

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.



DAVID JAIR MAHECHA RUIZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

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.

DAVID JAIR MAHECHA RUIZ

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental

Director

KIMBERLY PATRICIA MONTAÑEZ MEDINA

Ingeniera Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Campus Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Campus Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Campus Villavicencio

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRAN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

KIMBERLY PATRICIA MONTAÑEZ MEDINA

Director Trabajo de Grado

JORGE ELIECER PARDO MOYA

Jurado

Villavicencio, Septiembre de 2019.

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a Dios quien en todo momento está conmigo y quien es el guía del destino de mi vida.

Así mismo agradezco a mi alma mater la Universidad Santo Tomás, la cual me brindó la oportunidad de formarme como profesional en el campo de la ingeniería ambiental y el apoyo en el desarrollo y cumplimiento de mi proyecto de grado.

De igual manera por su apoyo, orientación y atención a mis consultas sobre el desarrollo del proyecto de grado, como directora de grado agradezco al Ingeniera Kimberly patricia Montañez Medina de la Universidad santo Tomás. Adicionalmente extendo mi agradecimiento a la Microbióloga María Alexandra Méndez Leal 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 mi familia, padres, hermanos y amigos; quienes me brindaron su apoyo vital e incondicional a lo largo del desarrollo total de mi tesis.

Contenido

Pág.

Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I	4
Planteamiento del Problema	4
Descripción del Problema	4
Formulación entorno al Problema.....	6
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos.....	7
Justificación	8
Alcance del Proyecto	10
Capítulo II	12
Antecedentes	12
Capítulo III.....	15
Marco de Referencia	15
Marco Teórico.....	15
Marco Conceptual	16
Marco Legal	16
Capítulo IV.....	19
Metodología	19
Área Geográfica de Estudio	19
Fases Metodológicas	19
FASE 1. Estimación de la cantidad de aguas lluvias para su aprovechamiento con base en los datos pluviométricos del sector.	20

FASE 2 –Determinar y comparar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua lluvia en dos puntos de muestreo.	22
FASE 3 – Determinar el aprovechamiento más favorable del agua lluvia, de acuerdo con los resultados obtenidos.....	23
Capítulo V	24
Resultados y Análisis de Resultados.....	24
FASE 1: Estimación de la cantidad de aguas lluvias a partir de datos pluviométricos.	24
FASE 2: Determinación de las características físico-químicas y microbiológicas del agua lluvia en dos puntos de muestreo.	28
FASE 3: Determinación del uso más favorable del agua lluvia, de acuerdo con los resultados obtenidos.	34
Conclusiones	40
Recomendaciones	42
Bibliografía	43
Anexos	46

Lista de Tablas

Tabla 1. Parametros de ajustes de la regresión calculados por Vargas y Diaz-Granados	25
Tabla 2. Áreas de cubiertas, campus Loma Linda.	27
Tabla 3. Áreas de cubiertas, campus Aguas Claras.	27
Tabla 4. Caudal de aprovechamiento en la campus Aguas Claras y Loma Linda de la Universidad Santo Tomás.....	28
Tabla 5. Parámetros físico-químicos y microbiológicos, fuentes de estudios en muestras de agua lluvia en los campus de la Universidad Santo Tomás.....	29
Tabla 6. Dureza del agua	33
Tabla 7. Demanda Biológica de Oxígeno	34
Tabla 8. Comparación de los límites máximos permisibles con la normatividad vigente Colombiana	36

Lista de Figuras

Figura 1. Aprovechamiento del agua lluvia frente a posibles escases, por Mahecha D, 2018.	5
Figura 2. Mapa de la ubicación del campus Aguas Claras y campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, correspondiente a la zona de estudio, por Mahecha D, 2018- ArcMap 10.2.2.....	11
Figura 3. Variación del número de artículos por año, por Mahecha D, 2018 – Scopus.	12
Figura 4. Flujograma de las actividades metodológicas de la presente propuesta de Investigación, por Mahecha D, 2018.....	20
Figura 5. Curvas IDF Regionalizada para Colombia, tomado de, Vargas Diaz Granados, 1998.	25
Figura 6. Curvas IDF campus Aguas Claras, por Mahecha D, a partir de base de datos pluviométricos del IDEAM, 2019.....	26
Figura 7. Curvas IDF campus Aguas Claras, por Mahecha D, a partir de base de datos pluviométricos del IDEAM, 2019.....	26
Figura 8. Relación entre pH y Alcalinidad, por Giraldo Gómez, 1995.	31
Figura 9. Planos arquitectónicos del bloque A del campus Aguas Claras, tomado de, Universidad Santo Tomás, 2019.....	46
Figura 10. Planos arquitectónicos del bloque A del campus Aguas Claras, tomado de, Universidad Santo Tomás, 2019.	47
Figura 11. Plano arquitectónico del campus Loma Linda, tomado de, Universidad Santo Tomás, 2019.....	48

Lista de Anexos

ANEXO 1. Plano arquitectónico del Bloque A Campus Aguas Claras.....	46
ANEXO 2. Plano arquitectónico del Bloque B Campus Aguas Claras.....	47
ANEXO 3. Plano arquitectónico de la Campus Loma Linda	48

Resumen

Esta investigación evaluó y determinó los posibles usos del aprovechamiento de aguas lluvias a partir de su cantidad y calidad, en los campus Loma Linda y Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Villavicencio. Para ello, en primer lugar, se determinó el potencial de aprovechamiento del agua lluvia mediante curvas IDF identificando el caudal. Luego, se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico al agua lluvia recolectada, el cual consistió en identificar la calidad de esta, para posteriormente contrastar con normatividad ambiental y determinar los posibles usos del agua lluvia en los campus de la Universidad Santo Tomás Villavicencio. Como resultado, se dio respuesta a la hipótesis planteada “*Es factible suponer que las condiciones de calidad del agua lluvia sean apropiadas, y el caudal disponible en la zona de los campus de la Universidad, sea suficiente para servir como suministro de agua para uso doméstico (lavado de zonas duras, fachadas y riego de zonas verdes)*”, pues se obtuvo un caudal de 74 L/s y 104 L/s para la campus Loma Linda y Aguas Claras respectivamente; y se dio cumplimiento a los requerimientos límites máximos permisibles de calidad del agua su aprovechamiento y uso en baños, riego de jardines y lavado de fachadas en los campus de la Universidad Santo Tomás campus Villavicencio.

Palabras Clave: Calidad de aguas, precipitación, aprovechamiento de agua lluvia, curvas IDF.

