válvulas de cierre automático, sanitarios que consuman menos agua)
- Grifos ahorradores de agua. Encendido automático por sensores.
- Duchas ahorradoras de agua, con limitadores y reductores de caudal.
- Grifo de lavadero ahorrador de agua.
- Sanitarios ahorradores de agua, con funcionamiento automático y reductor de caudal.

- Instalar contadores de agua individuales de manera que se permita llevar un control del consumo de forma sectorizada.
- Potabilización de agua lluvia para dar mayor provecho a éste recurso.

Las prácticas expuestas, pretenden orientar al manejo adecuado del agua, de esta forma se lograría reducir el consumo innecesario y aprovechar el agua en la medida justa que permita el desarrollo de la actividad sin excesos.

3.9 Resumen de pasos para aprovechar agua lluvia durante el desarrollo de la obra civil.

A continuación se describe paso a paso, que se debe tener en cuenta para el aprovechamiento del agua lluvia en el desarrollo de una obra:



1. Identificar las actividades en las se va a reemplazar el uso del agua potable por agua lluvia:

- Morteros
- Curado de concreto
- Cortadora de ladrillo

- Lavado de herramienta menor
- Lavado de llantas
- Provisionales (sanitarios)
- Lavado de fachadas
- Prueba de ventanería
- Prueba de cubiertas
- Prueba de estanqueidad en tuberías sanitarias de desagües sanitarios y aguas lluvias

2. Sacar cantidades de obra de las actividades a reemplazar el agua por agua lluvia, con las cantidades de obra se puede identificar, para actividades como lavado de llantas cuántas volquetas se requiere para realizar actividades de descapote, nivelación y excavación, según la estructura cuantos m^2 o m^3 se deben curar, o cuanta tubería sanitaria de se debe probar etc.

3. Realizar programación de obra general, al tener la programación general de la obra, se puede identificar el ciclo del agua dentro de la obra y se puede determinar el número de días para lavado de herramientas en actividades como acabados y aseo.

4. Calcular la demanda

Calcular volumen de agua que se requiere en obra por actividad:

- **Morteros:** la referencia de los volúmenes de agua por m^3 , se pueden identificar en la revista de construcción Construdata, en el capítulo análisis detallado general.
- **Curado de concreto:** utilizar ecuación 1.
- **Cortadora de ladrillo:** se asume volumen, según la experiencia en diferentes obras, para un tiempo de recirculación de 1 a 2 meses.
- **Lavado de herramienta menor:** se asume volumen por batea para lavado de herramientas o en su defecto, si se lavan con manguera utilizar ecuación 1.
- **Lavado de llantas:** utilizar ecuación 1.

- **Provisionales (sanitarios):** utilizar ecuación 2.
- **Lavado de fachadas:** utilizar ecuación 1.
- **Prueba de ventanería:** utilizar ecuación 1.
- **Prueba de cubiertas:** utilizar ecuación 3.
- **Prueba de estanqueidad en tuberías sanitarias de desagües sanitarios y aguas lluvias:** utilizar ecuación 4.

5. Calcular oferta

Calcular volumen que se puede captar por mes

- a. Identificar la estación pluviométrica más cercana al proyecto.
- b. Solicitar los valores totales mensuales de precipitación (mms) de la estación más cercana al proyecto, al instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) en www.ideam.gov.co.
- c. Basándose en la ecuación 5, calcular los promedios mensuales de precipitación, para un periodo de análisis de 10 a 15 años.
- d. Definir el coeficiente de escorrentía según la superficie de captación.
- e. Definir áreas de captación.
- f. Calcular volumen de agua por mes según la ecuación 6.

6. Ciclo del agua en la obra

Realizar programación de obra de las actividades a reemplazar agua por agua lluvia, con el fin de identificar el ciclo del agua en la obra e identificar qué actividades se cruzan, y así poder determinar el porcentaje real de ahorro de agua.

7. Aprovechamiento de agua lluvia en el uso final

Con el fin de continuar el aprovechamiento de agua lluvia en el uso final, se debe calcular el volumen de agua lluvia que se requiere según la población y el tipo de sanitario, orinal o aparato sanitario, que vayan a reemplazar el agua potable por agua lluvia y el volumen de agua que se puede captar, determinando el porcentaje de ahorro de agua.

4. Ejemplo de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda multifamiliar en la ciudad de Bogotá.

4.1 Datos del proyecto

Uso: Vivienda Multifamiliar

Ciudad: Bogotá (zona norte)

