

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE
ECAPMA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EFICIENTE DE RECOLECCIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA PARA ÁREAS URBANAS EN LA
CIUDAD DE BOGOTÁ**

JOHN IGNACIO BAQUERO CRUZ

Director: Diana Marcela Fúquene Yate

BOGOTÁ D.C MAYO 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi familia, amigos, y mi novia quienes han puesto un grano de arena para alcanzar mis metas.

RESUMEN

Este trabajo busco establecer una metodología para la captación de aguas lluvias en una zona urbana de la ciudad de Bogotá (Colombia). Identificando como construir sistemas de recolección de aguas lluvias y la forma de analizar variables como el clima, la precipitación y las aéreas urbanas. Para profundizar en el tema se deben analizar algunas áreas urbanas que poseen características inherentes a la arquitectura y a la ingeniería que complican la implementación de estos sistemas, por lo que en muchas ocasiones se deben modificar las estructuras para poder realizar una captación óptima.

La búsqueda del sistema de recolección de aguas lluvias que pueda aplicar en la estructura urbana se inició de forma bibliográfica identificando las ideas más prácticas para construirlo y pudieran encajar en un espacio óptimo para esta tarea específica. Luego de tener clara la forma de captar el agua lluvia, se realizó una encuesta para identificar la estructura urbana más viable a ser implementada. La encuesta permitió identificar no solo la vivienda sino la disponibilidad de monitorear las 24 horas del día, con él y fin de poder realizar un análisis de todos los datos recolectados que permitieran identificar las variables que influyen en su funcionamiento y así al final de documento construir una guía en donde se expongan los pasos para construir un sistema de recolección de aguas lluvias en una zona urbana.

Para el diseño del sistema se realizó una investigación con fuentes de segundo orden que dieron la mejor combinación para crear el sistema implementado, además de las investigaciones de diseño, se identificaron los dinanismos de las lluvias en los últimos 10 años con el fin de implementar y construir un sistema que permitiera aprovechar al máximo las lluvias, según el área aprovechable de dicha estructura urbana.

De esta manera se identificaron las principales variables que afectan un sistema de recolección de agua lluvia como son, la intensidad de la lluvias así como su frecuencia, el área a aprovechar y régimen de consumo dentro de dicho predio.

Este documento no solo resalta la importancia del recurso hídrico sino que pretende incentivar la implementación de estos sistemas para su ahorro y así mejorar las condiciones en de los ecosistemas en zonas de captación y también el ahorro económico de quien los implemente. Este proyecto aplicado está estructurado en ocho fases, de la siguiente forma:

En una primera fase se realizó la identificación del sitio de trabajo, identificación de los predios y su correspondiente número en la localidad de Tunjuelito.

En la segunda fase se realizo una encuesta que nos identificara que predio era el más apto para la aplicación de nuestro proyecto aplicado.

La tercera fase se analizó que sistemas de recolección de agua lluvia por medio de techos que más se adecuó a la estructura del predio.

En la cuarta fase se efectuó la implementación y construcción del sistema de recolección de aguas lluvias con base en los resultados del análisis del área de captación, la ubicación de tanques de almacenamiento y los agentes externos que puedan afectar el sistema como demás predios, arboles, avenidas etc.

En la quinta fase se centralizó en el monitoreo del sistema de recolección agua lluvia para identificar posibles mejoras, diagnóstico de litros recolectados así como la calidad del agua.

En la sexta fase realizaron los análisis fisicoquímicos pertinentes para determinar el uso del agua.

En la séptima fase se ejecutaron los análisis de los datos recolectados durante todo el monitoreo y de los análisis de laboratorio, y se procede a la elaboración de una cartilla.

Finalmente la octava fase se centralizó en la implantación de una guía resaltar de manera muy resumida lo más predominante a la hora de construir un sistema de recolección de agua lluvia.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos:	15
MARCO TEÓRICO	16
La afectación del fenómeno del niño en Colombia y el mundo	17
Área del techo	19
Canales de aguas lluvias.....	21
Tuberías.....	22
Filtros mixtos de grava y arena	23
Sedimentación.....	24
Almacenamiento	25
Ahorros económicos.....	26
Fase I: Identificación del sitio de trabajo	28
Fase II: Encuestas para determinar el lugar de implementación de SIRALL.....	30
Condiciones y aspectos de implementación del sistema de recolección de agua.	32
Condiciones de implementación.	33

Aspectos de la implementación.....	33
Fase III Elección del SIRALL a implementar.....	36
Sistema de recolección de agua lluvia por medio de techos.	37
Fase IV: Implementación y construcción SIRALL.....	39
Área de captación.	39
Angulo de inclinación del techo.....	39
Cambio de la pendiente.	41
Lluvias más fuertes.....	46
Información pluviométrica.	47
Demanda de agua al mes (Di).....	47
Oferta de agua mes (Ai).	48
Volumen de almacenamiento.	49
Potencial de ahorro de agua.	50
Fase V: Seguimiento del SIRALL.....	51
Potencial máximo de captación de la vivienda.	58
Fase VI: Análisis físicos y químicos del agua.....	59
Coliformes fecales número más probable. <2microorganismos/100 cm ³	60
Sólidos suspendidos totales.	60
pH.....	61
Temperatura.	62

Dureza.	63
Alcalinidad.	63
Nitrato.	64
Oxígeno disuelto.	65
Fase VII: Análisis de datos.....	65
Costo beneficio.	65
Intensidad de las lluvia.....	66
Fase VIII: Folleto ilustrativo para la implementación de un sistemas de recolección de agua lluvia.	68
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Etapas de la metodología.....	27
Tabla 2 Diagnóstico empresarial localidad de Tunjuelito	28
Tabla 3 Número de viviendas localidad Tunjuelito y estratificación.....	29
Tabla 4 Valor de varianza según porcentaje de confiabilidad	30
Tabla 5 Condiciones para la selección del sitio	33
Tabla 6 Aspectos de implementación del Sistema de Recolección de Aguas Lluvias	33
Tabla 7 Identificación de las casas y las variables para la ejecución del proyecto	34
Tabla 8 Métodos de captación de aguas lluvias	36
Tabla 9 Valores iniciales.....	42
Tabla 10 Construcción de la bajante con material reciclado	44
Tabla 11 Tanques de almacenamiento	46
Tabla 12 Calidad del agua.....	60

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Ciclo del Agua.....	16
Imagen 2 Temperaturas de los vientos alisios que producen el fenómeno del niño.	17
Imagen 3 Techo con doble caída.....	20
Imagen 4 Techo con una caída.....	21
Imagen 5 Canal.....	22
Imagen 6 Canal artesanal.....	22
Imagen 7 Sistema de Sedimentación.....	24
Imagen 8 Sistemas de Filtración.....	25
Imagen 9 Distribución espacial de la muestra	32
Imagen 10 Vivienda Seleccionada en zona urbana de la ciudad de Bogotá	35
Imagen 11 Ubicación del sistema de recolección de aguas lluvias	36
Imagen 12 Sistema de recolección de aguas lluvias	38
Imagen 13 Estructura y Pendiente del techo.....	39
Imagen 14 Medidas del techo.....	40
Imagen 15 Acumulación de sedimento en el área del techo.....	41
Imagen 16 Medidas del techo.....	41
Imagen 17 Medidas de la canaleta	43
Imagen 18 Adaptación de los tanques	50
Imagen 19 Acoplamiento y sellado de tanques	51
Imagen 20 Elaboración del pluviómetro	53
Imagen 21 Medición del diámetro y largo.....	53
Imagen 22 Material Particulado en el sistema.....	55
Imagen 23 Sistemas de recolección de agua lluvia y el sistema de filtración y de sedimentación.	56
Imagen 24 Tubo de sedimentación.....	57
Imagen 26 Área del techo aprovechada y área del techo sin aprovechar del perdió	58
Imagen 27 Funcionamiento de la sedimentación.....	59
Imagen 28 distribución espacial de los contaminantes en la ciudad de Bogotá.....	62

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Número de empresas por sector/localidad de Tunjuelito	29
Gráfica 2 Milímetros de lluvia de los últimos 6 años en Bogotá	46
Gráfica 3 Litros recolectados mensualmente.....	54
Gráfica 4 Comparación gastos años 2014 y año 2015	66
Gráfica 5 intensidad de lluvias durante los 8 meses de medición	67
Gráfica 6 Cantidad de litros recolectados durante los 8 meses de muestro	68

Anexo 1 Formato de encuestas	76
Anexo 2 Costo de materiales del sistema de recolección de aguas lluvias	77
Anexo 3 Monitoreo Oficial de Precipitación en Bogotá Mensual IDEAM	78
Anexo 4 Resultados del monitoreo del SIRALL implementado	82
Anexo 5 Indicación de agua lluvia recolectada en zonas de captación	83
Anexo 6 Historial de gasto en metros cúbicos de agua en la vivienda usados para determinar el gasto antes y después del sistema.	86
Anexo 7 Indicación de centímetros cúbicos recolectados por el pluviómetro para el monitoreo de lluvias	88
Anexo 8 Promedios de precipitación anual de los últimos 6 años en la ciudad de Bogotá	89

INTRODUCCIÓN

Las problemáticas ambientales que se han venido presentando en las últimas décadas especialmente con el cambio climático y la agudización de fenómeno del niño han impactado de manera contundente los recursos naturales en particular el agua, produciendo escasez en grandes aéreas del planeta en donde antes era abundante. (Problemas ambientales análisis y valoración 1999). En este contexto se hace necesario crear mecanismos que ayuden a conservar las fuentes hídricas, de tal manera que los impactos ambientales negativos se puedan minimizar en su máxima expresión. En este sentido el proyecto pretende llevar a cabo, la implementación de un proyecto aplicado que ahorre del el recurso hídrico en zonas urbanas como la ciudad de Bogotá a través del aprovechamiento de aguas lluvias por medio de un sistema de recolección de agua lluvia que identifique las principales variables que afectan dicho sistema tales como: precipitación media, estructuras de los predios, materiales de los techos así como su costo beneficio para su viabilidad de este tipo de proyectos en la localidad de Tunjuelito.

¿Cómo pueden funcionar un sistema de recolección de agua lluvia en la ciudad de Bogotá? ¿Cuáles son los pilares que más afectan al sistema para que este sea ambientalmente sostenible? Se encontró información muy valiosa para establecer parámetros que mejoraran el funcionamiento de los sistemas de recolección de agua lluvias. Sin duda alguna las repuestas que encontramos a estos interrogantes impulsaran el mejoramiento de dichos sistemas y mejorar en un futuro las zonas urbanas así como las zonas rurales en su desarrollo ambiental.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los recursos naturales son muy importantes para el desarrollo de cualquier tipo de vida y progreso del ser humano sin embargo no siempre han tenido la importancia que hoy poseen debido a los cambios ambientales impulsados por el hombre desde la revolución industrial, los cuales han provocado modificaciones en el clima, como el calentamiento global y el fenómeno del niño que ha afectado de manera importante últimamente zonas rurales en Colombia.

Sin embargo, en las zonas urbanas el problema no cambia, pues la densificación de las ciudades está llevando a un aumento de la demanda hídrica, afectando directamente los ecosistemas, este hecho tiene un doble efecto negativo, ya que afecta en la disminución de los caudales de los ríos por el consumo per cápita de las ciudades y el agua consumida se convertirá en aguas residuales que contaminan los ríos lagunas hasta el mismo mar.

¿Cómo reducir los impactos producidos por el consumo de agua en grandes ciudades, cómo generar acceso al agua sin el uso de grandes infraestructuras y cómo aprovechar parte de los fenómenos naturales, tales como la lluvia? No cabe duda que en el caso del agua los sistemas de recolección de agua lluvias son una alternativa para este tipo de recurso para mejorar las condiciones que rodean el ahorro del agua.

Los sistemas de recolección de aguas lluvias en zonas urbanas no han sido una prioridad para disminuir los consumos y los costos que acarrea el abastecimiento de agua potable, por ello hay que dar una respuesta a este interrogante ¿por qué no se implementa este tipo de sistemas, aun sabiendo la problemática ambiental de la escasez de este recurso? Probablemente el problema hídrico aun no es lo suficientemente grave para tenerlo en cuenta.

Así por lo anterior, las zonas urbanas de Bogotá no son ajenas a estos problemas y la localidad de Tunjuelito es una zona muy importante a nivel económico así como ambiental, pues hay un total 4.120 empresas entre las que están de sector industrial, por ejemplo el sector de curtiembres que gasta muchos recursos hídricos en sus procesos industriales. También está el sector transporte, artesanal, comercial entre otros, esto provoca que haya una gran cantidad de población flotante que permanece gran parte del día, de ahí el potencial de ahorro en estos predios, (diagnostico empresarial localidad Tunjuelito 2010). Este hecho también hace que la localidad sea lugar por donde atraviesan importantes corredores viales de la ciudad de Bogotá tales como la avenida boyaca, avenida caracas, auto pista sur, carrera 30 entre otras, que en épocas de invierno se inundan, lo cual se podría beneficiar con la instalación masiva de sistemas de recolección de agua lluvia .

De la misma forma las épocas de veranos prolongados hacen que el consumo de agua aumente pues la población necesita más agua, esto hace que las lluvias

aisladas sean una gran fuente de agua que no se está aprovechando. A este agravante se le suma que gran porcentaje de la población de la localidad de Tunjuelito pertenecen a estratos 1 y 2 los cuales son las poblaciones más vulnerables. Todo esto hace necesario un proyecto que identifique las principales variables a la hora de instalar un sistema de recolección de agua lluvia en esta zona de la ciudad de Bogotá.

OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar un sistema eficiente de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias para áreas urbanas en la ciudad de Bogotá.

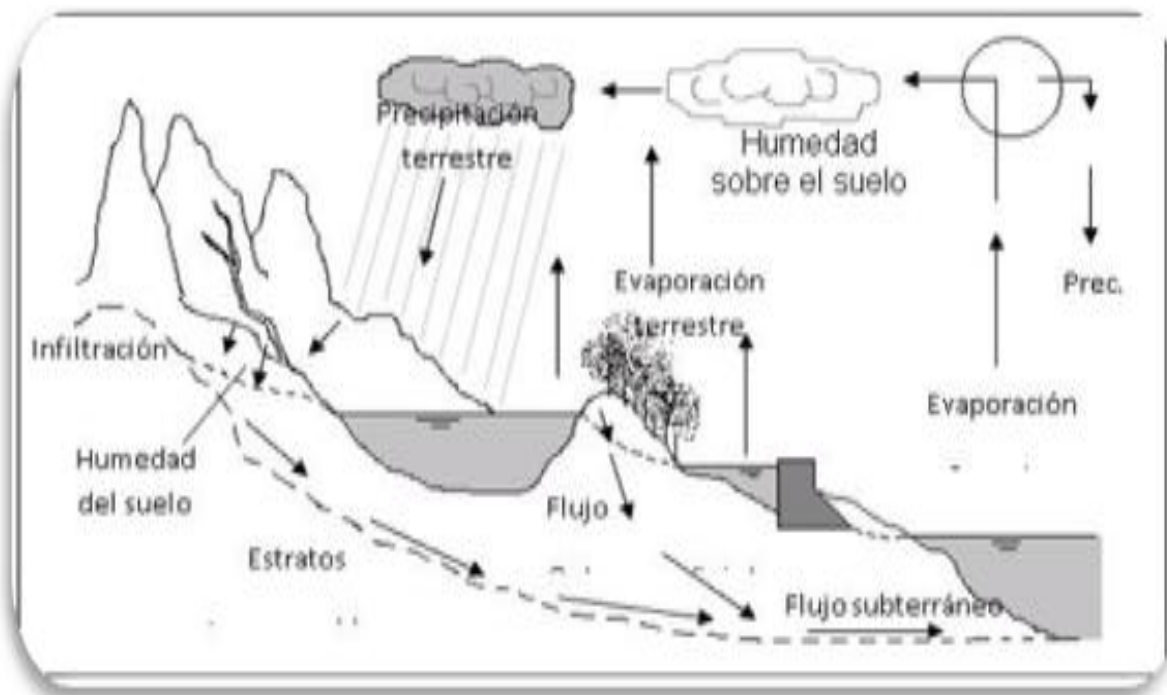
Objetivos Específicos:

- Establecer el sistema de recolección de aguas lluvias que se puede utilizar en la localidad de Tunjuelito.
- Identificar un sitio en la localidad de Tunjuelito de la ciudad de Bogotá que se ajuste a los tiempos y al presupuesto disponible, para la implementación del sistema de recolección de aguas lluvia.
- Implementar y monitorear el sistema de recolección de aguas lluvias en el sitio elegida, por un lapso de seis (6) meses.
- Realizar el seguimiento y control del sistema implementado, con el fin de establecer la calidad del agua del sistema de recolección.
- Analizar los resultados obtenidos con el fin de determinar la potencialidad de uso doméstico y/o industrial del agua recolectada

MARCO TEÓRICO

El ciclo del agua es un fenómeno que contribuye de manera importante en el equilibrio natural y del medio ambiente por medio del sol y el clima. En el mar se encuentra el 97% del agua del planeta mientras que el otro 3% está distribuido en ríos, lagunas y acuíferos. Los porcentajes de evaporación del agua dependen de la temperatura, presión atmosférica y altura sobre el nivel del mar. El ciclo empieza con la evaporación del agua de diferentes fuentes lagunas, o ríos y mares y por las corrientes de los vientos el agua evaporada forma nubes que son a su vez trasladada hasta diferentes lugares y al disminuir la temperatura dejar caer el agua en forma de gotas formado las lluvias. Las aguas que llegan a las zonas rurales benefician los cultivos y las plantaciones, pero también pueden generar inundaciones. Mientras que las lluvias que llegan a las ciudades en su mayoría se pierden, o generan problemas de inundaciones generando traumatismos en el transporte. En algunas ciudades los niveles de lluvias son mínimos como en Lima Perú, mientras que en ciudades como Choco Colombia los niveles soy muy altos esto debido especialmente a los vientos alisios. (Maderey Rascon, 2005).

Imagen 1 Ciclo del Agua



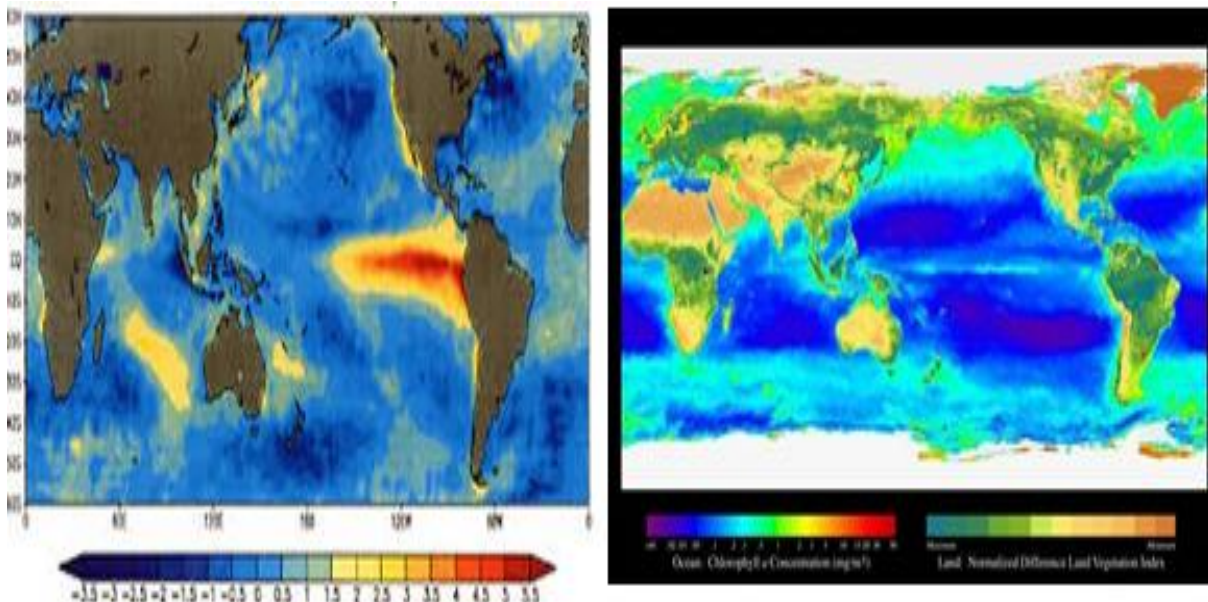
Fuente: <http://www.imagui.com/a/contaminacion-de-aguadibujos-faciles-igKbGbBLY>

La afectación del fenómeno del niño en Colombia y el mundo

La afectación del fenómeno del niño en Colombia y el mundo están generando graves problemáticas ambientales en todo el planeta no solo de sequías, sino de fuertes inviernos, generación de tormentas y desabastecimiento de agua.