Abstract

This investigation evaluated and determined the possible uses of the use of rainwater from its quantity and quality, on the Loma Linda and Aguas Claras campus of the Santo Tomás Villavicencio University. To this end, the potential for rainwater use is determined first by means of IDF curves by identifying the flow rate. Then, the physicochemical and microbiological analysis of the collected rainwater was carried out, which consisted of identifying the quality of this, to later contrast with the environmental regulations and determine the possible uses of rainwater on the campus of the Santo Tomás University Villavicencio headquarters . As a result, the hypothesis was answered *“It is feasible to assume that the quality conditions of rainwater are determined, and the flow available in the area of the University's campuses, sufficient sea to serve as a water supply for use domestic (washing of hard areas, facades and irrigation of green areas”*, since a flow rate of 12.11 L / s and 37.31 L / s was obtained for the Loma Linda and Aguas Claras respectively; and the requirements were met maximum permissible limits of water quality, its use and use in bathrooms, garden irrigation and façade washing on the campus of the Santo Tomás University, Villavicencio.

KeyWords: Water quality, precipitation, rainwater use, IDF curves.

Introducción

El agua lluvia cada vez se posiciona más como una alternativa ante la escasez del recurso hídrico debido al deterioro de las cuencas hidrográficas producto de las diferentes actividades antrópicas (Ospina Zúñiga & Moyano Díaz, 2015) (Montes, 2007). En el mundo cerca del 40 % de la población, sufren de la escasez de este recurso, igualmente se sabe que cerca de 1600 millones de personas tienen un acceso limitado al mismo; todo esto marcado por problemas socioeconómicos (Reyes & Rubio, 2014).

El aprovechamiento del agua lluvia, se ha convertido en una opción muy favorable y optima, como sustituta en algunas actividades antrópicas; esto como fuente de apoyo para países en desarrollo tanto de Asia como de América Latina, principalmente por sus bajos costos de operación y su contribución al medio ambiente (Torres et al., 2011).

En América Latina, específicamente en Colombia, este recurso se ha venido aprovechando a través de actividades artesanales, como la recolección de aguas lluvias por medio de canecas, vasijas y pozos artesanales, en usos no potables como la descarga de cisternas, riego de jardín entre otros (Estupiñán, J. y Zapata, 2010). Pese, a la gran riqueza hídrica que posee el país, cada vez la situación de desabastecimientos de cuencas de calidad, ha logrado poner atención hacia la sistematización y aprovechamiento del potencial de agua lluvia (Ospina Zúñiga & Moyano Díaz, 2015)

Por esta razón, hoy en día han aumentado los estudios hacia las propiedades de calidad del agua lluvia con miras hacia su aprovechamiento para el consumo humano. De este modo, lograr contrarrestar la desigualdad que existe en la población colombiana para el acceso a agua potable (Gerena B & Mora G, 2017).

La presente investigación busco determinar la viabilidad a partir de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua lluvia, para su aprovechamiento en baños, riego de jardines y lavado de fachadas en los campus de la Universidad Santo Tomás campus Villavicencio.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

Descripción del Problema

El crecimiento demográfico ha aumentado en los últimos 50 años de evolución del comportamiento y desarrollo de territorios del hombre; dado esto se estima que para el año 2045 la población mundial rodeará los 9.000 millones de seres humanos (Arevalo, Lozano, & Sabogal, 2011) (Gerena B & Mora G, 2017). De modo que, la demanda ha sobrepasado la oferta hídrica disponible, por lo que se presenta en algunos sitios carencia de agua potable, aunque la presión ejercida sobre este recurso, no solo ha dependido del crecimiento poblacional, sino también de otros factores antrópicos como los malos hábitos de gestión del agua, la contaminación de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas, el desvío de los cauces de los ríos, y la alteración del ciclo hidrológico, derivado del cambio climático (Ospina Zúñiga & Moyano Díaz, 2015)(Gerena B & Mora G, 2017) (Secreteria del Convenio Sobre la Diversidad Biologica, 2010).

Esta situación es agravada debido a la distribución dispareja de este recurso en las poblaciones, pues se aprecia que aproximadamente 2800 millones de personas, es decir, más del 40% de la población mundial enfrenta algún tipo de escasez (Secreteria del Convenio Sobre la Diversidad Biologica, 2010) . En Colombia, de acuerdo con las evaluaciones realizadas por el IDEAM, la disponibilidad de agua en el año 2000 se estimó con un valor de 40.000m³ por habitante al año, valor que para el año 1985 alcanzaba los 60.000 m³, de tal forma que se ha presentado una disminución considerable, de mantener los hábitos de uso y consumo actuales, se presentara una escases del recurso hídrico disponible en años futuros. Según el último Estudio Nacional del Agua para el año 2018 la oferta hídrica en el área hidrográfica del Orinoco la cual abarca los departamentos del Meta y Casanare fue de 533.843 Mm³ (millones de metros cúbicos); presentando una disminución del 0,8% respecto al estudio realizado para el año 2014 (IDEAM, 2014)

Sin embargo, existen diversas maneras de subsanar la falta de agua con un mejor aprovechamiento del recurso potable que actualmente se tiene, y por consiguiente un buen manejo y distribución que permitirían un mejor rendimiento del recurso hídrico.

Dado esto, actualmente se llevan a cabo investigaciones del uso y aprovechamiento del agua lluvia; sin embargo, pese a que se tiene conocimiento del potencial de esta, no se ha contemplado la capacidad de suministro de agua para el uso doméstico dirigido a actividades como riego de jardines ornamentales y lavado de zonas verdes o de esparcimiento.

Por consiguiente, la siguiente investigación determinó el aprovechamiento del agua lluvia en los campus Aguas Claras y Loma Linda de la Universidad Santo Tomás campus Villavicencio-Meta, a través de la cantidad y calidad (análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos) del agua lluvia muestreada en tejados, canales y bajantes de la infraestructura de cada campus.

En la *Figura 1* se ilustra las principales causas y posibles soluciones que se relacionan a la escasez del recurso hídrico, y el potencial de aprovechamiento para el uso del agua lluvia.