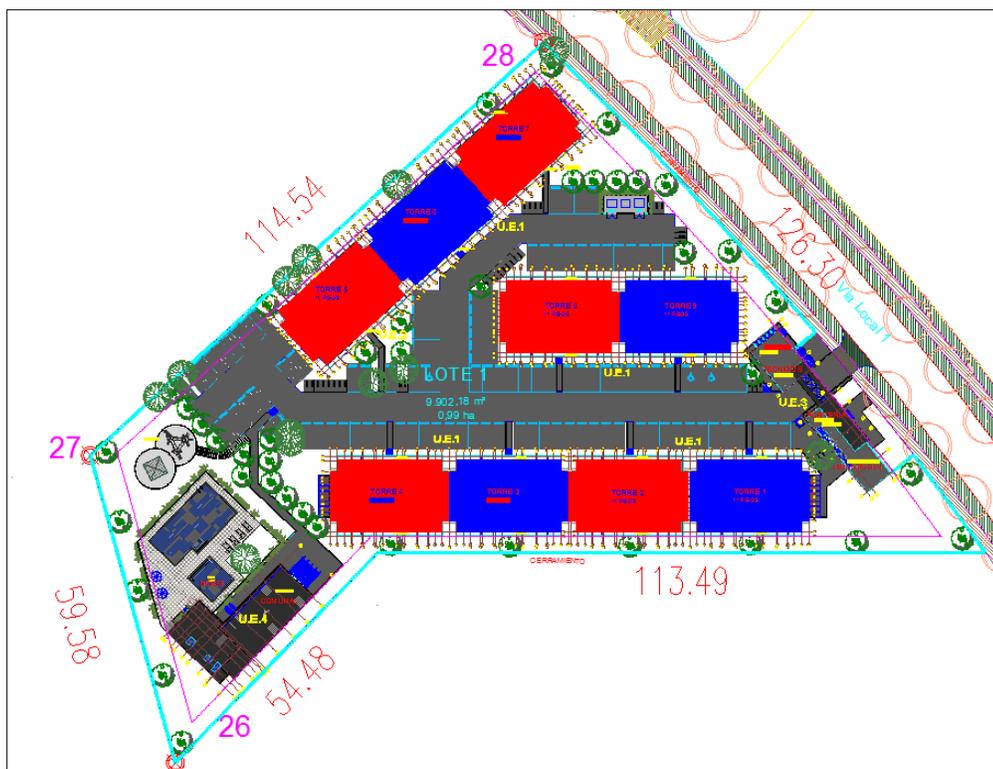
Numero de torres: 9

Número de pisos: 11

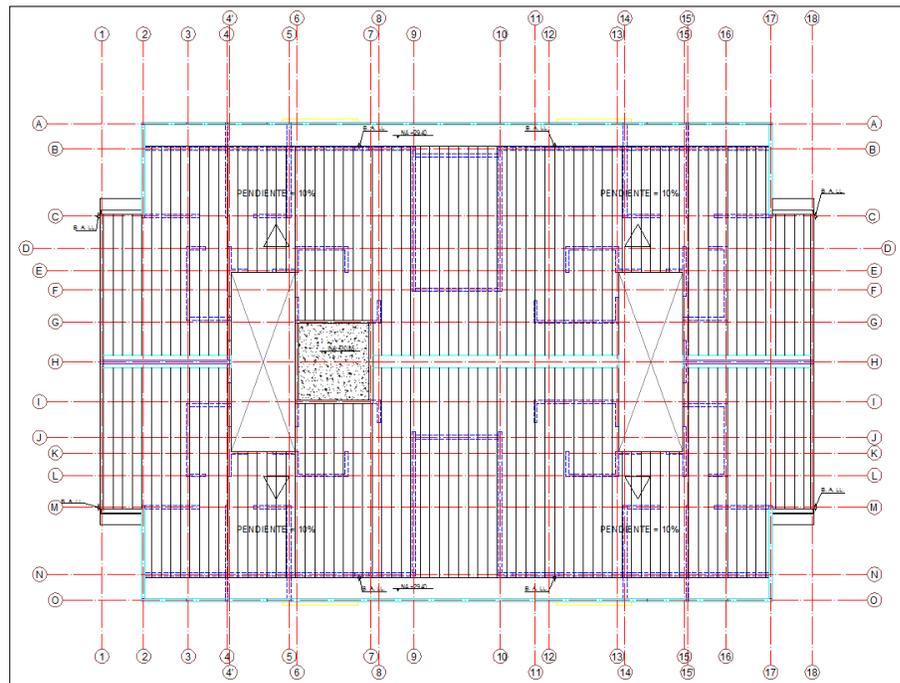
Apartamentos por piso: 4

Área proyecto: 9902.18 m²

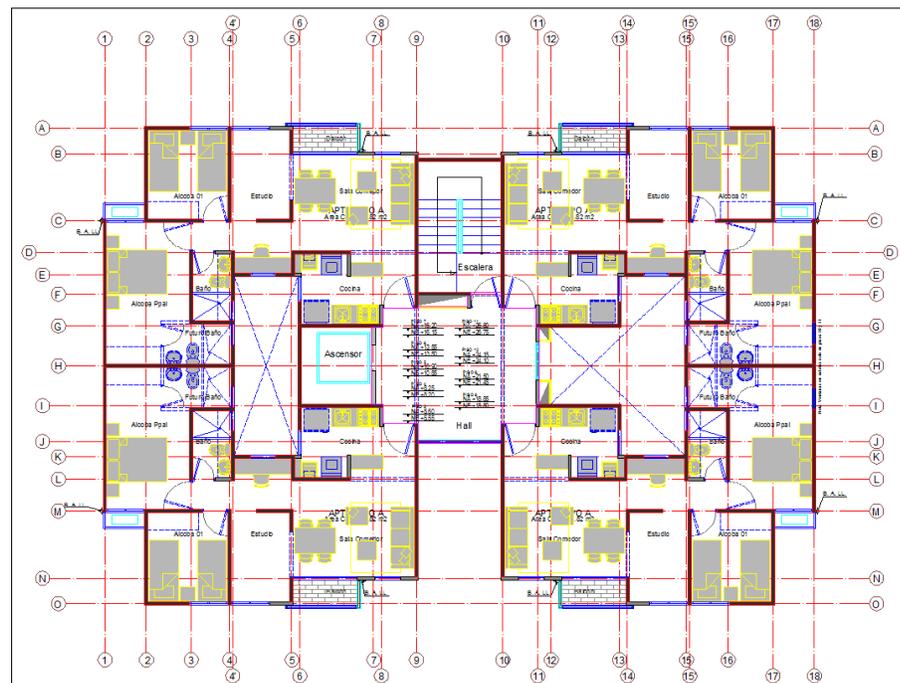
Sistema constructivo: Sistema Industrializado.



Área cubierta: 318.95 m²



Aptos: Sala, comedor, cocina, cuarto de ropas, habitación principal, habitación secundaria, cuarto de estudio, baño social y baño proyectado para habitación principal.



4.2 Identificación de las actividades en las que se va a reemplazar el uso del agua potable por agua lluvia:

- 7.1.1 Morteros
- 7.1.2 Curado de concreto
- 7.1.3 Lavado de herramienta menor
- 7.1.4 Lavado de llantas
- 7.1.5 Provisionales (sanitarios)
- 7.1.6 Prueba de ventanería
- 7.1.7 Prueba de cubiertas
- 7.1.8 Prueba de estanqueidad en tuberías sanitarias de desagües sanitarias y aguas lluvias.

4.3 Cantidades de obra de las actividades a reemplazar el agua potable por agua lluvia.

Para la actividad del lavado de llantas se requiere conocer las cantidades de obra de las actividades de descapote, limpieza y excavación, y de acuerdo al volumen de una volqueta que será de 6m³, se determinará cuantas volquetas se requieren para retirar el material de la obra.

En lo que respecta al curado del concreto se asume para las placas, escaleras, columnas y vigas método que evitan la pérdida de humedad, por lo que se toma un día de curado y para los muros de acuerdo al tiempo de curado para métodos húmedos se toma 7 días de curado.

CANTIDADES DE OBRA				
EDIFICIO VIVIENDA MULTIFAMILIAR				
ACTIVIDAD	ITEM	DESCRIPCIÓN	UM	Cantidad
LAVADO DE LLANTAS	1	CAPÍTULO 1 PRELIMINARES		
	1,1	Descapote y Limpieza urbanismo interno	m ²	9.902,18
	1,2	Excavacion Mecánica (Cargue y retiro) torres	m ³	2.873,14
	1,3	Excavacion Mecánica (Cargue y retiro) urbanismo interno	m ³	1.771,60

CURADO DE CONCRETO	2	CAPÍTULO 2 ESTRUCTURAS		
	2,1	Placa Flotante Contrapiso h=1m fc=4000psi torres	m ²	2.922,66
	2,2	Muros en Concreto Industrializado e=10 cm piso 4 a 11 f'c=4.000 psi torres	m ³	4.405,01
	2,3	Muros en concreto Industrializado e=10 cm f'c=4.000 psi Cubierta torres	m ³	65,6
	2,4	Placa Maciza e=10 cm Concreto Industrializado f'c=4.000 psi 2 a 11 torres	m ²	20.241,00
	2,5	Placa Maciza e=10 cm Concreto Industrializado f'c=4.000 psi Cubierta torres	m ²	160,09
	2,6	Placa Maciza e=12 cm Puntos Fijos torres	m ²	2.031,51
	2,7	Escalera P.F. En Concreto Ind. f'c=4.000 psi torres	m ³	188,1
	2,8	Vigas Cubierta Concreto Industrializado f'c=4.000 psi torres	m ³	13,87
	2,9	Columna en Concreto torres	m ³	33,4

Para el capítulo de mampostería se toma las dosificaciones para morteros de pega y pañetes según Construdata y para las pruebas de ventanería se tomas las áreas de las ventanas ya que el valor de agua para esta prueba se calculó por m².

PRUEBAS SANITARIAS	3	CAPÍTULO 3 INSTALACIONES TECNICAS		
	3,1	Tuberias sanitarias	m	523
MORTEROS	4	CAPÍTULO 4 MAMPOSTERIA		
	4,1	Antepecho Nicho Medidores de Agua torres	Un	396
	4,2	Mochetas Punto Fijo torres	Un	99
	4,3	Pañetes torres	m	2.871,00
PRUEBA CUBIERTA	5	CAPÍTULO 5 CUBIERTA		
	5,1	Instalacion cubierta	m ²	2870,55

PRUEBA VENTANERIA	6	CAPÍTULO 6 VENTANERIA		
	6,1	Puerta Ventana Sala Comedor (2.0 x 2.4) PV-1 torres	Un	396
	6,2	Ventana Sala (0.8x1.7) torres	Un	396
	6,3	Ventana Alcobas (1.2x1.7) - V1 torres	Un	792
	6,4	Ventana Alcoba Principal Frontal (1.20x1.70) - V3 torres	Un	396
	6,5	Ventana Baño Alcoba Principal (0.64x1.70) - V-4 torres	Un	396
	6,6	Ventana Estudio (0.8x0.5) - V-6 torres	Un	396
	6,7	Ventana Cocina (0.8x1.0) - V-6 torres	Un	396
	6,8	Ventana Baño (0.65x0.5) V7 torres	Un	396

4.4 Programación de obra

Con el fin de poder identificar el ciclo del agua en la obra, es necesario conocer la programación general de la obra, donde se identifica el inicio y fin de cada una de las actividades y el cruce de las mismas, de esta forma se podrá saber si se cuenta con el agua suficiente para suplir el agua potable o en qué porcentaje es posible hacerlo.