El fenómeno del niño tiene un efecto cíclico que afectan las temperaturas de los océanos en especial la parte sur de sub América y algunas partes de Asia, como el sur de Australia. Los vientos que transitan de oriente a occidente se conocen como vientos alisios que llegan a Indonesia y el norte de Australia, estos vientos llegan calientes y provocan lluvias, luego por su temperatura cálida los vientos se elevan dentro de la atmosfera, regresando a sur América exactamente a Ecuador y Perú en donde la ausencia de lluvias es constante. Sin embargo el fenómeno conocido como el niño por su aparición en el mes de diciembre, cambia drásticamente los comportamientos de los vientos alisios lo que disminuye las velocidades con que transitan de oriente a occidente, las aguas tibias que eran llevadas a Indonesia y Australia se devuelven hacia sur América acumulándose, y comienza a repetirse el fenómeno que pasaba en Asia en sur América con muchas precipitaciones generado que las aguas de Asia se enfríe estimulando un ambiente más seco y largos veranos que están afectado gravemente los ecosistemas del norte de Australia y de Indonesia. Sin embargo este fenómeno no solo afecta Asia y parte de América, sino que también afecta ciudades como Bogotá, en donde se prologan las sequías produciendo problemas de abastecimiento de agua y energía. (BBC como se forma el fenómeno del niño, 2015).

Imagen 2 Temperaturas de los vientos alisios que producen el fenómeno del niño.



Fuente:<http://Focoblanco.com.uy/2914/05/aumentan-las-posibilidades-de-fenomeno-climatico-el-nino-para-América-del-sur>

Los Sistemas de recolección de aguas lluvias – SIRALL tienen múltiples diseños, los cuales dependen estrictamente de la ubicación y de la estructura en la que se van a implementar. Algunos de estos sistemas trabajan con filtros bastante tecnificados y otros con unos más artesanales, sin embargo las bases de construcción son las mismas, las cuales son.

- Área del techo de las estructura.
- Canales de transporte de agua.
- Tubería.
- Sedimentador.
- Filtros mixtos de grava y arena.
- Tanques de almacenamiento.

Teniendo en cuenta cada una de las partes de un SIRALL se puede implementar un buen sistema siempre que se tenga en cuenta y se analicen los valores de precipitación de la zona donde se vaya a instalar pues de ahí dependerá la eficiencia con que se pueda desempeñar el sistema en un momento dado. ¿Pero cómo identificamos la eficiencia de un SIRALL? La eficiencia es un concepto que implica necesariamente control de un proceso sistematizado en donde cada uno de los pasos está altamente identificado generando óptimos resultados en una labor específica. Para comprender la eficiencia con los sistemas de recolección de aguas lluvia, es indispensable identificar las características del sistema y sus funciones principales. Por ejemplo el área de captación, se deben identificar aspectos tales como el material de dicha área, la pendiente y lo todo lo que rodea esta área que pueda incidir en el buen funcionamiento del sistema. Con el diagnóstico del área se puede saber el tamaño de las canales que puedan evacuar las aguas lluvia sin generar pérdidas. También se deben considerar que el sistema sea totalmente direccionado al tratamiento y almacenamiento de agua, es decir, que al caer la primera gota de agua sobre el techo esta comience su tratamiento lo más pronto posible, de tal manera que el agua posea al final una buena calidad. Dependiendo de los usos que se le quiera dar al agua los tratamientos pueden ser físicos, químicos, o mixtos, sin embargo el tratamiento físico depende estrictamente de las condiciones en las que esté funcionando el SIRALL.

Unas de las mayores ventajas de un SIRALL es que son fáciles de instalar en la mayoría de los casos pues no ocupan grandes espacios y su inversión no es alta, y por lo contrario los beneficios económicos en épocas de invierno son sustanciales. Las dificultades nacen cuando la infraestructura del predio está enfocada para evacuar el agua lluvia de tal forma que el acceso a la tuberías es imposible, pues estas están conectadas directamente con el sistema de alcantarillado lo que llevaría a una transformación de la infraestructura de dicho predio, estos sistemas los podemos observar en por ejemplo en rascacielos, sin embargo se presentan mucho en viviendas. Hay que tener en cuenta que los sistemas de recolección de aguas lluvias poseen diferentes técnicas de tratamiento y diferentes esquemas de captación siendo siempre constante la utilización de techos, tuberías y tanques de

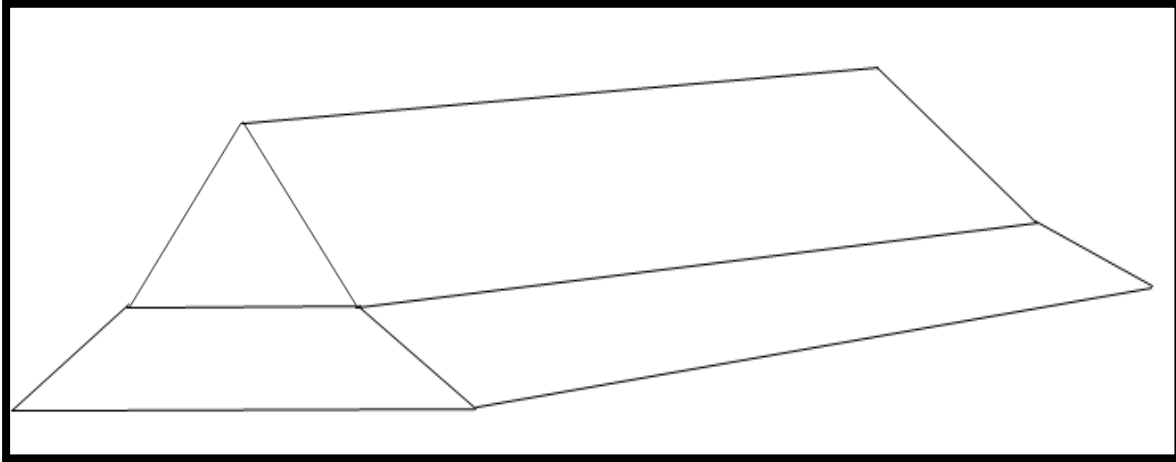
almacenamiento por lo que se hace necesario tener acceso a los puntos de evacuación de agua lluvia para su implementación. ¿Pero qué aspectos debemos tener en cuenta en cada una de las partes de un SIRALL?, a continuación describiremos dichos aspectos. Estudios realizados en Estados Unidos han demostrado que tan solo con la construcción de techos verdes, los porcentajes de escorrentías a las alcantarilla disminuyen drásticamente, pues los techos retienen gran parte del caudal, para dejarlo salir de una manera más lenta, optimizando el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado, de ahí la gran potencialidad de los SIRALL para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos (Aaron Bernstein 2013 Human Health and Global Environmental Change University Harvard).

Área del techo

El área del techo es una variable muy importante a la hora de evaluar un SIRALL, dado que de allí podemos calcular el tamaño de los tanques y la capacidad que debe tener la canaleta. Nos podemos apoyar con la información pluviométrica que suministran las diferentes instituciones ambientales, como el IDEAM, la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) para identificar los porcentajes de lluvias, que caen en una determinada época del año. El área de captación está fuertemente compenetrada con la pendiente, pues esta determina la velocidad con que llegará el agua a la canaleta, esta variable nos permitirá conocer cuál será la dimisión de las canaletas y tuberías, como también el régimen de arrastre de sedimentos a los tanques, pues a mayor pendiente mayor velocidad del agua y por ende mayor será el sedimento en canaletas y tanques de almacenamiento. También es importante tener en cuenta que rodea nuestra área de captación, ya sean árboles, edificios avenidas, pues estos inciden en el funcionamiento del sistema. El acceso al área de captación en muchas ocasiones es difícil por lo que es recomendable trabajar con una pendiente que no permita que los sedimentos y algunos desechos se estanquen en el área obstaculicen el paso del agua.

Las aéreas urbanas adyacentes a zonas de alto tráfico o minería o fuertes vientos pueden verse afectadas por la gran cantidad de suciedad que cae sobre los techos, lo cual afecta el comportamiento normal del sistema y tiene consecuencias negativas sobre la calidad del agua, dado que el material particulado se acumulara de forma más frecuente y generara más lodos en los tanques de almacenamiento. Hay áreas que se adaptan mejor a un SIRALL que otras aéreas, por ejemplo los techos que más se acomodan son los de una sola pendiente o una sola caída que los techos por ejemplo en (V) al estilo inglés, pues poseen la misma área, recolectan la misma cantidad de agua, sin embargo en los techo en (V) la inversión es más fuerte por su característica geométrica.

Imagen 3 Techo con doble caída



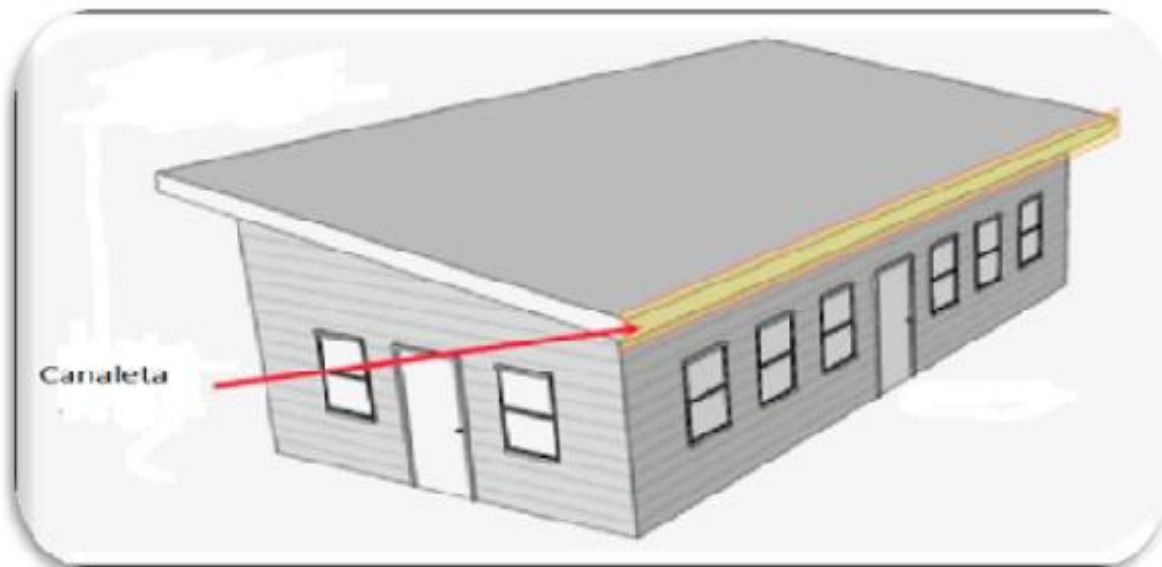
Fuente: Autor, 2016

Cuanto más pendiente tenga el techo más velocidad tendremos en la caída del agua, los ensayos ejecutados en este proyecto, que más adelante se describirán con más detalle, indican que es recomendable manejar una pendiente entre 9° y 12° pues dará más tiempo al sistema, en época de tormentas de captar el total de agua que cae sobre la estructura de recolección. Empero, si la pendiente es demasiado alta, el área de captación disminuye y por ende la cantidad de agua también. Otra variable muy importante a la hora de la implementación de un sistema de agua lluvias es el material de los techos ya que de ahí se desprende dos aspectos importantes, el coeficiente de rugosidad, y la constante de evaporación de agua, que se puede despreciar en algunas ocasiones cuando los sistemas son aéreas pequeñas.

En la identificación de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias se asemejaron dos clases de techos, primero los techos con doble caída que son muy predominante en Europa para contrarrestar los épocas de invierno por la caída de nieve. En Bogotá este tipo de techos se evidencia mucho en barrios como Teusaquillo, en algunos otros lugares de la ciudad pero con menos frecuencia en sus casas. Este tipo de techo presenta ventajas y desventajas a la hora de implementar un sistema de recolección de aguas lluvia. La principal desventaja está en que para aprovechar una determinada área, la longitud de canales que se debe usar se duplica dado que el agua recorre los dos extremos de la vivienda, a lo que se le suma que las dos canaletas se deben unir por tubería para implementar un solo SIRALL. Otra desventaja son los costos y el mantenimiento, dado que al ser más largo el sistema de canales, se necesitará más dinero y más tiempo para desarrollar esta actividad. Por otro lado la principal ventaja está en que se puede manejar con grandes pendientes, lo que beneficia que el área del techo siempre esté en óptimas condiciones de limpieza.

Los techos con una sola caída se adaptan de una mejor manera a un sistema de captación de agua lluvia dado que facilita la captación tanto en costos, construcción y mantenimiento, sin embargo una de las dificultades es que este tipo de estructuras es que maneja pequeñas pendientes y tiende a acumularse todo tipo de desechos en especial tierra que dificultara el tratamiento de agua que posteriormente se realizara.

Imagen 4 Techo con una caída

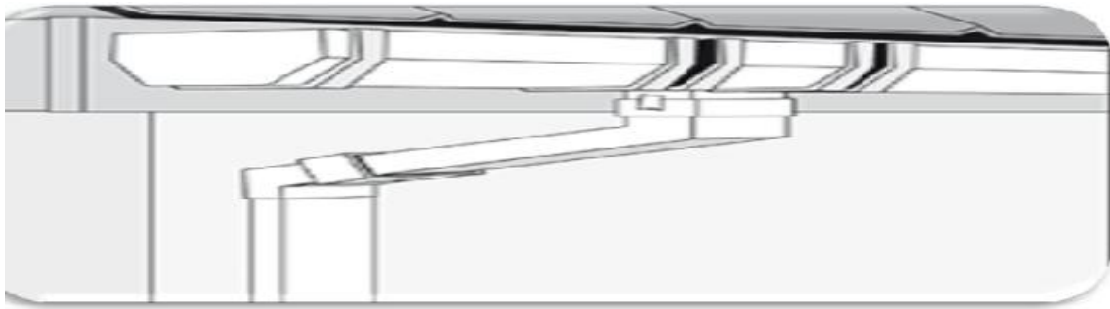


Fuente: <http://www.nachi.org/general-roof-inspection-spanish.htm> Modificado por el autor

Poseen la facilidad que se le puede cambiar la pendiente de una forma mas rápida y menos costosa que el techo de doble caída, el mantenimiento de este tipo estructura se facilita dado que posee una sola linea de captación.

Canales de aguas lluvias

Esta estructura se calcula a partir del largo del área del techo y lo alto que se encuentre el mismo, y se deben tener en cuenta el caudal máximo para escoger un buen diseño, es decir a partir de las lluvias más fuertes de los últimos 5 años. Esta parte del sistema es la que lleva el agua hacia los tanques de tratamiento y no posee mayores inconvenientes para su implementación y su instalación. Este tipo de bajantes con estos materiales facilitan la limpieza del sistema ya que son fáciles de adaptar.

Imagen 5 Canal

Fuente: Sodimac tomado de <http://www.hahaloustedmismo.cl/componet/hum/proyecto/202/icomoescooger-canalestas-y-bajadas-dea-agua-lluvia.html>

Tuberías

Son las partes que conectan el sistema de recolección con el sistema de tratamiento y con la disposición de aguas, son de mucha importancia para garantizar que el agua fluya con la suficiente velocidad para que no inunde las canales. Este tipo de tuberías se pueden trabajar con material reciclado como botellas plásticas para disminuir los costos del sistema.

Imagen 6 Canal artesanal

Fuente. Autor 2014

Es importante adecuar una estructura que rompa la velocidad del agua para que al llegar al tanque no genere turbulencia, de esta manera se garantiza que la tuberías contribuirán al tratamiento que se le da al agua, en este aspecto las botellas de

gaseosas son ideales para la disminución del caudal. Esta clase de variables se pueden trabajar con materiales reciclados como botellas y galones para disminuir el caudal y la velocidad del agua. Si por el contrario se desea implementar tuberías especializadas para tal fin podemos usar codos e instalar una tubería de un diámetro más pequeño para disminuir el caudal.

Filtros mixtos de grava y arena

La funcionalidad principal de los filtros para agua es reducir en un alto porcentaje la cantidad de material en suspensión del agua que se va a recolectar, de esta manera se puede obtener un agua de mejor calidad. El objetivo principal es usar filtros en diferentes etapas de la captación, es aprovechar cada parte de la funcionalidad del sistema para depurar el agua, empezando por el área de captación, canaletas, tuberías y tanques de almacenamiento. Podemos trabajar de 2 formas, si la pendiente es alta, mayor a 15° la mayoría de los sedimentos irán al primer tanque, por lo que podemos concentrar nuestro tratamiento físico en esta parte con un buen filtro de mixtos de arena y grava, por otro lado si la pendiente es muy baja, mejor a 4° podemos trabajar con filtros en las canaletas y una antes de entrar el agua al tanque la desventaja de esta técnica es que el sistema necesita más mantenimiento.

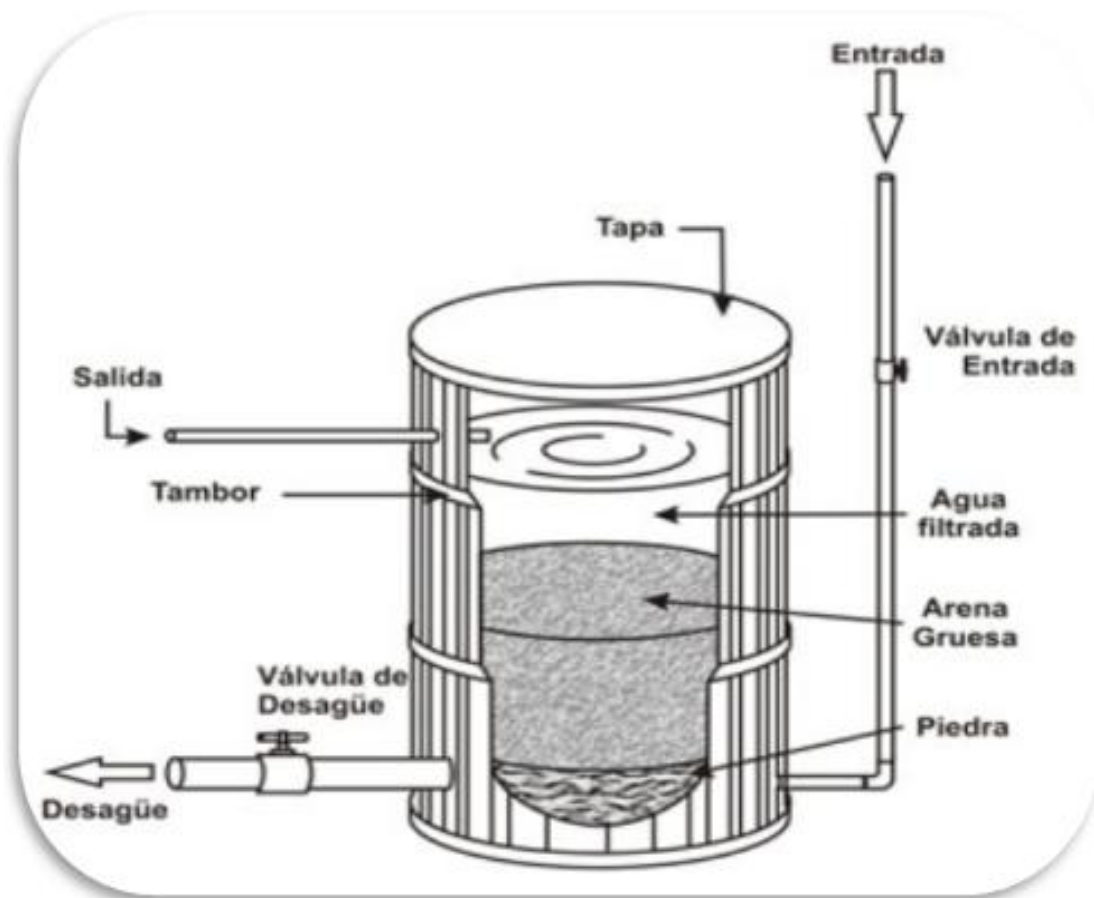
Los filtros de esta primera etapa pretenden detener partículas del tamaño más grandes que pueda acceder a la canaleta y afecten su libre caudal del agua. Para evitar residuos muy grandes en la canaleta, esta puede ir cubierta de con una malla plástica o cribado para detener desechos tales como: hojas, restos de madera, o cualquier objeto que pueda afectar el funcionamiento del sistema. Por otro lado pequeños filtros en arena y grava dentro de la canal impedirán el tránsito de partículas más pequeñas. Es importante que los filtros que irán dentro de la canaleta sean de fácil instalación y mantenimiento especialmente al final de la canal en donde se presenta el mayor caudal, allí se podrá maximizar el rendimiento de la filtración, es claro decir este tipo de filtración se maneja mejor en techos con bajo porcentaje de pendiente.

La etapa plena de filtración llega una vez el agua sale de la canaleta y llega a los tanque de sedimentación allí es donde se concentra la mayor cantidad de sedimentos, es importante tener un filtro antes o durante la sedimentación para mejorar la calidad del agua que pasara al siguiente tanque. Es importante garantizar que el sistema de filtración no haga colapsar el sistema en una lluvia fuerte, que el peso del agua derribe la canal, para ello se pueden construir filtros paralelos uno al otro, que no haya mucho espacio entre uno y otro están también garantizara que el caudal se mantenga siempre constante es el caso de lluvias fuertes, disminuyendo el caudal y por ende velocidad del agua.