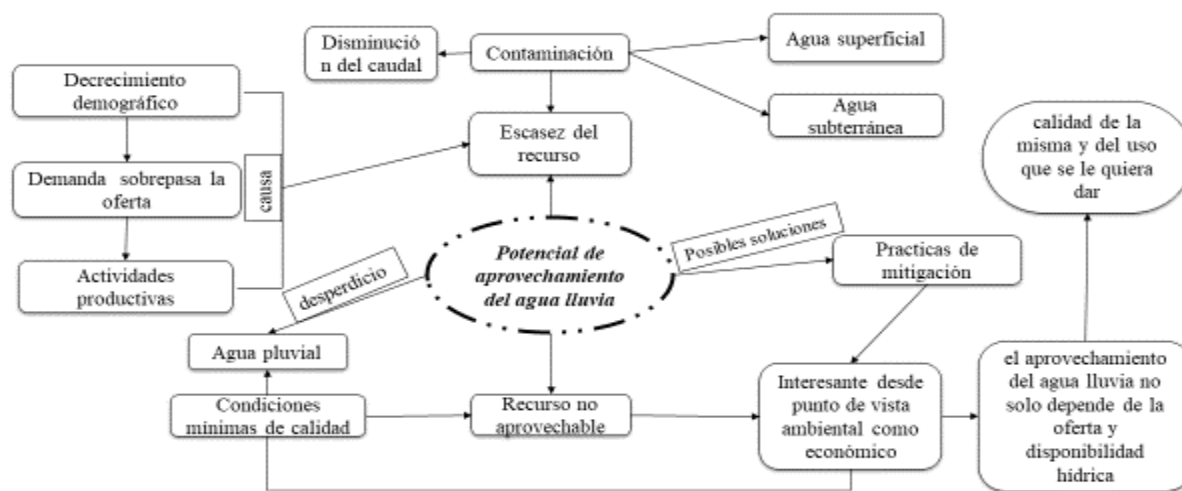


Figura 1. Aprovechamiento del agua lluvia frente a posibles escases, por Mahecha D, 2018.

Formulación entorno al Problema

Con base en lo anterior, en el presente proyecto se realizó una investigación que buscaba determinar los posibles usos del agua lluvia de acuerdo a sus características de calidad y cantidad, en las instalaciones de la Universidad Santo Tomás Campus Villavicencio, y se planteó la siguiente pregunta problema: **¿Cuáles son los posibles usos de las aguas lluvias para su aprovechamiento en los campus Aguas Claras y Loma Linda de la Universidad Santo Tomás campus Villavicencio de acuerdo a sus características físicas, químicas y microbiológicas, y la cantidad disponible?**.

La hipótesis empleada fue investigativa: “Es factible suponer que las condiciones de calidad del agua lluvia sean apropiadas, y el caudal disponible en la zona de los campus de la Universidad sea suficiente para servir como suministro de agua para uso doméstico (lavado de zonas duras, fachadas y riego de zonas verdes)”.

Objetivos

Objetivo General

Determinar los posibles usos de las aguas lluvias para su aprovechamiento a partir de la cantidad y calidad de esta, en los Campus de la Universidad Santo Tomás campus Villavicencio.

Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad de aguas lluvias para su aprovechamiento con base en los datos pluviométricos del sector.
- Determinar y comparar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua lluvia en dos puntos de muestreo.
- Establecer el aprovechamiento más favorable del agua lluvia, de acuerdo con los resultados obtenidos.

Justificación

El agua es la fuente principal para el desarrollo y mantenimiento de la vida en el planeta tierra, el 75% de su superficie terrestre está cubierta por agua, pero solo el 1% es apta para el sostenimiento de la vida humana, es decir es agua potable (Arevalo, Lozano, & Sabogal, 2011). Situación agravada por el crecimiento exponencial de la población y por ende de las actividades antrópicas que este desarrolla en su vida cotidiana; esto ha generado un aumento significativo en la demanda del recurso hídrico excediendo así la oferta del mismo.

Según el Estudio Nacional del Agua desarrollado por el IDEAM en el año 2018, de ese 1% de agua potable disponible, la demanda hídrica empleada para actividades productivas y por ende su huella hídrica, tiene como base el requerimiento del recurso para el riego y abastecimiento de cultivos, sostenimiento de producción bovina, porcícola y avícola, sector energético, minero, petrolero y domestico; siendo estas actividades productivas las que demandan más recurso hídrico para su desarrollo (IDEAM, 2019)

A partir de esto, la demanda total del agua en Colombia para el año 2018 ascendió a 37.308 millones de m^3 , incrementando en un 5 % en relación al 2014, aumentando así la huella hídrica en un 11% respecto al año 2014. La demanda hídrica sectorialmente identifica al sector agrícola con el 43,1% (16.066 m^3), energía con el 24,3 % (9.069 m^3) y pecuario con el 8,2 % (3.071 m^3), concentrando el 76 % de la demanda hídrica nacional (IDEAM, 2019).

No obstante, existe la posibilidad de aprovechar las aguas lluvias, que hasta hace pocos años se percibían como algo de lo cual era necesario deshacerse, debido a los posibles daños que podrían causar, como las inundaciones (Montes, 2007); hoy en día han pasado de verse como un desecho a verlas como un recurso aprovechable y como herramienta para la mitigación a la sobrecarga de las fuentes hídricas (Arevalo et al., 2011). Actualmente, esta se ha catalogado como una práctica muy atractiva no solo por sus beneficios ambientales, sino económicos y sociales (Coombes, Argue, & Kuczera, 2000) (Jore Estupiñan, 2010).

Esto ha llevado en los últimos años la adopción de prácticas para el aprovechamiento del agua lluvia, en diferentes países como Estados Unidos, Suecia, China, Japón, Australia, Indonesia, Alemania, España, Francia, Nigeria y Sudáfrica, como una alternativa para suplir las

necesidades domésticas y cotidianas (lavado de fachadas, inodoros, riego de jardín, entre otros) (Jore Estupiñan, 2010).