La obra en total tiene una duración 15 meses y las actividades en las que se reemplazará el agua potable por agua lluvia tienen la siguiente duración la cual es indispensable conocer para identificar el tiempo que se va a captar agua para la actividad en ejecución y si simultáneamente hay más de una actividad verificar si es posible abastecer la demanda.

- Duración lavado de llantas: Febrero a Junio de 2017
- Duración estructura: Abril a noviembre de 2017
- Duración Pruebas sanitarias: Mayo a Noviembre de 2017
- Duración mampostería: Julio a Diciembre de 2017
- Duración acabados 1: Mayo a enero de 2018
- Duración cubierta: Noviembre a Marzo de 2018
- Duración Ventanería: Septiembre a Febrero de 2018
- Duración acabados finales: Septiembre a Marzo de 2018
- Duración finalización: Enero a Abril de 2018

4. Ejemplo de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda multifamiliar en la ciudad de Bogotá.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18				
1	VIVIENDA MULTIFAMILIAR	314 días	mié 25/01/17	lun 07/05/18																					
2	PRELIMINARES	110 días	mié 25/01/17	vie 07/07/17																					
3	Movimiento de Tierras	94 días	jue 16/02/17	vie 07/07/17																					
4	ESTRUCTURA	262 días	mié 25/01/17	jue 30/11/17																					
5	Fundida Apartamentos	148 días	mar 04/04/17	lun 20/11/17																					
6	Torre 1	72 días	mar 04/04/17	lun 24/07/17																					
7	Torre 2	72 días	jue 06/04/17	mié 26/07/17																					
8	Torre 3	48 días	mié 17/05/17	vie 28/07/17																					
9	Torre 4	48 días	vie 19/05/17	mar 01/08/17																					
10	Torre 8	44 días	mié 07/06/17	lun 14/08/17																					
11	Torre 9	44 días	vie 09/06/17	mié 16/08/17																					
12	Torre 5	64 días	vie 04/08/17	mar 14/11/17																					
13	Torre 6	64 días	mié 09/08/17	jue 16/11/17																					
14	Torre 7	64 días	vie 11/08/17	lun 20/11/17																					
15	PRUEBAS SANITARIAS	150 días	vie 28/04/17	lun 27/11/17																					
16	Torre 1	42 días	mié 03/05/17	vie 30/06/17																					
17	Torre 2	42 días	mié 03/05/17	vie 30/06/17																					
18	Torre 3	42 días	jue 15/06/17	vie 18/08/17																					
19	Torre 4	42 días	mar 20/06/17	mié 23/08/17																					
20	Torre 8	42 días	lun 10/07/17	vie 08/09/17																					
21	Torre 9	42 días	mié 12/07/17	mar 12/09/17																					
22	Torre 5	42 días	jue 14/09/17	mar 21/11/17																					
23	Torre 6	42 días	lun 18/09/17	jue 23/11/17																					
24	Torre 7	42 días	mié 20/09/17	lun 27/11/17																					
25	MAMPOSTERÍA	97 días	vie 21/07/17	vie 15/12/17																					
26	Torre 1	22 días	vie 21/07/17	mié 23/08/17																					
27	Torre 2	22 días	mar 25/07/17	vie 25/08/17																					
28	Torre 3	22 días	vie 01/09/17	lun 16/10/17																					
29	Torre 4	22 días	vie 01/09/17	lun 23/10/17																					
30	Torre 5	22 días	vie 03/11/17	mar 12/12/17																					
31	Torre 6	22 días	mié 15/11/17	jue 14/12/17																					
32	Torre 7	22 días	jue 16/11/17	vie 15/12/17																					
33	Torre 8	22 días	vie 11/08/17	mar 12/09/17																					
34	Torre 9	22 días	lun 14/08/17	mié 13/09/17																					
35	Mochetas Puerta Cortafuegos	97 días	vie 21/07/17	vie 15/12/17																					
36	ACABADOS 1	184 días	jue 11/05/17	mar 30/01/18																					
37	ENCHAPES	176 días	vie 19/05/17	mar 30/01/18																					
38	PISOS	167 días	jue 11/05/17	lun 22/01/18																					
39	Alistado de Pisos Apartamentos	136 días	jue 11/05/17	mié 06/12/17																					
40	Enchape de Pisos Apartamentos	109,2 días	lun 31/07/17	lun 15/01/18																					

4.5 Calcular la demanda

Para calcular el volumen de agua que requieren actividades como lavado de llantas y de herramienta, una vez se tienen las cantidades, se puede calcular el número de volquetas que se requieren para sacar la tierra producto de las actividades de descapote, limpieza y excavación y según la programación de obra los números de días donde se estará lavando herramienta según las actividades tales como pañetes, morteros de pega, y acabados. De esta forma con base en los volúmenes de agua calculados en el capítulo anterior por actividad, se calculan los volúmenes totales de agua que se requieren para ejecutar las actividades que reemplazarán el agua potable por agua lluvia.

