

PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO RACIONAL DE AGUAS LLUVIAS, EN EL CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, VILLAVICENCIO

DESIGN FOR THE RATIONAL USE OF RAINWATER AT THE AGUAS CLARAS CAMPUS OF THE SANTO TOMÁS UNIVERSITY, VILLAVICENCIO

Carlos Eduardo Espinosa Martínez

Estudiante de pregrado, Ingeniería civil,
carlospinos@usantotomas.edu.co

Reddy Hart Andrés Van Audenhove Mejía

Estudiante de pregrado, Ingeniería civil,
reddivanaudenhove@usantotomas.edu.co

Resumen: En este proyecto se propone un sistema de aprovechamiento de aguas para resolver el problema de uso racional de las aguas lluvias en una edificación institucional como lo es el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Villavicencio. Para lograrlo, luego de analizar el terreno, se realizaron muestreos y ensayos para caracterizar la calidad fisicoquímica de las aguas pluviales. Posteriormente, se realizó mediante análisis hidrológicos la caracterización de la cantidad de aguas lluvias que caen en los diferentes meses del año, comparando esa disponibilidad de agua lluvia con las necesidades de agua en los diferentes usos que tiene en una edificación de este tipo, pudiéndose demostrar que la calidad de agua lluvia permite ser potabilizada para consumo y se demostró que la cantidad de agua lluvia en los meses de verano no permite que se abastezca toda la demanda, De manera que se deberá proveer la demanda faltante de otra fuente. Finalmente, se propone un sistema para aprovechar el agua de lluvia mediante la utilización de bajantes en las cubiertas de las instalaciones de la Universidad Santo Tomás en Villavicencio. El agua recolectada será transportada a través de una red de aducción a una planta de tratamiento compacta, para luego ser enviada a los tanques a ser distribuida a través de diferentes usos, como cafeterías, baños y zonas verdes.

Palabras clave: microbiológicos, tren de tratamiento, diseño de aprovechamiento, análisis fisicoquímico.

Abstract: This project proposes a water use system to solve the problem of rational use of rainwater in an institutional building such as the Aguas Claras Campus of the Universidad Santo Tomás Villavicencio. To achieve this, after analyzing the terrain, sampling and tests were carried out to characterize the physicochemical quality of rainwater. Subsequently, a hydrological analysis was carried out to characterize the amount of rainwater that falls in the different months of the year, comparing the availability of rainwater with the water needs for the different uses in a building of this type. It was demonstrated that the quality of rainwater can be made potable for consumption and that the amount of rainwater in the summer months does not meet the entire demand, so that the missing demand must be supplied from another source. Finally, a system is proposed to take advantage of rainwater by using downspouts on the roofs of the Universidad Santo Tomás facilities in Villavicencio. The collected water will be transported through an adduction network to a compact treatment plant and then sent to tanks to be distributed for different uses, such as cafeterias, bathrooms and green areas.

Keywords: Microbiological analysis, treatment train, design of rainwater harvesting, physicochemical analysis.

1. CONTEXTO

La Universidad Santo Tomas es una institución que demanda alrededor de 18.752 m³ de agua al mes. Sin embargo, no toda es para consumo humano. Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, actualmente se han convertido en una excelente alternativa para suplir la demanda de agua en actividades que no requieran el uso de agua potable, como lo son baños, aseo, lavado y riego, además, con la reducción de la demanda para otras actividades, se podría aumentar la cantidad de agua potable, disponible para hogares en zonas en donde la oferta actual no alcanza a cubrir las necesidades de agua potable para las familias. la cual presenta mayor percepción de seguridad [1], en otras instituciones u hogares con mayor racionamiento en la ciudad de Villavicencio.

El agua consumida por el campus proviene principalmente del prestador local y aunque los sistemas de tratamiento son efectivos en la ciudad, no pueden funcionar adecuadamente si las fuentes de suministro de agua son insuficientes o inadecuadas. Además, el agua obtenida de estas fuentes puede estar expuesta a contaminación, lo que dificulta su uso en zonas que requieren suministro de agua limpia [2].

Se podría pensar en otras fuentes alternas al agua superficial ofertada por el prestador local, como lo es el agua subterránea almacenada en los acuíferos (Depósitos de agua subterránea que se filtran por la superficie y se almacenan en cámaras subterráneas). El agua de los acuíferos se utiliza para satisfacer las necesidades de las poblaciones que no tienen acceso al agua de buena calidad de las fuentes superficiales o cuando las fuentes superficiales están muy retiradas a la comunidad, como es el caso de zonas áridas. Sin embargo, la extracción excesiva de agua de los acuíferos puede tener un impacto negativo en el suelo y en el medio ambiente. Por ejemplo, en México, la mayoría de la población depende completamente del agua subterránea, donde se extrae aproximadamente 60% del volumen total concesionado para usos consuntivos ocasionando el hundimiento del suelo, en el orden de 10 a 40 centímetros anuales. Es importante tener en cuenta que la extracción excesiva de agua de los acuíferos puede tener un impacto negativo en el medio ambiente, como lo es el efecto invernadero. [3].

En este proyecto, se busca desarrollar un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en la sede de Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Villavicencio, con el objetivo de reducir el consumo de agua potable suministrada por el acueducto local y reemplazarla por el agua de lluvia recolectada. Este sistema de aprovechamiento del agua de lluvia se considera una opción rentable tanto en términos económicos como ambientales. Al utilizar agua de lluvia en lugar de fuentes hídricas superficiales como los ríos, se evita afectar su cauce y la fauna y flora que dependen de él. Además, este sistema es más económico que los convencionales y fácil de implementar, incluso para una persona sin experiencia. Además, se pretende enfatizar que el éxito de este sistema no solo depende de la cantidad de agua recolectada, sino también de la calidad de esta agua [5].

2. APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN EDIFICACIONES INSTITUCIONALES

Los pasos que se siguieron para desarrollar el proyecto fueron los siguientes:

2.1 Establecer la zona de estudio

El proyecto se localiza en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio, el cual está ubicado en la comuna 5 del municipio, el cual ocupa un área de terreno de 63.172,1 m² y un área de construcción de 33.188,87 m². Este campus, se encuentra ubicado entre dos riquezas naturales que cuentan con una protección ambiental, las cuales son el caño Aguas Claras y el humedal El Charco. Estas fuentes hídricas son de interés ambiental especial, ya que en ellas habitan diferentes especies de fauna representadas por aves, reptiles y mamíferos, y especies de flora de carácter endémico como Bigotillos, Guacamayos, Senna bacillaris, entre otros [6].

En el proyecto se identificaron tres zonas como se presenta en la fig. 1, las cuales son clasificadas de acuerdo con el tipo de superficie que puede afectar la calidad del agua lluvia a aprovechar y considerando también la forma de captar el agua que discurre por los diferentes tipos de superficie, así se clasificó la totalidad del área en las zonas descritas en la fig. 2

2.2 Plan de muestreo

Para evaluar la calidad del agua de lluvia en el Campus Aguas Claras, se seleccionaron tres puntos de muestreo: bajantes, cunetas y aire libre. Estos puntos fueron elegidos para analizar cómo se afecta el agua lluvia dependiendo de la superficie por la cual pasa, así como en tejados y bajantes, y finalmente en cunetas.

Fig. 1. ZONAS Y UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO



Nota: la gráfica anterior corresponde a los puntos de captación seleccionados para la recolección de las aguas lluvias, los cuales son 1. Aire libre (para aguas lluvias tomadas directamente antes de caer sobre las zonas verdes), 2. bajantes (para aguas lluvias que caen sobre las cubiertas de los edificios) y 3. cunetas (para aguas lluvias que caen en zonas duras como andenes y vías).

Con el fin de determinar la calidad del agua en los puntos mostrados en la gráfica anterior, se llevaron a cabo ensayos tanto fisicoquímicos como microbiológicos en laboratorio. Estos estudios permiten establecer el estado del agua en relación con los estándares establecidos en la resolución 2115 de 2007 y el RAS 2010, los cuales establecen los rangos de calidad del agua, desde un nivel aceptable hasta un nivel muy deficiente [9].

Los ensayos que se realizaron para este estudio fueron los siguientes:

- Ensayos fisicoquímicos:
 - ✓ Potencial de Hidrógeno (pH): este ensayo se realiza por medio de un medidor de pH Hach
 - ✓ Turbiedad
 - ✓ Conductividad
 - ✓ Color
 - ✓ Oxígenos disueltos
 - ✓ Temperatura
 - ✓ Alcalinidad
 - ✓ Dureza
- Ensayos microbiológicos
 - ✓ Coliformes totales
 - ✓ E. Coli

2.3 Valoración de la calidad y cantidad de aguas lluvias en la universidad

En esta etapa, se realizó la consulta de fuentes secundarias y de datos hidrometeorológicos, así como toma de muestras y ensayos de laboratorio para determinar cantidad y calidad de las aguas lluvias en el campus Aguas Claras.

2.3.1 Valoración de Cantidad

De acuerdo con la información del IDEAM de la estación ICA y comparada con la estación APIAY, con el fin de corroborar los datos obtenidos y teniendo el dato del área de cada zona del campus se puede determinar la cantidad de agua disponible en cada zona para cada mes del año. Para realizar a cabo la estimación de las cantidades de aguas lluvias se llevó a cabo la metodología de Vargas y Díaz-Granados (1998), en su artículo “Curvas sintéticas regionalizadas intensidad-duración-frecuencias para Colombia”

2.3.2 Valoración de la calidad

Para la recolección de muestras en los diferentes puntos de captación nombrados anteriormente. Se determinó el número de ensayos a realizar a través de la fórmula de cálculo del tamaño de muestra para una proporción de $(n/N \text{ o } \%)$ para muestras finitas e infinitas, tomada del libro probabilidad y estadística para ingenieros [8], seguido a esto las muestras fueron llevadas al laboratorio para así llegar a analizar la calidad de dichas aguas con el fin de lograr realizar una caracterización fisicoquímica de las aguas lluvias según la norma NTC – 5667-3, junto a la RAS 2010. El cual se ejecutó el plan de muestreo véase en el inciso 2.2.

2.3.3 Comparación Consumo-Demanda cantidad y calidad

Se llevará a cabo un análisis de comparación entre el consumo y la demanda con el objetivo de evaluar si el sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia puede satisfacer la demanda de agua de la Universidad Santo Tomás Villavicencio, con el fin de determinar si es viable la independencia del suministro de agua potable de la red principal del acueducto de la ciudad.

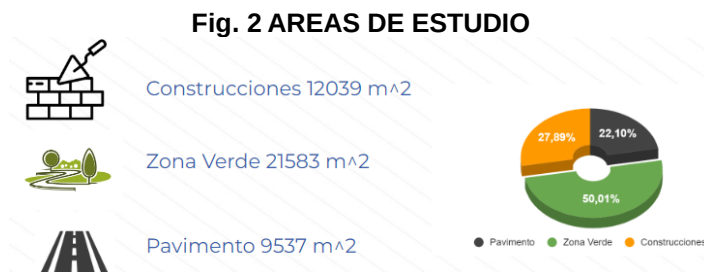
2.4 Propuesta de las estructuras que componen el modelo de aprovechamiento racional de aguas lluvias

Se presentará un modelo de aprovechamiento de aguas lluvias, adaptado al Campus Aguas Claras, que incluye la captación, almacenamiento, tratamiento, potabilización y distribución del agua recolectada. Para llevar a cabo este diseño, se recolectó información importante como el caudal del sistema, el diámetro de las tuberías de la red de aprovechamiento, los materiales utilizados para dichas tuberías, el volumen de los tanques de almacenamiento y los procesos de tratamiento y potabilización del agua, cumpliendo con las normas establecidas en la resolución 2115 del 2007 y la NTC 1500 del 2004.