A nivel nacional, se han realizado estudios de aprovechamiento de agua lluvia desde su captación hasta su posible tratamiento para el abastecimiento o uso que se requiera, a través del tiempo, los estudios se han tecnificado y se han logrado establecer caudales exactos de aprovechamiento de acuerdo con estudios hidrológicos, sin embargo, en el departamento del Meta, el aprovechamiento ha sido empírico por lo que son pocos los municipios que hoy hacen realmente un uso eficiente de estas agua; en Villavicencio, las aguas pluviales son subutilizadas y los esfuerzos se han enfocado en evacuarlas, por medio de drenajes (sistemas de alcantarillado), mezcladas con las aguas residuales, que las conducen fuera de las zonas urbanas, desperdiciando así la alta oferta de este recurso lo cual podría permitir el abastecimiento a un alto porcentaje de la población. (IDEAM, 2014)

De igual modo, es importante tener en cuenta que el aprovechamiento del agua lluvia no solo depende de la oferta y disponibilidad hídrica, sino de la calidad de la misma y del uso que se le quiera dar (Ospina & Ramírez, 2014). Lo que hace imprescindible conocer las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de la pluviosidad urbana. (Torres et al., 2011)

Por esta razón, la presente propuesta de investigación determinó el uso más adecuado de las aguas lluvias para su aprovechamiento en los campus Aguas Claras y Loma Linda de la Universidad Santo Tomás campus Villavicencio, a partir de la estimación del caudal aprovechable en la zona de estudio y su calidad a través de la obtención de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos; como una alternativa de suministro dentro de los campus, además generar beneficios ambientales tales como la contribución y compromiso a un desarrollo sostenible de la Universidad y una reducción al impacto ambiental a partir de la reutilización del recurso hídrico (agua lluvia); y beneficios económicos para la comunidad universitaria en cuanto a una disminución significativa en costo del servicio público del agua.

Alcance del Proyecto

El estudio se realizó en los campus Aguas Claras y Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, estos se encuentran ubicados dentro del perímetro urbano de la ciudad de Villavicencio en la comuna 5 y 8, respectivamente (*Figura 2*).

El área urbana del municipio de Villavicencio cuenta con un área aproximada de 1.300 km²; se encuentra ubicada en la margen derecha del río Guatiquía y es limitado en tres costados por los ríos Guatiquía y Guayuriba en aproximadamente 130 km de recorrido, adicionalmente algunas quebradas como quebrada La Honda, El Guadual, quebrada Negra y Salinas son límites longitudinales aproximadamente en 40 km de recorrido (Gobernación del Meta, 2013). Villavicencio pertenece a la gran cuenca del Orinoco y debido a su ubicación orográfica entre la Cordillera y Piedemonte, se caracteriza por ser una zona de gran nivel de precipitaciones.

La precipitación promedio anual es de 4300 mm, el régimen de precipitación en el municipio de Villavicencio se caracteriza por presentar un período lluvioso entre los meses de Abril a Noviembre y un período seco entre los meses de Diciembre a Marzo. Presenta una Temperatura promedio de 27°C y una humedad relativa del 80% que disminuye en los meses donde la Temperatura aumenta (Enero a Marzo) hasta un 66% (Gobernación del Meta, 2013)

El proyecto se desarrolló durante un periodo de 8 meses, iniciando el 12 agosto del 2018, con la solicitud de los datos pluviométricos al IDEAM, y el muestreo *in situ* del agua lluvia.

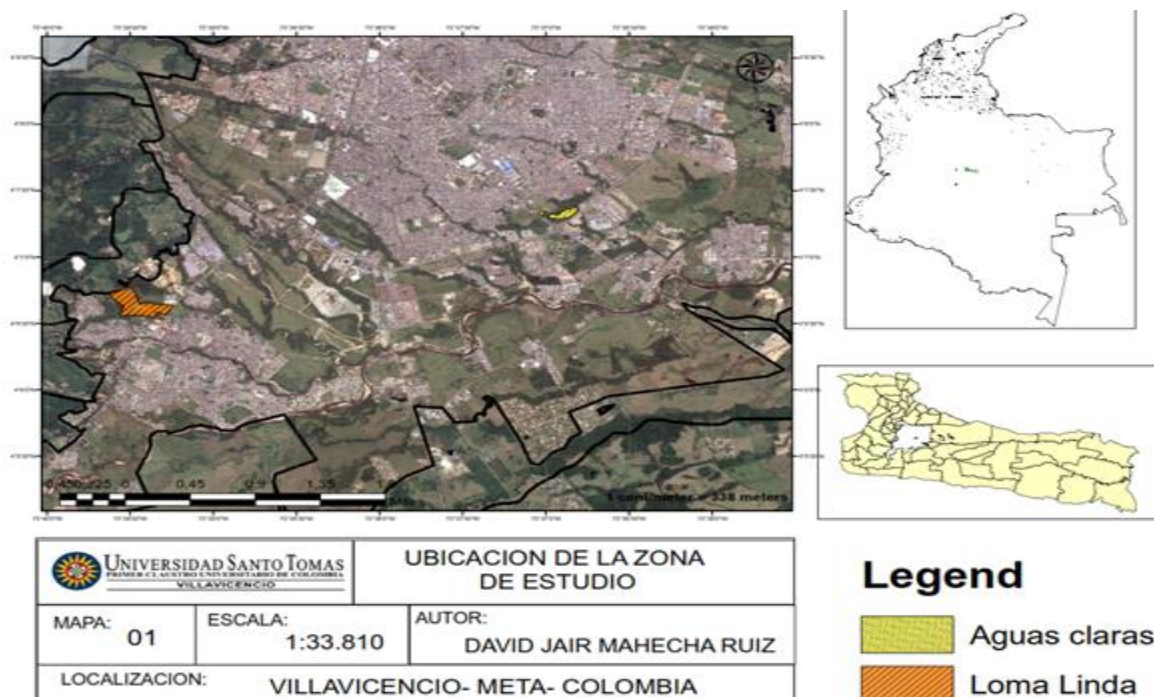


Figura 2. Mapa de la ubicación del campus Aguas Claras y campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, correspondiente a la zona de estudio, por Mahecha D, 2018- ArcMap 10.2.2

Capítulo II

Antecedentes

Con respecto a la calidad de aguas lluvias y su potencial de aprovechamiento, se realizó una búsqueda en la base de datos Scopus con el objeto de establecer las tendencias de la información relacionada con el tema de este estudio. Dicha búsqueda arrojó un total de 301 documentos relacionados con los temas aguas lluvias o calidad de las aguas lluvias, y/o consumo de agua lluvia o aprovechamiento de aguas lluvias.

Se obtuvo que entre los años de 1990 hasta el 2018, se hayan desarrollado 282 documentos referentes al tema abordado, de los 301 documentos que fueron encontrados; fue posible corroborar el desarrollo y auge que ha tomado esta problemática, con un desarrollo de 27 documentos en los últimos 2 años.

Como se observa en la (*Figura 3*), los picos de crecimiento de la documentación se han presentado hacia el año 2010 en adelante. Lo cual permite argumentar que el tema de estudio es relativamente nuevo y ha tenido su auge en la última década.