VOLUMEN DE AGUA EN OBRA PARA EDIFICIO MULTIFAMILIAR									
CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	VOLQUETA (m ³)	# VOLQUETAS	VOLUMEN AGUA MIN (l) LAVADO LLANTAS VOLQUETA	VOLUMEN AGUA MAX (l) LAVADO LLANTAS VOLQUETA	VOLUMEN TOTAL MINIMO DE AGUA (m ³) LAVADO LLANTAS VOLQUETA	VOLUMEN TOTAL MAXIMO DE AGUA (m ³) LAVADO LLANTAS VOLQUETA
Preliminares	Descapote y limpieza urbanismo interno	m ³	3862	6	644	46,56	87,3	30	56
Preliminares	Excavación mecánica Torres	m ³	3735	6	623	46,56	87,3	29	54
Preliminares	excavación mecánica urbanismo	m ³	2303	6	384	46,56	87,3	18	34
TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE LLANTAS VOLQUETAS								77	144
CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	DESCARGA SANITARIO (lpd)	# DESCARGAS (per-d)	VOLUMEN AGUA MIN (l) SANITARIO BAJO CONSUMO	VOLUMEN AGUA MAX (l) SANITARIO CONVENCIONAL	VOLUMEN TOTAL MINIMO DE AGUA (m ³ /mes) SANITARIO BAJO CONSUMO	VOLUMEN TOTAL MAXIMO DE AGUA (m ³) SANITARIO CONVENCIONAL
Preliminares	Sanitario Provisional bajo consumo (administrativo)	per	12	4,8	3	14,53	18,11	4,2	5,2
TOTAL VOLUMEN DE AGUA SANITARIO PROVISIONAL ADMINISTRATIVO								4,2	5,2
CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	DIAS CURADO	CANTIDAD SUPERFICIE A CURAR	VOLUMEN AGUA MIN (l) CURADO	VOLUMEN AGUA MAX (l) CURADO	VOLUMEN TOTAL MINIMO DE AGUA (m ³) CURADO	VOLUMEN TOTAL MAXIMO DE AGUA (m ³) CURADO
Estructura	Placa flotante contrapiso	m ²	2923	1	2923	9,37	18,86	27	55
Estructura	Muro concreto industrializado e=0,10m	m ²	44050	7	308350	9,37	18,86	2889	5815
Estructura	Muro concreto industrializado cubiertas e=0,10m	m ²	656	7	4592	9,37	18,86	43	87
Estructura	Placa maciza e=0,10m torres	m ²	20241	1	20241	9,37	18,86	190	382
Estructura	Placa maciza e=0,10m cubiertas	m ²	160	1	160	9,37	18,86	1	3
Estructura	Placa maciza e=0,10m puntos fijos torres	m ²	2031	1	2031	9,37	18,86	19	38
Estructura	Escalera puntos fijos torres	m ³	188	1	188	53,72	170,31	10	32
Estructura	Columna en concreto Torres	m ³	33,4	1	33	53,72	170,31	2	6
Estructura	Vigas cubierta	m ³	13,87	1	14	53,72	170,31	1	2
TOTAL VOLUMEN DE AGUA CURADO ESTRUCTURAS DE CONCRETO								3182	6420
TOTAL VOLUMEN DE AGUA POR TORRE CURADO ESTRUCTURAS DE CONCRETO								354	713
CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD POR TORRE	NUMERO DE TORRES	VOLUMEN AGUA (l) PRUEBAS	VOLUMEN TOTAL AGUA (M ³) PRUEBAS SANITARIAS POR TORRE	CANTIDAD TOTAL TUBERIA TORRES (m)	VOLUMEN AGUA (l) PRUEBAS	VOLUMEN TOTAL AGUA (M ³) PRUEBAS SANITARIAS TORRES
Instalaciones técnicas	Pruebas sanitarias	m	58	9	8,1	0,47	523	8,1	4
TOTAL VOLUMEN DE AGUA PRUEBAS SANITARIAS									4
CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	CANTIDAD MORTERO (M ³)	CANTIDAD TOTAL MORTERO (M ³)	VOLUMEN AGUA (l) MORTERO 1:3	VOLUMEN AGUA (l) MORTERO 1:4	VOLUMEN TOTAL AGUA (m ³) MORTERO 1:3	VOLUMEN TOTAL AGUA (m ³) MORTERO 1:4
Mampostería	Antepedochos nichos	m ²	216	0,03	6	240,00		2	
Mampostería	Mocheta Punto fijo	m ²	353,2	0,03	11	240,00		3	
Mampostería	Pañetes	m ²	2009,7	0,02	40		220,00		9
TOTAL VOLUMEN DE AGUA MORTEROS								4	9

CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	AGUA (l) LAVADO HERRAMIENTAS	VOLUMEN TOTAL DE AGUA (m³) LAVADO DE HERRAMIENTAS
Mampostería	Lavado de herramientas	d	97	94,64	9
TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE HERRAMIENTA					9

CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	AGUA (l) LAVADO HERRAMIENTAS	VOLUMEN TOTAL DE AGUA (m³) LAVADO DE HERRAMIENTAS
Acabados 1	Lavado de herramientas (Enchapes)	d	176	94,64	17
Acabados 1	Lavado de herramientas (pisos)	d	167	94,64	16
TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE HERRAMIENTA					32

CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD POR TORRE	NUMERO DE TORRES	CANTIDAD TOTAL CUBIERTA	VOLUMEN AGUA MIN (l) PRUEBA CUBIERTA	VOLUMEN AGUA MAX (l) PRUEBA CUBIERTA	VOLUMEN TOTAL MINIMO DE AGUA (m³) PRUEBA CUBIERTA	VOLUMEN TOTAL MAXIMO DE AGUA (m³) PRUEBA CUBIERTA
Prueba Cubiertas	Cubierta Torres	m²	319	9	2871	20	100	57	287
TOTAL VOLUMEN DE AGUA PRUEBA CUBIERTA									57

CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	AREA VENTANA (M²)	AREA TOTAL VENTANAS (M²)	VOLUMEN AGUA MIN (l) PRUEBA VENTANERIA	VOLUMEN AGUA MAX (l) PRUEBA VENTANERIA	VOLUMEN TOTAL MINIMO DE AGUA (m³) PRUEBA VENTANERIA	VOLUMEN TOTAL MAXIMO DE AGUA (m³) PRUEBA VENTANERIA
Pruebas ventaneria	Puerta ventana sala-comedor 2x2,4m	un	396	4,8	1901	39,6	66	75	125
Pruebas ventaneria	Ventana sala 0,8x1,7m	un	396	1,36	539	39,6	66	21	36
Pruebas ventaneria	Ventana alcobas 1,2x1,7m	un	792	2,04	1616	39,6	66	64	107
Pruebas ventaneria	ventana alcoba principal 1,20x1,7m	un	396	2,04	808	39,6	66	32	53
Pruebas ventaneria	Ventana baño alcoba principal 0,64x1,7m	un	396	1,09	431	39,6	66	17	28
Pruebas ventaneria	Ventana estudio 0,8x0,5m	un	396	0,4	156	39,6	66	6	10
Pruebas ventaneria	Ventana Cocina 0,8x1m	un	396	0,8	317	39,6	66	13	21
Pruebas ventaneria	Ventana baño 0,65x0,5m	un	396	0,33	129	39,6	66	5	8
TOTAL VOLUMEN DE AGUA PRUEBA VENTANERIA									234

CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	AGUA (l) LAVADO HERRAMIENTAS	VOLUMEN TOTAL DE AGUA (m³) LAVADO DE HERRAMIENTAS
Acabados finales	Lavado de herramientas (Pintura interna)	d	163	94,64	15
Acabados finales	Lavado de herramientas (Pintura externa)	d	108	94,64	10
Acabados finales	Lavado de herramientas (Empastar y carraplast techos apartamentos)	d	99	94,64	9
TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE HERRAMIENTA					35

CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD	AGUA (l) LAVADO HERRAMIENTAS	VOLUMEN TOTAL DE AGUA (m³) LAVADO DE HERRAMIENTAS
Finalización	Lavado de utensilios (Aseo Apartamentos)	d	67	94,64	6
TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE UTENSILIOS					6

A continuación se describe el resumen de volumen total de agua máximo y mínimo que se necesita reemplazar por agua lluvia y que son producto de adoptar o no buenas prácticas del manejo del agua, ya que como se describió en el capítulo 3.5, se pueden tener volúmenes mínimos si se hace uso de sanitarios de bajo consumo o por ejemplo volúmenes máximo si se utiliza sanitarios convenciones, o también influye si ciertas actividades se hacen con manguera o con hidrolavadora lo que hace que en actividades hayan quienes se tomen más o menos tiempo para desarrollarlas.

CICLO	DESCRIPCIÓN	UM	VOLUMEN DE AGUA TOTAL MIN	VOLUMEN DE AGUA TOTAL MAX
Preliminares	TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE LLANTAS VOLQUETAS	m³	77	144
Preliminares	TOTAL VOLUMEN DE AGUA SANITARIO PROVISIONAL ADMINISTRATIVO	m³	62,8	78,2
Estructura	TOTAL VOLUMEN DE AGUA CURADO ESTRUCTURAS DE CONCRETO	m³	3182	6420
Instalaciones técnicas	TOTAL VOLUMEN DE AGUA PRUEBAS SANITARIAS	m³	4	4
Mampostería	TOTAL VOLUMEN DE AGUA MORTEROS	m³	13	13
Mampostería	TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE HERRAMIENTA	m³	9	9
Acabados 1	TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE HERRAMIENTA	m³	32	32
Prueba Cubiertas	TOTAL VOLUMEN DE AGUA PRUEBA CUBIERTA	m³	57	287
Pruebas ventaneria	TOTAL VOLUMEN DE AGUA PRUEBA VENTANERIA	m³	234	389
Acabados finales	TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE HERRAMIENTA	m³	35	35
Finalización	TOTAL VOLUMEN DE AGUA LAVADO DE UTENSILIOS	m³	6	6
VOLUMEN TOTAL MINIMO DE AGUA EN OBRA			3713	
VOLUMEN TOTAL MAXIMO DE AGUA EN OBRA			m³	7419

4.6 Calcular oferta

Debido a que durante el desarrollo de la obra no se tienen las mismas áreas de cubiertas, según avance de obra, éstas van incrementando, por lo que inicialmente se calcula el volumen de agua teniendo en cuenta:

- 1 campamento para profesionales de dos containers de 20 ft o 29.64 m²
- 1 bodega de 1 container de 20 ft o 14.82 m²
- Acopio de material de 15x5m o 75 m².