3. RESULTADOS

3.1 Zona de estudio

A través de una visita técnica, se establecieron tres (3) zonas distintas de estudio, las cuales fueron: pavimentos (1), zonas verdes (2) y construcciones (3), donde la última se divide en tres áreas diferentes, las cuales son: Bloque A (3.1), Salón de convenciones (3.2) y Bloque B (3.3).

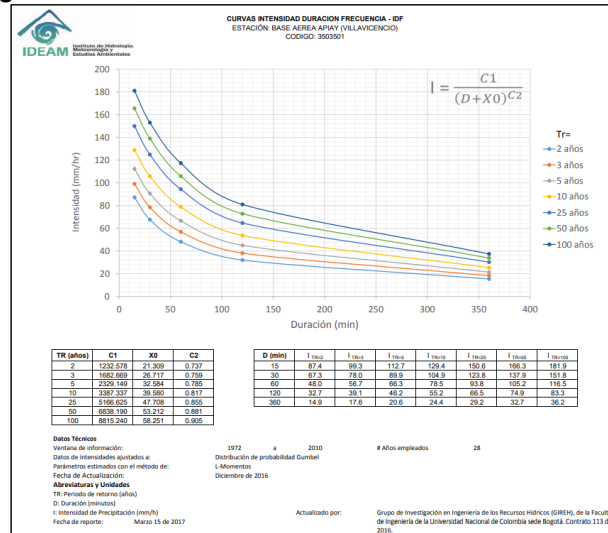


3.2 Evaluación de las diferentes alternativas para la recolección de aguas

3.2.1 Valoración de la curva IDF.

En la siguiente gráfica se representa la intensidad expresada en milímetros por hora, para una duración determinada de 5, 10, 15 y 180 minutos, se estima una probabilidad de ocurrencia (periodo de retorno), o frecuencia expresada en 2, 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años. En ellas, se observa que la intensidad aumenta a mayor periodo de retorno y varía de acuerdo con la duración con la que se presenta. Posteriormente, se estima el caudal, para el cual se tomó como referencia una duración de 60 minutos y un periodo de retorno de 100 años, y se obtuvo un valor de **82.38 mm/h** en el campus Aguas Claras. Se calculó el caudal a partir del método racional, donde el coeficiente de escorrentía se tomó del título del reglamento técnico RAS 2010 [9], obteniendo así una escorrentía parcial para pavimentos, zonas verdes, pavimento y cubiertas de 0.95, 0.45 y 0.97 respectivamente.

Fig. 1 CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

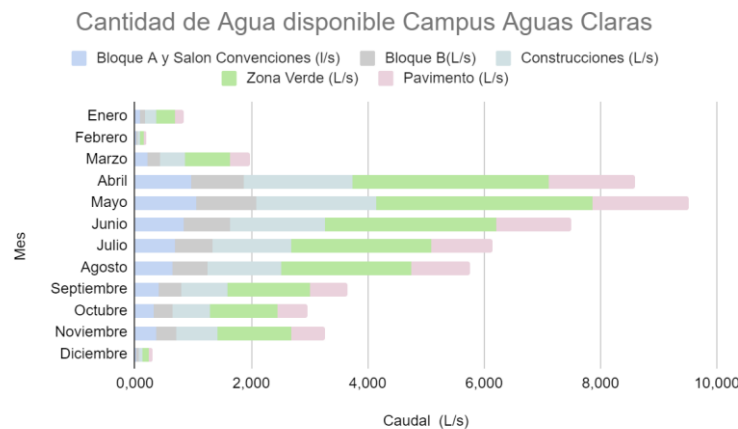


Fuente: [14]

3.2.2 Valoración de Cantidad

Según la metodología descrita en el inciso 2.3.1, los resultados obtenidos se pueden observar en la Fig. 4, que se muestra a continuación. Los datos indican que los meses con mayor cantidad de agua de lluvia son entre abril y junio, según los datos de años anteriores. Esto sugiere que el sistema de aprovechamiento tendrá mayor rentabilidad en estos meses, alcanzando caudales que varían entre 1.63 L/s y 3.72 L/s.

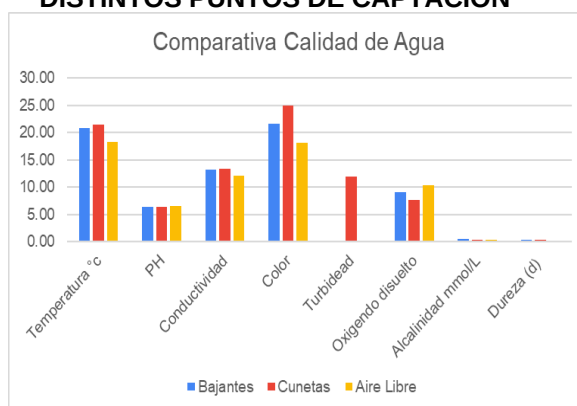
Fig. 4 CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE EN CADA ZONA DEL CAMPUS AGUAS CLARAS PARA CADA MES DEL AÑO



3.2.3 Valoración de Calidad

Se analizó la calidad del agua en las muestras tomadas en los puntos de captación seleccionados, mediante los ensayos mencionados anteriormente en el inciso 2.2. Los resultados de los ensayos de turbiedad indican que el agua de las bajantes y el aire libre presentan un valor de 0 UNT, lo cual está dentro de los límites considerados aceptables según el RAS 2010. Sin embargo, en las pruebas de alcalinidad y dureza total, los tres puntos de captación presentaron valores de 48mg/L y 303mg/L respectivamente, los cuales se encuentran en los rangos establecidos en la tabla C 2.1 del RAS 2010 para la calidad de la fuente