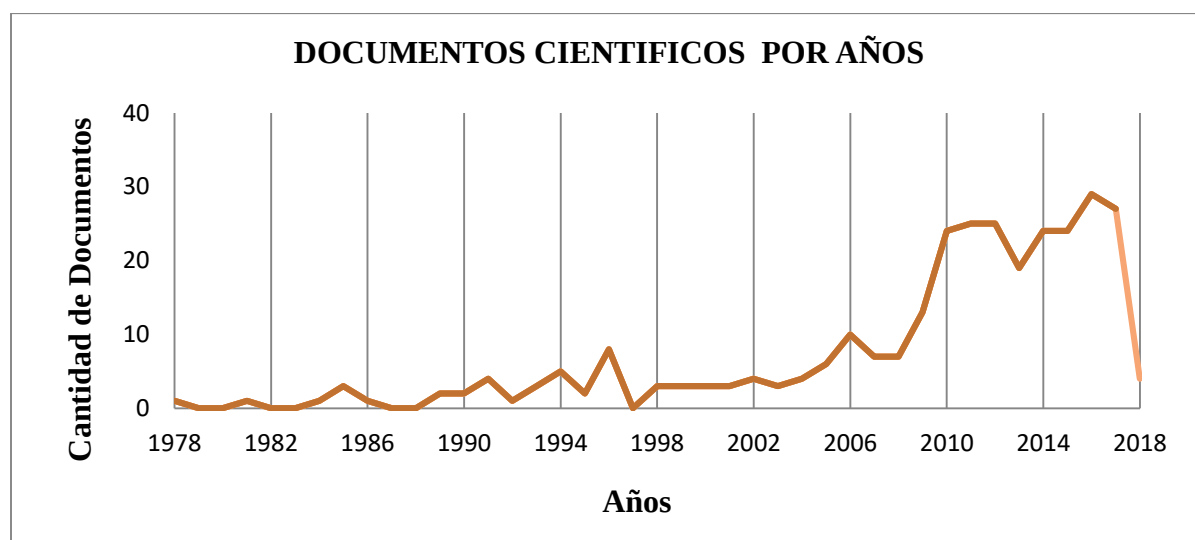


Figura 3. Variación del número de artículos por año, por Mahecha D, 2018 – Scopus.

En cuanto a la discriminación de números de documentos por país o territorio, se obtuvo que tan sólo tres documentos hacen referencia al desarrollo de actividades de investigación sobre el estudio de la calidad y aprovechamiento de las aguas lluvias en Colombia, así;

I. “Evaluación preliminar de la calidad de la esorrentía pluvial sobre tejados para su posible aprovechamiento en zonas periurbanas de Bogotá”, realizado por Torres, A.; Méndez Fajardo, S.; López-Kleine, L.; Marín, V.; González, J.A.; Suárez, J.C.; Pinzón, J.D.; Ruiz, A.(2011), estudiando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos encontrados en las muestras de agua lluvia, con el fin de responder a la problemática del uso de agua lluvia que hacen las comunidades de los barrios de Kennedy y Soacha, para satisfacer sus necesidades domésticas (Torres et al., 2011).

II. Se encontraron aportes significativos a los lineamientos metodológicos, a través de la determinación de las condiciones físico, químicas y microbiológicas para el aprovechamiento del agua lluvia como fuente alternativa para uso doméstico, en el estudio realizado por los autores E. Ospina-Zúñiga y H. Ramírez-Arcila (2012), titulado “Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia”. (Ospina & Ramírez, 2014)

III. La última, se realizó en la Universidad Javeriana, titulada “Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá)”, realizada el 2007; por Lara J.; Torres A.; Campos M.; Duarte L.; Echeverri J.; Villegas P., se basaron en la estimación de volúmenes disponibles de agua lluvia y el análisis para el cálculo de costos con el objetivo de emplearlas en el lavado de zonas duras y fachadas. (Espinell & Moncayo, 2012)

Aunque, los estudios publicados en la base de datos indexada son pocos por parte de Colombia, sí permiten identificar que ha ido en aumento el interés y adopción del agua lluvia como recurso con gran potencial para la contribución a la solución de problemáticas ambientales.

Así mismo se tuvo en cuenta el estudio realizado en México, desarrollado por Rojas, Gallardo y Martínez en el año 2012, denominado “Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua lluvia”, presentando la implementación de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, donde se realizaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos basados en la normatividad vigente, con el fin de conocer su

calidad y poder proponer la adaptación de un sistemas de captación más eficiente. (Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños, & Martínez-Coto, 2012).

Capítulo III

Marco de Referencia

Marco Teórico

Dada la señalada dependencia del hombre al recurso hídrico, la escasez del agua es un motivo de preocupación. En Colombia la oferta nacional de recurso hídrico, en algunos periodos del año permite el abastecimiento en un alto porcentaje mediante fuentes superficiales y subterráneas de la población (Ospina Zúñiga & Moyano Díaz, 2015). Por otra parte, el aprovechamiento sostenible de las aguas lluvias, la revisión principal prácticas de aprovechamiento a nivel nacional, se debe agregar las ventajas y desventajas como fuente de suministro, la relación-oferta demanda, los usos, la calidad y las normas para estas aguas a nivel mundial.(Estupiñán, J. y Zapata, 2010)

Al mismo tiempo en Colombia es necesario implementar la aplicación de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en lo que corresponde al uso en viviendas, esto obligando a que la mayoría de las practicas realizadas son de tipo artesanal sin un diseño anticipado que cumpla a las características ambientales de la región y a los requisitos de los usuarios, ya que del apropiado diseño y mantenimiento del sistema necesita la calidad y cantidad del agua abastecida. (Serea & Urbano, 2006)

Es posible utilizar el agua lluvia para el consumo humano como fuente de abastecimiento, esto si se detalla con un adecuado tratamiento que potabilice el agua. El agua lluvia es una extraordinaria fuente para recubrir la demanda de agua demandada por actividades antrópicas que no ordenan las aguas potables para su crecimiento (Serea & Urbano, 2006)

El sistema de recolección de las aguas lluvias es escaso dado que la mayor parte de las viviendas no consideran la aplicación que algún tratamiento para disminuir la contaminación por coliformes fecales y totales, por lo que se debe implementar alternativas tecnológicas individuales que adopten el tratamiento al agua captada. (Torres et al., 2011).