ÁREAS CUBIERTAS INICIALES CAMPAMENTOS 119,49 m ²									
ESTACIÓN EMMANUEL D'ALZON (ZONA NORTE)									
MES	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 12)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (m ³)	ACTIVIDAD		VOLUMEN SEGÚN DURACION ACTIVIDAD (m ³)			
feb-17	66,7	7173,7	7,2	SANTUARIO PROVISIONAL	LAVADO DE LLANTAS	47,5			
mar-17	98,7	10615,7	10,6						
abr-17	120,3	12940,1	12,9						
may-17	109,4	11767,9	11,8						
jun-17	46,8	5036,5	5,0						
jul-17	37,1	3986,2	4,0						
ago-17	31,9	3429,8	3,4		PRUEBAS SANITARIAS LAVADO DE HERRAMIENTA (MAMPOSTERIA)	88,1			
sep-17	46,7	5018,6	5,0						
oct-17	133,9	14401,2	14,4						
nov-17	131,1	14095,0	14,1						
dic-17	90,9	9771,2	9,8						
ene-18	62,2	6686,2	6,7						
feb-18	66,7	7173,7	7,2						
mar-18	98,7	10615,7	10,6						
abr-18	120,3	12940,1	12,9						
TOTAL VOLUMEN DE AGUA CAPTADA DURANTE LA OBRA			135,7						

Lo que indica la tabla anterior es que las áreas de cubiertas descritas, permiten captar en el mes más lluvioso 14.4 m³/mes, es decir que en promedio por día, podría captarse 480 litros, por lo que inicialmente se necesitaría un tanque de almacenamiento de 500 litros y la respectiva tubería para conducir el agua lluvia hasta el almacenamiento. Dicho sistema sería provisional ya que solo se utilizaría para la obra. Adicional la tabla muestra como el agua captada de Febrero a Junio será utilizada para las actividades de sanitario provisional y lavado de llantas y el agua captada de Julio a Abril será para sanitario provisional, pruebas en tuberías sanitarias y lavado de herramientas durante las actividades de mampostería.

A medida que la estructura avanza junto con las instalaciones sanitarias, las áreas de cubiertas van aumentando ya que se aprovechará cada área de torre ejecutada.

- Área por torre: 318.95 m²

ESTACIÓN EMMANUEL D'ALZON (ZONA NORTE)			
MES	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 12)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l/mes)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (m ³)
jul-17	37,1	42560,7	42,6
ago-17	31,9	54930,8	54,9
sep-17	46,7	80375,4	80,4
oct-17	133,9	230643,0	230,6
nov-17	131,1	338610,1	338,6
dic-17	90,9	234736,4	234,7
ene-18	62,2	160624,5	160,6
feb-18	66,7	172336,3	172,3
mar-18	98,7	255025,4	255,0
abr-18	120,3	310863,3	310,9
TOTAL VOLUMEN DE AGUA CAPTADA DURANTE LA OBRA			1934,9

Con base en lo anterior y revisando la programación de obra, para el mes de julio ya estará ejecutada la estructura e instalaciones sanitarias de las torres 1,2, 3 y 4 por lo que el área de cubiertas será de 1275.8 m², para el mes de agosto estarán las torres 8 y 9 por lo tanto el área de cubierta aumenta a 1913.7m², y para el mes de noviembre estarían listas las torres 5,6 y 7, por lo que para dicha fecha se tendría un área de 2870.55m². De acuerdo a lo anterior el mes en el que se podría captar más agua corresponde a noviembre donde se puede captar 338.6 m³/mes, es decir que en promedio por día, podría captarse 11.28m³, por lo que se debe tener un tanque de almacenamiento de 15.000 litros, o dos tanques de 6000 litros o un tanque de 12500 litros. El ideal es tener un tanque de almacenamiento definitivo, que pueda quedar enterrado, que tenga la capacidad para almacenar el agua para el día más lluvioso ya que posteriormente será funcional para el aprovechamiento de agua lluvia en el uso final del proyecto, es decir para aprovechamiento en sanitarios.

4.7 Programación de obra de las actividades a reemplazar agua potable por agua lluvia (ciclo del agua en la obra)

De acuerdo a la programación de obra general, las actividades que reemplazarán el agua potable por agua lluvia con las áreas de campamentos y bodega, corresponden al lavado de llantas de las volquetas, el sanitario provisional para el área administrativa, las pruebas sanitarias y para el lavado de herramienta en actividades de mampostería. Para el lavado de llantas se toma captación para los meses de febrero a junio, donde se capta 47.5 m^3 , los cuales cobijan también, la actividad de sanitario de tanque que inicia igualmente en febrero por lo que de los 47.5 m^3 , se requieren 21 m^3 para el sanitario si es de bajo consumo y el volumen restante es decir 26.5 m^3 , se utilizarían para el lavado de llantas ó 26 m^3 si es un sanitario convencional y el volumen restante es decir 21.5 m^3 , se utilizarían para el lavado de llantas. De esta forma el ahorro de agua sería del 34.4% y 14.93% el cual se diferencia por el tiempo que se toma para realizar dicha actividad y 99.52% y 95.33% respectivamente según el tipo de sanitario a usar.

Debido a que toda el agua se ha gastado en esas dos actividades, para el mes de mayo y junio no habría agua para las pruebas sanitarias y para julio y agosto debido a que los volúmenes captados son bajos, sólo se puede abastecer el sanitario, al igual en el mes de septiembre no se podría abastecer para el lavado de herramientas, pues solo se pueden captar 5 m^3 , que alcanzan para abastecer el sanitario de tanque y las pruebas sanitarias de dicho mes. Para los meses de septiembre a noviembre se puede abastecer agua para las pruebas sanitarias al igual que para el lavado de herramientas de octubre a diciembre. Por lo anterior el ahorro de agua para las pruebas sanitarias sería del 45.75% si se usa sanitario de bajo consumo y 29.04% si se usa sanitario convencional. Para el lavado de herramientas en actividades de mampostería sería del 50%.

Debido a que hasta el mes de julio se tienen nuevas áreas de captación al estar la estructura y tuberías sanitarias de las torres, para el lavado de herramientas de lo que se denominó acabados 1, no habría agua para abastecer los meses de mayo y junio, pero a partir de julio ya se cuenta con el agua suficiente para abastecer las actividades correspondientes a; morteros, lavado de herramientas de acabados 1, cubiertas,

ventanería, lavado de herramientas de acabados finales y lavado de utensilios de aseo cubriendo así el 100% del ahorro de agua para dichas actividades. En lo que corresponde al tema de curado para las torres 1,2,3,4,8 y 9 no se tiene agua para el curado del concreto, pero para las torres 5, 6 y 7 se tiene un volumen de 538.5m^3 de los 1062m^3 que se requieren, por lo tanto el porcentaje de ahorro es del 50.71%.

