

# Dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para abastecer la población de altos de cazucá (Soacha-Colombia) utilizando D.E.M.

Sizing of channels and reservoirs to conduct and store rainwater to supply the population of altos de cazucá (Soacha-Colombia) using D. E. M.

Forero Buitrago Gonzalo Alberto

## Resumen



El flujo de agua dentro de un paisaje, depende de las características propias del terreno. En el presente artículo, se analizan dichos patrones de flujo de agua lluvia, dentro del sector de Soacha denominado Altos de Cazucá. Dentro del análisis del presente artículo, se analiza el flujo de agua lluvia y las causas de los procesos de inundación de la Autopista Sur, vía ubicada en la parte baja de la cuenca. La Autopista sur, se ve afectada por una cantidad considerable de sedimentos que llegan a ella en época de lluvia, a través del caudal de agua aportado por la cuenca de altos de Cazucá. Este caudal, es un flujo de agua lluvia no controlado por ninguna infraestructura, generando inconvenientes en el tráfico de vehículos y peatones en época de lluvias, por procesos de inundación generados debido a que:

\* No existe un drenaje adecuado debido al taponamiento de la infraestructura de drenaje de agua lluvia existente con los sedimentos arrastrados por el flujo de agua.

## Abstract



The rain water flow within a landscape depends on the characteristics of the terrain. This article analyzes these rainwater flow patterns within the Soacha sector called Altos de Cazucá. Within the analysis of this article, the flow of rainwater and the causes of the flooding processes of Autopista Sur Highway, located in the lower part of the basin, are analyzed. The Autopista Sur Highway is affected by a considerable amount of sediments that reach it during the rainy season, through the flow of water provided by the Cazucá highlands basin. This flow is a flow of rainwater not controlled by any infrastructure, generating inconveniences in the traffic of vehicles and pedestrians in rainy season, by flooding processes generated because of:

\*Adequate drainage does not exist due to clogging of the existing rainwater drainage infrastructure with sediments washed away by the water flow.

Recibido / Received: Mayo 11 del 2017 Aprobado / Approved: Junio 11 del 2017

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica Terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Servicio Nacional de Aprendizaje, CTCM SENA, Universidad El Bosque

Autor para comunicaciones / Author communications: Gonzalo Alberto Forero Buitrago, greenflowconsulting@aol.com

El autor declara que no tiene conflicto de interés.

\* Los colectores de agua existentes, no tienen la capacidad suficiente para evacuar el caudal aportado por la cuenca alta de Altos de Cazucá.

Estas condiciones no controladas, generan procesos de inundación, que ocasionan inconvenientes de movilidad para los carros y peatones.

En el presente documento, se analiza, se modela el flujo de agua y se genera una alternativa para eliminar estos inconvenientes, además de hacer del problema, una oportunidad para el aprovechamiento de agua lluvia, mediante diferentes estructuras hidráulicas que permiten una conducción y almacenamiento por medio de la energía gravitacional, a estructuras de almacenamiento con el fin de proveer del recurso a la población de Altos de Cazucá, sin acceso al agua, siempre y cuando se realice en estudios posteriores, proyectos para la correcta separación del aguas residuales domesticas de la misma población que no cuenta con un sistema de evacuación de agua residual y se le haga un tratamiento a la medida, al agua lluvia recolectada para asegurar su potabilidad y su posterior cálculo para suministro.

**Palabras clave:** Diseño hidrológico de suelo, drenaje subterráneo, almacenamiento de agua lluvia, acueducto, suministro de agua lluvia.

\*The existing water collectors do not have sufficient capacity to evacuate the flow provided by the upper basin of Altos de Cazucá.

These uncontrolled conditions generate flooding processes, which cause mobility problems for cars and pedestrians.

In this document, the flow of water is analyzed, modelled and an alternative is generated to eliminate these inconveniences, in addition to making the problem an opportunity for the use of rainwater, through different hydraulic structures that allow a conduction and storage by gravitational energy, to storage structures in order to provide the resource to the population of Altos de Cazucá, without access to water, as long as it is carried out in later studies, projects for the correct separation of domestic wastewater from the same population that does not have a wastewater evacuation system and a tailor-made treatment of rainwater collected to ensure its potability and its subsequent calculation for supply.

**Key words:** Hydrological soil design, underground drainage systems, rainwater storage, aqueduct, rain water supply.

## Introducción

Los diferentes conflictos violentos del país, han generado procesos de desplazamiento social, donde una gran cantidad de habitantes migra hacia la capital y sus alrededores desde diferentes partes del país, en busca de oportunidades, generando asentamientos urbanos, sin una debida planificación en cuanto a los servicios públicos (agua y luz). Esta población de desplazados, como es lógico, se ubica donde pueda instalarse, y tal es la realidad de Altos de Cazucá. Es allí, donde se evidencia una oportunidad de control y aprovechamiento del recurso, mediante el estudio de la posibilidad de conducir, almacenar y tratar el agua lluvia, con la finalidad de abastecer esta creciente población de Altos de Cazucá, en los

servicios que sea posible, además de resolver a su vez, el problema de inundación de la autopista sur, ya que dicha población, un gran porcentaje de la misma no cuenta con suministro de agua ni con evacuación de aguas negras. García (2016).

## Objetivos

### General

Proponer un sistema eficiente y económico que permita almacenar y tratar el agua lluvia para el abastecimiento de la población de Altos de Cazucá, que carezca de acceso al recurso.

## Específicos

- Generar una propuesta para canalizar y almacenar el agua lluvia para ser aprovechada por la población sin acceso al recurso agua de Altos de Cazucá.
- Generar una propuesta de solución a los inconvenientes de inundación de la Autopista Sur, en la cuenca baja de Altos de Cazucá.

## Justificación

La población de altos de Cazucá, no tiene acceso al recurso agua, ni a una red de alcantarillado, debido a la inestabilidad del terreno y a problemas sociales que han impedido la construcción de una red de acueducto y alcantarillado (García, 2016).

La pronunciada pendiente de la cuenca, que llega al 13%, hace que el flujo de agua tenga grandes velocidades, lo cual genera erosión en el terreno, velocidades de entrada y salida de agua superficial y subterránea fuera de control, generando problemas en la estabilidad del terreno para construir una vivienda segura.

La red de alcantarillado existente en la cuenca baja de Altos de Cazucá, no soporta la cantidad de agua lluvia generada por la cuenca alta, generando inundación en la Autopista sur, ocasionando inconvenientes en la movilidad de vehículos y peatones.

En la cuenca Alta no existe una red de alcantarillado para las aguas residuales, por tanto, dichos residuos llegan junto con las aguas lluvias hacia la cuenca baja.

Por las razones anteriormente descritas, se hace necesario generar una propuesta para canalizar y almacenar el agua lluvia para ser aprovechada por la población sin acceso al recurso agua de Altos de Cazucá, siempre y cuando se realice otro proyecto que asegure la separación con las aguas residuales generadas en la cuenca de Altos de Cazucá.

## Metodología

Se utiliza el proceso de examinación creativa (Briand 2004) para establecer los escenarios (Ideal e insatisfactorio), de los cuales se puede visualizar la estrategia más adecuada para la resolución de un problema complejo

de ingeniería. De los escenarios antes mencionados, la estrategia se encuentra al establecer el camino más económico, rápido y eficiente para llegar de esa situación insatisfactoria problemática a una situación ideal esperada denominada estrategia.