Sedimentación

La sedimentación es la etapa en donde las partículas en suspensión del agua de mayor densidad se precipitan, este fenómeno ocurre naturalmente sin embargo puede ser controlado y optimizado por medio de tanques y determinados materiales para acelerar el proceso de sedimentación, en los sistemas de captación de agua lluvia por lo general se usan sistemas que trabajan de arriba hacia abajo como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 7 Sistema de Sedimentación



Fuente <http://imorales.wordpress.com/2013/02/04como-hacer-un-filtro.casero.para.el-agua> como hacer filtros domésticos

Estos sistemas pueden trabajar por densidad de las partículas o flotación con fin de facilitar el mantenimiento, también es óptimo trabajar con filtros de baja densidad como espumas y mallas que permiten ser removidas de forma fácil y facilita su limpieza.

Almacenamiento

Según la estructura urbana en la que se desee instalar el sistema se debe tener cuenta principalmente los tanques de recolección, pues estos ocupan grandes espacios y es de vital importancia ubicarlos de una forma en la que no genere mayores cambios en la estructura de dicho lugar. Por lo general los mejores tanques para trabajar son los de perímetros pequeños y con mayor área en su altura lo que garantizara aprovechamiento óptimo del espacio.

Imagen 8 Sistemas de Filtración



Fuente: tomado de http://jonatanfolla.blogspot.com.co/2010_05_01archive.html

Es importante tener claro el tamaño de los tanques de almacenamiento pues aquí se concentra el tratamiento del agua que es recolectada. Si los tanques son de un considerable tamaño se pueden tomar también como medio para la captación de aguas lluvias, sin embargo es preciso ajustar algún filtro para el agua que llega a las superficies de los tanques. Cuando se trabaja con un tratamiento previo a la llegada de las aguas a los tanques, no es necesario usar tantos filtros, estos tratamientos previos pueden ser en los mismos techos, canales tuberías de conducción.

La fase final de todo el proceso debe contar con la comodidad para que el usuario pueda hacer uso del agua recolectada, para ello se realizó una instalación una salida en el último tanque conectada con el fin que se pueda generar una diversificación para los usos dentro del hogar.

Una de las ventajas más importantes a la hora de la implementación de un SIRALL es el ahorro de agua, y los tanques de almacenamiento son el corazón del sistema ya que están directamente relacionado con al área de captación y el porcentaje de precipitación del lugar donde se construya. Entre mayor sea la capacidad de los tanques mejor será la eficiencia del SIRALL, una vez que se conoce los antecedentes de lluvias se ajustan el tamaño de los tanques a estos valores. Hay que tener en cuenta que si los tanques son demasiado altos, más de 150 cm se dificultara las labores de limpieza dado que será más dificultoso llegar hasta esos puntos y se deberá desmotar el SIRALL para poder limpiar los tanques de una forma más adecuada. Entre los aspectos más contaminantes para los tanques de almacenamiento en una ciudad está el material particulado y las partículas suspendidas totales; estas partículas se generan de diversas maneras, se pueden formar de forma natural por ejemplo por altas velocidades en los vientos que remueven las partículas del suelo. Dependiendo de la cantidad de lluvias y de la ubicación del sistema dependerá el mantenimiento del mismo, dado que el régimen de material que llega a los techos es diferente para cada zona. Se debe controlar el primer tanque organolépticamente y una vez que se pueda observar que hay una acumulación de sedimentos que posiblemente deje pasar los sedimentos al segundo tanque, será el propicio momento de realizar el mantenimiento. Este último aspecto posee una gran ventaja pues material particulado por lo general se acumula en los techos de las estructuras urbanas en épocas de verano, y al llegar la temporada de lluvias son arrastrados por las corrientes de agua generando agua turbia; como los sistemas convencionales no están diseñados para retener material sedimentable, se generan acumulaciones en canales, alcantarillas y ríos. Sin embargo con un SIRALL la cantidad retenida disminuiría, lo que generaría una optimización en los sistemas de alcantarillado y canales de la ciudad.

Ahorros económicos.

En el usuario hay dos variables que aumentan los porcentajes de ahorro. El primero es el tamaño de sistema de recolección de agua lluvia, ya que a mayor tamaño, mayor capacidad de almacenaje de agua, lo que se traduce en más ahorro, y el segundo es el régimen de lluvias, por lo que en invierno los porcentajes de ahorro será más superiores que los de verano, es claro decir es que el costo beneficio es mejor en estratos altos que en estratos bajos por el costos del metro cubico de agua, de la misma forma los predios más cercanos a los cerros orientales se verán más beneficiados por el régimen de lluvias es más fuerte en estas zonas por la cercanía con las montañas (IDEAM. Estudio de la característica climática de Bogotá y cuenca alta de rio Tunjuelito, s/f).

METODOLÓGICA APLICADA

A fin de cumplir la estructura del proyecto aplicado en la implementación de un sistema de recolección de agua lluvia para una de las viviendas de la zona urbana de la ciudad de Bogotá y partiendo de la importancia del recurso hídrico, así como las problemáticas que se desprenden de su mal manejo, se implementó dicho sistema en una vivienda de la localidad Tunjuelito en el distrito capital. De esta manera se identificaron las principales actividades y procedimientos para la ejecución del proyecto.

En el siguiente cuadro se observa una síntesis de la metodología usada en el desarrollo de este proyecto.

Tabla 1 Etapas de la metodología

Fase	Descripción
I: Identificación del sitio de trabajo.	Corresponde a la fase de reconocimiento de los sistemas de recolección de aguas lluvias y a la identificación del número de predios de la localidad de Tunjuelito
Fase II: Encuestas para determinar el lugar de implementación de SIRALL.	Es la determinación del el predio más apto para la implementación y construcción del sistema.
Fase III. Elección del SIRALL a implementar.	Se analizo que sistemas de recolección de agua lluvia por medio de techos que más se adecuara a la estructura del predio que más se ajustara.
IV: Implementación del SIRALL.	implementación y construcción del sistema de recolección de aguas lluvias con base en los resultados del análisis del área de captación, la ubicación de tanques de almacenamiento y los agentes externos que puedan afectar el sistema como demás predios, arboles, avenidas etc.
V: Seguimiento del SIRALL.	Se realiza un seguimiento al sistema de recolección de agua lluvia para identificar como está funcionando y que correcciones se debe realizar.
VI: Análisis físicos y químicos del agua.	Se realizaran pruebas físicas, químicas y biológicas del agua lluvia recolectada con el fin de definir sus posibles usos.
VII: Análisis de datos.	En esta etapa se realizan los análisis de los resultados de la caracterización fisicoquímica y de todos los datos recolectados en la etapa de trabajo de campo.
VIII: Elaboración de la guía para el uso del SIRALL propuesto.	Se diseñará una guía que ilustrará los aspectos más relevantes para la implementación del SIRALL propuesto.

Fase I: Identificación del sitio de trabajo

Dado que el planteamiento del presente proyecto, busca contribuir con la solución de una problemática focalizada, es necesario hacer un reconocimiento e identificación de las principales características de la población objeto de trabajo, con el ánimo de dar las soluciones más acertadas a las necesidades de la población de estudio.

En Tunjuelito se localizan 4.120 empresas representado un 2% del total de empresas en la ciudad de Bogotá y se encuentra dividida de la siguiente forma:

Tabla 2 Diagnóstico empresarial localidad de Tunjuelito

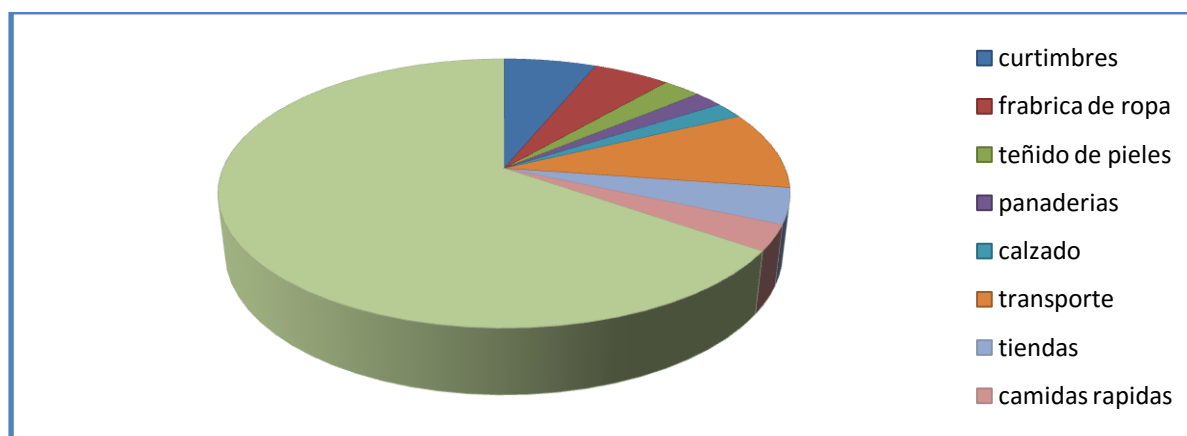
Sector	Número	Tipo Empresas	Numero	Ubicación
Industrial	1.165	Curtiembres	233	San Benito
		Fábricas de ropa	186	San Carlos.
		Teñido de pieles	92	Toda la localidad
		Panaderías	70	Toda localidad
		Calzado	70	Toda la localidad
		Otras. Monta llantas. Papelerías. Café internet cabinas	514	Toda la localidad
Hoteles y restaurante	116	X	116	Toda localidad
Transporte almacenamiento y comunicaciones	337	X	337	Toda la localidad
Expendio de bebidas alcohólicas para consumo dentro del establecimiento	153	Comercial	153	Toda la localidad
Comidas rápidas	110	Comercial	110	Barrios Venecia y Tunal
Carpinterías, famas, tiendas, misceláneas. Zapaterías, telefónicas, droguerías, ferreterías. otras	2239	Comercial	2239	Barrio Venecia y Tunal

Fuente: Diagnóstico local con participación social 2009- 2010

La localidad de Tunjuelito se perfila como una de las que más posee comercio e industria en Bogotá, lo que refleja que sus predios poseen estructuras grandes y que hay un gran potencial de aprovechamiento para este tipo de sistemas de recolección de agua lluvia.

En la siguiente gráfica podemos observar la distribución porcentual de cada uno de los grupos empresariales de la localidad Tunjuelito

Gráfica 1 Número de empresas por sector/localidad de Tunjuelito



Fuente: Autor, 2015

El sector transporte es uno de los sectores más grandes, sin embargo no poseen instalaciones con grandes techos y su estructura se fundamenta más en su flota de prestación de servicios. Las empresas de ropa, curtimbres, teñido de pieles y panadería poseen estructuras fijas que generan posibilidades de aplicación.

En Tunjuelito se localizan 59.556 predios que están divididos de la siguiente manera según la UPZ y su estrato socioeconómico.

Tabla 3 Número de viviendas localidad Tunjuelito y estratificación

UPZ	Unidad de Medida	Sin estrato	Bajo- bajo	Bajo	Medio	Total
Venecia	Población	1.115	-	78.703	64.202	144.420
	Viviendas	337	-	19.474	16.176	35.857
	Hogares	355	-	23.544	19.013	42.912
Tunjuelito	Población	54	38	54.926	2.681	57.699
	Viviendas	19	9	11.683	479	12.190
	Hogares	375	9	39.958	19.574	59.556

Fuente diagnostico local con participación social 2009- 2010

Son aproximadamente 60 mil viviendas en la localidad de Tunjuelito las cuales poseen estratos 1, 2 y 3 principalmente, están divididas en dos UPZ, una la de Venecia y otra la de Tunjuelito.

Fase II: Encuestas para determinar el lugar de implementación de SIRALL

Las encuestas están fundamentadas en un monitoreo aleatorio simple, para poder tener un diagnóstico empresarial y catastral de la localidad de Tunjuelito en la ciudad de Bogotá. El cálculo de la muestra se realiza a partir de la siguiente ecuación.

$$\frac{N * Z\alpha^2(p.q)}{d^2 (N - 1)Z\alpha^2(p.q)}$$

Tomado de. M Vivanco. (2005) Muestreo estadístico Diseño y Aplicaciones. Editorial universitaria S.A. Santiago De Chile

En donde:

N = Total de la población

$Z\alpha = 1.65$ al cuadrado (si la seguridad es del 90%)

p = Proporción esperada

q = 1 – p intervalo de confianza

d^2 = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.

Tabla 4 Valor de varianza según porcentaje de confiabilidad

Valor de Z	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2.24	2.58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	97.5%	99%

Fuente: M. Torres. Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. Universidad Rafael Landívar, s/f

El muestreo de los predios se hará de forma aleatoria simple, aplicando la encuesta no solo a predios residenciales sino a empresas sin importar su objetivo comercial o industrial para determinar en cuál de ellas se puede implementar el sistema.

A fin de identificar el predio para la implementación de SIRALL los valores que se trabajan como el intervalo de confianza y el margen de error, no se hace necesario ni conveniente trabajar con valores de alta confiabilidad dado que la función primordial es identificar el predio dentro de una muestra, de otra manera la muestra sería muy grande y no es el propósito del ejercicio.

$$N = \frac{59556 \times 1.65^2 \times (0.10)(0.10)}{0.02^2 \times (59556 - 1) + 1.65^2 (0.10)(0.10)} = 67.9859$$

n= 68 muestra.

Partiendo del anterior resultado, se prosiguió con el diseño de la encuesta (Ver Anexo 1) que se aplicaría a la población representativa de las zonas urbanas de la ciudad de Bogotá, establecida con la ecuación anterior.

La encuesta permitió la identificación y caracterización de las necesidades a nivel de viviendas urbanas debido a que tuvo en cuenta el número de personas, el área, la disponibilidad económica, la capacidad de monitoreo, el interés cultural y la apropiación del concepto de desarrollo sustentable.

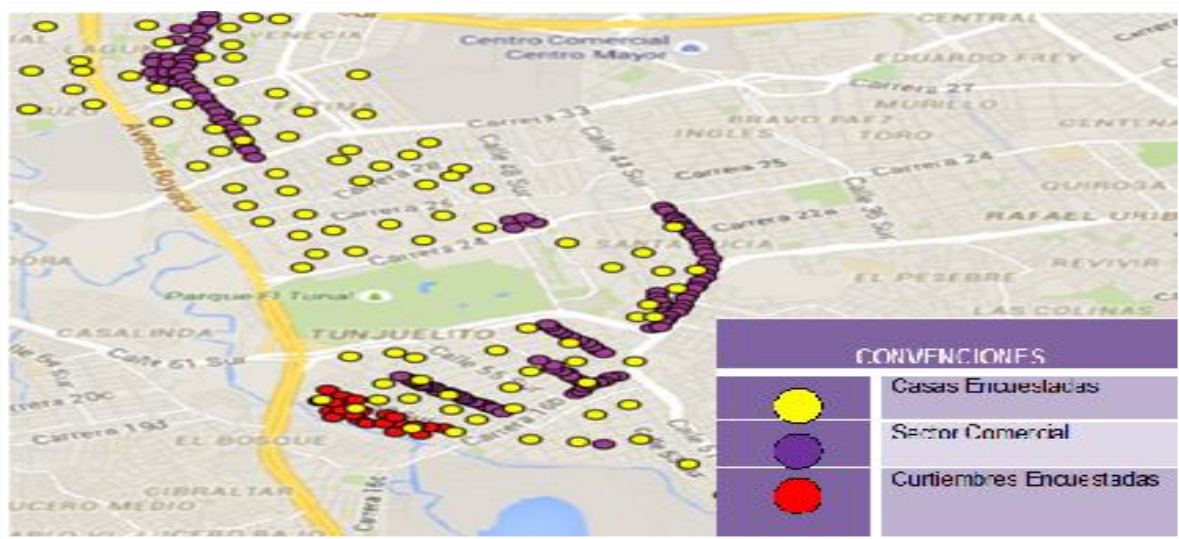
De ésta manera se determinaron importantes parámetros para la evaluación de los SIRALL presentes en el mercado, buscando aquellos con mayor nivel de eficiencia y capacidad de aplicación para la zona de trabajo.

Dentro las encuestas realizadas a las curtiembres se pudo evidenciar el control que hay sobre dichas empresas ejercida por la Secretaria Distrital De Ambiente SDA, el 100% de los encuestados posee sistemas de recolección de agua lluvia, sin embargo a través de las visitas de campo se evidencio que en las otras empresas o casas residenciales no hay mucha concientización acerca de la implementación de dichos sistemas.

Durante el reconocimiento de la zona se observó que las empresas y el sector comercial poseen estructuras complejas para la implementación de un sistema de recolección de agua lluvia, mientras que las estructuras residenciales cuentan con una estructura adecuada, en el mayor de los casos y los residentes de dichos lugares se interesan por la posible implementación de un SIRALL en su lugar de residencia, sin embargo no todas las estructuras residenciales son aptas y se requieren ciertas condiciones para su implementación.

Se realizaron las 68 encuestas de una manera aleatoria simple en la localidad de Tunjuelito de la tal manera que la muestra estuviera bien extendida por toda la localidad para poder identificar el predio que más se adaptara al sistema con el cual se trabajaría. En la imagen 9 se puede observar la distribución de las encuestas con los puntos amarillos y rojos, que son predios residenciales y curtiembres, respectivamente, se puede observar claramente como las curtiembres están concentradas en la parte inferior hacia los barrio San Carlos y San Benito.

Imagen 9 Distribución espacial de la muestra



Fuente: Autor, 2015

La cultura de bogotana a través de los años ha hecho que las personas sean muy desconfiadas, y eso dificultó la identificación de las estructuras de evacuación de agua lluvia, pues a pesar que la encuesta posee las preguntas adecuadas para identificar el predio para la implementación un SIRALL de tal manera que se ajuste a los tiempos y los espacios que se necesitan, no estaban dentro de las posibilidades entrar a los predios, la gran mayoría de las personas negó la entrada la inspección técnica de la infraestructura del predio. Sin embargo durante el recorrido que se realizó a las curtiembres de San Benito en la Ciudad de Bogotá se pudieron identificar varios factores que han hecho que este tipo de industrias adopten los sistemas de recolección de aguas lluvias a la infraestructura de sus empresas, tales ahorros económicos, gestión ambiental y sanciones primordialmente. En la medida que se fue ejecutando la encuesta se iban revelando cual era el predio que podía ser parte del proyecto y direcciono hacia cuatro predios que se ajustaban a los requerimientos y al mismo tiempo los dueños se mostraron interesados al mismo. En estos predios los dueños estaban dispuestos a monitorear gran parte del día sin embargo hacía falta la revisión de los sistema de evacuación de agua lluvia del predio, para poder determinar si el sistema de recolección de agua lluvia se ajustaba a las estructuras mencionada.

Condiciones y aspectos de implementación del sistema de recolección de agua.

Las siguientes condiciones a las cuales el techo se debía ajustar tenían como finalidad dar practicidad en la parte operacional y económica del proyecto de tal forma que la recolección de datos y los mantenimientos del sistema sea accesible para su respectiva operación.

Condiciones de implementación.

Las condiciones para la implementación de sistema de recolección de agua lluvia están dirigidas a que agentes externos al sistema como el tiempo los recursos, afectaran los procesos no solo de monitoreo si no de sustentabilidad del proyecto, a continuación en la tabla 5 se describen esta variables más detalladamente.

Tabla 5 Condiciones para la selección del sitio

CONDICIONES PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO	
Tiempo	Los dueños del predio o las personas que lo habitan deben estar permanentemente para poder realizar lo lecturas
Consumo percapita	Que en la vivienda vivan 4 personas o más para poder aprovechar el volumen de agua captado.
Económico	Dispuestos a invertir entre 200 y 300 mil pesos.
Acceso	El predio no debe ser de difícil acceso

Se buscó caracterizar el sitio de trabajo y la población a la que se dirige el proyecto, identificando las fortalezas del sector y de la población, y las debilidades a considerar en el momento de hacer cualquier tipo de propuesta para el SIRALL, mediante encuestas.

Aspectos de la implementación.





Los aspectos que necesitaron para poder implementar el SIRALL están indicados en la tabla 7 esta dirigidos a mejorar el funcionamiento, así como su mantenimiento durante la operación, esto variables facilitaron todo el proceso.

Tabla 6 Aspectos de implementación del Sistema de Recolección de Aguas Lluvias

Aspectos de implementación del Sistema de Recolección de Aguas Lluvias			
Estructura	Condición	Material	Acceso
Techos	De una sola pendiente	De una solo material	Accesible para limpieza
Canaleta	Rectas sin curvas	De un solo material	Accesible para limpieza
Aéreas verdes	Disponibles para tanques de almacenamiento de 200 litros cada uno	X	X

Para la elección del predio se tuvieron en cuenta tanto los aspectos como las condiciones que se mencionan en las tablas 6 y 7 lo que se buscó es tener siempre un acceso al predio examinado cuidadosamente cada una de las variables poder darle viabilidad al proyecto aplicado.