4. Ejemplo de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda multifamiliar en la ciudad de Bogotá.

AHORRO DE AGUA DE ACUERDO AL CICLO DEL AGUA EN LA OBRA PARA VOLUMENES MAXIMOS

ITEM	CICLO	DESCRIPCION	Volumen de agua Captado (Oferta) (m ³)	Volumen de agua requerido (Demanda) (m ³)	% de ahorro	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18
						19,53%	41,66%	56,64%	49,47%	5,20%										
1	Preliminares	Lavado de llantas volquetas	26,5	77	34,4	15,36 m ³	95%	81%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				
1	Preliminares	Sanitario provisional	62,5	62,8	99,52	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³	4,2 m ³				
2	Estructura	Torre 1 y 2		708	0															
	Estructura	Torre 3 y 4		708	0															
	Estructura	Torre 8 y 9		708	0															
	Estructura	Torre 5,6 y 7	526,33	1062	49,56							18,51%	11,57%	68,15%	100%	265,5 m ³	265,5 m ³	265,5 m ³	265,5 m ³	
3	Instalaciones Técnicas	Pruebas sanitarias	20,91	4	45,75				0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³				
4	Mampostería	Morteros	981,9	13	100						2,17 m ³	2,17 m ³	2,17 m ³	2,17 m ³	2,17 m ³	2,17 m ³				
	Mampostería	Lavado de herramientas	8,29	9	50						1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³				
5	Acabados 1	lavado de herramienta	1130	32	77,77				3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³			
6	Prueba Cubierta	Cubiertas Torres	962,6	57	100											11,4 m ³	11,4 m ³	11,4 m ³	11,4 m ³	11,4 m ³
7	Prueba ventaneria	Ventaneria	1157,02	234	100									38,92 m ³						
8	Acabados finales	Lavado de Herramienta	1164,3	35	100									5 m ³						
9	Finalizacion	lavado de Utensilios	768,25	6	100													1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³
MAXIMO AHORRO DE AGUA EN OBRA					61,22															

- Duración de actividad por meses
- Meses que se abastece con agua lluvia
- Meses que no se puede abastecer con agua lluvia

AHORRO DE AGUA DE ACUERDO AL CICLO DEL AGUA EN LA OBRA PARA VOLUMENES MAXIMOS

ITEM	CICLO	DESCRIPCION	Captación agua según duración (m ³)	Volumen de agua requerido (m ³)	% de ahorro	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	
						6,94%	18,75%	26,74%	22,92%												
1	Preliminares	Lavado de llantas volquetas	21,5	144	14,93	28,8 m ³	77%	65%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%					
1	Preliminares	Sanitario provisional	74,58	78	95,33	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³	5,2 m ³					
2	Estructura	Torre 1 y 2		1427	0																
	Estructura	Torre 3 y 4		1427	0																
	Estructura	Torre 8 y 9		1427	0																
	Estructura	Torre 5,6 y 7	414,51	2140	19,37							9,19%	0,89%	28,97%	38,42%						
												535 m ³	535 m ³	535 m ³	265,5 m ³						
3	Instalaciones Técnicas	Pruebas sanitarias	18,10	4,2	29,04							0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³	0,61 m ³				
4	Mamposteria	Morteros	981,9	13	100							2,17 m ³	2,17 m ³	2,17 m ³	2,17 m ³	2,17 m ³	2,17 m ³				
	Mamposteria	Lavado de herramientas	20,84	9	50							1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³				
5	Acabados 1	lavado de herramienta	1129	32	77,77							3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³	3,56 m ³			
6	Prueba Cubierta	Cubiertas Torres	858,8	287	100												57,4 m ³	57,4 m ⁴	57,4 m ⁵	57,4 m ⁶	57,4 m ⁷
7	Prueba ventaneria	Ventaneria	973,02	389	100												64,87 m ³	64,87 m ⁴	64,87 m ⁵	64,87 m ⁶	64,87 m ⁷
8	Acabados finales	Lavado de Herramienta	824,6	35	100												5 m ³				
9	Finalizacion	lavado de Utensilios	578,35	6	100												1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³	1,5 m ³	
MINIMO AHORRO DE AGUA EN OBRA					56,17																

- Duración de actividad por meses
- Meses que se abastecen con agua lluvia
- Meses que no se puede abastecer con agua lluvia

Una vez analizado el ciclo del agua dentro del ciclo de la obra, se logra identificar que adoptando buenas practicas del manejo del agua, se puede ahorrar un 61.22% de agua o en su defecto si no hay buenas prácticas un 56.17%, por lo que es bastante significativo el aprovechamiento que se le puede dar al agua lluvia en el desarrollo de la obra y adoptar buenas prácticas del manejo del agua dentro del desarrollo de la misma.

4.8 Aprovechamiento de agua lluvia en el uso final

Con el fin de que el sistema de aprovechamiento de agua lluvia implementado en la obra pueda ser aprovechado al máximo, se plantea continuar el aprovechamiento para el uso final. De esta forma, se calcula para la vivienda multifamiliar que consta de 396 apartamentos y asumiendo 4 personas por apartamento, un total de 1584 personas que descargarán el sanitario de bajo consumo 3 veces en el día.

- Cálculo demanda

CALCULO VOLUMEN DE AGUA A REEMPLAZAR POR AGUA LLUVIA EN SANITARIOS			
CONSUMOS DIARIOS			
De acuerdo al uso de la construcción tomamos:			
Numero de apartamentos por torre		44	Apartamentos
Numero de torres		9	Torres
Numero de personas por apartamento		4,0	personas
No total de personas		1.584	personas
Frecuencia de uso diario de sanitario por persona		3,0	veces/persona-d
Consumo Sanitario bajo consumo por Descarga	1,28 gal	4,8	l
Consumo de Agua para todos los sanitarios instalados		23022,4896	l/d
Volumen requerido de Agua para sanitarios por día	6.083 gal/d	23	m³/d
Volumen requerido de Agua para sanitarios por mes		690,675	m³/mes

- Cálculo oferta

ESTACIÓN EMMANUEL D'ALZON (ZONA NORTE)			
MES	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 12)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (m ³)
ENERO	62,2	160624,5	160,6
FEBRERO	66,7	172336,3	172,3
MARZO	98,7	255025,4	255,0
ABRIL	120,3	310863,3	310,9
MAYO	109,4	282703,2	282,7
JUNIO	46,8	120993,7	121,0
JULIO	37,1	95761,5	95,8
AGOSTO	31,9	82396,3	82,4
SEPTIEMBRE	46,7	120563,1	120,6
OCTUBRE	133,9	345964,4	346,0
NOVIEMBRE	131,1	338610,1	338,6
DICIEMBRE	90,9	234736,4	234,7

- Ahorro aproximado de agua

MES	PPm (l/m ²) (Tomado de la tabla 12)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (l)	Ai OFERTA DE AGUA POR MES (m ³)	VOLUMEN DE AGUA SANITARIOS (m ³ /mes)	AHORRO DE AGUA (%)
ENERO	62,2	160624,5	160,6	690,0	23,3
FEBRERO	66,7	172336,3	172,3	690,0	25,0
MARZO	98,7	255025,4	255,0	690,0	37,0
ABRIL	120,3	310863,3	310,9	690,0	45,1
MAYO	109,4	282703,2	282,7	690,0	41,0
JUNIO	46,8	120993,7	121,0	690,0	17,5
JULIO	37,1	95761,5	95,8	690,0	13,9
AGOSTO	31,9	82396,3	82,4	690,0	11,9
SEPTIEMBRE	46,7	120563,1	120,6	690,0	17,5
OCTUBRE	133,9	345964,4	346,0	690,0	50,1
NOVIEMBRE	131,1	338610,1	338,6	690,0	49,1
DICIEMBRE	90,9	234736,4	234,7	690,0	34,0
MAXIMO AHORRO DE AGUA EN EL USO FINAL DEL EDICIO					50,1
MINIMO AHORRO DE AGUA EN EL USO FINAL DEL EDICIO					11,9
PROMEDIO AHORRO ANUAL					30,4

Para continuar aprovechando el agua lluvia en el uso final del proyecto, se logra identificar que haciendo uso de las cubiertas de las 9 torres, en el mes más lluvioso se puede ahorrar un 50.1% del agua que se requiere para el funcionamiento de sanitarios y en el mes más seco un ahorro del 11.9%.