**Escenario ideal:** Autopista Sur sin inundaciones, mediante un sistema económico y eficiente para el almacenamiento y abastecimiento de agua lluvia tratada para la población sin acceso al recurso agua de Altos de Cazucá. Con un sistema eficiente de evacuación de agua residual que no permita la contaminación del agua lluvia para abastecerse a sí misma.

**Escenario insatisfactorio:** Autopista Sur, con inundaciones frecuentes en época de lluvias, con inconvenientes en la movilidad de vehículos y peatones. Malos olores e insalubridad, debido a la salida de agua residual por el colapso de los colectores combinados existentes en la cuenca baja, además del arrastre de agua residual de la cuenca Alta en época de lluvia a la cuenca baja. Población sin acceso a agua limpia en Altos de Cazucá.

**Estrategia:** Separar el agua lluvia del agua residual mediante estructuras hidráulicas subterráneas de una manera eficiente teniendo en cuenta la topografía de la zona. Además de guiar el agua lluvia, por medio de estructuras hidráulicas que la conduzcan a una estructura para el almacenamiento en tanques para su posterior tratamiento y uso por parte de la población sin acceso al recurso, evitando así escenarios insalubres, problemas de movilidad por inundación, falta de abastecimiento de la población de la cuenca de Altos de Cazucá.

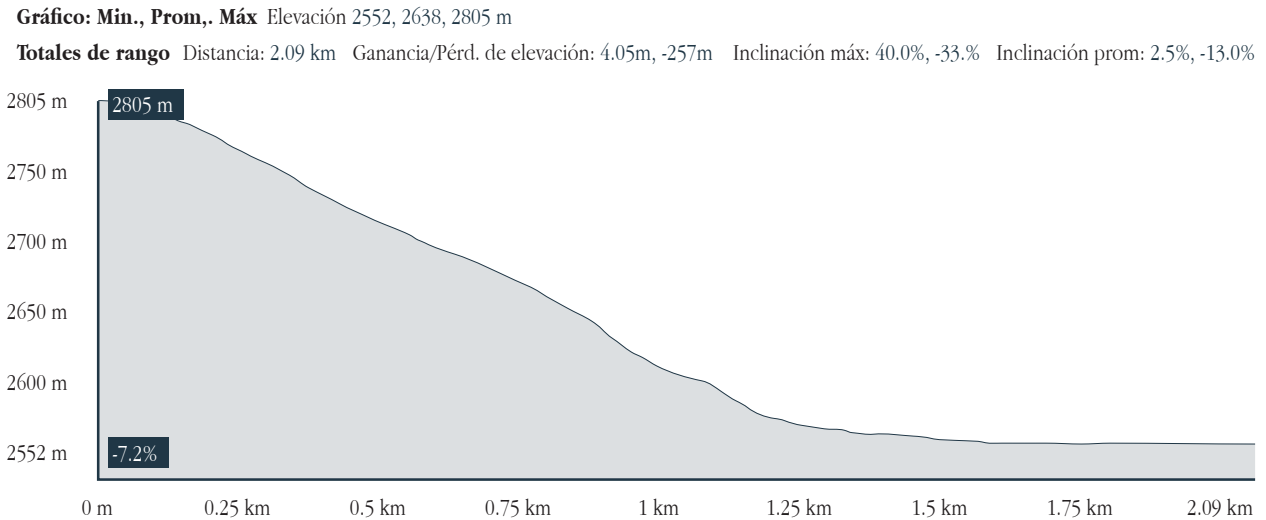
## Caracterización del área de estudio

La cuenca de Altos de Cazucá, va desde los 2811 m.s.n.m. hasta una altura de 2549 m.s.n.m., es decir, el agua lluvia, desciende una altura de 262 metros, en una distancia de 2.052 metros, dando así una pendiente promedio de 2,5 al 13%. El perfil mostrado en la figura 1 es el perfil del flujo principal del agua, donde se evidencia con claridad, que el agua de escorrentía superficial, puede llegar a grandes velocidades en los tramos correspondientes al 13% de pendiente, depositando por gravedad el agua en la cuenca baja con una velocidad considerable al tener una inclinación importante.

Existe un problema en toda la localidad, ya que se hace necesario realizar una conducción del agua residual de la población de la cuenca Alta, donde no existe un colector que cumpla esta función, ya que los colectores existentes no tienen la capacidad necesaria ni para el agua lluvia, ni para el agua residual.

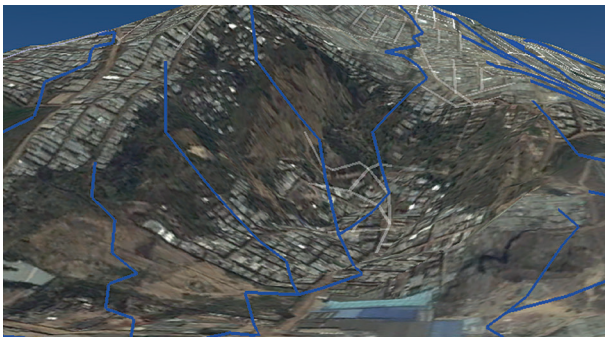
La solución, es entonces, recolectar el agua lluvia para su uso, haciendo esto de una manera separada y precisa, actividad que depende de una gestión adecuada de las aguas residuales domésticas, si se quiere llegar a aprovechar el agua lluvia, para el mismo abastecimiento de la población.

**Figura 1.** Perfil de la vertiente principal del flujo de agua de Altos de Cazucá.



Fuente: El autor Google Earth Pro 2017.

**Figura 2.** Flujos de agua lluvia de la cuenca de Altos de Cazucá, generados por SAGA GIS, visualizados desde Google Earth Pro 2017.



Fuente: El autor, procesado de modelo de elevación digital SRTMV3.

La cantidad de agua que llueve superficial, es superior a la capacidad del colector combinado existente en la Autopista Sur. El agua superficial de la autopista sur que llega

a este punto es de aproximadamente 5372,25 litros por segundo, mientras que la capacidad del colector combinado existente de 24 pulgadas es de 782,19 litros por segundo, es decir la capacidad de captación es 6 veces menor al caudal a evacuar existente, con el agravante que es una tubería combinada, lo cual quiere decir que seguramente ya tiene un caudal de agua residual por lo que su capacidad sería menor al valor anteriormente citado.

La vertiente principal, donde se encauzan las corrientes tributarias, pasan por una cantera descubierta de material de construcción, lo cual ocasiona grandes arrastres de sedimento, que además de seguir erosionando la montaña, obstruye los colectores y sumideros disminuyendo aún más, la insuficiente capacidad de colectores combinados existentes, ocasionando la inevitable inundación de la Autopista Sur.

Esto ocasiona constantes inundaciones en la cuenca baja de Cazucá, en el sector industrial, como se puede evidenciar en las Figuras 4 y 5.