Tabla 7 Identificación de las casas y las variables para la ejecución del proyecto

Identificación de las casas y las variables para la ejecución del proyecto					
Ítem	Descripción	Foto	Distancia*	Posibilidad de acceso en horas	Patios o zonas verdes
1	Casa con techo pequeño con una sola pendiente y canales exteriores con posibilidad de captar el agua		1 minuto	24	Si
2	Casa con techo pequeño con una sola pendiente y canales exteriores con posibilidad de captar el agua, sin embargo el acceso a la casa es muy dificultoso.		15 minutos	12	No
3	Casa con techo en (v) con desagües internos sin posibilidad de captar agua y dificultad para acceder a techos		10 minutos	8	Si
4	Casa con techos accesibles pero no posee zonas verdes o espacio en donde se puedan instalar los tanques de almacenamiento.		25 minutos	12	Si

Fuente: Autor, 2014

Por disponibilidad de tiempo, recursos y estructura del techo, el proyecto fue ejecutado en la vivienda número 1 tal y como aparece en la tabla 7. Esto se debe principalmente a que las otras viviendas poseen características estructurales que no se ajustan a los recursos y la planeación del proyecto aplicado, pues las modificaciones estructurales llevarían más tiempo y una inversión económica considerable en dichos predios. Ejemplo, la casa número 4 que está ubicada en sector de Venecia está un poco apartada y es de difícil acceso para poder realizar óptimos monitoreos, no se ajusta a la condición de tiempo y no posee aspectos para su implementación. El predio número 3 poseía aspectos que se ajustaban, sin

embargo, una de las condiciones que no cumplía era que no contaba la disponibilidad de tiempo para poder realizar lecturas.

Imagen 10 Vivienda Seleccionada en zona urbana de la ciudad de Bogotá



Fuente. Autor 2014

Una vez que se identificó el techo a trabajar se realizó una inspección de estado del estado de mismo en el cual pueda funcionar el sistema de recolección de agua lluvia en esa. De esta manera se logró identificar que algunas de las tejas estaban manchadas y otras agujereadas por lo se cambiaron dichas piezas de la estructura. Una de las variables a tener en cuenta es que ésta zona de Bogotá está caracterizada tener muchas industrias entre las que se destacan el sector de las maderas, curtiembres y productos químicos además del gran comercio que existe entre los barrios San Carlos y San Benito. Está en medio de una zona céntrica de avenidas, entre las cuales están la avenida Boyacá, carrera 24 y avenida Villavicencio. Por estas características el volumen de carros de transitan especialmente en horas pico. El parque el tunal se ubica es el epicentro del lugar en donde loa habitantes de esta zona realizan actividades de recreación y deporte y actual como barrera natural contra el ruido y el material particulado. En la vivienda se viven cinco personas y cuatro mascotas de las cuales tres trabajan todo el día y las otras dos permanecen en casa junto con sus dos mascotas así que los consumos más altos están en las noches y fines de semana en donde todas las personas están en casa.

Imagen 11 Ubicación del sistema de recolección de aguas lluvias



Fuente: autor 2014

Aquí se construyó y se adecuó el área del techo a trabajar, examinando el material, y la pendiente de dicho techo. Si las condiciones del techo lo permiten se modificaron estos aspectos para un mejor funcionamiento del sistema. De la misma forma se determina según las características de la casa o estructura, la ubicación de los tanques de almacenamiento así como la longitud de las canaletas que serán construidas en material reciclable como botellas, esta parte es fundamental para determinar el costo final del sistema y así como su buen funcionamiento

Fase III Elección del SIRALL a implementar

A continuación se hace una descripción de las técnicas para la captación de aguas lluvias.

Tabla 8 Métodos de captación de aguas lluvias

Método	Ventaja	Desventaja
Captación por Medio de los Techos	<p>Los costos de implementación no son muy altos.</p> <p>En grandes áreas se puede captar mayor volumen, lo que genera ahorros sustanciales.</p> <p>Son fáciles de instalar y no ocupan espacios adicionales</p>	<p>Hay estructuras urbanas que no se adaptan a un sistema de recolección de agua lluvia dado que las bajantes son internas como por ejemplo en edificios donde todos los desagües están al interior de la edificación</p> <p>El mantenimiento en algunas estructuras es difícil por la altura de dichas estructuras. Se dificulta cambiar la pendiente del techo</p>

Método	Ventaja	Desventaja
<p align="center">Captación por manipulación de escorrentía</p>	<p>Se pueden recolectar grandes volúmenes de agua en una sola lluvia.</p> <p>No requiere tantos recursos económicos.</p> <p>Es aplicable más para zonas rurales.</p>	<p>El agua llega con muchos más residuos a los tanques de almacenamiento.</p> <p>Al recoger más agua en los tanques de almacenamiento deben ser más grandes y ocupan mucho espacio.</p>
<p align="center">Captación por medio de excavaciones o lagunas artificiales</p>	<p>Puede captar grandes volúmenes de agua, mantiene la humedad de los suelos aledaños</p>	<p>Ocupa grandes espacios, solo se pueden implementar en zonas rurales.</p> <p>Se puede perder rápidamente el agua si no posee sistema de aireación.</p>

Al hacer el análisis de los sistemas de recolección de agua lluvia de la tabla 8, se puede identificar fácilmente que la técnica más adecuada para el sitio elegido, es por medio de los techos, ya que las condiciones de la ciudad de Bogotá no se ajustan las demás técnicas por cuestiones de espacio e infraestructura. En cuanto al clima las precipitaciones medias son dos veces al año, y poseen buen porcentaje histórico de lluvias (ver Anexo 3), esto potencia la viabilidad de este tipo de sistemas en zonas urbanas.

Sistema de recolección de agua lluvia por medio de techos.

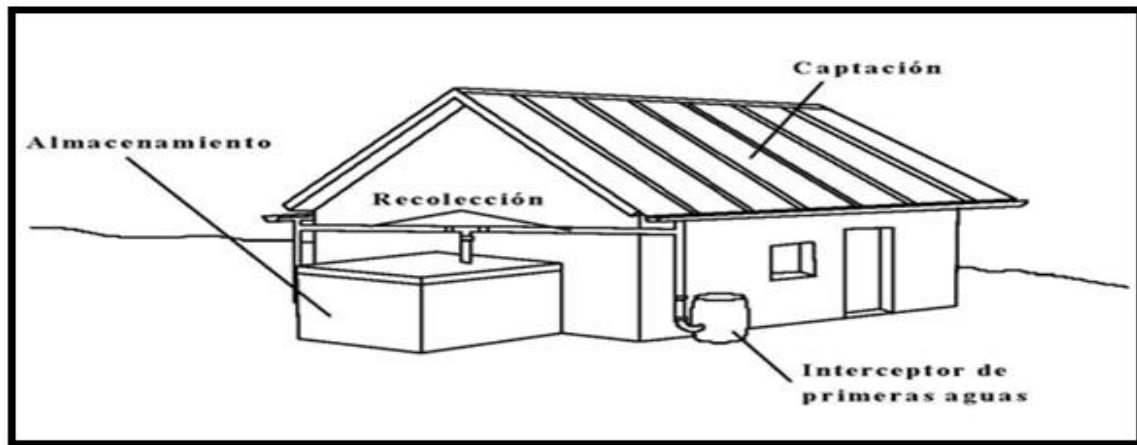
Se partió de un proceso de recopilación documental del acopio de los antecedentes relacionados con los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, y de otros sistemas diseñados para el aprovechamiento de otros recursos naturales, aplicados en potencias mundiales, como Estados Unidos, España entre otros y de forma artesanal en países en vía desarrollo con ánimo de presentar una estrategia con reales posibilidades de aplicación en la zona, tanto por su eficiencia como por su asequibilidad para las familias. Para tal fin se consultaron documentos escritos, formales e informales, se revisaron videos referentes a los diferentes casos de aplicación de sistemas de éste tipo y se realizó un reconocimiento en sitio por medio de visitas a instalaciones de las industrias de cuero y de madera, así como a viviendas urbanas y colegios. Con el ánimo de obtener los componentes con mayor nivel de eficiencia y acordes al proyecto, fue necesario someter los anteriores a una evaluación preliminar. De esta manera, se desarrolló un formato que permitió comparar las ventajas y desventajas de cada uno de los modelos que fueron identificados a partir del proceso de recopilación de información.

Así por lo anterior se pudo concluir que los sistemas de recolección de aguas lluvias tienen múltiples diseños, estos dependen estrictamente de la ubicación, y de la

estructura en la que se va implementar. Algunos de estos sistemas trabajan con filtros bastante tecnificados y otros con unos más artesanales, sin embargo las bases de construcción son las mismas y cuentan con las siguientes partes:

- Área del techo de las estructura.
- Canales de transporte de agua.
- Tubería.
- Sedimentador.
- Filtros.
- Llave de salida.

Imagen 12 Sistema de recolección de aguas lluvias



Fuente:

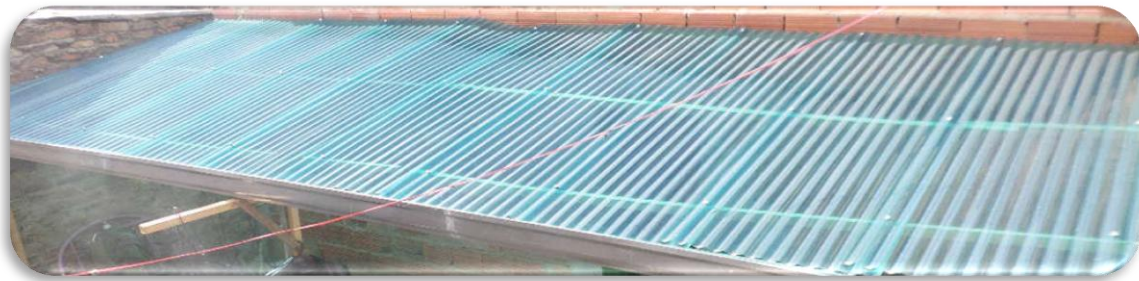
http://www.contrudata.com/BancoConocimiento/Rreciclaje_Reciclaje_hidrico_construccion:reciclaje_hidrico_construcion.asp

La principal ventaja de los SIRALL es que se pueden implementar en cualquier lugar adaptando las canaletas y colocando algunos tanques para almacenar el agua recolectada, lo que ayuda a ahorrar costos y a preservar el recurso hídrico. La principal desventaja, es que depende estrictamente del clima y necesita espacios relativamente grandes para adecuar los tanques de almacenamiento y poder sacar el máximo provecho de este tipo de captación. La captación de agua lluvia se puede implementar por medio de varias técnicas, eso depende estrictamente del lugar en donde se pretenda implementar el sistema y se deben tener en cuenta variables tales como el clima, la topografía, el uso del suelo y la cantidad de agua de la cual se quiere disponer.

Fase IV: Implementación y construcción SIRALL

La presente fase requirió compra de materiales, que permitieran en la práctica el buen funcionamiento del SIRALL por cuanto fue necesario consultar con el propietario el cambio de materiales así como la adecuación de techos, bajantes y tanques de almacenamiento, de la misma forma se estableció la ubicación de los tanques de almacenamiento para no afectar la comodidad de las personas. Con el fin de optimizar el funcionamiento del SIRALL se cambió la totalidad del techo con el fin de manejar una sola referencia en cuanto al material, para dar más facilidad a los cálculos que se desprender del análisis el sistema.

Imagen 13 Estructura y Pendiente del techo.



Fuente. Autor 2015

Área de captación.

El área de captación es una de las variables más importantes de un SIRALL para conocer los litros recolectados en determinada lluvia por ello se tomaron las medidas del área arrojando los siguientes resultados.

$$A = axb$$

Donde

A = Área de captación, m²

b = largo de área, m

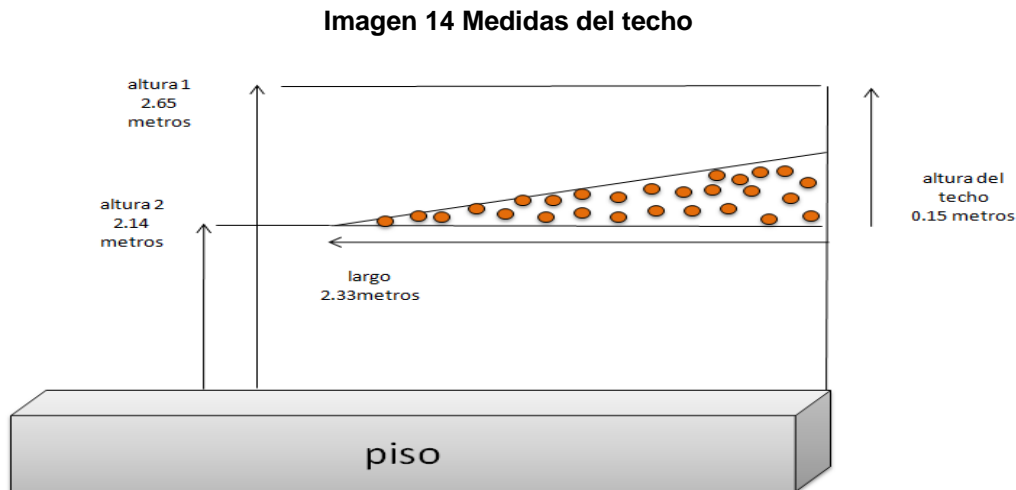
a = ancho del área, m

$$= 2,44m^2 \times 6.91m^2 = 16.8m^2 = 17m^2$$

Angulo de inclinación del techo.

El ángulo de inclinación de una cubierta o techo, está fundamentada con el grado de desnivel por unidad de distancia horizontal, es decir la distancia que sube una cubierta respecto a la horizontal. Con propósito de conocer la pendiente o ángulo de inclinación a la cual está el techo, se identificó la geometría del mismo, identificando que es completamente funcional a un triángulo rectángulo en donde se puede

aplicar el teorema de Pitágoras para conocer un ángulo desconocido. De Esta manera se tomaron las medidas de la cubierta de la altura máxima, altura mínima y longitud para tal propósito. Como muestra en la imagen 14 el techo tiene forma de triángulo. Las medidas de techo se muestran a continuación en la imagen.



Fuente autor 2014

De esta manera se aplica teorema de pitagoras

$$A^2 = 15^2 + 2.33^2$$

$$A^2 = \sqrt{15^2 + 233^2} = 233.4823334$$

$$\sin \theta B = \frac{2.33}{233.4823334} = 0.9979$$

$$\sin^{-1}(0.9990) = 87.4^{\circ}$$

$$\theta C = 180^{\circ} - 90^{\circ} - 86^{\circ} = 4^{\circ}$$

Del angulo de inclinacion del techo depende la velocidad del agua; cuando la gota del agua cae en el techo se desliza e interfieren dos fuerzas y una varoble (la gravedad y el coeficiente de fricción del material del tejado) la variable corresponde a la pendiente que tenga la estructura, bajo estos parámetros se determina el comportarmiento del agua a la hora de llegar a la zona de captación. Esta velocidad dependerá de que tan fuerte se necesita que llegue el agua a la canaleta. Se puede variar la pendiente para aumetar o disminuir la velocidad de caída del agua. En algunas situaciones la pendiente no se puede modificar dado que las estructuras

existentes de las viviendas o industrias están construidas bajo otros parámetros, lo que provoca que se deba trabajar con esas condiciones iniciales.

A fin de conocer el comportamiento del agua con esta pendiente se hacen pruebas de funcionalidad en donde aplican 21 litros/litro de agua en 10 segundos, este porcentaje de agua fue tomado para recrear las fuertes lluvias de los últimos años en la ciudad de Bogotá según IDEAM (Ver anexo 8). De esta manera se puede determinar como el agua se comporta en relación a los sólidos que llegan al techo y canaletas del sistema

Imagen 15 Acumulación de sedimento en el área del techo

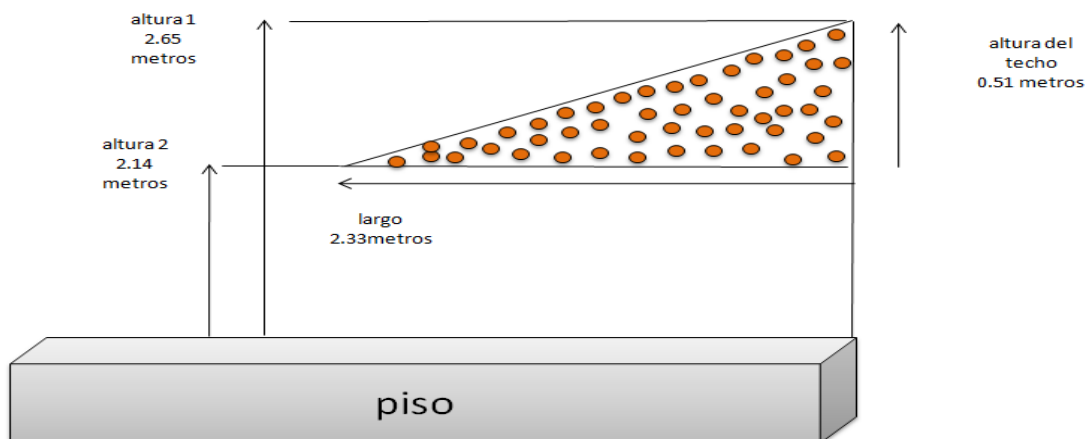


Fuente. Autor 2014

Cambio de la pendiente.

Con la pendiente de 4° se puede identificar una acumulación de sólidos sedimentables al final de los techos que afecta la velocidad y dirección de el agua, así mismo se localiza material sedimentable de la canaleta, de esta manera se cambia la pendiente aumentando a 9° .

Imagen 16 Medidas del techo



Fuente. Auto

Tabla 9 Valores iniciales

A máxima	Altura máxima del techo	2.65 metros
A mínima	Altura mínima del techo	2.14 metros
A	Ancho del techo	2.33 metros

Una vez tomadas más medidas se estable el ángulo de inclinación en la que está el techo, con el fin de optimizar el funcionamiento del SIRALL en todos sus componentes, especialmente en la velocidad del agua.

Calculo del ángulo de inclinación del techo

Calculo de la pendiente del techo teorema de Pitágoras

$$A^2 = C^2 + B^2$$

$$A^2 = 0.51^2 + 2.33^2$$

$$A^2 = \sqrt{0.51^2 + 2.33^2} = 2.3885162468$$

$$\sin \theta B = \frac{2.33}{2.3885162468} = 0.97$$

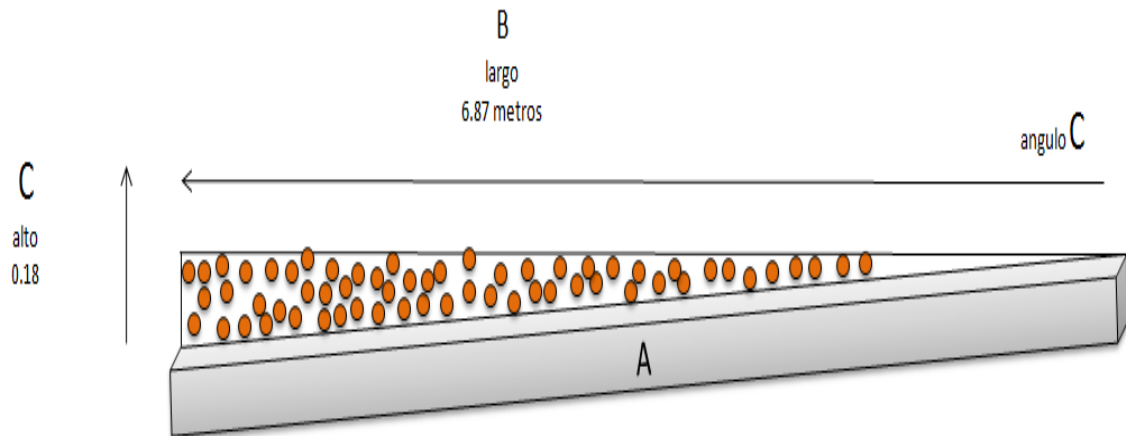
$$\sin^{-1}(0.97) = 77^{\circ}$$

$$\theta C = 180^{\circ} - 90^{\circ} - 77 = 13^{\circ}$$

A partir la de las lluvias más fuertes registradas en el año 2011 en el mes de noviembre (ver anexo 7) cuando cayó 169 mm de lluvia, se puede prever que en un solo día cayera este tipo de precipitación, por lo que representaría un total de 2839.2 litros en 24 horas, lo que arrojaría una precipitación máxima de 2 litros/s. de esta manera se recrea esta condición con la pendiente en (13) grados y colmatamos con 21lt / segundo parte del techo y la canaleta. Se observa que el sistema colapsa porque aumenta la velocidad del agua saturando las tuberías y reventado las uniones da las botellas. Así mismo aumenta el arrastre de partículas sedimentables y llegan mucho más lodos a los tanques, de esta forma se regresa a trabajar con una pendiente de 13^o en donde se pude detenían que las botellas aguantan la presión y disminuye la remoción de partículas en el tanque

Sin embargo la pendiente la de canaleta se debía ajustar, pues es muy importante dado que de esta dependerá velocidad y presión en gran parte de las bajantes, por ello se manejó la pendiente menos inclinada con el fin que de maximizar los tratamientos físicos en los tanques de sedimentación y filtración. Las medidas de la canaleta fueran las siguientes:

Imagen 17 Medidas de la canaleta



Fuente. Autor 2014

Ecuación de Pitágoras

$$A^2 = C^2 + B^2$$

$$A^2 = 0.18^2 + 6.87^2$$

$$A^2 = \sqrt{0.18^2 + 6.87^2} = 6.877235$$





$$\sin \theta B = \frac{6.87}{6.877235} = 0.998$$



$$\sin^{-1}(0.998) = 86^\circ$$

$$\theta C = 180^\circ - 90^\circ - 86^\circ = 4^\circ$$

(Earl.W. SWOKOSKI 2011).