Fig. 5. GRÁFICA COMPARATIVA DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA LOS DISTINTOS PUNTOS DE CAPTACIÓN

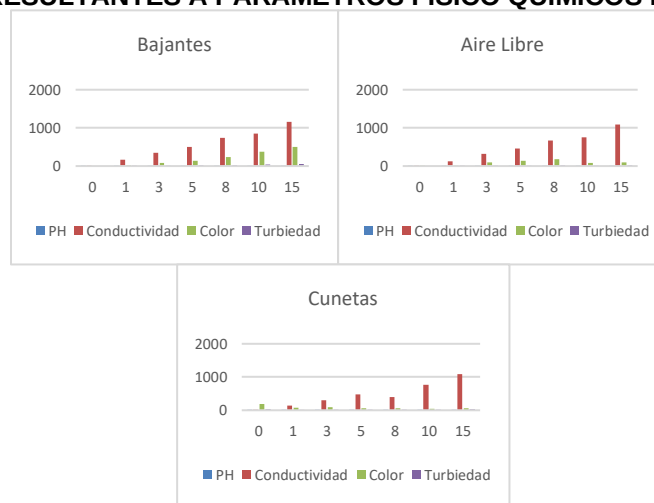


3.2.3.1 Comparación de la calidad vs el uso

Luego de analizar los puntos de captación establecidos en el estudio, se ha determinado que el punto de recolección de agua de lluvia con mejor calidad es el de aire libre. Sin embargo, este punto no recolecta la cantidad suficiente de agua necesaria. Por otro lado, se ha determinado que la recolección de agua de las cunetas no es viable para uso potable debido a la alta contaminación existente en estas zonas. En cambio, se ha observado que las bajantes presentan un grado de contaminación por sedimentos aceptable y un color transparente, por lo que se ha seleccionado este punto de recolección para los diferentes usos de la Universidad (cafeterías, baños y agua potable). Con el fin de llegar aprovechar en su totalidad el agua lluvia, se destinó que el agua de cunetas para aseo y riego, debido a que no se requiere de agua potable para realizar estas acciones.

3.2.3.2 Laboratorio de test de jarras

Fig. 6. GRAFICAS RESULTANTES A PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS PRUEBA DE JARRAS



Este laboratorio es utilizado para determinar las cantidades óptimas de coagulantes para el tratamiento del agua de lluvia y tiempos de sedimentación a escala reducida, con el objetivo de predecir el tratamiento a gran escala.

Las gráficas anteriores Representan resultados de test de Jarras. En primera instancia, se estimó una concentración para manejar las Jarras, el cual fue de 17100 mg/L de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$. No obstante, se determina el comportamiento del pH a medida en que aumenta la cantidad de coagulante, desde los 1ml, hasta los 15 ml de coagulante. Para el caso de los puntos de bajantes, aire libre y cunetas se obtuvieron resultados de pH de 8.433, 7.212 y 7.486 respectivamente, a cero (0) ml de volumen de

Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, los cuales se clasifican como una fuente aceptable- regular, ya que se encuentran bajo un rango de 6.0-8.5 (para fuente aceptable) y 5.0- 9.0 (para fuente regular), según la tabla C.2.1 calidad de la fuente [9]. De igual forma, se evidencia que a medida que se va aplicando las distintas cantidades de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, se demuestra una disminución del pH, los cuales para ambas muestras se reflejaron en un rango regular según el RAS 2000 título C [9]. Por otra parte, para los casos de conductividad y turbiedad, se evidencian en las dos muestras una afectación negativa, ya que a medida en que se aumenta el volumen de coagulante de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, estos valores aumentan de manera considerable a comparación de las muestras sin coagulante, clasificándolas desde una fuente regular, hasta una fuente deficiente según el RAS 2010 [9]. Cabe destacar que en el caso de las cunetas se evidencia a los 10 ml de coagulante de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, un valor de turbiedad de 3.87 UNT, clasificándolo de igual manera como una fuente regular.

Se puede concluir con este ensayo de laboratorio que no es necesario realizar esta prueba para este tipo de fuente hídrica, ya que se realiza todo lo opuesta para lo que fue diseñada, es decir, en vez de determinar las cantidades óptimas para la descontaminación de esta agua, lo que hace es contaminarla, aumentando de forma potencial las características fisicoquímicas, como la conductividad, turbiedad, olor y pH.

3.2.3.3 Comparación Consumo-Demanda

Se determinó el caudal para cada una de las zonas anteriormente mencionadas, en cada uno de los meses del año. Para esto, se tuvieron en cuenta los datos de las precipitaciones totales mensuales obtenidas de la estación ICA Villavicencio. Cabe destacar que se tomó como referencia los datos pluviométricos de esta estación, ya que se encuentra a menor distancia del lugar de estudio (1.98 km medidos en línea recta), a comparación de otras estaciones, como es el caso de la estación BASE AEREA APIAY (7.52 km medidos en línea recta). No obstante, teniendo en cuenta lo anterior se obtienen una demanda de consumo de agua entregada por la Universidad Santo Tomás Sede Aguas Claras del año 2021 la cual fue de **18,752 m³**, y un caudal promedio aproximado de 1,562.67 m³/mes.

Fig. 7 CAUDAL DE CONSUMO PARA EL AÑO 2021 CAMPUS AGUAS CLARAS

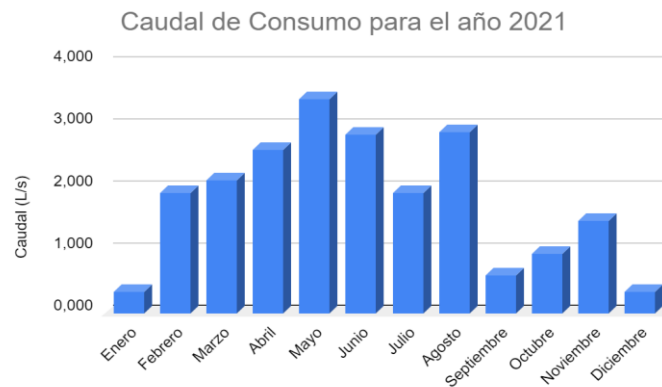
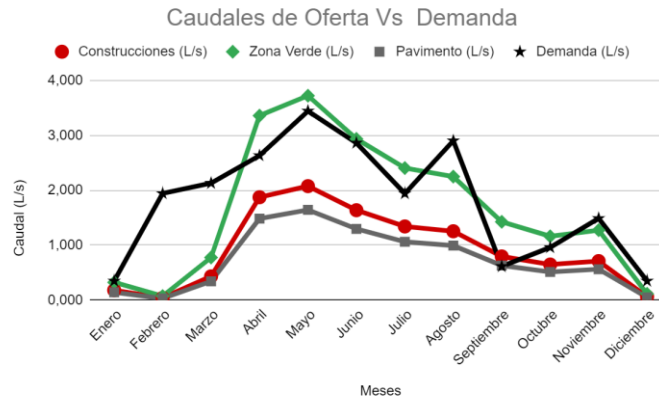