**Figura 4.** Inundación de Autopista Sur, cuenca baja de Cazucá.



Fuente: Gonzalo Forero 2017

**Figura 5.** Inundación de la calzada de Transmilenio, cuenca baja de Cazucá.



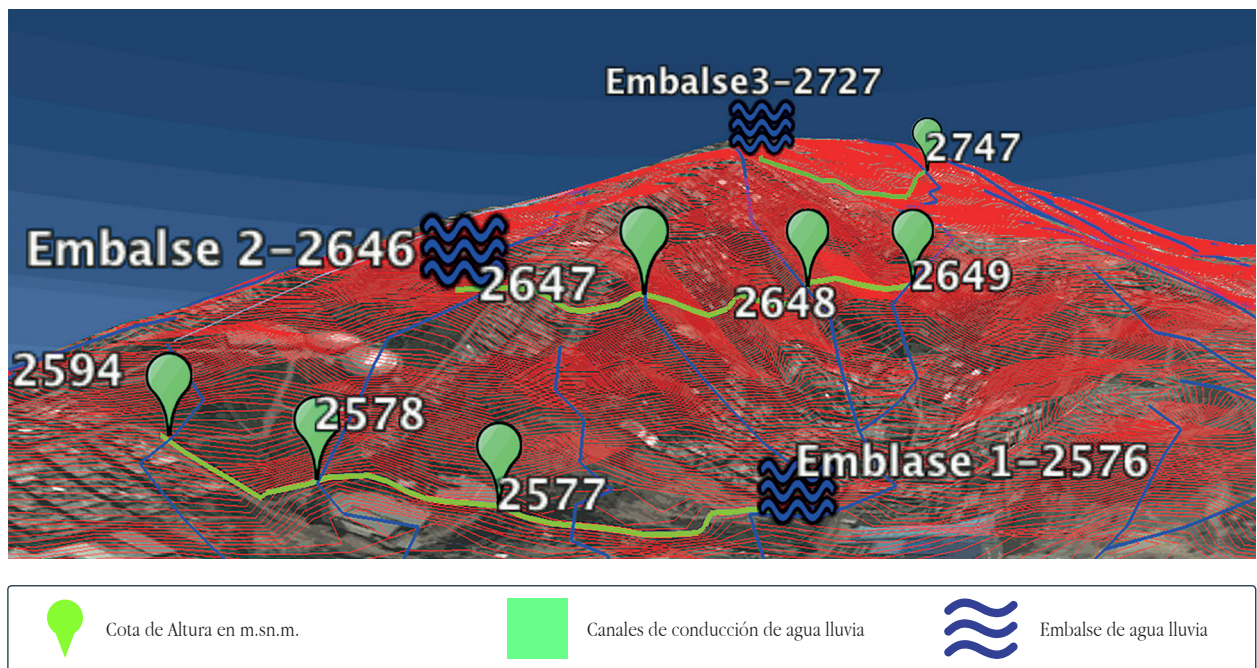
Fuente: Gonzalo Forero 2017

Por esta razón, se trabajó en una propuesta de conducción y almacenamiento de agua lluvia por gravedad, utilizando topografía satelital, la cual nos permite visualizar las curvas de nivel a 1 metro de diferencia de altura, curvas de nivel que se aprecian en la Figura 6 con un color rojo. Con dicha información se realizó el trazado de canales, para que fluyan por gravedad, a una pendiente adecuada para evitar la erosión, donde se escribieron las

cotas de altura sobre el nivel del mar, en los puntos señalados en verde, para dar una idea de la inclinación de la estructura de drenaje y conducción de agua lluvia.

Con la cobertura visualizada en Google Earth Pro, se utilizaron algunas calles, para la conducción de agua, mediante estructuras subterráneas para la conducción del agua lluvia, como se puede apreciar en la Figura 6.

**Figura 6.** Propuesta de conducción y almacenamiento de agua lluvia, para suministro de la población sin acceso al recurso en Altos de Cazucá.



Fuente: El autor.

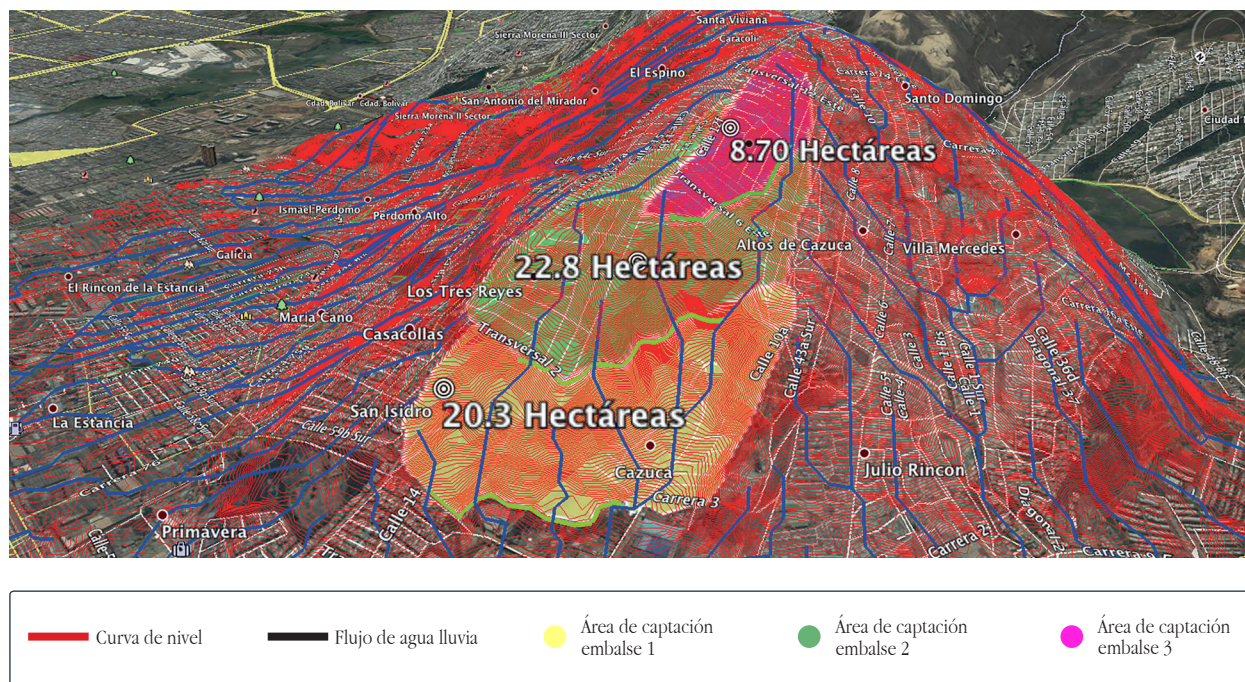
La cantidad de agua lluvia aportada por una cuenca, según el método racional, depende directamente de la intensidad de la lluvia de la región, el área de captación y el coeficiente de escorrentía del terreno, para lo cual, se hace necesario establecer las áreas de captación de los diferentes embalses y conductos para su correcto dimensionamiento a la medida. Forero (2016).

De esta manera, en el presente documento, se realiza el dimensionamiento de cada estructura de conducción-drenaje y almacenamiento, de acuerdo al área aportante que está a una cota más elevada de las mismas.

Además del área, el coeficiente de escorrentía, dependiendo de la pendiente del terreno y el tipo de cobertura, la norma sugiere aplicar un porcentaje de agua de la totalidad del flujo de agua lluvia, que va por la superficie del terreno. Para el presente documento, se utilizó la norma NS 085 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. SISTEC (2017).