5. Conclusiones

5.1 Conclusiones y recomendaciones

Después de realizar esta investigación exploratoria con datos no probabilísticos, se concluye; que el volumen de agua que puede gastar una obra en actividades que no requieren de agua potable es alto. Para la obra analizada el volumen mínimo de agua es 3713m^3 y el volumen máximo 7419m^3 , la diferencia por la cual puede llegar a ser el doble, radica en las buenas prácticas del manejo del agua de la obra, es decir adoptar sanitarios de bajo consumo, láminas de agua adecuadas para las respectivas pruebas de cubiertas ó equipos de presión para lavado de llantas, ya que actividades como curado del concreto y prueba en cubiertas fueron actividades significativas en este aumento de agua, debido a que hay quienes para hacer la prueba de hermeticidad en las cubiertas manejan una lámina de agua de hasta 10 cm pudiéndose realizar la misma prueba con una lámina de agua de 5cm lo cual reduciría a la mitad el gasto en esta actividad.

De acuerdo al ciclo del agua en la obra, el ahorro máximo de agua que se puede obtener es del 61.22% y el ahorro mínimo de 56.17%, es decir que más de la mitad del agua que se requiere en la obra en actividades que no necesitan agua potable, puede ser aprovechada por agua lluvia si se adoptan buenas prácticas en el manejo del agua. Aunque el ahorro de agua no será el mismo para todas las obras ya que depende del área del proyecto, del sistema constructivo, de la ciudad donde se desarrolle, etc, el planteamiento descrito en este trabajo, es una herramienta que permite a las obras que desarrollen proyectos tales como vivienda multifamiliar, conocer el ahorro de agua en sus obras.

Ahora bien con el fin de que el aprovechamiento del agua lluvia en la obra, no represente una inversión no recuperada, se unifica ésta con el uso final del proyecto, aprovechando de esta forma el agua lluvia para los sanitarios. De acuerdo al volumen calculado, el proyecto de vivienda multifamiliar analizado, requiere al mes 690m^3 de agua para solo sanitarios y con las áreas de cubiertas, en el mes más lluvioso se puede captar 346m^3 , es decir que se puede obtener un ahorro del 50.1% y en el mes más seco se puede captar 82.4m^3 un ahorro representado en un 11.9%.

Como se evidencia el consumo de agua de una sola obra es bastante significativo, por lo tanto se deben adoptar buenas prácticas en el manejo del agua tale como; concientizar a quienes ejecutan actividades que requieran de agua a un manejo racional del recurso y utilizar maquinaria eficiente en el consumo de agua, es decir sistemas que permitan el ahorro de agua como lo es el lavado a presión cuando se pueda.

Por otro lado, al identificar los periodos más lluviosos y más secos, se puede realizar una programación adecuada de obra, que tenga en cuenta el factor meteorológico en la planeación de las actividades, sin que estas puedan verse afectadas por precipitaciones no previstas. Lo anterior permite, por una parte tomar medidas preventivas con anterioridad frente a las temporadas de lluvia, y por otra, calcular y aprovechar adecuadamente el porcentaje de agua lluvia que puede ser captada.

Finalmente aunque el aporte ambiental al aprovechar el agua lluvia es alto, tiene como desventaja depender del nivel de precipitaciones de la zona de adaptación, adicional no existe confianza, aceptación y participación de la gente, debido a la inversión con relación al no obtener un beneficio económico, la información hidrológica no es confiable, ya que el clima está en constante variación producto del calentamiento global, y hay incertidumbre en la calidad del agua.

Se recomienda para futuras investigaciones, analizar la guía aquí descrita de aprovechamiento de agua lluvia, en los diferentes sistemas constructivos, tales como; mampostería estructural, sistemas prefabricados, o sistemas convencionales, concreto reforzado, y en diferentes usos como institucional, comercial e industrial, con el fin de establecer los sistemas constructivos que permiten mayor aprovechamiento de agua.

Con el fin de poder evaluar económicamente cual es la mejor alternativa de sistema de aprovechamiento de agua lluvia, se recomienda evaluar en diferentes obras todas las posibles alternativas de filtración y almacenamiento, con el fin de poder definir un sistema eficiente y asequible

Por último es importante para futuras investigaciones, profundizar en el tema específico del agua lluvia, donde se pueda realizar el análisis del agua en diferentes puntos de la

ciudad, de tal forma que se pueda identificar con datos más recientes que tan ácida es el agua lluvia en Bogotá a la fecha, ya que el último dato suministrado por el IDEAM, corresponde al 2007.

6. Bibliografía

- Alaiza, A. D. (2005). Construcción ecoeficiente. cuantificación y minimización del consumo de agua en la construcción de edificios. Sevilla.
- Alcaldía mayor de Bogotá . (2008). Calidad del sistema Hídrico de Bogotá. Bogotá.
- Antolínez, A., & Díaz, C. (2003). Lluvia ácida en la zona norte de Bogotá. Trabajo de grado, ingenieros químicos). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC UN.
- Antón, D., Días Delgado, C., & del Agua, C. I. d. R. (2000). Sequía en un mundo de agua Sequía en un mundo de agua: Piriguazú.
- Arboleda Montañoz, N. (2016). Evaluación de alternativas tecnológicas para el tratamiento básico del agua lluvia de uso doméstico en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura. Evaluation of technological alternatives for the basic treatment of rain water for domestic use in the Community Council of the black community in the lakes, Buenaventura., 21(3), 278-285.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, S. d. M. A. d. M., Empresas Públicas de Medellín. (2011). Manual de gestión socio-ambiental para obras en construcción (pp. 58). Medellín
- Argumedo, C. D. (2017). Heavy metals (Cd, Cu, V, Pb) in rainwater in the most influence area of the coal mine in La Guajira, Colombia. Revista Colombiana de Quimica, 46(2), 37-44. doi: 10.15446/rev.colomb.quim.v46n2.60533
- Ballén, J., Galarza, M., & Ortiz, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. VI SEREA–Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua. Brasil, 5.
- Bedoya-Montoya, C. M., & Medina-Restrepo, C. A. (2016). El concreto elaborado con aguas lluvia como aporte ambiental desde la construcción. Facultad de Ingeniería, 25(41).
- Bernal, G., Rosero, M., Cadena, M., Montealegre, J., & Sanabria, F. (2007). Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo: Tech. rep., Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM–Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE, Bogotá.
- Caucalí Medina, C. M., & Ibarra Prado, N. A. (2012). Diagnóstico de lluvia ácida en el sector histórico de La Candelaria-Bogotá DC y sus efectos sobre la fachada de la Catedral Primada de Colombia.