Fig. 8 CAUDAL DE OFERTA VS CAUDAL DE DEMANDA



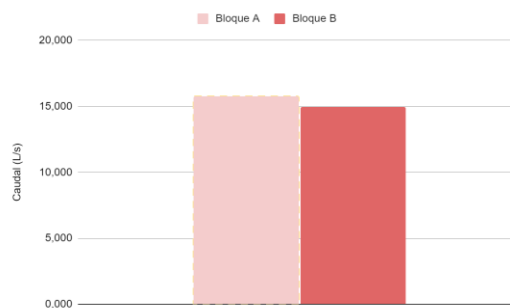
La fig.7 ilustra la demanda de consumo de agua en el Campus Aguas Claras durante el año 2021. Se puede observar que los meses con menor consumo fueron enero y diciembre, con un promedio de 0.35 L/s, debido a la disminución en la presencia de estudiantes. Sin embargo, durante el primer semestre académico, se registraron los mayores picos de consumo, destacando el mes de mayo con un consumo de 3.44 L/s. Esto se debe al ingreso de nuevos estudiantes en la universidad durante este periodo. Por otro lado, el segundo semestre académico presenta un consumo menor, siendo agosto el mes con mayor consumo, con 2.9 L/s.

De acuerdo con la información presentada en la Fig.8, se puede observar que la oferta de las distintas formas de captación de agua no es suficiente para cubrir la demanda en su totalidad. Solamente en los meses de enero y septiembre se logra suplir la demanda con las formas de captación utilizadas. En este caso, se consideró solamente el agua proveniente de las bajantes y se basó en los resultados obtenidos en los laboratorios, así como en la facilidad de obtención de este recurso hídrico

3.3 Propuesta de las estructuras que componen el modelo de aprovechamiento racional de aguas lluvias

Para el dimensionamiento de las diferentes estructuras como lo son el tanque de almacenamiento, tuberías de aducción y tren de tratamiento, se tuvieron en cuenta los caudales de los dos bloques que componen el Campus Aguas Claras, los cuales son el bloque A y el bloque B, donde presentan caudales de 15,760 L/s y 14,946 L/s respectivamente, como se muestran a continuación:

Fig. 9. CAUDALES CAMPUS AGUAS CLARAS

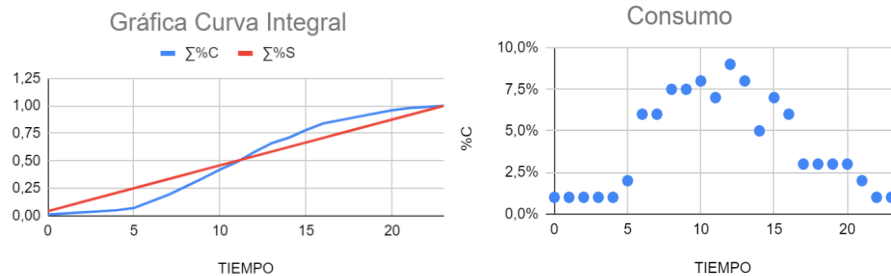


3.4 Tanque de Almacenamiento

Para el desarrollo del diseño del tanque de almacenamiento, se tuvieron en cuenta los tiempos de consumo (C) y suministro (S) de agua en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, en un transcurso de tiempo de veinticuatro (24) horas, de igual forma se determina el volumen de almacenamiento en forma gráfica por medio de la curva integral, donde se evidencia la combinación entre los consumos en el lapso de tiempo estudiado, y el suministro de agua, que en este caso es continuo (24h). El método de curva

integral, se realiza trazando dos curvas en un sistema de ejes uniforme, con el fin de que estas coincidan en las escalas de tiempo.

Fig. 10. GRÁFICAS DE CURVA INTEGRAL Y CONSUMO



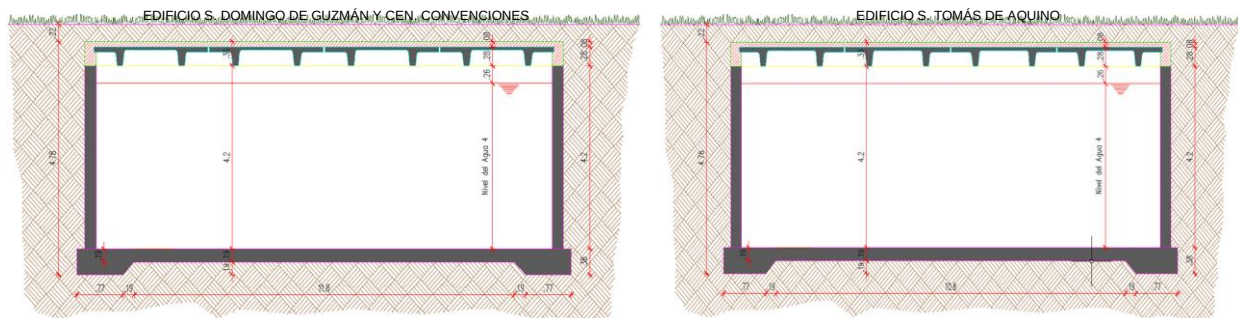
Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó el diseño de dos tanques de almacenamiento, el primero que satisfaga el área del edificio Santo Domingo de Guzmán y el salón de convenciones, por otra parte, el segundo, el cual suministre agua para el área que ocupa el edificio Santo Tomás de Aquino. En primera instancia para el primer y segundo tanque, se obtuvieron caudales máximo diarios (QMD) de **15.76 L/s** y **14.95 L/s** respectivamente, donde para ambos casos, se evidencia un volumen de consumo del 29.33% con un grado de consumo de 9% en el transcurso del medio día, donde se determina la hora pico del día en consumo de agua, de igual forma se establece que el mejor diseño por dimensiones geométricas, y ubicación, es de un tanque de almacenamiento cuadrado, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 1. VOLUMEN Y DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO EDIFICIO SANTO DOMINGO DE GUZMÁN Y CENTRO DE CONVENCIONES, Y EDIFICIO SANTO TOMÁS DE AQUINO