Para la intensidad de lluvia, se utilizaron los datos proporcionados por el departamento de Ingeniería especializada de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá de la Figura 11, que corresponden a las curvas IDF de la zona de Altos de Cazucá.

Figura 7. Área de captación para el dimensionamiento de conductos y embalses



Fuente: Conductos de conducción de agua lluvia

## Resultados y discusión

**Dimensionamiento de Embalses:** Los embalses, tienen la necesidad de captar la totalidad de agua de precipitación, para suplir sus necesidades en el mes más crítico que es el de Enero, para efectos de cálculo puede usarse datos de precipitación promedio mensual y el método racional para dichos cálculos. Ver tabla 1. Los meses de Abril, Mayo, Octubre y Noviembre al captar de la totalidad del agua lluvia que escurre según la normativa del acueducto y la inclina-

ción del terreno, se podría captar un 40% de la totalidad, correspondiente al escurrimiento superficial sugerido según la pendiente del terreno de más del 7%, según la norma NS 085 del acueducto de Bogotá SISTEC (2017). En los meses anteriormente citados, se suple la necesidad de la población y sobra algo de agua para el siguiente mes, suponiendo un consumo de 100 litros por persona al día y una densidad poblacional de 3 habitantes por cada 400 metros cuadrados, según el análisis de cobertura realizado con Google Earth Pro.

Se realizó un estudio de cuánta agua puede captarse, según las áreas de captación de cada embalse, con la finalidad de lograr establecer una estrategia que pueda replicarse a otras áreas con condiciones similares, donde el fin último es que exista un embalse que supla cierta área de cobertura de casas que se verán beneficiadas, y que dichas casas beneficiadas, deberán velar por las buenas condiciones de limpieza del área de captación del embalse que surte a su casa, de esta manera, las personas tienen la necesidad de cuidar la infraestructura que le permitirá tener un agua en buenas condiciones para su propio suministro.

Vale la pena, realizar la aclaración de que el agua es un recurso siempre necesario, sobretodo en estas comunidades sin acceso al agua, desplazadas por los conflictos violentos del país, que sin alguna oportunidad de empleo, se les pueda brindar la infraestructura para su abastecimiento, conducir un pequeño porcentaje del

agua captada, en infraestructura económica de almacenamiento de agua, como la malla electro soldada para el almacenamiento económico de agua, como lo son las mallas electro soldadas de construcción, unidas en sus extremos con soldadura y con una geomembrana interior, cuya finalidad sería la de establecer proyectos piscícolas integrales, ya sea para una producción comercial, o para el autoabastecimiento de alimento, mediante los VAC systems, que sin la necesidad de la compra de insumos químicos, se pueden llegar a producir 20.000 Kilogramos de alimentos por cada hectárea al año. (Forero, 2015)

Son proyectos e iniciativas a ser pensadas a futuro, a las que deberá dárseles el manejo social requerido, para el establecimiento de dichas infraestructuras y tecnologías a fin de darles una oportunidad real a las comunidades más vulnerables del país, que no tengan acceso al agua, no tengan empleo ni alimento.

**Tabla 1.** Escorrentía aprovechable y consumo de agua por número de Habitantes según áreas de captación de embalses, según los promedios anuales de precipitación.

Embalse	Meses más lluviosos, Estación CAR el fute, promedio mensual de 1999 a 2014	Precipitación Litro/Hectárea Estación CAR El Fute, promedio mensual de 1999 a 2014	Área de captación en Hectáreas	Litros de escorrentía mensual, con un C según norma EAAB NS 085.	Consumo mensual, de 100 litros día y 3 Habitantes por casa por cada 400m2	Diferencia entre los litros aprovechables y los litros consumidos al mes por la totalidad de casas en el área de captación
1	Enero	234.000	20,3	1'900.080	4'563.000	-2'662.920
	Febrero	350.000		2'842.000	4'563.000	-1'721.000
	Marzo	546.000		4'433.520	4'563.000	-129.480
	Abril	795.000		6'455.400	4'563.000	+1'892.400
	Mayo	666.000		5'407.920	4'563.000	+844.920
	Junio	341.000		2'768.920	4'563.000	-1'794.080
	Julio	287.000		2'330.440	4'563.000	-2'232.560
	Agosto	274.000		2'224.880	4'563.000	-2'338.120
	Septiembre	388.000		3'150.560	4'563.000	-1'412.440
	Octubre	796.000		6'463.520	4'563.000	+1'900.520
	Noviembre	656.000		5'326.720	4'563.000	+763.720
	Diciembre	453.000		3'678.360	4'563.000	-884.640

Embalse	Meses más lluviosos, Estación CAR el fute, promedio mensual de 1999 a 2014	Precipitación Litro/Hectárea Estación CAR El Fute, promedio mensual de 1999 a 2014	Área de captación en Hectáreas	Litros de escorrentía mensual, con un C según norma EAAB NS 085.	Consumo mensual, de 100 litros día y 3 Habitantes por casa por cada 400m2	Diferencia entre los litros aprovechables y los litros consumidos al mes por la totalidad de casas en el área de captación
2	Enero	234.000	22,8	2'134.080	5'130.000	-2'995.920
	Febrero	350.000		3'192.000	5'130.000	-1'938.000
	Marzo	546.000		4'979.520	5'130.000	-150.480
	Abril	795.000		7'250.400	5'130.000	+2'120.400
	Mayo	666.000		6'073.920	5'130.000	+943.920
	Junio	341.000		3'109.920	5'130.000	-2'020.080
	Julio	287.000		2'617.440	5'130.000	-2'512.560
	Agosto	274.000		2'498.880	5'130.000	-2'631.120
	Septiembre	388.000		3'538.560	5'130.000	-1'591.440
	Octubre	796.000		7'259.520	5'130.000	+2'129.520
	Noviembre	656.000		5'982.720	5'130.000	+852.720
	Diciembre	453.000		4'131.360	5'130.000	-998.640
3	Enero	234.000	8,70	814.320	1'957.500	-1'143.180
	Febrero	350.000		1'218.000	1'957.500	-739.500
	Marzo	546.000		1'900.080	1'957.500	-57.420
	Abril	795.000		2'766.600	1'957.500	+809.100
	Mayo	666.000		2'317.679	1'957.500	+360.179
	Junio	341.000		1'186.680	1'957.500	-770.820
	Julio	287.000		998.760	1'957.500	-958.740
	Agosto	274.000		953.520	1'957.500	-1'003.980
	Septiembre	388.000		1'350.240	1'957.500	-607.260
	Octubre	796.000		2'770.080	1'957.500	+812.580
	Noviembre	656.000		2'282.880	1'957.500	+325.380
	Diciembre	453.000		1'576.440	1'957.500	-381.060

Fuente: El Autor.