Dado que algunas comunidades no tienen acceso al servicio público de acueducto y agua potable, y requieren de una fuente segura para satisfacer sus necesidades es importante seguir investigando las posibles formas de aprovechar este recurso hídrico natural, en óptimas condiciones con base en la legislación nacional y la minimización de riesgo para la salud. (Arboleda Montaña, 2016)

Marco Conceptual

La crisis planetaria actual, ha llevado a disponer toda la mirada en una problemática muy importante para todos los agentes que se interrelacionan con el medio ambiente, como lo es la limitación al acceso al agua potable, la escasez y el consumismo de este recurso. (Montes, 2007) Esta problemática ha abierto la búsqueda a diferentes escenarios que contribuyan a la mitigación de tal problema, y es allí donde se ha abordado la posibilidad de reconocer el agua lluvia como un recurso y bien público, aprovechable para la población (Ospina Zúñiga & Moyano Díaz, 2015).

Igualmente se considera un gran potencial, pues en el caso de Colombia se presenta una precipitación anual cercana a los 3000 mm en el área continental, para lo cual se considera que esta cantidad es suficiente para nutrir ríos y quebradas, es decir, Colombia posee un rendimiento de 58 l/s por km², lo cual a nivel mundial sextuplica la cantidad de agua promedio y la triplica en Latinoamérica (Ramírez, 2003). Por lo tanto, si la lluvia llegara a tener el reconocimiento y aval normativo que merece, sería considerada como un recurso estratégico para la sostenibilidad urbana, la reducción de riesgos y la prevención de desastres. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido una práctica tradicional a través de la historia desde las primeras civilizaciones, las cual se ha llevado a cabo de una forma muy rudimentaria, por medio de captación doméstica en canecas (Reyes & Rubio, 2014). Si se establecieran sistemas de captación regidos bajo unos parámetros normativos, se lograría la prevención de inundaciones, sequías y riesgos urbanos en zonas de ladera de gran inestabilidad (Montes, 2007).

Marco Legal

El presente trabajo se encuentra inmerso dentro del marco normativo de aguas lluvia; en la normatividad colombiana no se cuenta con alguna norma que establezca los lineamientos para

el aprovechamiento del agua lluvia, no obstante, para el presente trabajo se tuvieron en cuenta algunas Resoluciones y Decretos, que dictan disposiciones acerca de los valores límites permisibles de acuerdo a su uso, y el manejo del recurso hídrico. Igualmente se tuvo en cuenta algunas anotaciones realizadas por la Agencia Nacional del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA), adoptadas por la Organización Mundial para la salud (OMS).

A nivel nacional la ley 373 de 1997, por la cual se establece el uso eficiente y ahorro del agua; en su *Artículo 2*, el contenido del programa de uso eficiente y ahorro del agua, dice: “...la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas, las campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas, los incentivos y otros aspectos que definan las Corporaciones Autónomas Regionales...”. El *Artículo 5*, Reúso obligatorio del agua, se refiere al reúso de las aguas lluvias, “Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental...”; y el *Artículo 9*, menciona el deber de las autoridades ambientales, “Las entidades públicas encargadas de otorgar licencias o permisos para adelantar cualquier clase de proyecto que consume agua, deberán exigir que se incluya en el estudio de fuentes de abastecimiento, la oferta de aguas lluvias y que se implante su uso si es técnica y económicamente viable (Congreso Colombiano, 1997).

El *Decreto 3930 de 2010*, establece las disposiciones relacionadas con el uso del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos del recurso hídrico; en el *Capítulo 5*, establece los criterios de calidad para la destinación de actividades de uso del recurso; en el *Capítulo 6*, se fijan las prohibiciones, control y regulación en materia de vertimientos, y restringe la descarga de aguas residuales a cuerpos de aguas lluvias (MADS, 2010).

El *Decreto 1594 de 1984*, reglamenta los establece los valores máximos permisibles en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la calidad del agua para consumo humano, en su **Capítulo 4**, constituye los criterios de calidad para la destinación del recurso (Colombia, 1984).

Resolución 330 DE 2017 *adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico nuevo (RAS) capítulo 4* (Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales) artículo 135 establece todo lo relacionado acerca de los caudales de agua lluvia

Adicionalmente, a nivel internacional la *EPA*, estableció unos límites máximos permisibles, para la determinación de la calidad del agua, los valores y los métodos para la identificación de la calidad del agua, fueron adoptados por *la Organización Mundial para la Salud (OMS)* (Environmental Protection Agency (EPA), 2000).

El decreto 1076 del 2015 decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible, en el capítulo 3 establece el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico. En la sección 2 se refiere a la destinación genérica de las aguas superficiales y subterráneas. Y en la sección 3 describe los criterios de calidad para destinación del recurso.

Resolución 2115 del 2007 instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Proyecto de ley 48 del 2017 Senado. Artículo 1°. El objeto de la presente ley es implementar e incentivar el establecimiento de sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y captación de energía solar en las edificaciones nuevas y preexistentes en el territorio nacional, lo anterior con el propósito de cuidar el recurso hídrico, mejorar la eficiencia energética y contribuir a la preservación del Medio Ambiente.

Capítulo IV

Metodología

Área Geográfica de Estudio

Villavicencio es la capital del Departamento del Meta, está localizada en la margen derecha del río Guatiquía, a los 4° 09' 12" de latitud norte y 73° 39' 06" de longitud oeste. La altura de la ciudad oscila entre los 250 y 467 metros sobre el nivel del mar (*Alcaldía de Villavicencio*, 2015), con un reporte de precipitaciones de 4300mm al año. Esta investigación aportó información base de la percepción de la población y las condiciones del agua lluvia en el municipio, y se desarrolló en los Campus Loma Linda y Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, estas zonas se encuentran ubicadas dentro del área urbana del municipio de Villavicencio en las comunas 5 y 8 respectivamente (*Figura 2*).

Fases Metodológicas

Los lineamientos metodológicos del proyecto se relacionan con dos temas. El primero, con la recolección de los datos hidrológicos del sector, suministrados, por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, para estimar la cantidad de las aguas lluvias; y el segundo corresponde a la recolección de muestras de aguas lluvia, para determinar su calidad, a partir de las características fisicoquímicas y microbiológicas. A continuación, estos procesos se encuentran descritos y representados en la (*Figura 4*).