Tabla 10 Construcción de la bajante con material reciclado

Paso	Imagen		Descripción
1 corte de botella			<p>Se realizó un corte transversal localizado al final de las botellas en su parte más ancha para su adaptación a las demás botellas.</p>
3 y 4 acoplamiento de todas las botellas y pegado			<p>Se adaptó cada botella una con otra y de sella con soldadura de PVC Luego con la extensión de cada botella formamos finalmente la bajante y pegamos con cinta industrial</p>

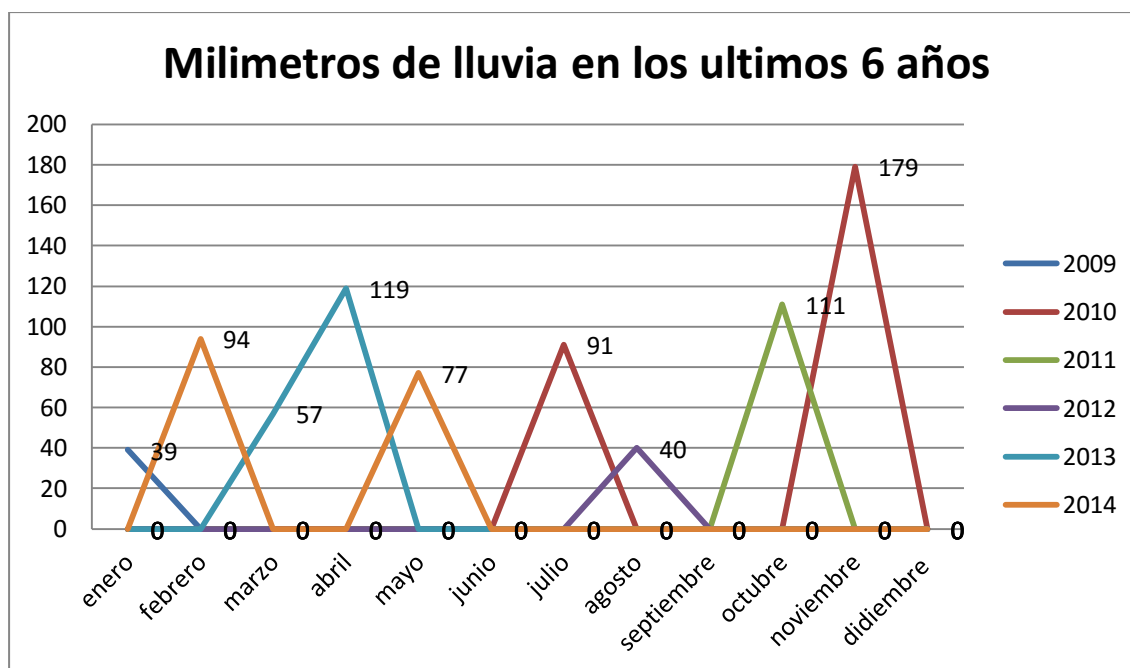
Paso	Imagen		Descripción
4 perforación de botella y			<p>Se realizó perforación de la botella en su parte superior esto con el fin de mejorar el drenaje En lluvias torrenciales esto aumentara el volumen de agua evacuado de las canaletas</p>

Según la disposición del dueño del predio y la dimisión de los patios se estableció un campo para tres (3) tanques de almacenamiento, los cuales solo almacenaran y no realizaran tratamientos físicos de sedimentación y filtración.

Para la implementación del sistema de recolección de agua lluvia se instalaron cuatro (3) tanques de las siguientes condiciones:

Lluvias más fuertes.

Gráfica 2 Milímetros de lluvia de los últimos 6 años en Bogotá



Fuente. Secretaria Distrital de Ambiente y Ministerio de ambiente tomado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=512>

En mes de noviembre de 2010 el periodo de más lluvias con un porcentaje de 179 mm, lo que representaría 8.9 litros por metro cuadrado, y que al multiplicarlo por el área a trabajar que es de 16,8 metros cuadrados da un porcentaje de 149.5 litros en un solo día, por lo que la capacidad de los tanques puede recolectar con esta área los 300 litros adicionales.

Tabla 11 Tanques de almacenamiento

Tanques	Capacidad
1	200 litros
2	200 litros
3	164 litros
Total	564 litros

Información pluviométrica.

Este valor es necesario para poder diseñar adecuadamente nuestro sistema de recolección de agua lluvia pues este valor nos identifica el consumo necesario para atender la demanda en esta vivienda.

Promedio de precipitación (ver anexo 8).

$$P_{pi} = \sum_{i=1}^{i=n} P_i / n$$

Donde P_{pi} . Precipitación promedio mensual del mes "i" todos los años evaluados (mm/mes)

n = numero de años evaluados

P_i = Precipitación promedio mes

(Cepis 2010)

De esta manera queda así

$$P_{pi} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{35.3 + 87.4 + 82.2 + 57.5 + 66.04 + 67.11}{6 \text{ años}} = 65.925 \text{ mm/año}$$

Los porcentajes son tomados de los promedios que aporta la Secretaria de Ambiente, (ver anexo 8) Este porcentaje de 65.92mm/año representa la demanda de agua en un año lo que es muy acorde con los datos históricos de la ciudad de Bogotá.

Demanda de agua al mes (Di).

Para determinar esta variable se pueden determinar por medio de varias técnicas sin embargo una de estas la plantea (CEPIS 2010) este valor es necesario para calcular el valor que cubre la necesidades de agua en esta vivienda. Se calcula para un mes en específico en este caso analizaremos el mes de mayo de 2014 (ver anexo 5).

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

(Cepis 2010)

En donde,

Di demanda mensual en metro cubico.

Nu. Número de usuarios que se benefician del sistema. Según me que se quiera trabajar como si indico anteriormente.

Nd Número de días del mes analizado

Dot. Dotación litro/ persona diaria

De esta forma queda así

La dotación se toma según la **Resolución 2320 de 2009**, donde se especifica para climas fríos un mínimo de 90 litros día.

$$Di = \frac{7 \text{ personas} \times 31 \text{ días} \times \frac{90l}{\text{día}}}{1000 \text{ litros}} = 19.53m^3$$

Lo que representara una demanda de casi $20m^3$ para las 7 personas lo que es muy similar a los datos de gastos registrados en la vivienda (ver anexo 6).

Oferta de agua mes (Ai).

Se debe tener en cuenta los parámetros de los promedios de lluvias anuales, material del techo y coeficiente de escorrentía, se puede calcular según el área del techo por cada mes con la siguiente ecuación, que orienta para determinar el volumen del tanque de almacenamiento:

$$Ai = \frac{Ppi \times Ce \times Ac}{1000}$$

Donde.

Ppi. Precipitación promedio mensual litros / m^2

Ce. Coeficiente de escorrentía.

Ac. Área de captación m^2

Ai. Oferta de agua mes.

De esta manera la ecuación queda de esta manera.

$$Ai = \frac{65.95 \times 0.9 \times 16.8m^2}{1000} = 997 \text{ mm/m}^2$$

Lo que representa que para un área de 16,8 metros cuadrados un total de 833 litros en un mes, este valor se relaciona de manera muy homogénea con los datos pluviométricos de IDEAM. (Ver anexo 8).

Volumen de almacenamiento.

Para calcular la lluvia máxima que podrían captar los tanques de almacenamiento se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{lluvia maxima} = \frac{\text{capacidad de tanques litros}}{\text{metros cuadrados segun a rea del techo}}$$

$$\text{lluvia maxima} = \frac{564 \text{ litros}}{16,8 \text{ m}^2} = 33.5 \text{ l/m}^2$$

El sistema de recolección de agua lluvia posee una capacidad de 33.5 litros por metro cuadrado, es decir que puede captar más de medio m³ por lluvia. Realizando la comparación de la lluvia máxima durante los últimos 10 años en la ciudad de Bogotá (ver Anexo 7) que según la secretaria Distrital de ambiente fue de 169,8 mm en el mes de Abril en el año 2011 y realizando el promedio del gasto de la casa que es de 21m³, se calcula así el promedio de consumo de agua para dos (2) meses, (Autor, 2015).

$$\text{promedio} = \frac{21000 \text{ litros}}{60 \text{ dias}} = 350 \text{ litros dia.}$$

Consumo hipotético = Lluvia máxima – gasto promedio diario

$$\text{consumo H} = 624 \text{ l} - 350 \text{ l} = 274 \text{ litros.}$$

Lo que significa que la capacidad real del sistema de recolección de agua lluvia es más grande, si se le suma el gasto real diario de la casa seleccionada. Esto demuestra que el sistema de recolección de agua lluvia está en la capacidad de captar el agua de la lluvia máxima que se ha registrado durante los últimos 10 años en la ciudad de Bogotá.

Los tanques de almacenamiento están conectados por medio de una tubería de 4 pulgadas con el fin de que el proceso trabaje por sí solo, de tal manera que cuando un tanque se llene los procesos de filtración y sedimentación puedan aplicarse sin necesidad del control de un tercero. Para esto, lo primero que se hace es medir la altura del tubo que intercepta a cada tanque, luego se demarca con el perímetro de la tubería y se perfora.

Imagen 18 Adaptación de los tanques



Fuente. Autor 2014

Una vez que se ha identificado la altura de la entrada de la tubería, se asegura que la entrada del segundo tanque este a la misma altura, de manera que cuando el primer tanque se llene, el agua pase automáticamente al segundo tanque de almacenamiento. Este proceso permitirá que el sistema de sedimentación tenga autonomía y el usuario pueda dejar el sistema funcionando por sí mismo.

Potencial de ahorro de agua.

Esta variable expresa por medio de la cantidad de agua que se puede captar en un mes y la demanda de agua de dicha vivienda en un determinado mes, de esta manera el potencial de ahorro se calcula de la siguiente manera.

$$PPWS = \frac{R}{VW} \times 1000$$

En donde

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

VR. Volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado (m³/mes)

VW. Demanda mensual de agua potable (m³/mes).

Tomamos el valor de mes con más precipitación de los últimos 6 años en la ciudad de Bogotá que fue de 169.8 mm de lluvia durante el mes de abril de 2011 (ver anexo 8) de esta manera pasamos mm a litros

$$PPWS = \frac{0.169.8m^3}{11.5} \times 1000 = 14.76m^3$$

Se pueden llegar a recolectar un total de 14,76 metros cúbicos de agua lo que representaría un gran ahorro sustancial en un mes, dado que el gasto promedio es de $11.5 m^3$

Imagen 19 Acoplamiento y sellado de tanques



Fuente. Autor 2014

Finalmente queda listo el SIRALL para comenzar a captar el agua lluvia, incluyendo los ajustes para los días de verano, donde el sistema se va a llenar de material particulado y se monitorea el sistema durante las lluvias estableciendo las posibles correcciones, tanto en la parte operativa de captación como en la parte del tratamiento en los tanques.

Fase V: Seguimiento del SIRALL

Posterior a la instalación de los componentes, fue necesario un proceso de monitoreo y evaluación de cada uno de estos, de manera organoléptica y prácticas en laboratorio, por un lado para determinar la funcionalidad de los modelos implementados en cuanto resistencia, durabilidad, aprovechamiento del espacio y de caudales de lluvia y en segundo lugar para confirmar su eficiencia respecto a la calidad del agua tratada. Por tanto se dispuso de monitoreos diarios, con y sin

lluvias, 24 horas, además de prácticas en laboratorio para la revisión organoléptica y fisicoquímica del agua.

Para verificar que el SIRALL funciona adecuadamente se revisa que los techos, canaletas, tuberías y tanques de almacenamiento estén bien instalados y funcionen adecuadamente en las épocas de invierno, así mismo se verifica organolépticamente la calidad de agua que se está captando en los tanques de almacenamiento.

El monitoreo del volumen de agua que se puede captar en el área del techo se trabajó con dos herramientas, la primera por medio de la implementación de un pluviómetro y la segunda con la medición directa en los tanques de almacenamiento.

En esta fase se realizará el monitoreo del SIRALL todos los días, especialmente en épocas de invierno, estos monitoreos están dirigidos al volumen de agua recolectado, intensidad de la lluvia y los sólidos sedimentables generados en cada lluvia, para tal fin se realizaron las siguientes operaciones:

Primero una medición por triplicado de cada uno de los tanques para determinar su capacidad, mediante el uso de una probeta de 250 mililitros.

Luego, la construcción de un pluviómetro casero con los siguientes materiales:

- Recipiente plástico.
- Soporte.
- Regla en plástico.
- Pegante.

Para la construcción del pluviómetro casero se deben utilizar recipientes redondos que tengan las mismas dimensiones tanto en su parte inferior como superior. Para su elaboración e instalación se siguen los siguientes pasos:

Paso 1: Se toma la regla de plástico y se afora la parte inferior del recipiente de tal manera que el cero (0) quede al nivel del fondo de recipiente.

Paso 2: Se fija la tapa del recipiente como una base para darle estabilidad al pluviómetro y se comprueba que su pendiente sea plana.

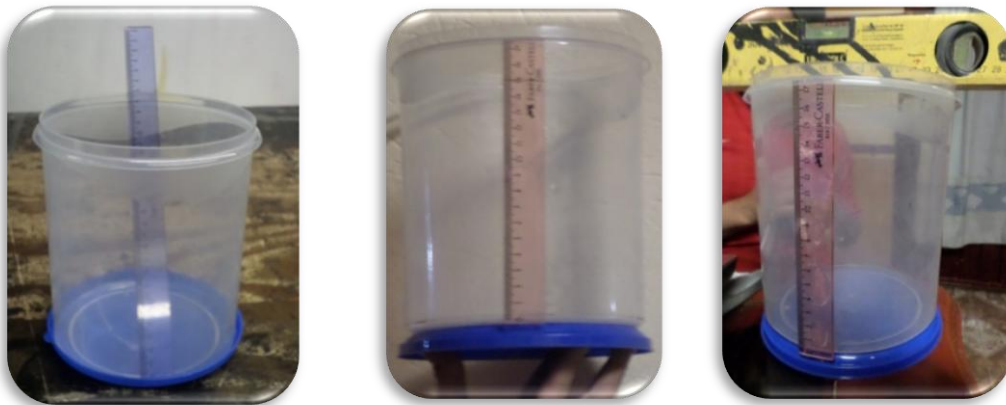
Imagen 20 Elaboración del pluviómetro



Fuente. Autor 2014

Paso 3: Se mide con exactitud el diámetro y la altura del recipiente (ver Figura 15).

Imagen 21 Medición del diámetro y largo



Fuente. Autor 2014

Y se realizan los siguientes cálculos: Se toma un porcentaje de lluvia al azar, que para este caso será de $80 \text{ c}^3/\text{m}^2$ y se comprueba que en 90 cm agua, la altura de la misma en el pluviómetro casero, para lo cual se tiene en cuenta que el diámetro del pluviómetro es de 16 cm y se hacen los siguientes cálculos:

0,16m equivalen a un radiode 0.8m

$$A = \pi r^2 = (3.1416)(0.8\text{cm})^2 = 201.0624\text{cm}^2$$

Ahora

$$\frac{80\text{cm}^3}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}^2}{1\text{cm}^2} \cdot 201.0624\text{cm}^2 = \frac{10 \times 80\text{m}^3}{201.0622} = 3.9 \text{ L/m}^2$$

Tomado de Medio ambiente y adaptaciones

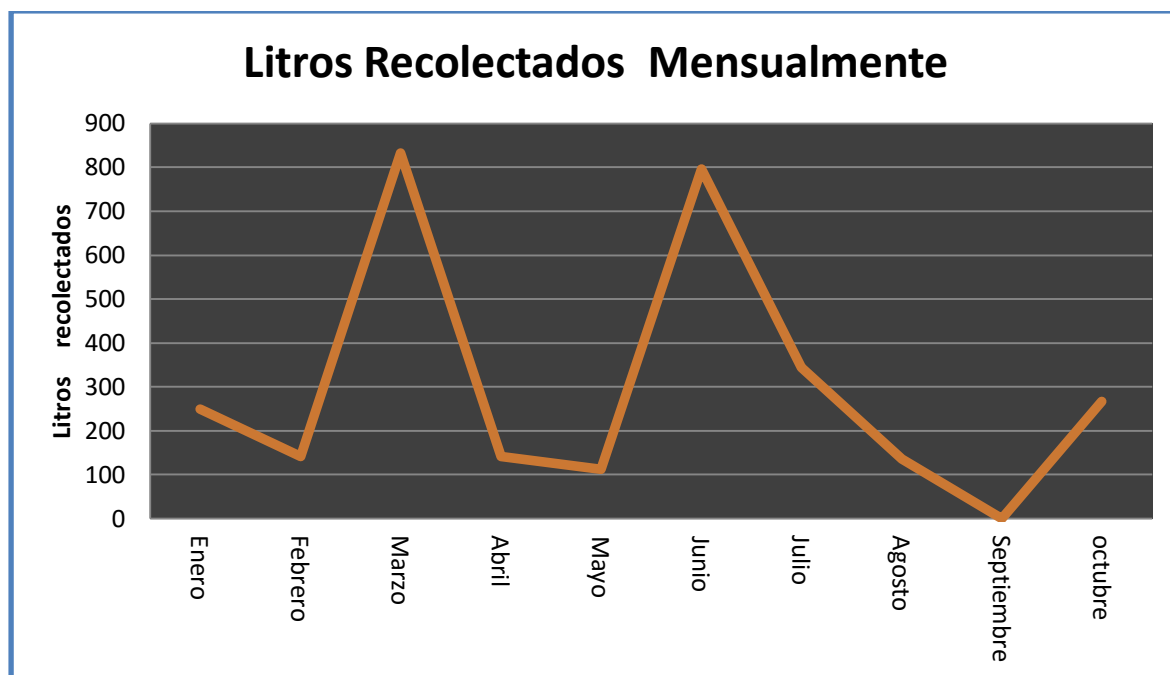
Lo que quiere decir la ecuación anterior es que una lluvia de 80 cm^3 genera 3,9 litros por metro cuadrado del área objeto de estudio.

Tomando cada volumen en cm^3 por cada lluvia, se calcula a partir de la ecuación 2 la cantidad de agua de milímetros de lluvia por en el área del techo que se trabajó. De esta manera se puede plantear la siguiente tabla para identificar los litros recolectados por cada lluvia (ver anexo 6).

Los monitoreos son muy importantes para saber cómo está funcionando el sistema y que partes se deben ajustar, en este sentido es de vital importancia verificar el SIRALL todos los días, especialmente en los días lluvias, para ir mejorando las partes que lo componen.

Según los monitoreos realizados al SIRALL (Ver Anexo 4), el mes de marzo fue el más lluvioso con una recolección de 832 litros, el segundo mes con más lluvias fue paradójicamente el mes junio, un mes que siempre ha sido de pocas lluvias, con un total de 796 litros y se presentó un leve aumento en el mes de octubre con 193 litros de agua. Mientras que los meses de febrero, abril y mayo tuvieron los volúmenes más bajos del año, tal como se observa en la siguiente gráfica:

Gráfica 3 Litros recolectados mensualmente



Fuente. Autor 2015

Los días sin lluvias se pueden analizar desde dos puntos de vista, el primero es la cantidad de agua almacenada en los tanques de almacenamiento, desde la última lluvia y como según el régimen de gasto este volumen se consume en cierto tiempo, y el segundo factor es la acumulación de material particulado y residuos sólidos como ramas, piedras, desechos de animal en los techos y canales.

En la primera situación se puede ver que el agua se agotaría en aproximadamente en dos días, ya que el régimen de consumo de la vivienda que es de 333 litros por día, especialmente en lavado de ropa, baño y limpieza, despreciando principalmente el agua para consumo humano. De esta manera calculamos el consumo diario, tomado el promedio y lo dividimos por el periodo consumido en este caso serían 60 día, de esta forma quedaría así, (Autor, 2015).

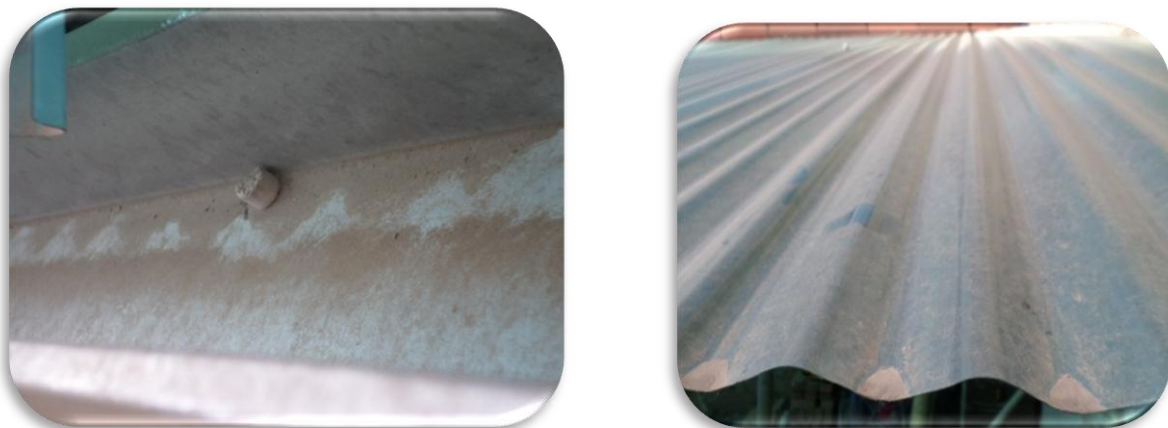
$$\text{consumo diario} = \frac{m^3}{60\text{días}}$$

$$\text{consumo diario} = \frac{20m^3}{60\text{días}} \frac{m^3}{1000\text{litros}} = 333 \text{ l / dia}$$

De esta manera son 333l/día lo que representa casi la mitad de la capacidad de los tanques de almacenamiento de aguas lluvias. Eso indica que la casa se podría mantener durante 2 o 3 días sin usar agua para labores de limpieza y jardinería, solo con el manejo de las aguas lluvias.