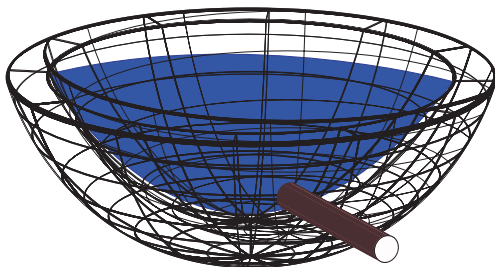
El análisis anterior, muestra que, mediante la recolección del agua superficial, en cada área de captación correspondiente a cada embalse, las personas pueden autoabastecerse de agua lluvia superficial, para suplir sus necesidades en 4 de los 12 meses del año. Para suplir los 8 meses restantes, bastaría con realizar un aprovechamiento y manejo del agua subterránea, es decir, que

la conducción, se realice mediante estructuras subterráneas, con la finalidad de aumentar la cantidad de agua captada y conducida realizaría una captación no solo de agua superficial, si no del nivel freático para ser aprovechada en los embalses, dando un margen mayor al 40% captado de la totalidad de agua lluvia que corresponde al flujo superficial. Este es un dato alentador, ya que si con



el aprovechamiento del 40% del total del agua lluvia en los meses lluviosos, se puede abastecer a una población densamente poblada, si se estableciera una estrategia de llegar a un 70% o 80% de aprovechamiento de la totalidad de agua lluvia, quedaría agua disponible incluso para los meses de la época de sequía. El dimensionamiento de embalses, se realiza entonces, de manera que tengan la capacidad de almacenar el 70% de la totalidad de agua lluvia del mes de máxima precipitación, dato que alcanza a duplicar la demanda de agua del área de captación.

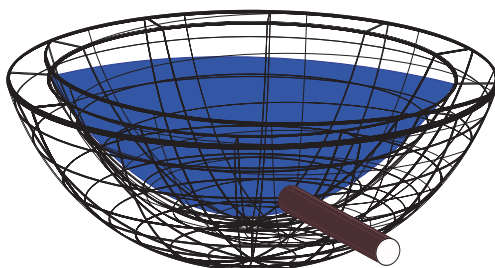
**Figura 8.** Embalse para almacenamiento de agua lluvia número 1, altos de cazucá



- 28 metros de diámetro
- 6 metros de profundidad central
- Capacidad aproximada de 12 millones de litros

Fuente: Gonzalo Forero.

**Figura 9.** Embalse para almacenamiento de agua lluvia número 2, altos de cazucá



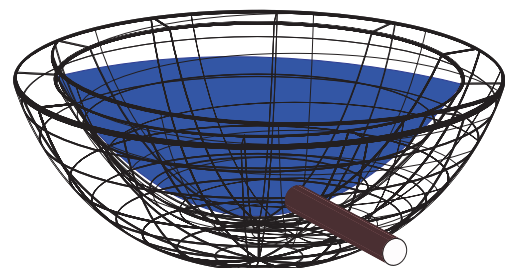
- 32 metros de diámetro
- 6 metros de profundidad central
- Capacidad aproximada de 15 millones de litros

Fuente: Gonzalo Forero.

Los embalses, tienen una forma similar a una elipse, debido a que los esfuerzos de empuje del agua se distribuyen mejor, así el agua no empuja las paredes hacia los lados. Esto no ocurre en uno cuadrado por el ángulo de sus paredes, donde el empuje se da hacia los lados de las paredes deteriorando rápidamente la estructura. En una estructura como la de las figuras 8, 9 y 10, el agua se desliza por la superficie, haciendo que la estructura tenga una resistencia muy superior, además de que este movimiento del agua permite el manejo de esfuerzos con el peso de la misma agua al anularse entre sí. Durante el proceso constructivo, se establecerá una salida mediante una tubería que permitirá el suministro mediante una válvula, para evitar el mal gasto del agua y evitar que un habitante se gaste el agua de otro. Puede establecerse un reparto por casa en la cantidad de 100 litros por día, de manera artesanal. Con el paso del tiempo, puede llegar a automatizarse con el uso de sistemas de bombeo y tubería de suministro que implicaría un costo adicional, que por el momento no es urgente.

Es indispensable realizar todo un estudio estructural para realizar dicha obra donde se requiere establecer un núcleo de contención del agua y un concreto especialmente diseñado para tal fin, de manera que se asegure la durabilidad de la obra en cuanto al movimiento geológico del terreno. Además de esto, estructuras de drenaje de emergencia, para la evacuación segura del agua en caso de una falla de las estructuras de almacenamiento.

**Figura 10.** Embalse para almacenamiento de agua lluvia número 3, altos de cazucá



- 18 metros de diámetro
- 6 metros de profundidad central
- Capacidad aproximada de 5 millones de litros

Fuente: Gonzalo Forero.

**Dimensionamiento de conductos:** Los canales de conducción de agua lluvia, a diferencia de los embalses, deben tener la capacidad de llevar un aguacero de un periodo de retorno adecuado para la obra, razón por la cual, para el dimensionamiento del mismo es necesario utilizar la tormenta de diseño o las curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) de las lluvias, la cual considera la cantidad de agua que cae en litros por cada segundo en una cantidad de área determinada en un solo evento o instante, es decir un aguacero, razón por la cual no pueden usarse los datos mensuales utilizados para los embalses. La capacidad de conducción de agua de un canal, depende de la geometría de su sección transversal, sus dimensiones, la pendiente del canal y los materiales de elaboración, de los que dependen las pérdidas por fricción.

El agua, siempre debe controlarse desde la parte más alta, debido a que su control es mejor por tener una velocidad y caudal más bajos. Es por esta razón que los canales se diseñaron de manera que mantengan una pendiente mínima cuando es posible, con la finalidad de obtener una conducción controlada, utilizando como guía topográfica las curvas de nivel generadas con el modelo de elevación digital que puede verse en la Figura 6. En esta Figura, puede visualizarse como los canales están trazados de acuerdo a las curvas de nivel dándole una ligera inclinación de 1 metro en longitudes de 100 metros o más, con la finalidad de tener un flujo lento y controlado en estas pendientes de terreno de más del 12%, intentando controlar el agua desde la parte más alta posible.

El agua se conduce entonces por medio de estructuras en piedra pegada con concreto permeable de 4500 PSI y concreto hidráulico impermeable en la parte donde se requiere interceptar y conducir el agua lluvia. Es importante el material ya que la piedra incentiva el enfriamiento, por cada piedra que sobrepasa el agua hace que se enfríe de 0,1 a 0,4 grados centígrados (Coats 2003). Al generar procesos de enfriamiento el agua fría tiende a depositar los sedimentos, razón por la cual se escogió este material. Dicha estructura, será fabricada con concreto permeable por el lado donde entra el agua, y con concreto impermeable por el lado que intercepta y conduce, de esta manera se recolecta el agua procedente del nivel freático que pueda estar fluyendo a estas profundidades, aumen-

tando así, la capacidad de captación de agua lluvia del canal, manejando el agua por procesos de succión, como se puede ver en la Figura 12.

Las estructuras de conducción, finalmente llegan a un tanque de almacenamiento, donde se realizaran ensayos de laboratorio para darle un tratamiento a la medida para que el agua lluvia llegue en óptimas condiciones para el suministro a la población.