DESCRIPCIÓN	TANQUE 1	TANQUE 2	UND
VOLUMEN TANQUE HAB	479,301	454,56	m3
VOLUMEN DE INCENDIOS	119,8253	113,64	m3
VOLUMEN TOT TANQUE	599,126	568,2	m3
H	4	4	m
AREA	149,782	142,05	m2
L	13	11,92	m

Así mismo, se realiza el bosquejo del tanque de almacenamiento del edificio Santo Domingo De Guzmán y Centro de Convenciones, y edificio Santo Tomás de Aquino en base a los cálculos mostrados anteriormente:

Fig. 11. DISEÑO TANQUE DE ALMACENAMIENTO EDIFICIO SANTO DOMINGO DE GUZMÁN Y CENTRO DE CONVENCIONES, Y EDIFICIO SANTO TOMÁS DE AQUINO

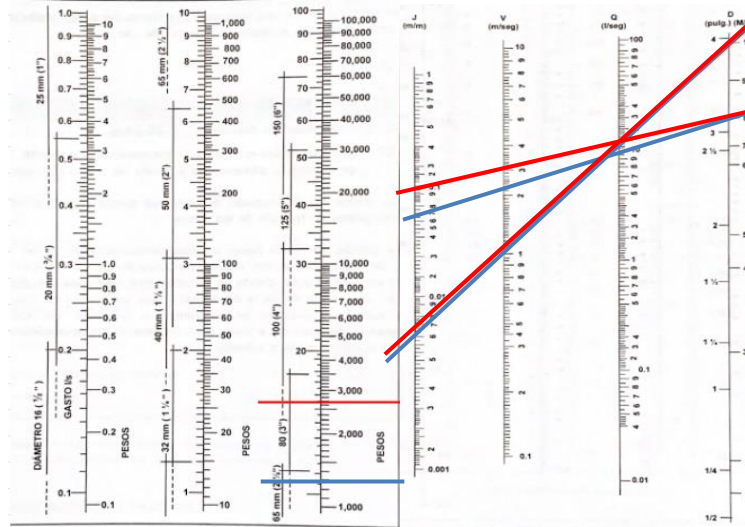


Los tanques de almacenamiento estarán contruidos principalmente con hormigón reforzado con una armadura de acero para soportar las cargas del agua. Estos cumplirán con los requisitos de la NTC 1500 mediante la incorporación de tubos de ventilación de hierro galvanizado y contarán con un punto de acceso en la parte superior para facilitar su limpieza y mantenimiento.

3.5 Diseño de tubería de aducción

Se tiene propuesto para las rutas para las tuberías de aducción que llegarían a los respectivos tanques de almacenamiento en cada edificio, teniendo en cuenta que estas estarán por donde actualmente se encuentran las líneas de cunetas, esto debido a que en los resultados de calidad de agua, se obtuvo como resultado, que el agua de aire libre y bajantes no presentan tanto grado de contaminación, así mismo, estas aguas cuando entran en contacto con las cunetas, sufren de un gran cambio en su calidad, aumentando así, los distintos aspectos de calidad mencionados anteriormente (ver inciso 3.2.3) llevando así, a que se aumente la contaminación de la fuente hídrica. Teniendo en cuenta lo anterior se decidió conectar directamente las bajantes con la tubería de aducción a treves de uno codos de 90° y así junto a una unión tipo Tee unirla a la tubería de aducción, evitando así que el agua se contamine debido a las cunetas. Los cálculos fueron realizados a través del método de Hunter basándonos en el libro de Enríquez Gilberto "Cálculo de instalaciones hidráulicas y sanitarias, residenciales y comerciales" [11], como se muestran a continuación.

Fig. 12. ABACO PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS DE AGUA FRÍA PARA LA TUBERÍA 1 Y 2



Fuente: [11]

Fig. 12, se puede observar que trazando una línea horizontal roja y azul haciendo respectivo en lo que vendría las líneas de tubería 1 y 2 teniendo un consumo respectivo de 15.76 L/s y 14.97 L/s, este Abaco nos entrega dos posibles diámetros de la tubería que se podrían llegar a usar en este caso vendrían siendo de 3" o 4", una vez teniendo los diámetros de la tubería se pasó a calcular las velocidades máximas que se obtendrían.

Así mismo se puede evidenciar las velocidades máximas y el caudal que pasarían por estas mismas para la selección de la tubería, los cuales fueron de 2.5m/s y 20 L/s aproximadamente. Cabe destacar que se tiene que tener en cuenta las velocidades máximas permitidas por la NTC 1500 las cuales son las siguientes:

Tabla 2. VELOCIDADES MÁXIMAS SEGÚN EL INCISO 6.9 DE LA NTC 1500

Diámetro de la tubería	Velocidad máxima
Menor 76.2 mm	2.00 m/s
Mayora igual 76.2 mm	2.50 m/s

Fuente: [15]

Teniendo en cuenta que estas tuberías de aducción serán para una edificación, la NTC 1500 establece los requisitos mínimos para garantizar el funcionamiento correcto de los sistemas de abastecimiento de agua potable, los cuales deben tenerse en cuenta en: Diseño. Construcción, una vez especificado las velocidades máximas procedemos a compararlas con las que nos arrojó la **Fig.12**, las cuales son para un diámetro de 3" una velocidad de 3 m/s y 2.3m/s, para la tubería de 4" diámetro se determinó una velocidad de 1.12m/s y 0.98 m/s cumpliendo con los requerimientos establecidos por la NTC 1500 como se muestra en la **Tabla 2**. Para el material de la tubería se optó por dos opciones: tubería en hierro galvanizado o en