- Coombes, P. J., Argue, J. R., & Kuczera, G. (2000). Figtree Place: a case study in water sensitive urban development (WSUD). *Urban Water*, 1(4), 335-343. doi: 10.1016/s1462-0758(00)00027-3
- Chen, D., Attwater, R., & Luo, M. (2008). Introduction to rainwater management in Australia and suggestions for China's water problems. *Journal of Chongqing University (English Edition)*, 7(1), 8-16.
- de Aburra, Á. M. d. V., Ambiente, A. S. d. M., & Medellín, E. P. d. (2010). Manual de gestion socio-ambiental para obras de construccion: Area Metropolitana del Valle del Aburra.
- De Graaf, R., Van der Brugge, R., Lankester, J., Van der Vliet, W., & Valkenburg, L. (2007). Local water resources and urban renewal. A Rotterdam case study. Novatech 2007.
- Estupiñán Perdomo, J. L., & Zapata García, H. O. (2011). Requerimientos de infraestructura para el aprovechamiento sostenible del agua lluvia en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Facultad de Ingeniería.
- García, J. (2012). Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la ciudad de México. tesis (maestría en Ingeniería Ambiental), México: UNAM, Facultad de Ingeniería.
- Helmreich, B., & Horn, H. (2009). Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, 248(1-3), 118-124.
- Hernández, M. sf Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria.
- Hernández Malca, L. (2014). Sistema de aprovechamiento de agua de lluvia para el abastecimiento de agua potable en el caserío La Florida, Huasmín, Celendin, Cajamarca.
- IDEAM. (2007). Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del aire. Bogotá.
- IDEAM. (2010). Estudio Nacional del agua Bogotá.
- IDEAM. (2014). Estudio nacional del agua. Bogotá (pp. 79-80). Bogotá
- IDEAM. (2015). Atlas potencial hidroenergetico de Colombia. (pp. 35). Bogotá.
- Kahinda, J.-m. M., Taigbenu, A. E., & Boroto, J. R. (2007). Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 32(15), 1050-1057.
- Lara Borrero, J. A., Torres Abello, A. E., Campos Pinilla, M. C., Duarte Castro, L., Echeverri Robayo, J. I., & Villegas González, P. A. (2007). Aprovechamiento del agua lluvia

- para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). *Ingeniería y Universidad*, 11(2).
- Leon Agaton, A., Cordoba Ruiz, J. C., & Carreno Sayago, U. F. (2016). Revision del estado de arte en captacion y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Revista Tecnura*(50), 141. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10
- madrid, F. p. c. Guia de buenas prácticas ambientales en el diseño, construcción, uso, conservación y demolición de edificios e instalaciones (pp. 36,54,55). Madrid.
- Medina, C. A. (2013). Concreto confeccionado con agua lluvia. Universidad Nacional de Colombia., Medellín.
- Mejia, L. P. d. (2011). Lavado de muros en ladrillo *Revista Terracota* ISSN 1657-7116.
- Montero Durán, J. S. (2017). Estado del arte de los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa en el ahorro de agua potable en viviendas.
- Montes, M. P. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “Lluviatl” en México. Consejo asesor Internacional.
- Morrow, A., Dunstan, R., & Coombes, P. (2010). Elemental composition at different points of the rainwater harvesting system. *Science of the total environment*, 408(20), 4542-4548.
- PETERSEN Nissen, G. (1999). Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia.
- Pulido-Velazquez, M., Cabrera Marcet, E., & Garrido Colmenero, A. (2014). Economía del agua y gestión de recursos hídricos. *Ingeniería del agua*, 18(1), 95. doi: 10.4995/ia.2014.3160
- Sánchez de Guzman, D. (2004). Concretos y Morteros manejo y colocación en obra. En D. Sánchez de Guzman, *Concretos y Morteros manejo y colocación en obra* (pág. 125). Bogotá, Colombia: Asocreto.
- Sánchez, L. D., Caicedo, E., & Association, I. W. (2003). Uso del agua de lluvia en la Bocana-Buenaventura. Paper presented at the Agua 2003: Usos Múltiples del Agua, para la Vida y el Desarrollo Sostenible.
- Secretaria Distrital de Ambiente . (2013). Guia de manejo ambiental para el sector de la construcción. Bogota : Alcaldía mayor de Bogotá. .
- Toxement. (2016). Guía Básica para el curado del concreto. Bogota

-
- UNATSABAR, C. (2004). Guía de diseño para captación del agua de lluvia Guía de diseño para captación del agua de lluvia: OPS/CEPIS.
- UNESCO. (2003). Agua para todos agua para la vida. España
- Wateco. (2002). The implementation challenge of the Water Framework Directive. Economics and the environment.
- Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., & Ashbolt, S. (2009). Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of environmental management*, 91(1), 222-226.

7. Referencias Bibliográficas

- Acosta Ochoa, D. M. (2011). Estudio preliminar sobre los efectos que pueden causar la lluvia ácida en las especies vegetales Caucho Sabanero (*Ficus Soatensis*) Arboloco (*Smallanthus Pyramidalis*) y Cajeto (*Cythorexylum Subflavescens*) en la estación piloto de la Universidad de La Salle localidad 17, La Candelaria.
- Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. A. (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. México DF, México.: : International Renewable Resources Institute Mexico.
- Aristizábal, G. E. L. (2000). Particularidades de la lluvia acida en santafé de Bogotá.
- Bernal, G., Rosero, M., Cadena, M., Montealegre, J., & Sanabria, F. (2007). Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo: Tech. rep., Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM–Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE, Bogotá.
- Buitrago Medina, N. F. (2011). Cuantificación y caracterización de la calidad de agua de escorrentía de techo para el prediseño de una piscina de retención en el campus de la Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Cabas Rosado, G. A., & Garrido Barcenas, M. C. (2011). Análisis comparativo de costos para un proyecto de hotel y oficinas LEED certificado 3.0-2009 en la ciudad de Bogotá.
- Cabulla Aldana, D. A., Bermúdez, A., & Stiven, N. (2015). Validación del uso de agua lluvia en inodoros y llaves de riego para nuevos proyectos de vivienda en Bogotá DC.
- Calle Maestre, Y. A., Archila Mendoza, O. J., & Vargas Ruiz, J. M. (2015). Análisis de la tecnología apropiada para la disposición de aguas lluvias. Caso de estudio Parque Industrial Santo Domingo del municipio de Mosquera-Cundinamarca.
- Díaz Vélez, J. C., Arroyave Rojas, J. A., Macías, N. D., & Vergara, D. M. (2009). Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.
- Dueñas Sandoval, J., & García Garzón, M. C. (2015). Evaluación fisicoquímica del agua lluvia en la hacienda Santa Elena-Cota, para identificar niveles de acidez y posibles efectos en especies liquenicas.

- Losada Moncada, J. M. (2015). Análisis de posibles cambios a través del tiempo en la ocurrencia, intensidad y magnitud de la precipitación para tormentas extremas sobre la ciudad de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Lozada, H. G., Esquivel, A. N. Y. A., & Álvarez, C. J. D. (2004). Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida-húmeda y seca-en el norte de bogotá, DC. *meteorología colombiana*, 8, 1.
- Neira, N. O. (2015). Atlas potencial hidroenergético de Colombia: 2015: Pontificia Universidad Javeriana.
- Palacio Castañeda, N. (2010). 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. Universidad de Antioquia Medellín
- Salinas López, J. C. (2015). Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la zona metropolitana de Monterrey, para su aprovechamiento como recurso alternativo. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Schets, F., Italiaander, R., Van Den Berg, H., & de Roda Husman, A. (2010). Rainwater harvesting: quality assessment and utilization in The Netherlands. *Journal of water and health*, 8(2), 224-235.
- Suarez, B., García, M. Á. G., & Mosquera, R. O. O. (2006). Sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda urbana. *Proceedings of the VI Serea-Seminario Iberoamericano Sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua*, João Pessoa, Brasil, 5-7.
- Veenhuizen, R., & Prieto-Celi, M. (2000). Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias en América Latina. Santiago, CL. Oficina regional de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). FOODAGRI SANTIAGO. 224p.
- Velarde Mendoza, H. (2011). Procedimiento Constructivo de un Edificio Multifamiliar. Universidad Ricardo Palma Lima