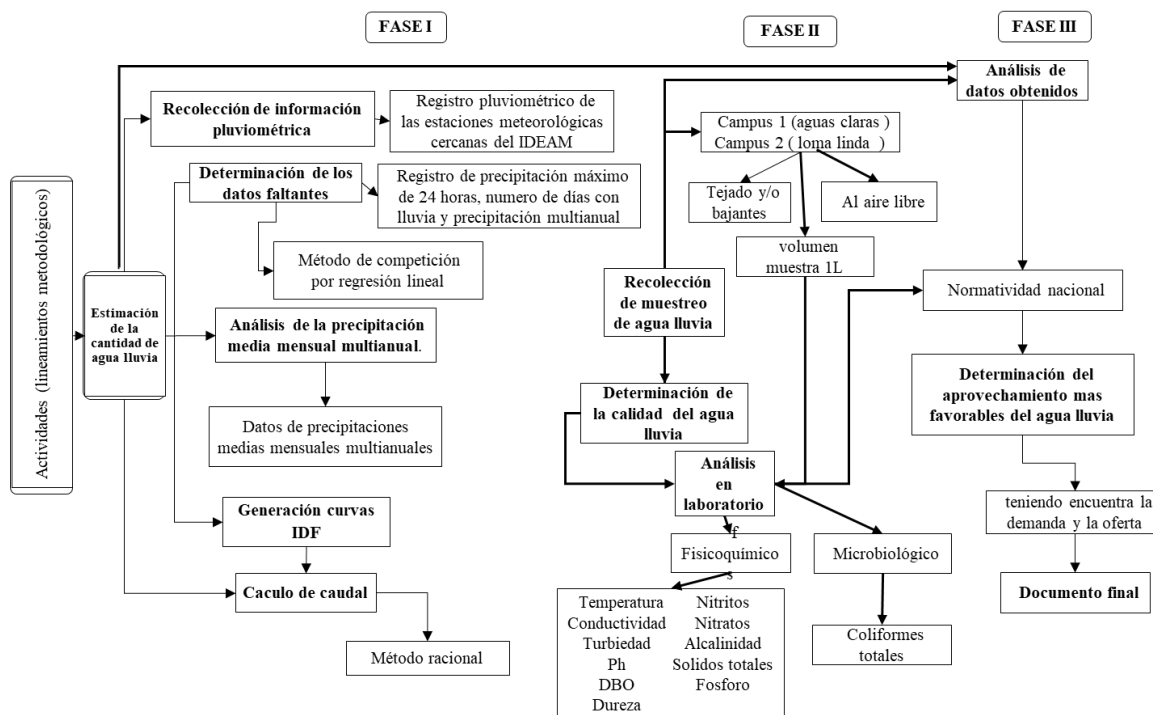


Figura 4. Flujograma de las actividades metodológicas de la presente propuesta de Investigación, por Mahecha D, 2018.

FASE 1. Estimación de la cantidad de aguas lluvias para su aprovechamiento con base en los datos pluviométricos del sector.

Esta primera fase se desarrolló a partir de 5 sub-fases que se mencionaran a continuación, y una fase preliminar donde se realizó un reconocimiento del área de estudio, para lo cual fue necesario conocer los planos arquitectónicos para estimar el área de cubiertas (techos) en cada campus de estudio de la Universidad.

Estimación de la cantidad de aguas lluvias para su aprovechamiento, a partir de la generación de Curva IDF (Intensidad-Frecuencia-Duración).

- *Recolección de información pluviométrica:* La información pluviométrica requerida corresponde a los registros de precipitación máxima en 24 horas, el número de días con lluvia y la precipitación mensual multianual, para lo cual se tuvo en cuenta las estaciones meteorológicas más cercanas a las zonas de estudios campus Loma Linda y Aguas Claras, y dicha información se solicitó en la página del IDEAM.

- *Determinación de los datos faltantes:* Para la determinación de los datos faltantes, fue necesario tener un mínimo de dos estaciones meteorológicas, en este caso se empleó un método para completar datos a partir de una regresión lineal, el cual requiere establecer una regresión y correlación lineal entre una estación patrón y la estación que tenga carencia de información, mediante una ecuación lineal de dos variables (*Ecuación 1*) (Vargas, 1998)

La ecuación (1) expresa la ecuación lineal de dos variables.

$$I = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \quad (1)$$

Donde:

I: Es la intensidad media en mm/h

T: Es el tiempo del retorno en años

t: Es la duración en horas

a,b y c : son constantes que dependen del sitios

- *Análisis de la precipitación media mensual multianual:* Con los datos de precipitaciones medias mensuales multianuales se realizó una tabla en la cual se resumiera el nivel de precipitación Vs los meses del año; con la información de precipitaciones medias, máximas y mínimas. Dicha tabla, representó el régimen de las lluvias durante el año, lo cual permitió determinar las temporadas de lluvias del año en la zona de estudio. Con el fin de validar los resultados de los gráficos, el proceso fue repetido para los datos de los números de días de lluvia.

- *Generación Curvas IDF:* estas se realizaron a partir de los registros de máximas 24 horas y aplicando la *Ecuación 2* para la estimación de las curvas IDF, propuesta para Colombia (Vargas Diaz Granados, 1998), donde se tuvo en cuenta el periodo de retorno establecido y demás lineamientos establecidos por la norma resolución 330 de 2017 (RAS), para el caudal de aguas lluvias; posteriormente se determinó la curva IDF que mejor representa las precipitaciones del sector en estudio.

La ecuación (2) expresa la estimación de las curvas IDF

$$I = \frac{a \times T^b \times M^d}{(t/60)^c} \quad (2)$$

Donde:

i: Intensidad de Precipitación en mm/h

T: Periodo de Retorno, en Años

M: Precipitación Máxima promedio anual en 24h a nivel multianual

t: Duración de la lluvia, en min.

a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la Regresión según tabla para la Región específica

- *Cálculo de caudal:* Para determinar el caudal de aprovechamiento del agua lluvia que cae en la zona de estudio, se aplicó el método racional, el cual supone la expresión matemática ($Q = CiA$), donde, el caudal (Q) es expresado en litros por segundo (l/s), i es la intensidad de la lluvia litros por segundo por hectárea (Calculada anteriormente por las curva IDF), (A) es el área de la cuenca en hectáreas (área de los campus de la universidad), y (C) es el coeficiente de escorrentía equivalente a $C=0,95$ (determinado a criterio del estudio según los valores establecidos por la norma resolución 330 del 2017) (Vargas Diaz Granados, 1998)

La ecuación (3), expresa el cálculo del caudal

$$Q = C * i * A$$

Donde:

Q: Caudal L/seg

i: Intensidad de Precipitación en mm/h

C: Coeficiente de escorrentía

A: Área m² o Hectáreas

FASE 2 –Determinar y comparar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua lluvia en dos puntos de muestreo.

Determinación de la calidad del agua lluvia, a través del muestreo in situ.