En la segunda situación de los días sin lluvias, la canaleta y el techo se llenan de material particulado que hace que los filtros disminuyan su capacidad y el sistema no tenga la suficiente eficiencia, esto no solo conlleva a que el sistema trabaje mal sino que también ocasiona que el agua recolectada salga con deficiencias en su calidad.

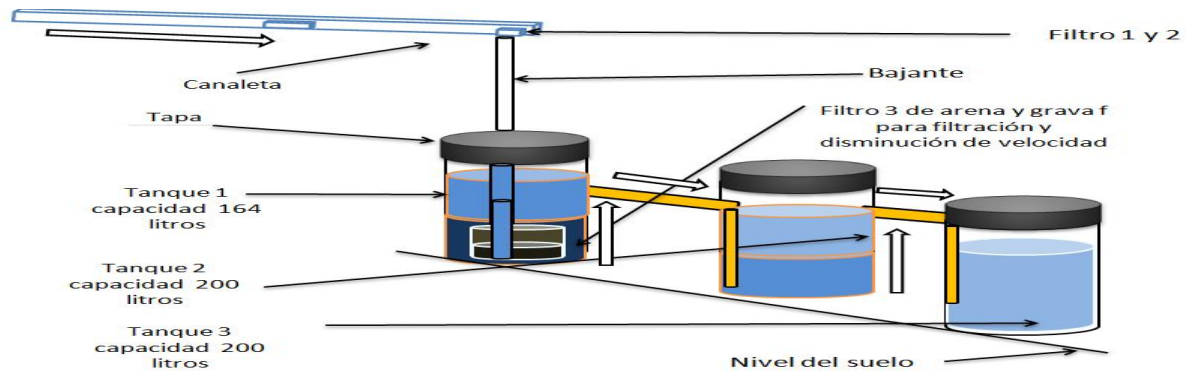
Imagen 22 Material Particulado en el sistema



A la canaleta llega mucho material particulado proveniente de los vientos, de las industrias y avenidas cercanas, esto sucede, debido a que la vivienda está ubicada

en un sector industrial, donde predominan las carpinterías, lo que se convierte en sólidos sedimentables. La mayor cantidad de sólidos sedimentables se identificaron en la entrada de las primeras lluvias, como se esperaba, ya que durante las épocas secas se acumula gran cantidad de material particulado en los techos y canales, que son arrastrados una vez que llegan las lluvias.

Imagen 23 Sistemas de recolección de agua lluvia y el sistema de filtración y de sedimentación.



Fuente autor 2014 Bogotá

Para solucionar este inconveniente el SIRALL cuenta con procesos de cribado y sedimentación, que están compuestos por tres mallas que detienen los sólidos más grandes antes que el agua llegue a los tanques de almacenamiento. Estas están situadas de la siguiente manera: dos están ubicadas en la canaleta y una antes del ingreso al primer tanque. Una vez que llega el agua a los tanques comienza el proceso de sedimentación, ya que los tubos de conducción están situados para que el agua llegue por la parte de abajo y salga por la parte de arriba, es decir que los cuatro tanques no solo tienen la función de almacenar el agua, sino que también se aprovechan para retener la mayor cantidad de sedimentos.

Durante los primeros meses de monitoreo evidencio una acumulación de sólidos sedimentables especialmente en el tanque 1, que es el que recibe el agua de la bajante, y se evidencio que al mismo tiempo que gran cantidad de estos sólidos suspendidos están pasando al tanque 2 y 3 para lo cual se implementó un proceso de filtración y de sedimentación, en el mismo tanque número 1, con el fin de reducir el porcentaje de sólidos sedimentables, que llega a los tanques de almacenamiento. El proceso de filtración parte en el mismo tanque en donde se trabaja con un filtro hecho en grava y arena, pues el tubo de conexión están conectados directamente con el filtro que posee la función de detener las partículas más grandes, luego como el agua ingresa por la parte de inferior del tanque para aumentar el tiempo de retención y mejorar la sedimentación un tubo boca arriba hace el trabajo no deja pasar los sólidos más densos como se muestra en la imagen 24.

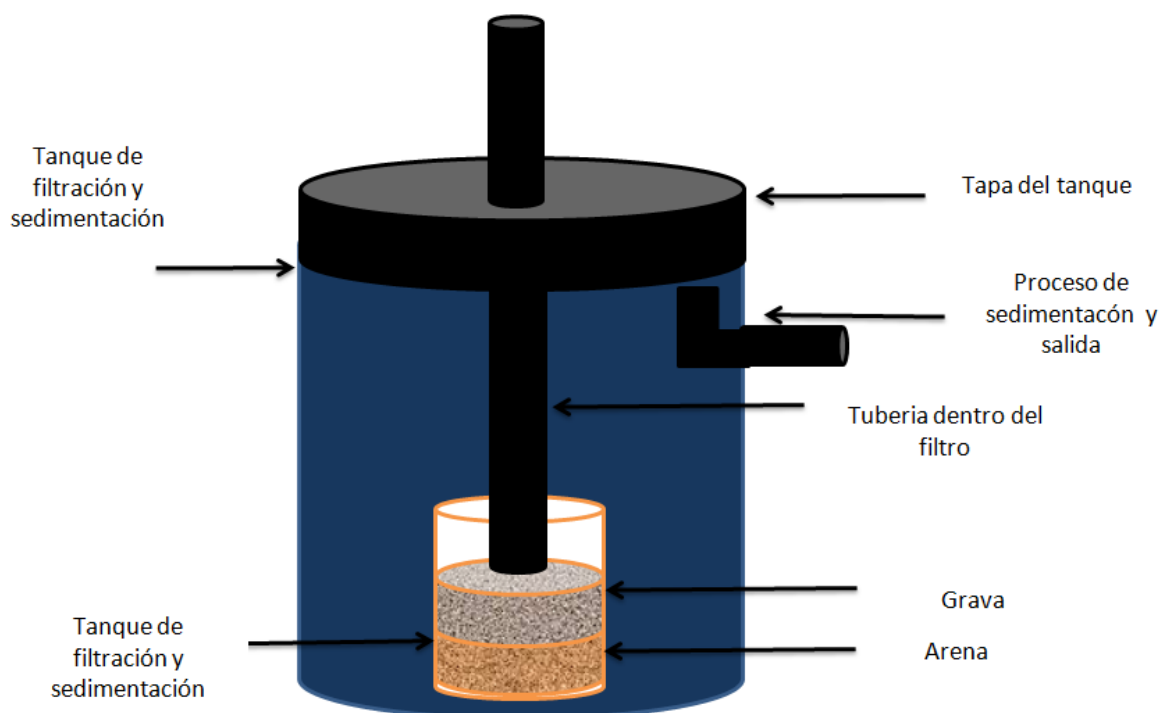
Imagen 24 Tubo de filtración



Fuente .Autor 2015

El filtro de grava y arena no solo tiene la función de no dejar pasar los sólidos más grandes sino que posee la función de disminuir la velocidad del agua para que al interior del tanque no haya remoción de material ya sedimentado de esta manera se potencia los tratamientos físicos en el primer tanque.

Imagen 25 sistema de filtración y sedimentación el primer tanque



Fuente. Autor 2015

Potencial máximo de captación de la vivienda.

La casa posee un potencial de uso de $119.8 m^2$ sin embargo el sistema de desagüe no posee características adecuadas para poder aprovechar el máximo del área del techo por lo que solo se aprovecharon $16.8m^2$. En este sentido se puede calcular el potencial máximo total en litros recolectados con un sistema ideal para esta vivienda de la siguiente manera:

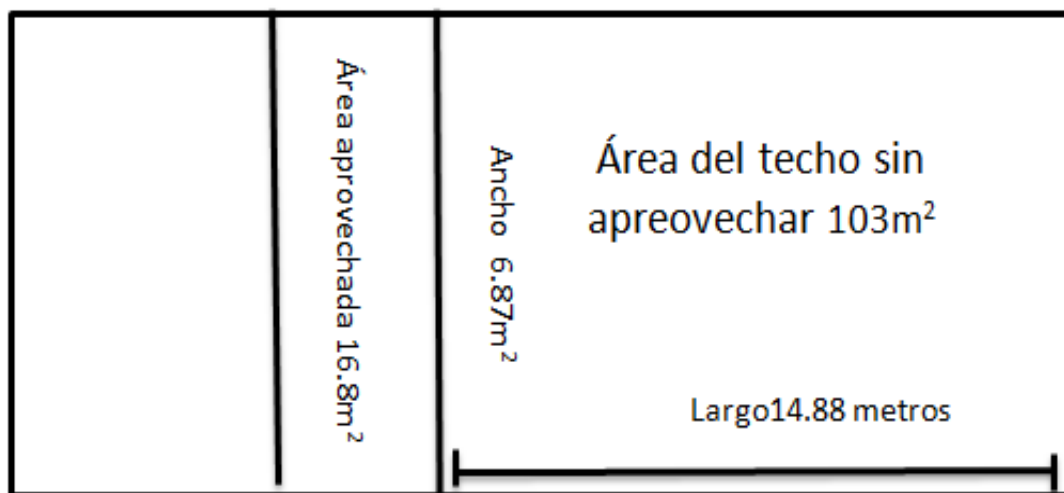
$$b \times a = \text{área}$$

$$14.88 \text{ metros} \times 6.87 \text{ metros} = 102 m^2$$

$$\text{potencial maximo} = \frac{\text{litros recolectados al año}}{\text{area real}} \times \text{area pontencial}$$

$$\text{potencial maximo} = \frac{2992 \text{ litros año}}{16.8 m^2} \times 102 m^2 = 18165 l/m^2$$

Imagen 25 Área del techo aprovechada y área del techo sin aprovechar del perdió



Fuente autor 2015

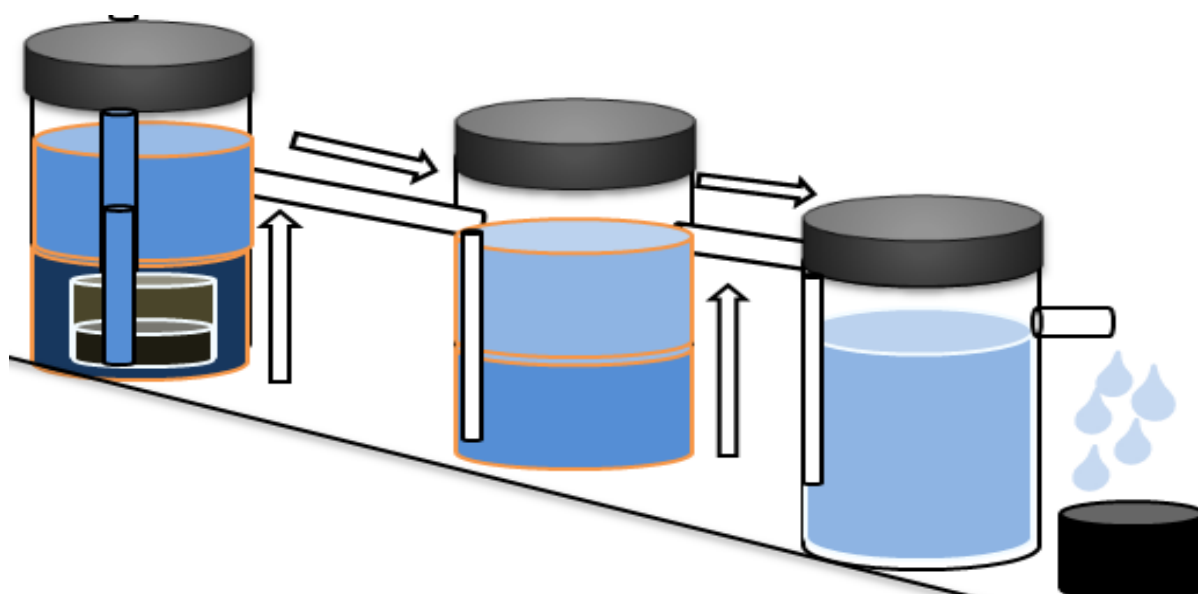
Lo que demuestra el potencial máximo de aprovechamiento de esta vivienda sería de casi $16 m^3$ de agua lluvia para el año 2015, un volumen grande teniendo en cuenta el fenómeno del niño que tuvo graves efectos en este año, ahora para este volumen de agua se necesitan tanques de almacenamiento suficientemente grandes para poder captar la totalidad de una lluvia torrencial. Por ejemplo el día 20 de Marzo de 2015 se registró una lluvia torrencial con un volumen de $460 cm^3$ es decir 23mm en 60 minutos lo que representaría un volumen de 2325 litros con el potencial máximo de la vivienda, una gran cantidad de agua en una sola lluvia, comprando con los tanques almacenamiento actuales, se necesitarían 9 tanques adicionales para almacenarla; lo anterior refleja lo importante del espacio a la hora de

implementar un SIRALL. Ahora si se tiene un área pequeña, se hace necesario analizar si la estructura se puede modificar empero la implementación de los tanques de almacenamiento, aumentaría los costos del SIRALL, ya que sería necesario construir los tanques bajo tierra o en techos para poder almacenar el volumen de aguas lluvias que se puede recolectar con el SIRALL.

Cuando las lluvias torrenciales llegaron, como el día 20 de marzo del 2015 el sistema funciono adecuadamente con una salida en el tercer tanque en donde se pone algún recipiente para que se valla llenado a la medida que llueve, este sistema hace que el agua que abandone el tercer tanque con la misma velocidad con que le agua llega de la canaleta, de esta manera en este punto el agua sale en buenas condiciones en cuanto al color una vez que se llena el recipiente el régimen de consumo de la vivienda en un día garantiza que el sistema se rebose dado que el consumo de agua en aseo es constante, en labores de limpieza, baños y jardinería

Una vez que paran las lluvias por largo tiempo, se consumen el volumen de los tanques completamente, para evitar proliferación de vectores o malos olores, se consume primero volumen del tanque 3 luego el 2 y finalmente el 1, por razones de calidad, hay que resaltar que el agua del tanque 1 es muy lodosa y en la mayoría de veces se usa para riego de jardín.

Imagen 26 Funcionamiento de la sedimentación



Fuente. Autor 2015

Fase VI: Análisis físicos y químicos del agua

En esta fase se analizó el Índice de Calidad del Agua – ICA, para lo cual se midieron nueve (9) parámetros de calidad de agua recolectada, esto con fin de potenciar su uso en diferentes labores. El muestro se realizo en el tercer tanque pues este el

punto en donde el agua posee mejores características Los parámetros analizados fueron los siguientes:

Tabla 12 Calidad del agua

Criterios	Características	Norma decreto 475 de 1998 rango admisible
pH	7.01	6.5 y 9.0.
Temperatura	19 C ⁰	-
Turbidez	3.21	<-5
Nitratos	1.3 ppm	10
O.D	Inicial 0.6ppm final 0.03ppm	-
Coliformes Fecales N.M.P	Negativo	<2microorganismos/100 cm ³
Sólidos totales	0.017	500
Fosfatos	0.34	0.2
Dureza	1	160

Fuente. Autor 2015

Coliformes fecales número más probable. <2microorganismos/100 cm³

Se procedió a tomar una muestra puntual en los tanques de almacenamiento del sistema de recolección de agua lluvia para hacer la prueba de determinación de coliformes totales número más probable. Una vez realizados los estudios estos arrojaron como resultado (negativo) para esta prueba. Analizando detenidamente se justifica este resultado pues la zona de captación no posee ningún tipo de comodidad para ninguna clase de animal, y los tanques de almacenamiento están adecuadamente aislados de cualquier tipo de contacto que permitiese albergar este tipo de bacteria.

Sólidos suspendidos totales.

Para el procedimiento de sólidos suspendidos se utilizó un filtro completamente seco el cual fue pesado adecuadamente el cual peso 0.882gr el cual fue llevada a un horno a 105⁰C durante 1 hora el cual peso 0.8586 gr con un volumen de agua de

200 ml de esta manera para el cálculo de los sólidos suspendidos totales queda así:

$$SST, \frac{mg}{L} = \frac{(P1 - P2)X1000}{V}$$

$$SSY, \frac{mg}{L} = \frac{(P3 - P1)X1000}{V}$$

Donde

SST sólidos suspendidos totales.

P1 peso de filtro en mg

P2 filtro más residuo seco a 103-105°C

$$SST, \frac{mg}{L} = \frac{(0.882 - 2.6028)X1000}{200 \text{ ml}}$$

$$SSY = 6.62 \frac{mg}{L}$$

Fuente: Cartilla ilustrativa UNAD, curso preparación y análisis de muestras de agua

Índice por contaminación de sólidos suspendidos – ICOSUS

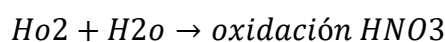
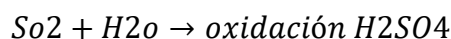
$$ICOSUS = -0.02 + 0.0003 \text{solidos suspendidos} \left(\frac{mg}{l}\right)$$

$$ICOSUS = -0.02 + 0.0003 \text{solidos suspendidos} (0.117mg/l)$$

El agua posee un rango de sólidos suspendidos totales lo que demuestra que los tratamientos físicos como la filtración y la sedimentación están funcionando adecuadamente.

pH.

Para analizar el pH del agua proveniente de las lluvias es necesario tener en cuenta los contaminantes provenientes de fuentes móviles primordialmente con los óxidos de nitrógeno y de dióxido de azufre que reacciona con el agua de la atmosfera de la siguiente manera



Fuente: Análisis químico cuantitativo 2007

Imagen 27 distribución espacial de los contaminantes en la ciudad de Bogotá



Fuente. Universidad nacional de Colombia distribución de contaminantes según dirección de viento y concentración en Bogotá

El pH del agua dio como resultado 7.01, está dado más a la neutralidad, lo que demuestra que nuestra muestra de agua no contienen, o posee bajos porcentajes de contaminantes secundarios como ácido sulfúrico ni ácido nítrico producto de las emisiones móviles. La concentración de los contaminantes se centra en la parte central de la ciudad como se muestra en la imagen 28. Por otro lado la velocidad de consumo de consumo de la vivienda hace que el agua no se estanque por largos periodos de tiempo y no genere cambios significativos del pH. Además la normatividad dice que el pH óptimo para el agua potable es de 6.0 a 9.0 según el decreto 475 de 1998,

Temperatura.

La temperatura del agua fluctúa según a la hora del día que se tome dicha temperatura, por ejemplo en horas del mediodía la temperatura llega a 20°C mientras que en horas de la media noche o 1 am puede llegar a 13°C, sabemos que a mayor temperatura menos cantidad de gases disueltos estarán, así que es predecible la pérdida de oxígeno en días calurosos y por estancamiento, la presencia microorganismos en el agua son evidentes después de algunos días de almacenamiento, y por las altas temperaturas que han presentado Bogotá en los últimos meses llegando a 23.5°C según el IDEAN esto generaría aumentó de las descomposición del agua.

Dureza.

La determinación de la dureza se realizó por medio de titulación con EDTA. El cálculo de la concentración de Dureza en una solución, expresado como carbonato de calcio, se determina de la siguiente forma:

$$[Dureza\ Total],\text{ml}/\text{CaCo}_3 \frac{A \times B \times 1000}{V\ Muestra}$$

Donde

A= ml de EDTA

B = mg de CaCo_3 equivalente a i ml de EDTA

V= Volumen de la muestra

$$[Dureza\ Total],\text{mlCaCo}_3 \frac{1.5\ EDTA \times 1\ CaCO_3 \times 1000}{50\ \text{ml}} = 30\ \text{ml/L}$$

Fuente: Cartilla ilustrativa UNAD, curso preparación y análisis de muestras de agua

Índice de contaminación por mineralización ICOMI.

$$I.\ Dureza = \text{Log}_{10} .IDureza = -9.09 + 4.40\log_{10}(Dureza)\text{mg/l}$$

$$I.\ Dureza = \text{Log}_{10} .IDureza = -9.09 + 4.40\log_{10}(Dureza)30\text{mg/l}$$

$$I.\ Dureza = \text{Log}_{10} .IDureza = 122.1\text{mg/l}$$

Según la norma técnica RAS 2000 y el decreto 475 de 1998 el rango admisible para acción directa sobre la salud es de 160 ml/l lo que representa para nuestros análisis un óptimo rango con 122,1 mm/l

$$Durezas\ mayor\ a\ 110 = 1$$

$$Dureza\ menores\ a\ 30 = 0$$

$$Dureza = 1$$

Alcalinidad.