Para realizar los respectivos cálculos de dimensionamiento de los canales, se tomaron como referencia los siguientes parámetros:

## Calculo del caudal de diseño según la norma NS 085 del acueducto de Bogotá

En esta norma, se detalla el proceso de cálculo del caudal de diseño mediante el método racional, cuyo resultado da el caudal de agua lluvia que escurre en el área de captación de la cuenca en litros/segundo, llamado caudal de diseño con el cual se realiza el dimensionamiento del canal a construir, a fin de que pueda conducir dicho caudal.

$$Q=C*I*A^*$$

**I**= Intensidad de la lluvia en litro/segundo\*Hectárea.

**A**= Área de drenaje en Hectáreas.

**C**= Coeficiente de escorrentía que depende del tipo de material NS 085 Acueducto de Bogotá.

**Q**= Caudal en litros/segundo

La intensidad de la lluvia se calcula mediante los coeficientes de las curvas IDF, son datos resultado de la triangulación y estadística de datos de aguaceros estimados de acuerdo a los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio de diseño para elaborar las curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia) de las tormentas, esto lo realiza el equipo de ingeniería especializada del acueducto de Bogotá.

Para el cálculo del caudal de diseño se debe seleccionar un periodo de retorno de acuerdo a la estructura y a la normatividad.

Con el fin de tener un mayor factor de seguridad en las estructuras y no sobre dimensionarlas, se tomó un periodo de retorno de 5 años para el diseño de los canales de conducción.

El valor al calcular con esta fórmula de intensidad, da en unidades de milímetro/Hora\*Hectárea, para lo cual debe multiplicarse por un factor de conversión de 2,77 para que quede en unidades litro/segundo\*Hectárea para poder usar la intensidad en la fórmula del método racional, método que pide el valor en estas unidades para dar el caudal final en unidades de litros por segundo.

**Tabla 2.** Coeficiente de escorrentía. Norma NS 085 Acueducto de Bogotá.

Coefficiente	Superficie
0,85	Cubierta
0,80	Asfalto
0,85	Concreto
0,75	Adoquín
0,60	Vías no pavimentadas- Suelo compacto
0,25	Pendiente < 2%
0,35	Pendiente entre 2% y 7%
0,40	Pendiente superior 7%

Fuente: EAAB Norma NS 085, 2017

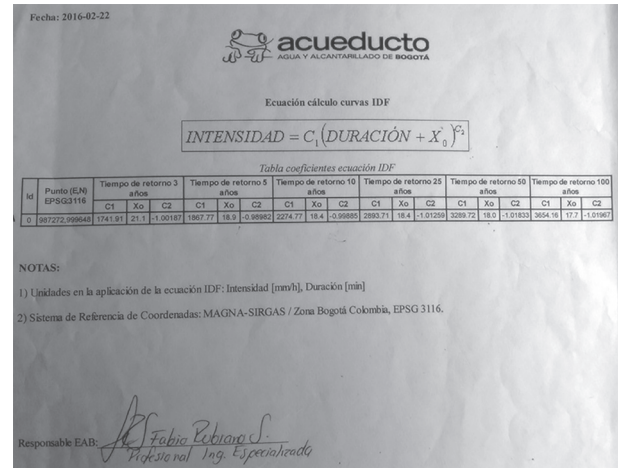
El coeficiente de escorrentía, al ser un suelo descubierto con una pendiente de más del 7% se tomó como 0,4 basados en la norma del acueducto de Bogotá NS 085.

## Curvas IDF

Se basó el presente estudio en las curvas IDF proporcionadas por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB) 2016, que se muestra en la Figura 11.

Al existir población viviendo en la zona, como factor de protección se calculó un caudal de diseño para una tormenta con un periodo de retorno de 5 años para realizar el cálculo de las estructuras hidráulicas de manera que soporten un aguacero de esta magnitud.

**Figura 11.** Curvas IDF Acueducto de Bogotá



## Cálculo del caudal aportado por el terreno al llover, según el Método racional, NS-085 E.A.A.B

El área de captación para el dimensionamiento de cada canal es diferente, por lo que hay que hacer un estudio de cada área de captación.

El coeficiente de escorrentía se escoge como 0,4 de acuerdo a los datos de pendiente y lo sugerido en la norma NS 085 del acueducto de Bogotá, el coeficiente de escorrentía es denominado como C en la fórmula del método racional. Como se tiene previsto que el canal ira profundo, y con fines de darle un factor de seguridad, se tomara no 0,4 sino 0,7 a fin de suponer una captación de agua lluvia del 70% por dicho canal, para proyectarlo a aprovechar no solo el agua superficial, sino también el agua subterránea.

La intensidad, se calcula con los coeficientes proporcionados por la empresa de acueducto de Bogotá, de la Figura 11.

Para un periodo de retorno de 5 años, la intensidad de lluvia I, será de:

$$I = 1867,77 * (10 + 18,9) \wedge (-0,98982) = 66,88 \text{ mm/hr} * 2,77 = 185,258 \text{ (litro)} / (\text{segundo} * \text{Hectarea})$$

## Calculo de un conducto

Cuando se tiene ya por el método racional, el caudal que aporta el terreno se procede al dimensionamiento de las estructuras de conducción de agua lluvia aportada por el terreno, donde se realizara la simulación de un conducto circular a tubo lleno.

Por la misma razón, de la contención de esfuerzos, el canal será en forma de elipse, que además al tener curvas podrá tener un flujo interno con una succión central que permitirá una mayor velocidad y enfriamiento del agua en el paso por el mismo, al tener piedra pegada en su interior. (Coats 2003).

## Formula de Manning para canales y tuberías con flujo por gravedad:

$$V = 1/n * R^{(2/3)} S^{(1/2)}$$

**R**= Radio hidráulico en metros, para canales con sección circular =  $D/4$ .

**n**= Coeficiente de rugosidad de Manning según el material. (piedra pegada 0,023).

**S**= Pendiente del canal en metro/metro.

**D**= Diámetro en metros

$$Q = V * A$$

**Tabla 3.** Caudal a evacuar según área de captación, con su respectivo canal de evacuación.

Canal del área	Caudal a canalizar, según el método racional en litros/segundo	Dimensionamiento del conducto con la expresión de Manning
1	$0,7 * (185,258 \text{ l/(s*Ha)}) * (20,3 \text{ Ha}) = 2635,51 \text{ litros/segundo}$	$V = 1/0,023 * (1/4)^{(2/3)} (0,044)^{(1/2)}$ $A = (\pi(1)^2)/4$ $Q = V * A$ $Q = 3,6193 \text{ m/s} * 0,7854 \text{ m}^2 * 1000 \text{ l/m}^3 = 2835,294 \text{ litros/segundo}$
2	$0,7 * (185,258 \text{ l/(s*Ha)}) * (22,8 \text{ Ha}) = 2956,71 \text{ litros/segundo}$	$V = 1/0,023 * (0,7/4)^{(2/3)} (0,32)^{(1/2)}$ $A = (\pi(0,7)^2)/4$ $Q = V * A$ $Q = 7,6949 \text{ m/s} * 0,3848 \text{ m}^2 * 1000 \text{ l/m}^3 = 2961,35 \text{ litros/segundo}$
3	$0,7 * (185,258 \text{ l/(s*Ha)}) * (8,7 \text{ Ha}) = 1128,22 \text{ litros/segundo}$	$V = 1/0,023 * (0,8/4)^{(2/3)} (0,05)^{(1/2)}$ $A = (\pi(0,8)^2)/4$ $Q = V * A$ $Q = 3,3248 \text{ m/s} * 0,5026 \text{ m}^2 * 1000 \text{ l/m}^3 = 1671,23 \text{ litros/segundo}$

Fuente: Gonzalo Forero.