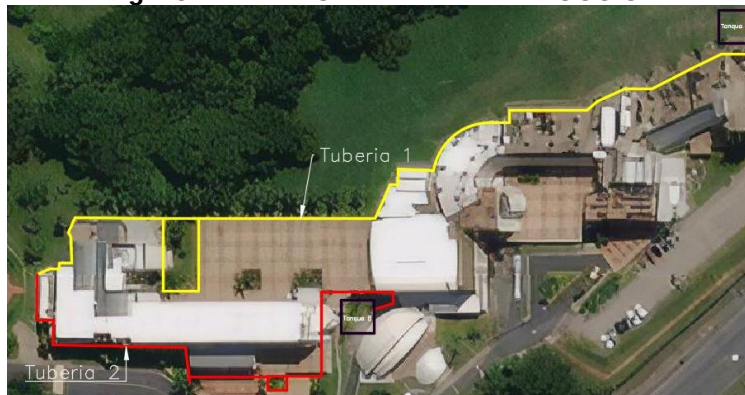
PVC, siendo la de PVC la mejor alternativa debido a es que es la más higiénica para el traslado de agua potable, de igual manera este material es más económico y de mejor manejo y comercialización, en caso de mantenimiento o cambio por una fuga es sencillo debido a que el material se deja trabajar de mejor manera.

Llevando a así a las siguientes especificaciones para la línea de aducción:

- Para la línea de aducción 1, se determinó una longitud aproximada de 306.56m teniendo una pendiente máxima de 1.3%, así mismo, se seleccionó como material, PVC, con un diámetro exterior de 4 In e interior de 3.5 In, obteniendo así, los siguientes accesorios: 56 codos de 90°; 9 codos de 45° y 24 Tee.
- Con la tubería 2, se obtuvo una longitud aproximada de 168.58m, estableciéndose de igual manera en cuanto al material, obtenidas para la tubería 1. No obstante, se determinan los siguientes accesorios: 34 codos de 90°; 0 codos de 45° y 12 Tee.

De igual forma, se realizó el trazado de la línea de aducción como se puede observar en la siguiente ilustración:

Fig. 13. TRAZADO DE LÍNEA DE ADUCCIÓN



3.6 Sistema de tratamiento

Para este modelo de aprovechamiento racional de aguas lluvias, se debe tener en cuenta como mínimo, un sistema de tratamiento, no obstante, este tiene como mínimo, filtración, absorción (ya sea con carbón activado o diferentes otros sistemas de absorción) y desinfección, Debido a que la propuesta de aprovechamiento contempla el tratar el agua almacenada y llevarla al tanque de almacenamiento general de la universidad, ya que se deben ubicar los tanques de manera continua. Se determinó que, para este modelo de aprovechamiento, se opte con una planta de tratamiento de agua potable compacta, este, es un tren de purificación de agua, ya sea para tratar agua superficial, subterránea, o como lo es en este caso, pluvial, de igual forma, son ideales para infraestructuras pequeñas y medianas, como lo son fincas, parques industriales, donde el acceso de agua potable es inexequible [12]. De igual manera, se realizó un cuadro comparativo, entre diferentes tipos de plantas compactas de diferentes empresas, con el fin de establecer la planta compacta que se usará para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Villavicencio.

Tabla 3. CUADRO COMPARATIVO PLANTAS COMPACTAS

Tipo de sistema	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5
PH	-----	-----	Alcalinización	-----	-----
Tipos de Filtración	Microfiltración	Microfiltración	Microfiltración	Microfiltración	Microfiltración
	-----	-----	-----	Microfiltración	Microfiltración
	-----	Ultrafiltración	Filtración	Filtración	-----
Remoción de sólidos	-----	-----	Clarificación	Clarificación	Clarificación
	Dosificación en línea de Floculante	-----	-----	-----	-----
	Mezcla Rápida	-----	-----	-----	-----
Remoción de hierro y manganeso	-----	-----	Oxidación	-----	-----
Remoción de Conductividad	-----	-----	-----	Membrana de ósmosis inversa	-----
	-----	-----	-----	-----	Resina aniónica
	-----	-----	-----	-----	Resina catiónica
Desinfección	Ultravioleta	Ultravioleta	Ultravioleta	Ultravioleta	Ultravioleta
	Cloro	Cloro	Cloro	-----	-----
Remoción del Cloro residual	Remoción del Cloro residual	Remoción del Cloro residual	-----	-----	-----

Fuente: [12]

De las cinco plantas compactas, una cuenta con tratamiento de pH mientras que las otras no. Todas cuentan con algún tipo de filtración, con la planta 4 destacando por tener la mayor variedad de filtros. La planta 1 es la única que cuenta con remoción de sólidos, mientras que la planta 3 es la única que cuenta con remoción de hierro y magnesio. Sin embargo, estos dos últimos no son de gran importancia para nuestro sistema, ya que el agua recolectada no contiene un alto grado de sedimentos ni hierro ni magnesio [13]. Es importante destacar que la planta 4 cuenta con una mayor remoción de conductividad en comparación con las otras plantas. En cuanto a la desinfección, no se planea contar con dos métodos como las tres primeras plantas, ya que el agua en estudio no presenta altos índices de contaminación, por lo que no sería necesario la remoción de cloro como ofrecen las dos primeras plantas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó que la planta N° 4 será la que se utilizará para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias de este proyecto las cual cuenta con las siguientes especificaciones más al detalle del tren de tratamiento las cuales son:

- Filtración: Retención de sólidos y sedimentos de hasta 30 micras de diámetro
- Clarificación: Eliminación de color aparente, olor, sabor, pesticidas y cloro presente en el agua.
- Microfiltración 1 Y 2: Retención de partículas sólidas finas (menores a 10 Y 5 micras)
- Desinfección: Eliminación de virus y bacterias patógenas presentes en el agua, mediante luz UV
- Osmosis inversa con membranas.
- Desinfección: Eliminación de virus y bacterias patógenas presentes en el agua mediante dosificación de cloro.
- Filtro de sedimentos en polipropileno de 5 micras
- Filtro de carbón activado – 10"
- Membrana de ósmosis inversa Lewabrane y Toray (dependiendo de la conductividad del agua)
- Filtro de resina mixta Lewatit
- Uv bombillo + Horómetro

4. CONCLUSIONES

Las alternativas que se analizaron para el aprovechamiento del agua lluvia fueron las áreas de pavimentos, zonas verdes y construcciones. A raíz de esto, se dedujo que la mejor forma para captar el recurso hídrico, son las áreas de construcciones, debido a que es más factible la recolección del agua pluvial, por medio de los canales del techo, cunetas y bajantes.