La alcalinidad trabaja como amortiguador en el agua para bajos porcentajes de pH sin embargo si el porcentaje de alcalinidad no es alto, y el agua posee un pH neutro por lo que no se genera mayores cambios en el agua debido a este aspecto.

Alcalinidad se calcula mediante la siguiente expresión

$$\frac{mg}{LCaCo3} = \frac{AXNX50000}{ml, muestra}$$

En donde

A= ml H₂SO₄ usados en total

$$\frac{mg}{LCaCo3} = \frac{1. ml \times 0.02 \times 50000}{50 ml} = 20mg/l$$

Índice de contaminación por mineralización ICOMI.

$$I. Alcalinidad = -0.25 + 0.005 \times Alcalinidad \left(\frac{mg}{l}\right)$$

$$I. Alcalinidad = -0.25 + 0.005 \times Alcalinidad \left(20 \frac{mg}{l}\right)$$

$$I. Alcalinidad = 1.5 \frac{mg}{l}$$

Fuente: Cartilla ilustrativa UNAD, curso preparación y análisis de muestras de agua

Según la norma técnica RAS 2000 y el decreto 475 de 1998 la alcalinidad tiene un valor admisible de 100mg/L comparando con los resultados obtenidos en laboratorio que fuero de 20 mg/L podemos decir que tienen un valor aceptable en la caso del agua potable.

Nitrato.

Los análisis en el espectrofotómetro referente a los nitratos en agua captada por el SIRALL arrojó como resultado 1.3 ppm sin embargo para pasar a porcentaje de nitratos lo debemos multiplicar por 4.43 por lo queda de la siguiente manera.

$$1.3 ppm \times 4.43 = 5.75$$

Según la norma técnica RAS 2000 y el decreto 475 de 1998 el rango admisible están en 10 ppm, lo que demuestra que el agua del SIRALL es óptima en este parámetro. Se puede concluir respecto a los nitratos que este porcentaje proviene de la transformación de contaminantes primarios como NO_x óxidos de nitrógeno provenientes de fuentes móviles y fijas que llegan a través de las lluvias.

Oxígeno disuelto.

Calculando la DBO5 sin inculo ni disoluciones.

$$DBO5 \left(\frac{ml}{l} \right) = ODi \frac{ml}{l} - OD5 \frac{ml}{l}$$

Donde

ODi= Oxígeno disuelto inicial

OD5= Oxígeno disuelto al quinto día

$$DBO5 \left(\frac{ml}{l} \right) = 0.6 \frac{ml}{l} - 0.03 \frac{ml}{l} = \frac{0.57ml}{l}$$

Fuente: Análisis de agua - método de prueba.

Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO.

$$I.DBO = -0.05 + 0.70 \log x DBO \left(\frac{mg}{l} \right)$$

$$I.DBO = -0.05 + 0.70 \log 10x \left(0.57 \frac{mg}{l} \right)$$

$$I.DBO = 0.34$$

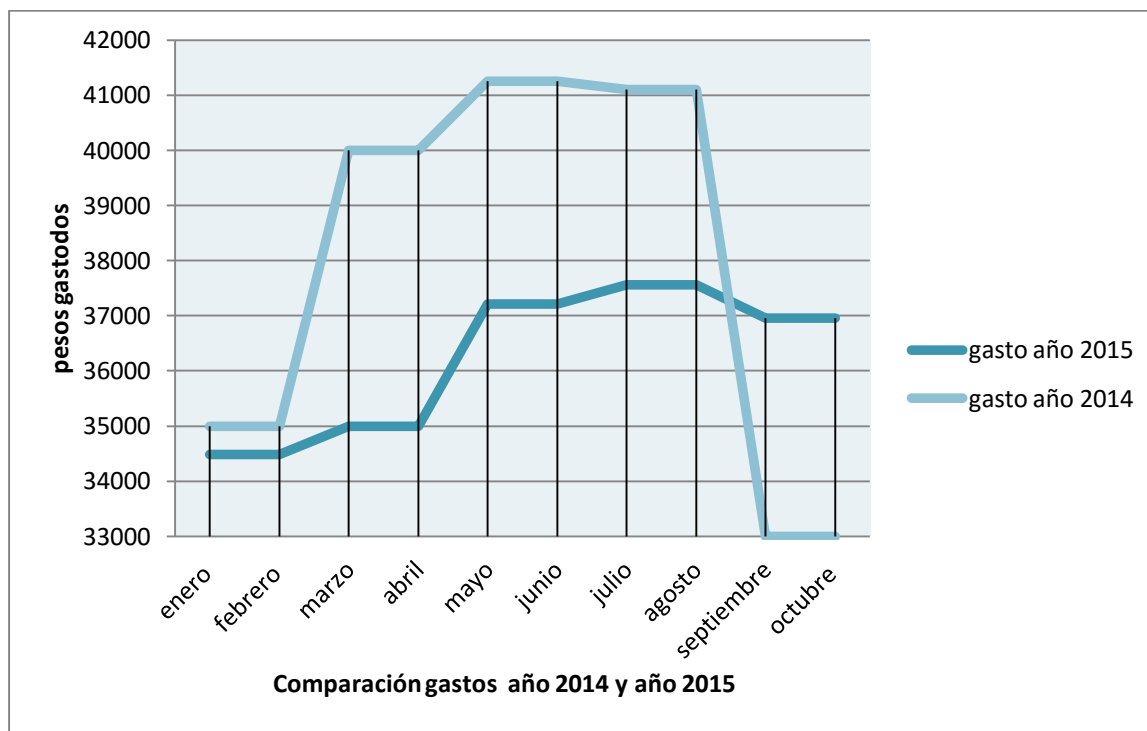
El rango de oxígeno disuelto es muy bajo, eso se debe más que todo al tiempo de retención del agua en los tanques de almacenamiento, es muy probable que el oxígeno disuelto aumente conforme aumenten las lluvias.

Fase VII: Análisis de datos

Costo beneficio.

El factor costo beneficio se puede analizar desde el área de captación y la cantidad de precipitación, entre mayor sean las dos variables mayor será el beneficio del sistema y por ende habrá una mejor tasa de retorno de la inversión, sin embargo debe existir un consumo percapita fuerte para aprovechar el volumen de agua. También se debe tener en cuenta que a mayor estratificación la inversión será más productiva, de la misma manera si un SIRALL es implementado en sectores industriales aumentara su eficiencia económica dado que el metro cubico de agua para esta clase de sectores es costoso.

Gráfica 4 Comparación gastos años 2014 y año 2015



Fuente. Autor 2015

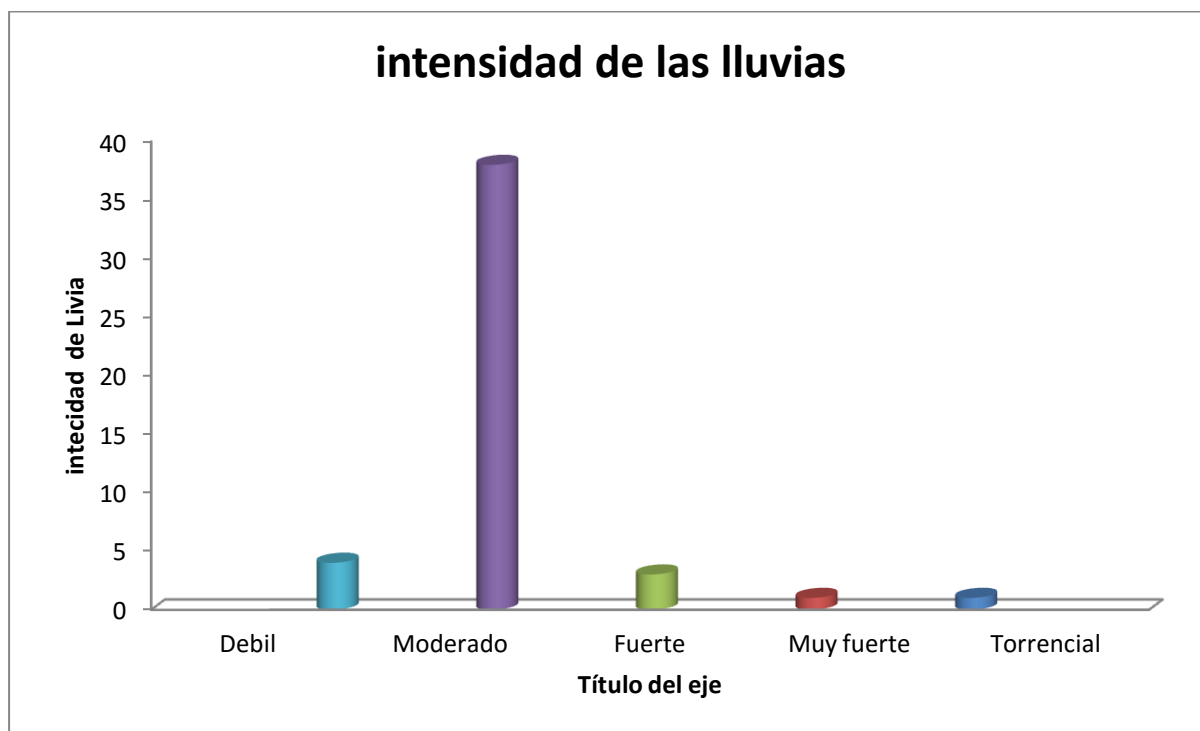
En el grafico anterior podemos observar como disminuyo sensiblemente los gastos por consumo de agua con el sistema de recolección de agua lluvia, a pesar que ha sido uno de los años que menos ha llovido, lo que siguiere que en años muy lluviosos la tasa de retorno de inversión será aún más significativa. A pesar que la disminución del consumo fue pequeña lo mismo que el gasto en dinero, se debe tener en cuenta a la hora de valorar este tipo de sistemas fenómenos que están afectando las lluvias en América Latina y el mundo como es el fenómeno del niño, es claro decir que este fenómeno ha disminuido las lluvias sustancialmente a partir del segundo semestre del año 2015, esto sin duda afecto el cantidad de volumen recolectado.

Intensidad de las lluvia.

Las lluvias se comportaron de una manera atípica dado que la pluviosidad disminuyo fuertemente en comparación con los otros años según lo expuesto por la secretaria de ambiente (ver anexo 8), esto primordialmente por el fenómeno del niño. Como podemos ver en el grafico 5 la cantidad de lluvias Moderadas y fuertes son las que predominaron, mientras que las lluvias débiles y las torrenciales tuvieron un segundo planos en la cantidad de las mismas. Durante los 8 meses de monitoreos de lluvias en la zona de captación se presentaron 47 días de lluvia de este 100% el 80.8 % pertenecen a lluvias moderadas, el 6.3% lluvias fuertes, 2.1% a lluvias muy fuertes, 2.1 a lluvias torrenciales y el 8.5 % a lluvias débiles lo que

significa que cuando las lluvias llegan a esta parte de la ciudad las modificaciones climáticas en la ciudad han sido grandes pues es una zona alejada de montañas, y eso se ve reflejado en que el gran porcentaje de lluvias moderadas.

Gráfica 5 intensidad de lluvias durante los 8 meses de medición



Fuente. Autor 2016

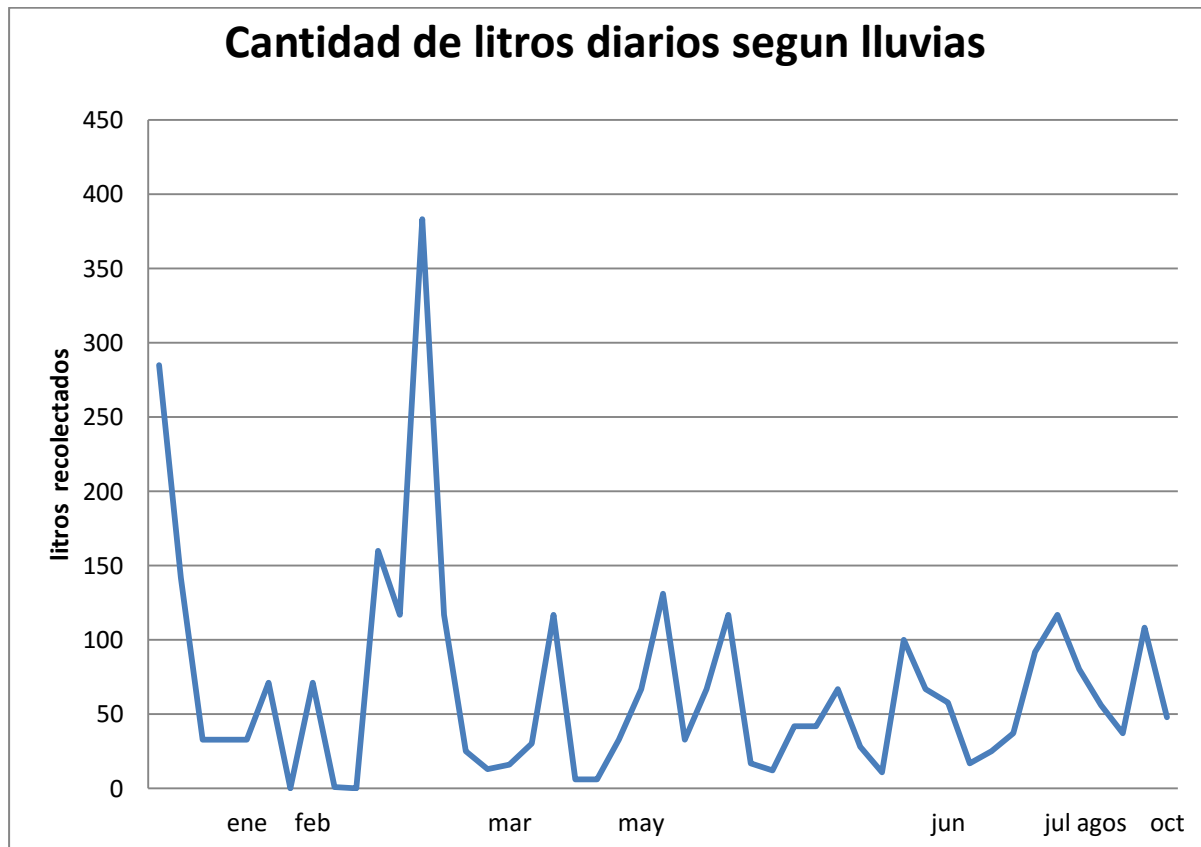
Las lluvias más fuertes llegaron a principios de enero y mediados de marzo con una sola lluvia torrencial, durante las cuales se puede evidenciar un buen funcionamiento del SIRALL, durante las lluvias torrenciales y muy fuertes los techos quedan limpios al igual que las canaletas, esto beneficia la calidad de agua de las próximas captaciones sin embargo las lluvias moderadas son la más predominantes en esta zona de la ciudad, lo que provoca estancamiento y suciedad en techos y canales perjudicando el mantenimiento y la calidad del agua. (Ver imagen 31)

Cuando las lluvias son más constantes, por ejemplo los meses de marzo y junio (ver anexo 5) la calidad del agua comienza a mejorar organolépticamente esto principalmente porque la cantidad de material particulado y suciedad disminuye lluvia a lluvia. Por otro lado los techos no sufrieron daños durante el funcionamiento del SIRALL pesar que al sistema llegaron piedras de gran tamaño.

En entrevista con los habitantes de la casa se le pregunto si el SIRALL aliviaba en algo el sistema de desagüe de la vivienda en épocas de lluvias torrenciales a lo que respondieron que el alivio es significativo dado que se habían inundado anteriormente y en muchas ocasiones por las fuertes lluvias sin embargo durante el

funcionamiento del sistema nunca tuvo problemas el sistema de desagüe y si se inundara da más tiempo de reacción para las personas que habitan allí.

Gráfica 6 Cantidad de litros recolectados durante los 8 meses de muestro



Fuente. Autor 2016

Las lluvias nunca sobrepasaron los 383 litros, de los cuales en mes de enero hubo un lluvias de 285 litros y en marzo una de 383 esas fueron las mayores cantidades de lluvias que cayó durante los 8 meses, las lluvias moderadas predominaron en casi todo el periodo de estudio y por efectos de fenómeno de niño no se conocieron verdaderamente los porcentajes de lluvias que caen. Durante los 8 meses de lluvias se presentaron 47 días de lluvias siendo Marzo con 832 litros y junio con 792 litros los meses con más lluvias. Contabilizando el total de los litros recolectados durante el periodo de estudio arroja un total de 2992 litros en un área de 16.8 metros cuadrados

Fase VIII: Folleto ilustrativo para la implementación de un sistemas de recolección de agua lluvia.

El folleto ilustrativo busca resaltar de manera muy resumida lo más predominante a la hora de construir un sistema de recolección de agua lluvia y que una persona del común pueda construirlo de maneras más eficiente con las indicaciones que posea la guía. La guía la podemos encontrar en el siguiente enlace:

http://issuu.com/jhonbaquero5/docs/guia_para_la_implementacion_del_si

CONCLUSIONES

- Se construyó el SIRALL adecuándolo para el área del patio de la vivienda objeto de estudio, con el cual se logró recolectar 2992 litros de agua lluvia durante un periodo de ocho (8) meses, lo que llevo a una disminución del uso del agua potable, aliviando los costos de las facturas en un porcentaje muy pequeño, dado que el metro cubico de agua para estrato dos (2) es de \$ 2163. Sin embargo esto se debió principalmente a él fenómeno del niño que trajo un largo verano, lo que nos indica que el volumen recolectado en los 8 meses para este periodo es el minino volumen a recolectar.
- Si identificaron tres variables muy importantes a la hora de implementar un sistemas de recolección de agua lluvia, que son, régimen de lluvias, aérea de captación y el consumo percapita del predio, pues no es lo mismo tener un área de captación en Tunjuelito, que en la localidad de San Cristóbal, pues los porcentajes de lluvias cambian considerablemente, así mismo no es lo mismo trabajar en un predio donde hay 2 personas sin labores industriales, a trabajar con 50 personas con labores industriales este hecho hace que las tres variables deban ser grandes para que el sistema sea sostenible ambiental y económicamente.
- Se logró realizar la una captación de $2.9 m^3$ en un periodo de 8 meses en el cual el fenómeno del niño predomino, afectando la zona de Tunjuelito en la ciudad de Bogotá, lo que sugiere que este volumen es el mínimo, para un área de $16.8 m^2$ para este tipo de sistemas en la zona en cuestión.
- En épocas de invierno el SIRALL se mantuvo siempre lleno, sin embargo el régimen de consumo de agua fue fuerte y la capacidad de almacenamiento en realidad mejoro, generando un mayor aprovechamiento del volumen recolectado a diario.
- El sistemas de recolección de agua lluvia funciono adecuadamente durante el transcurso del monitoreo y se pudo evidenciar que el agua posee una buena calidad en color y olor en el tercer tanque, pero no es apta para el consumo humano, a pesar de que los análisis realizados para coliformes fecales fueran negativos.
- Se deduce que a mayor tiempo de retención del agua en los tanques de almacenamiento menor será el oxígeno disuelto, esto se debe principalmente

a que los tanques permanecen cerrados y no puede ganar oxígeno. La única forma en que lo el agua gane oxígeno es la llegada de nuevas lluvias.

- Los análisis realizados en el laboratorio de la universidad dejan como resultado que el agua posee óptimas condiciones fisicoquímicas y biológicas. es óptima para labores domésticas de limpieza y jardinería, sin embargo, para el consumo humano es recomendable realizar más pruebas de laboratorio.