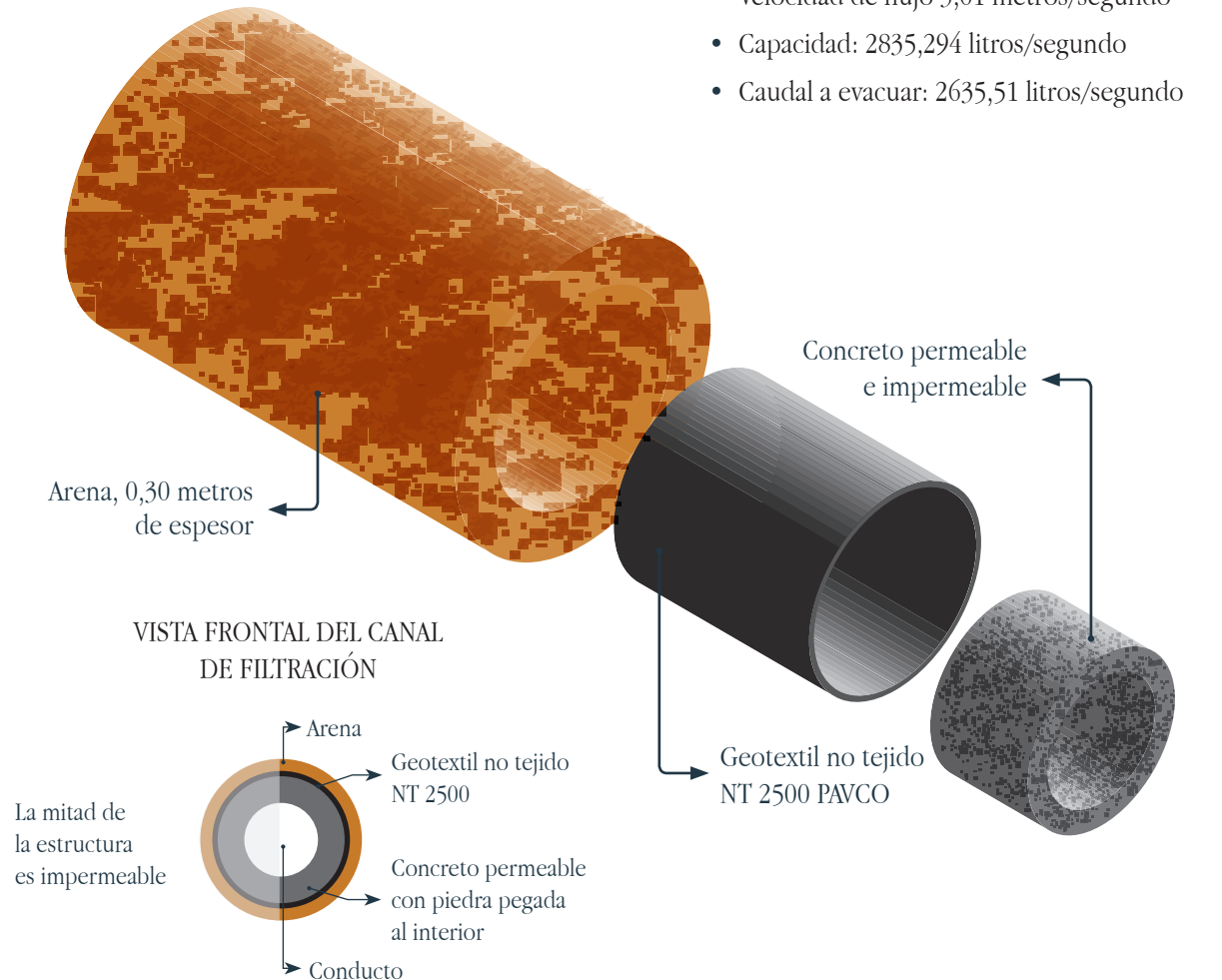
Los conductos, como se puede observar por definición en la formula, dependen de su geometría, pendiente, material, además del caudal que tienen que llevar, que a su vez depende del área de captación que tiene que evacuar, por esta razón, en la Tabla 3, se realizó

el dimensionamiento del canal dependiendo del área aportante de agua lluvia. En las siguientes Figuras, 12, 13 y 14 se muestran al detalle las estructuras hidráulicas de drenaje y conducción de agua lluvia a los diferentes embalses proyectados:

Figura 12. Detalle del canal para el área 1

VISTA ISOMÉTRICA DEL CONDUCTO DE AGUA LLUVIA

el objetivo del conducto es interceptar y conducir el agua superficial y subterránea a los reservorios



Fuente: Gonzalo Forero.

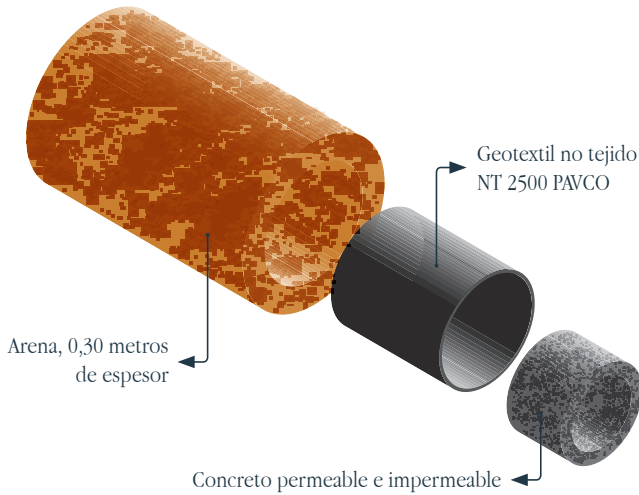
Los conductos, entonces se realizarán en un material de concreto permeable e impermeable, con la finalidad de aprovechar toda la estructura para el paso de agua superficial y subterránea, para lo cual se evitará el tapo-namiento de dicha porosidad mediante un geotextil que permite el paso de agua más no del sedimento, rodeando la estructura con el mismo en su superficie más interior. Después de este geotextil, vendrá una capa de 20 centímetros de arena gruesa, para seguir filtrando los finos antes de la entrada al geotextil y a la estructura. En la

parte posterior donde se quiere interceptar el agua se realizará en concreto impermeable, y lo demás en concreto permeable para permitir el paso del agua lluvia, todo en concreto hidráulico. Toda la estructura, vendrá con sus respectivos anclajes y estructura metálica como refuerzo. Se realizó de esta manera a fin de que este bajo tierra, para permitir una mayor capacidad de captación del nivel freático. En el caso de la estructura número 2, deberá contar con disipadores de energía o cámaras de caída debido a las grandes pendientes que allí se manejan.