De igual forma, mediante los distintos laboratorios, se analizaron 175 muestras de los distintos posibles tipos de captación establecidos en el plan de muestreo, dando como conclusión que el agua más contaminada es la de las cunetas, seguidas por la de las bajantes, y finalmente las de cubierta.

La calidad y la cantidad de agua lluvia que puede ser aprovechada en el campus Aguas Claras permite disminuir en un 51.16 % aproximadamente el consumo y por lo tanto el costo de agua del acueducto

El estado y el tipo de superficie que recorren las aguas lluvias antes de ser captadas para su aprovechamiento determina en gran medida su calidad. Es importante definir coberturas que permitan un mantenimiento efectivo de estas superficies con el fin de aumentar la calidad y la cantidad de agua lluvia susceptible de ser aprovechada como agua potable.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento a Dios quien en todo momento estuvo con nosotros y quien es el guía del destino de nuestras vidas. Así mismo agradecemos de igual manera por su apoyo, orientación y atención a nuestras consultas sobre el desarrollo del proyecto de grado, como director de grado agradecemos al Ingeniero Elías Daniel David Nova Burgos de la Universidad Santo Tomás. Adicionalmente extendemos nuestro agradecimiento a la ingeniera Alfonsina Bocanegra por su apoyo y asesoramiento en el inicio y desarrollo del Anteproyecto de grado de esta investigación como proyecto final. Por último, pero no menos importante, gracias a nuestros amigos, en especial a Juan Sebastián Guzmán Garzón y Hernán Darío Espinosa Martínez que fueron un apoyo fundamental en el desarrollo de nuestra carrera de igual manera en nuestra tesis, ¡TEAM MLPS POR SIEMPRE!

REFERENCIAS

- [1] P. A. Juez Pirachican, "Seguimiento y Aproximación al método de diseño para sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias", Trabajo de grado - maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2021. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80589>
- [2] J. A. Ballén Suárez, M. Á. Galarza García y R. O. Ortiz Mosquera, "Historia de los Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia", en Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua. João Pessoa (Brasil), 2006, p. 12.
- [3] N. A. López Hernández, O. L. Palacios Vélez, M. A. Garduño, J. Chávez Morales, J. E. Rubiños Panta y M. García Carrillo, "Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico", Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 8, n.º 6, 2017, art. n.º 1433-1439.
- [4] D. J. Mahecha Ruiz, "Determinación de los posibles usos del aprovechamiento de aguas lluvias a partir de su cantidad y calidad en los campus de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio", Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás, Villavicencio, 2019. [En línea]. Disponible: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19337/2019davidmahecha?sequence=6&isAllowed=y>
- [5] L. Solarte, "Aprovechamiento del agua lluvia en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá en función de la variabilidad de la calidad", Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., 2012. [En línea]. Disponible: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15421/SolarteMoncayoLauraMilena2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] J. J. Suarez Nieva, "El Impacto Ambiental Ocasionado por la Reducción del Humedal el Charco en el Municipio de Villavicencio Meta", Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, 2018. [En línea]. Disponible: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4119/1/2018_impacto_ambiental_ocasionado.pdf
- [7] Lifting Solution Groups. "Instalación y reparación de bajantes y canales". Lifting Solution Groups. <https://www.cyesa.com/trabajos-en-altura/cubiertas-y-fachadas/instalacion-y-reparacion-de-bajantes-y-canales>.
- [8] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers and Keying Ye, Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, 9a ed. Ciudad de México: Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, 2012. [En línea]. Disponible: https://vereniciafunez94hotmail.files.wordpress.com/2014/08/8va-probabilidad-y-estadistica-para-ingenier-walpole_8.pdf
- [9] Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS, RAS 2000, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Bogotá D.C., 2010. [En línea]. Disponible: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- [10] C. A. Severiche Sierra, M. E. Castillo Bertel y R. L. Acevedo Barrios, "Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas", eumed.net, p. 101, 2013. [En línea]. Disponible: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>
- [11] H. Enriquez, en Cálculo de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, Residenciales y Comerciales. Mexico: Limusa, 2007, p. 392. [En línea]. Disponible: <https://www.casadellibro.com.co/libro-calculo-de-instalaciones-hidraulicas-y-sanitarias-residenciales-y-comerciales/9789681869274/1140245>
- [12] Aguas e Ingeniería S.A.S. "Purificación del Agua, tratamiento de agua superficial, lluvia, pozo o acueducto". Aguas e Ingeniería S.A.S. <https://aguaseingenieria.com/producto/ptap-compactas-presurizadas/> (accedido el 20 de noviembre de 2022).
- [13] J. Rodríguez Zamora, "Parámetros físicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela", Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica, vol. 9, n.º 12-13, 2008, art. n.º 125-134.
- [14] IDEAM. Curvas Intensidad Duración Frecuencia - IDF Estación: BASE AEREA APIAY (Villavicencio). (2016). [Imagen]. Disponible: http://www.ideam.gov.co/documents/10182/24541172/IDF_35035010_BASE_AEREA_APIAY.pdf/e7e9dfe2-0f6e-4f21-bccb-77fd86f00335?version=1.0
- [15] Norma Técnica Colombiana, NTC 1500, Bogotá D.C., 2004. [En línea]. Disponible: https://www.armada.mil.co/sites/default/files/normograma_arc/mantenimiento1/NTC%201500.pdf