- Se concluye que los cambios significativos en los parámetros analizados son provocados por dos factores, que son la contaminación atmosférica producto de la transformación de contaminantes primarios en la atmósfera, y el tiempo de retención en los tanques de almacenamiento, ya que se presenta una pérdida de oxígeno disuelto, acumulación de sólidos y riesgo de contaminación.

i

RECOMENDACIONES

- Para la construcción de los SIRALL en la localidad Tunjuelito (Bogotá) se debe tener en cuenta la cantidad de material particulado que llega a las estructuras, especialmente en los inicios del invierno, ya que estos afectan su eficiencia.
- Se deben tener en cuenta que los SIRALL ubicados en zonas urbanas requieren mayores y mejores mantenimientos debido a que constantemente les está llegando suciedad lo que puede hacer colapsar el sistema.
- El primer tanque de almacenamiento debe ser de 160 litros para un área de $16 m^2$, esto para contrarrestar los tiempos de mantenimiento y mejorar los procesos de manipulación del sistema.
- La mayoría de personas encuestadas sentía que el SIRALL era necesario para su predio sin embargo la disponibilidad de tiempo y la infraestructura del mismo eran los principales impedimentos para poder implementar mientras tanto las curtiembres encuestadas el 100% cuentan con SIRALL sin embargo las casa aledañas no poseen este tipo de sistemas.
- Sería muy conveniente, implementar los sistemas de recolección de aguas lluvias de manera masiva especialmente en las zonas que están cerca a los cerros orientales de Bogotá dado que estos lugares poseen más porcentaje de pluviosidad que las zonas de la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

- Aaron Bernstein. *2013 salud humana y cambio climático*. Harvard University
- Anaya, Manuel (1998). *Sistemas de captación de aguas lluvia para el uso doméstico en América Latina y el Caribe*. Editorial, ciudad de México.
- Daniel. C. (2007) *Análisis químico cuantitativo*. Tercera edición. México
- Earl W. (1998). *Calculo con geometría analítica*. Editorial Iberoamericana. Estados unidos
- Javier. R. (1999) *Problemas ambientales análisis y valoración*. México.
- Lara Borrero, Jaime Andrés, Torres Abelló, Andrés Eduardo, Campos Pinilla, María Claudia, Duarte Castro, Leonardo, Echeverri Robado, Jairo Iván, Villegas González, Paula Andrea. *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 [en línea] 2007, 11 (julio-diciembre): [Fecha de consulta: 23 de octubre de 2014] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47711203>> ISSN 0123-2126*
- M. Vivanco. (2005) *Muestreo estadístico Diseño y Aplicaciones*. Editorial universitaria S.A. Santiago De Chile.
- Natgeo.tv.com *Cómo llego el agua a la tierra*. Consultado el 29 de agosto de 2014
- Pavón, José Daniel, Torres, Germán. *Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX*, Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía [en línea] 2007, (Sin mes) : [Fecha de consulta: 18 de octubre de 2014]
- Prieto, Carlos (2004). *El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Bogotá Colombia. Editorial Eco editores
- Rojas Valencia, María Neftalí; Gallardo-Bolaños, José Roberto; Martínez-Coto, Alberto. (2012). *Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia*. Tipo Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 16-23.
- Vargas, A., Santos, A., Cárdenas, E. & Obregón, N. (2011). *Análisis de la distribución e interpolación espacial de las lluvias en Bogotá, Colombia*. Dina, 78(167) 151-159. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4962235801>.

ANEXOS

Anexo 1 Formato de encuestas

ENCUESTA GENERAL							
# Encuesta:			Fecha:			Hora:	
Barrio :		Nombre de la empresa o vivienda:					
Cargo:							
¿Tiene zonas verdes?	SI	NO	Cuáles son las medidas en metros:		Alto:	Ancho:	Largo:
¿Cómo es el techo?							
¿Cómo es el sistema de desagüe?							
¿Cuánto paga a la EAAB bimestralmente?					\$		
Valor del m3	\$		Cantidad m3				
¿El consumo de agua es constante?	SI	NO	En que meses es mayor:				
¿Ahorra agua?	SI	NO	De qué manera:				
Sabe algo del reuso de aguas lluvias	SI	NO	Qué sabe:				
Estaría dispuesto a invertir en el reuso	SI	NO	¿Cuánto?	≤ \$500.000	± \$1.000.000	± \$2.000.000	≥ \$ 3.000.000
Estaría dispuesto a monitorear	SI	NO	¿Cada cuánto?	Diariamente	Semanalmente	Mensualmente	
ENCUESTA PARA LAS INDUSTRIAS							
¿A qué se dedica la industria?							
¿Cuáles son los horarios de trabajo?							
¿Para la elaboración de su producto requiere agua en el proceso?				SI	NO	Qué cantidad:	
¿El agua tiene algún requerimiento especial?				SI	NO	Cual:	
Firma del encuestado:							
OBSERVACIONES							

Fuente. Autor 2015

Anexo 2 Costo de materiales del sistema de recolección de aguas lluvias

Material	Costos pesos
14 Tejas plásticas Coeficiente de rugosidad 0.9	\$150.000
Soportes de maderas	\$ 40.000
10 metros de Alambre	\$8.000
Una canaleta de 7 metros	\$120.000
1 tanque capacidad 200 litros	\$40.000
1 tanque de capacidad 164litros	\$50.000
1 tanque de capacidad 60 litros	\$35.000
Botellas plásticas	\$ 0
60 kilogramos de grava	\$8.000
Cinta	\$2.000

Material	Costos pesos
4 metros de tubería PVC 3 pulgadas	\$12.000
Malla de aluminio	\$8.000
Malla plástica angeo	\$ 4.000
Colador	\$ 2.000
Soldadura de PVC	\$ 6.500
Sellador de PVC	\$4.000
Envase para pluviómetro	\$6.000
Recipiente para filtro	\$6.000
Probeta de 250 ml	\$ 7.000
TOTAL	\$467.000

Fuente autor 2015

Anexo 3 Monitoreo Oficial de Precipitación en Bogotá Mensual IDEAM

Monitoreo Oficial de Precipitación en Bogotá Mensual												
	día	Mm	Día	mm	Día	mm	Día	mm	día	mm	Día	Mm
Octubre 2014	15	03	16	X	17	0	18	20.1	19	0.3	20	00
	21	07	22	12,5	23	0	24	0	25	9.2	26	X
	27	0	28	0	29	0.3	30	0	31	1.2	X	X
Noviembre 2014	01	08	02	0.3	03	0	04	X	05	X	06	X
	07	02	08	0.4	09	1	10	36.8	11	0	12	0
	13	0	14	0.6	15	3.9	16	1.3	17	0	18	11.9
	19	5.8	20	0.7	21	0	22	0	23	0	24	0
	25	0	26	0.3	27	0	28	0	29	0	30	0
Enero 2015	1	0	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0
	7	0	8	0	9	0	10	0	11	0	12	0
	13	0	14	0	15	0	16	3,8	17	9,3	18	4,1
	19	0	20	0	21	0,4	22	1.4	23	4,7	24	0.0
	25	0	26	0	27	0	28	0	29	0	30	2.6
	31	1,2										
Febrero 2015	1	0.3	2	0.1	3	0	4	0	5	0	6	2.5
	7	8.5	8	0	9	0	10	0.3	11	0	12	0
	13	0	14	0	15	0	16	0	17	0,3	18	0

Monitoreo Oficial de Precipitación en Bogotá Mensual												
	día	Mm	Día	mm	Día	mm	Día	mm	día	mm	Día	Mm
	19	0	20	0	21	0	22	0	23	0	24	0.2
	25	0	26	0	27	0	28	0				
Marzo 2015	1	3.2	2	0	3	0.3	4	0	5	0	6	0
	7	0	8	0	9	0	10	0	11	0	12	2.9
	13	0	14	4.4	15	17.6	16	9.1	17	21.1	18	1.0
	19	7.8	20	5.9	21	0	22	0.2	23	0	24	0
	25	9.7	26	4.3	27	0	28	13.5	29	0	30	29.1
	31	0										
Abril 2015	1	0	2	1.2	3	6.0	4	5.5	5	0	6	0
	7	0	8	9	9	0	10	0	11	0.1	12	0.
	13	3.0	14	15	15	1.0	16	15	17	15	18	46.6
	19	2.9	20	5,9	21	0.1	22	0	23	0	24	0
	25	0.6	26	0.7	27	0	28	0	29	0	30	0
Mayo 2015	1	0	2	0	3	2.2	4	1.8	5	0	6	0
	7	0	8	0	9	0	10	0	11	0	12	0
	13	0.5	14	5,6	15	0	16	2.1	17	0	18	0
	19	0.1	20	0	21	0.1	22	0	23	0	24	0.2
	25	0.4	26	0	27	0.1	28	0	29	0	30	0

Monitoreo Oficial de Precipitación en Bogotá Mensual												
	día	Mm	Día	mm	Día	mm	Día	mm	día	mm	Día	Mm
Septiembre 2015	1	0	2	0.5	3	0	4	0	5	0	6	1.3
	7	0.2	8	0.2	9	X	10	x	11	x	12	X
	13	2,9	14	0	15	0	16	0	17	0	18	0.6
	19	5.6	20	5.6	21	0	22	0	23	0	24	0
	25	0	26	0	27	0	28	0	29	0	30	0
Octubre 2015	1	0	2	2.6	3	0.1	4	0	5	0	6	0
	7	0	8	0	9	0	10	0	11	0	12	0
	13	4.0	14	6	15	0	16	2.7	17	0.1	18	0
	19	0	20	0	21	o	22	0.3	23	0	24	2.4
	25	0	26	0	27	0	28	0	29	0	30	
	31	10.3										
Noviembre 2014	1	3.3	2	0	3	0.4	4	4.4	5	4.5	6	4.4
	7	20.3	8	0	9	10	0	11	0	12	0	13
	14	0	15	0	16	0	17	0	18	0	19	0
	20	00	21	0	22	0	23	0	24	0	25	2.2
Diciembre 2015	26	0	27	0	28	0	29	0	30	0		

Fuente. IDEAM

Anexo 4 Resultados del monitoreo del SIRALL implementado

Monitoreo de Lluvias	
Intensidad	Acumulación en 1 hora
Débil	Entre 0 y 0.2 mm
Moderado	Entre 2.1 y 15 mm
Fuerte	Entre 15.1 y 30 mm
Muy fuerte	Entre 30.1 y 60 mm
Torrencial	Más de 60

Fuente. Autor, 2015

Anexo 5 Indicación de agua lluvia recolectada en zonas de captación


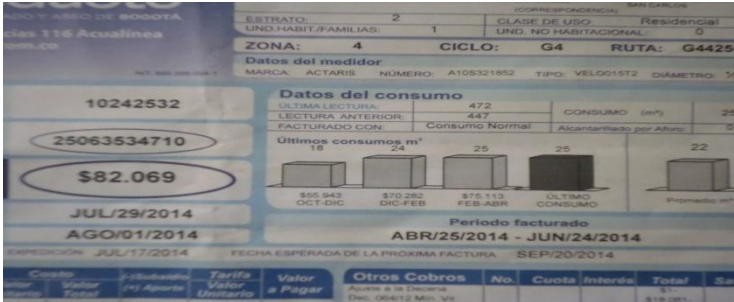
Días de lluvia	Tiempo de lluvia en minutos	Día 2015	Mm de lluvia litros / área	Medida en la probeta en cm^3 cúbicos	Intensidad de la lluvia	Litros recolectados indicación del pluviómetro l/m^2	Litros en tanques de almacenamiento x área $16.8m^2$	Sólidos sedimentables	
1	90	16 /Enero	17	342	Moderado	17	285		
2	120	17 Enero	8.5	171	Moderado	8.5	142.8		
3	130	23 / Enero	2	42	Moderado	2	33.6		
4	320	26/Enero	2	42	Moderado	2	33.6		
5	225	27/ enero	2	42	Moderado	2	33.6		
		TOTAL ENERO	250 litros						
1	280	6/Febrero	0.4	85	Fuerte	4.2	71.4		
2		7 Febrero	0.18	x	Débil	0	0		
3	355	8/febrero	0.4	85	Fuerte	4.2	71.4		
		TOTAL FEBRERO	141 litros						
1	70	1 Marzo	8.5	1	Débil	0.04	0.5		
2	-	12/Marzo	-	-	Débil	X	0		
3	120	17 /Marzo	9.5	191	Moderado	9.5	160		
4	410	19/Marzo	7	140	Moderado	7	117		
5	60	20/ Marzo	23	460	Fuerte	22.8	383		
6	35	22/ marzo	7	150	moderado	7	117		
7	120	26 Marzo	1.5	31	moderado	1.5	25.2		
8	40	29/Marzo	0.8	18	moderado	0,8	13.44		
9	20	30/Marzo	1	20	Moderado	1	16,8		
		TOTAL MARZO	832-94litros						
1	300	3 de Abril	1.8	38	Moderado	1.8	30		
2	90	15/Abril	6.9	140	Moderado	7	117.6		
		TOTAL ABRIL	147.6 litros						


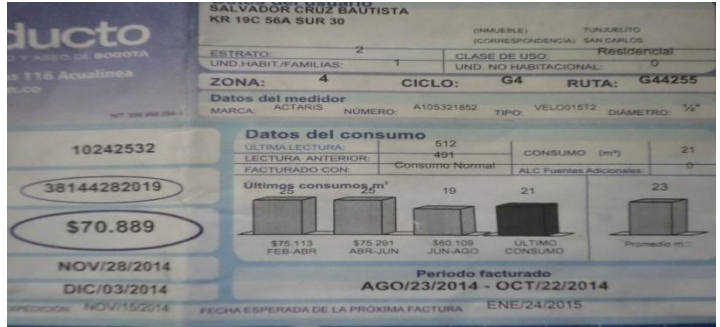
Días de lluvia	Tiempo de lluvia en minutos	Día 2015	Mm de lluvia litros / área	Medida en la probeta en cm^3 cúbicos	Intensidad de la lluvia	Litros recolectados indicación del pluviómetro l/m^2	Litros en tanques de almacenamiento x área $16.8m^2$	Sólidos sedimentables	
1	30	15/Mayo	0.5	10	moderado	0.4	6		
2	20	16/Mayo	0.5	10	moderado	0.4	6		
3	30	17/Mayo	2	50	Moderado	2	33		
4	135	25 /Mayo	4	75	Moderado	3.7	62		
		TOTAL MAYO	112 litros						
1	300	1 de junio	8.4	170	Débil	8	131		
2	80	7 de junio	20	40	Moderado	20	33.6		
3	58	11/ Junio	45	90	Muy Fuerte	4	67.2		
4	220	12/Junio	7	140	Moderado	7	117.6		
5	120	13/Junio	10	20	Moderado	1	16.8		
6	75	14/Junio	0.7	15	Moderado	0.7	11.76		
7	100	18/ Junio	2.5	50	Moderado	2,5	42		
8	50	19/Junio	2.5	50	moderado	2,5	42		
9	360	20/Junio	45	90	Moderado	4.5	67,2		
10	180	21/Junio	17	35	Moderado	1.7	28		
11	75	23/junio	7.4	15	Moderado	0.7	11		
12	600	25/Junio	6	120	Moderado	6	100		
13	30	26/Junio	4	80	Moderado	4	67		
14	450	27/Junio	3.4	70	Moderado	3.5	58		
		TOTAL JUNIO	796.16litros						
1	120	16 de Julio	1	20	Moderado	1	16.8		
2	330	19 de Julio	1.5	30	Moderado	1.5	25		
3	140	20 de Julio	2	40	moderado	2	33.6		
4	330	21 de julio	55	110	moderado	5.5	92		
5	270	22 de julio	7	140	Moderado	7	117		
		Total Julio	283.8 litros						

Días de lluvia	Tiempo de lluvia en minutos	Día 2015	Mm de lluvia litros / área	Medida en la probeta en cm^3 cúbicos	Intensidad de la lluvia	Litros recolectados indicación del pluviómetro l/m^2	Litros en tanques de almacenamiento x área $16.8m^2$	Sólidos sedimentables
1	35	22 de Agosto	4.7	96	Moderado	4.7	80	
2	130	28 de Agosto	3,3	67	Moderado	3.3	56	
		Total Agosto				136litros		
		Total Septiembre	0				x	
1	70	5 Octubre	2.0	45	Débil	2.0	37	
2	33	6 de octubre	6.4	12	Moderado	6.4	108	
3	120	31 de octubre	2.8	59	Moderado	2.8	48	
		Total octubre				193 litros		
Total 3168								

Fuente. Autor 2015

Anexo 6 Historial de gasto en metros cúbicos de agua en la vivienda usados para determinar el gasto antes y después del sistema.

Promedio en m ³	Meses	Recibos del agua
25	Mayo y junio 2014	 <p>Water bill details for May and June 2014:</p> <ul style="list-style-type: none"> Meter Number: 10242532 Consumption: 24 m³ Period: MAY/29/2014 - JUN/04/2014 Amount: \$81.522
22	Julio y Agosto 2014	 <p>Water bill details for July and August 2014:</p> <ul style="list-style-type: none"> Meter Number: 25063534710 Consumption: 25 m³ Period: JUL/29/2014 - AGO/01/2014 Amount: \$82.069

Promedio en m ³	Meses	Recibos del agua
19	Septiembre y Octubre 2014	 <p>Salvador Cruz Bautista KR 19C 56A SUR 30 (INMUEBLE) TUNJUEITO (CORRESPONDENCIA) SAN CARLOS ESTRATO: 2 CLASE DE USO: Residencial UND. HABIT./FAMILIAS: 1 UND. NO HABITACIONAL: 0 ZONA: 4 CICLO: G4 RUTA: G44255</p> <p>Datos del medidor MARCA: ACTARIS NÚMERO: A105321852 TIPO: VELO015T2 DIÁMETRO: 1/2"</p> <p>10242532</p> <p>43693067316</p> <p>\$66.069</p> <p>SEP/26/2014 OCT/01/2014</p> <p>FECHA ESPERADA DE LA PROXIMA FACTURA: NOV/22/2014</p> <p>Período facturado: JUN/25/2014 - AGO/22/2014</p> <p>Últimos consumos m³: DIC-FEB: 24, FEB-ABR: 25, ABR-JUN: 25, JUN-AGO: 19, ULTIMO CONSUMO: 25, Promedio m³: 25</p>
21	Noviembre y Diciembre 2014	 <p>Salvador Cruz Bautista KR 19C 56A SUR 30 (INMUEBLE) TUNJUEITO (CORRESPONDENCIA) SAN CARLOS ESTRATO: 2 CLASE DE USO: Residencial UND. HABIT./FAMILIAS: 1 UND. NO HABITACIONAL: 0 ZONA: 4 CICLO: G4 RUTA: G44255</p> <p>Datos del medidor MARCA: ACTARIS NÚMERO: A105321852 TIPO: VELO015T2 DIÁMETRO: 1/2"</p> <p>10242532</p> <p>38144282019</p> <p>\$70.889</p> <p>NOV/23/2014 DIC/03/2014</p> <p>FECHA ESPERADA DE LA PROXIMA FACTURA: ENE/24/2015</p> <p>Período facturado: AGO/23/2014 - OCT/22/2014</p> <p>Últimos consumos m³: FEB-ABR: 25, ABR-JUN: 20, JUN-AGO: 19, ULTIMO CONSUMO: 21, Promedio m³: 23</p>

Fuente. Autor 2015

Anexo 7 Indicación de centímetros cúbicos recolectados por el pluviómetro para el monitoreo de lluvias

<i>cm</i> ³	Litros recolectados	<i>cm</i> ³	Litros recolectados	<i>cm</i> ³	Litros recolectados	<i>cm</i> ³	Litros recolectados
1	0.04	28	1.39	55	2.73	82	4.07
2	0.09	29	1.44	56	2.78	83	4.12
3	0.14	30	1.4	57	2.83	84	4.17
4	0.19	31	1.54	58	2.88	85	4.22
5	0.24	32	1.59	59	2.93	86	4.27
6	0.29	33	1.64	60	2.98	87	4.32
7	0.34	34	1.69	61	3.03	88	4.37
8	0.39	35	1.74	62	3.08	89	4.42
9	0.44	36	1.79	63	3.13	90	4.47
10	0.5	37	1.84	64	3.18	91	4.52
11	0.54	38	1.88	65	3.23	92	4.57
12	0.59	39	1.93	66	3.28	93	4.62
13	0.64	40	1.98	67	3.33	94	4.67
14	0.69	41	2.03	68	3.38	95	4.72
15	0.74	42	2.08	69	3.43	96	4.77
16	0.79	43	2.13	70	3.48	97	4.82
17	0.84	44	2.18	71	3.53	98	4.87
18	0.89	45	2.23	72	3.58	99	4.92
19	0.94	46	2.28	73	3.63	100	4.97
20	0.99	47	2.33	74	3.68	101	5.02
21	1.04	48	2.38	75	3.73	102	5.07
22	1.09	49	2.43	76	3.77	103	5.12
23	1,14	50	2.48	77	3.82	104	5.17
24	1.19	51	2.53	78	3.87	105	5.22
25	1.24	52	2.58	79	3.92	106	5.27
26	1.29	53	2.63	80	3.97	107	5.32
27	1.34	54	2.68	81	44.02	108	5.37

Fuente: Autor, 2015

Anexo 8 Promedios de precipitación anual de los últimos 6 años en la ciudad de Bogotá

Promedios de precipitación anual de los últimos 6 años en la ciudad de Bogotá							
Mes	Años de precipitación del 2009 al 2014 mm						
Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	39	13.9	44.2	49.5	8.4	49.4	40
Febrero	48.3	21.2	58.2	35.8	96.8	94	32
Marzo	79.3	20.5	84.8	79.6	57	95.79	98
Abril	96.1	151.7	169.8	144.4	119	61.8	53.1 0
Mayo	77.3	163.5	122.1	35.5	100.9	77	20.5 0
Junio	59.6	75.8	47.9	29.9	24.2	44.4	66.1 0
Julio	34.2	91	38.6	45.1	37.1	30.1	34.1 0
Agosto	30.2	32.5	31.9	40	46.4	19.2	22.3 0
Septiembre	34.6	45.5	36.4	20.7	29.1	36.3	32
Octubre	104.5	132.4	111	103.5	72.7	48.5	45.2 0
Noviembre	87.6	179	144.9	52.1	129.2	117.50	72
Diciembre	62.7	122.8	96.9	54.1	71.7	131.90	
Total	423,8	1049.8	986.7	690.21	792.5	805.37	
Promedio anual	35.3	87.4	82.2	57.5	66.04	67.11	
Promedio de los 72 meses	65.94						

Fuente. Secretaria Distrital de Ambiente y Ministerio de ambiente tomado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=512>