**Figura 13.** Detalle del canal para el área 2

VISTA ISOMÉTRICA DEL CONDUCTO DE AGUA LLUVIA

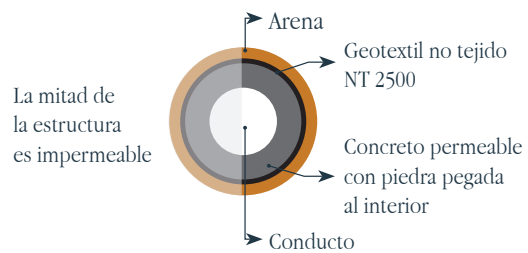
El objetivo del conducto es interceptar y conducir el agua superficial y subterránea a los reservorios



DETALLE DEL CONDUCTO PARA EL ÁREA 1

- 0,7 metros de diámetro
- 0,032 m/m de inclinación
- Velocidad de flujo 7,69 metros/segundo
- Capacidad: 2961,35 litros/segundo
- Caudal a evacuar: 2956,71 litros/segundo

VISTA FRONTAL DEL CANAL DE FILTRACIÓN

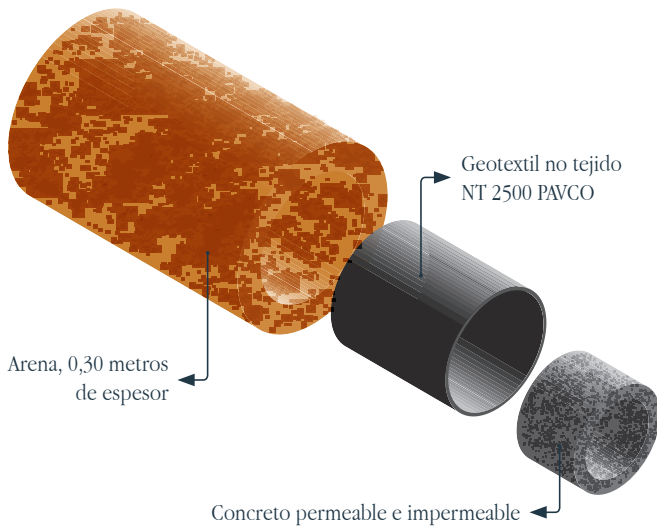


Fuente: Gonzalo Forero 2017

**Figura 14.** Detalle del canal para el área 3

VISTA ISOMÉTRICA DEL CONDUCTO DE AGUA LLUVIA

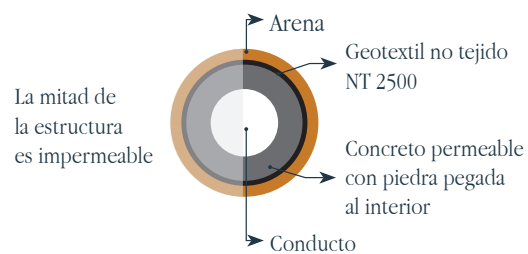
El objetivo del conducto es interceptar y conducir el agua superficial y subterránea a los reservorios



DETALLE DEL CONDUCTO PARA EL ÁREA 1

- 0,8 metros de diámetro
- 0,05 m/m de inclinación
- Velocidad de flujo 3,32 metros/segundo
- Capacidad: 1671,23 litros/segundo
- Caudal a evacuar: 1128,22 litros/segundo

VISTA FRONTAL DEL CANAL DE FILTRACIÓN



Fuente: Gonzalo Forero 2017

## Agradecimientos

Al subdirector del Centro de tecnologías para la construcción y la madera CTCM SENA, Francisco Gutierrez Escobar y al Coordinador Luis Orlando Cortes Vega por su apoyo en los temas de investigación.

## Conclusiones

Es de suma importancia la inclusión en temas de investigación el tema de diseño hidrológico de suelos, con el fin de hacer un control eficaz del agua no solo para controlar temas de inundación, si no verificar la posibilidad de aprovechamiento de agua lluvia para poblaciones sin acceso al recurso. Es necesario también, realizar ensayos para un tratamiento de agua a la medida con el fin de llegar a abastecer poblaciones con agua lluvia.

Esta investigación, se hace muy del tema actual ya que, en poblaciones como Yopal, sería una excelente opción llegar a establecer mediante estos sistemas, un acueducto a partir de agua lluvia donde la población se ve amenazada por la ubicación con respecto al río, de esta manera se evita la amenaza de inundación por el río, además de abastecer la población que no tiene acceso al recurso al evitar el incremento del caudal del río al interceptar el agua lluvia antes de que llegue al mismo.

Los análisis mediante modelos de elevación digital, en la hidráulica y la hidrología se hacen indispensables para tener una idea de los flujos y las estructuras a realizar para ser incluida el agua lluvia y el flujo de la misma dentro de un paisaje, para realizar una correcta planeación en la realización de los planes de ordenamiento territorial, por tanto se sugiere incentivar la investigación y aplicación de las obras de drenaje con el uso de modelos de elevación digital, donde mediante la corrección con una topografía de precisión en campo, se puede

llegar a corregir y usar para rápidamente dar dictámenes de obras de infraestructura, mediante una planeación sostenible de un territorio, acercándose realmente a un modelo de una ciudad sostenible.

## Referencias

- [1] <http://sistec.acueducto.com.co/sistec/consultas.nsf/SISTEC.NS.085> (2017)
- [2] Briand, A. (2004). Proceso de examinación creativa. Quebec, Canada: Université du Québec a Chicoutimi.
- [3] Coats, C. (2003). Living Energies. Austria.
- [4] García Lara, J. A. (2016). Diseño de una solución para la conducción de aguas residuales y aguas lluvias, con el fin de mitigar el riesgo en la erosión del terreno y saneamiento básico para los habitantes del barrio Cazuca en el municipio de Soacha Cundinamarca con la ayuda de la fundación Fuerza Verde. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia
- [5] Buitrago, G. A. F. (2016). Dimensionamiento de embalses para fincas en Colombia usando como herramienta los modelos de elevación digital. Revista de Tecnología, 15(1), 129-138.
- [6] Buitrago, G. A. F. (2016). La madera Colombiana, oportunidad de regeneración del flujo de los ríos mediante una producción sostenible y competitiva. Revista de Tecnología, 15(2), 103-114.
- [7] Buitrago, G. A. F. (2013). Integrated farming system for the foothill-regions of Colombia—Ariporo System (AS). Revista de Tecnología, 12(2), 24-34.

---

## El Autor



### **Gonzalo Alberto Forero Buitrago**

---

Ingeniero Ambiental de la Universidad El Bosque, con un Master en Gestión ambiental y de calidad para empresas. Experiencia en el diseño hidrológico de suelos en Colombia, investigador de la Universidad El Bosque. Instructor SENA, diseño del curso Sostenibilidad Hidrológica de Suelos en las construcciones de vivienda, instructor actual de la institución SENA en las áreas de hidráulica, hidrología, filtros y drenajes, instalaciones hidráulicas y sanitarias. Realizo un Postgrado con el experto en diseño en línea clave Eugenio Grass y el Ingeniero Roberto Niño en diseño de reservorios, canales, aliviaderos, tuberías y obras hidráulicas para drenaje urbano, sumideros, pozos de inspección, cunetas, filtros y drenajes para agua subterránea. Experiencia laboral en 5 proyectos en el cálculo de redes hidrosanitarias para edificaciones, instituciones y acueductos veredales con el Ingeniero Jorge Granados, manejo del programa Revit MEP para instalaciones hidrosanitarias.