- *Recolección de muestras de agua lluvia:* Se tomó un volumen por muestra de 1L, recolectada en 2 puntos en los campus Loma Linda (campus 1) y Aguas Claras (Campus

2); estas muestras serán recogidas en: i) cubiertas y/o bajantes y ii) al aire libre. Este muestreo se llevó a cabo durante 3 meses en eventos lluviosos, cada 2 semanas, 2 muestreos para cada punto de muestreo, para la determinación de calidad del agua lluvia, a partir de sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

- *Determinación de la Calidad del Agua lluvia:* Una vez se tomaron las muestras insitu, estas fueron llevadas a los laboratorios de la universidad, para ser procesadas y analizadas, a partir de los parámetros físicos (temperatura, conductividad, turbiedad), químicos (pH, dureza, nitritos, alcalinidad, sólidos Totales, DBO,) y microbiológicos (coliformes fecales y totales).

FASE 3 – Determinar el aprovechamiento más favorable del agua lluvia, de acuerdo con los resultados obtenidos.

Análisis de datos obtenidos.

Los resultados obtenidos permitieron conocer la cantidad de agua disponible en cada mes del año, los períodos de avenidas y estiajes, con ello el caudal de aprovechamiento y la calidad del agua lluvia que cae en la zona de estudio, para finalmente a través del contraste con la normatividad requerida nacional determinar el uso más favorable para el aprovechamiento del agua lluvia en los campus de la universidad.

Capítulo V

Resultados y Análisis de Resultados

Atendiendo al objetivo general de esta investigación y considerando los objetivos específicos, este capítulo refleja, los resultados obtenidos en el desarrollo metodológico de la primera y segunda fase, que consistieron en la determinación y comparación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua lluvia captada en dos puntos de muestreo con mediciones insitu y en laboratorio; los resultados obtenidos en las fases relacionadas, se analizaron y con ayuda de referentes bibliográficos y normativos, se logró determinar el aprovechamiento más favorable del agua lluvia para los campus Aguas Claras y Loma Linda teniendo en cuenta su calidad y cantidad.

En primer lugar, se presentan los resultados de la estimación promedio de la cantidad de agua lluvia a partir de datos pluviométricos históricos del departamento con la ayuda de dos estaciones meteorológicas Estación 1 “Estación Vanguardia” y Estación 2 “Estación Alcaldía”. Posteriormente se analizaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua lluvia recolectada en dos puntos de muestreo de cada campus de la universidad, con lo que posible determinar y concluir el aprovechamiento más favorable del agua lluvia, de acuerdo con los resultados obtenidos.

FASE 1: Estimación de la cantidad de aguas lluvias a partir de datos pluviométricos.

La ejecución de la primera fase del proyecto se llevó a cabo con la búsqueda de información primaria de los registros de precipitación máxima en 24 horas, el número de días con lluvia y la precipitación mensual multianual, teniendo en cuenta los datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas más cercanas a las zonas de estudio, Campus Loma Linda y Aguas Claras, “Estación Vanguardia” y “Estación la Alcaldía” respectivamente; dicha información se solicitó a través de la página del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

Estos datos se procesaron a partir del método simplificado, según la metodología de Vargas y Díaz-Granados, en su artículo “Curvas sintéticas regionalizadas intensidad-duración-frecuencias para Colombia” (Vargas Diaz Granados, 1998) Para el cual, se tomaron los valores de la precipitación anual a 24 horas, para los años (1995-2017). Se calculó la intensidad con la Ecuación 2, formulada por Vargas y Díaz-Granados, donde precisa la regresión para las constantes A, B, C y D, según la región específica (Región Orinoquia), como se detalla en la Tabla 1, y en la Figura 5 (Vargas Diaz Granados, 1998).

Tabla 1. *Parámetros de ajustes de la regresión calculados por Vargas y Díaz-Granados*

Región	A	B	C	D
Andina (R1)	0,94	0,18	0,66	0,83
Caribe (R2)	24,85	0,22	0,5	0,1
Pacifico (R3)	13,92	0,19	0,58	0,2
Orinoquia (R4)	5,53	0,17	0,63	0,42
Todas (R5)	2,16	0,19	0,62	0,63

Nota: Tabla de constantes de regresión tomadas del método de Vargas y Díaz – Granados, Fuente: (Vargas Diaz Granados, 1998).



Figura 5. Curvas IDF Regionalizada para Colombia, tomado de, Vargas Diaz Granados, 1998.

Con esto se obtienen, los datos de intensidad, teniendo en cuenta la duración en minutos y el periodo de retorno en años, se generan las curvas IDF para cada una de los campus, como se observa en la Figura 6 y 7.

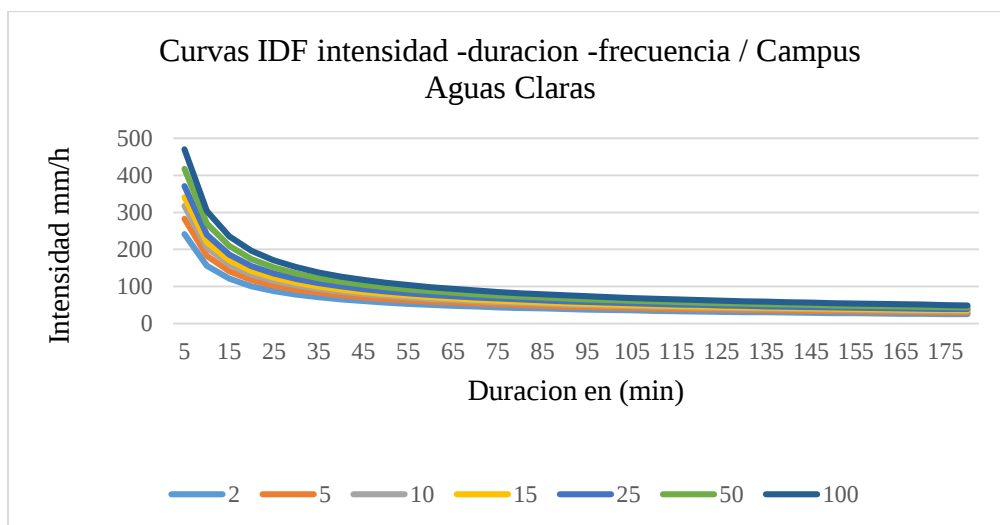


Figura 6. Curvas IDF campus Aguas Claras, por Mahecha D, a partir de base de datos pluviométricos del IDEAM, 2019.

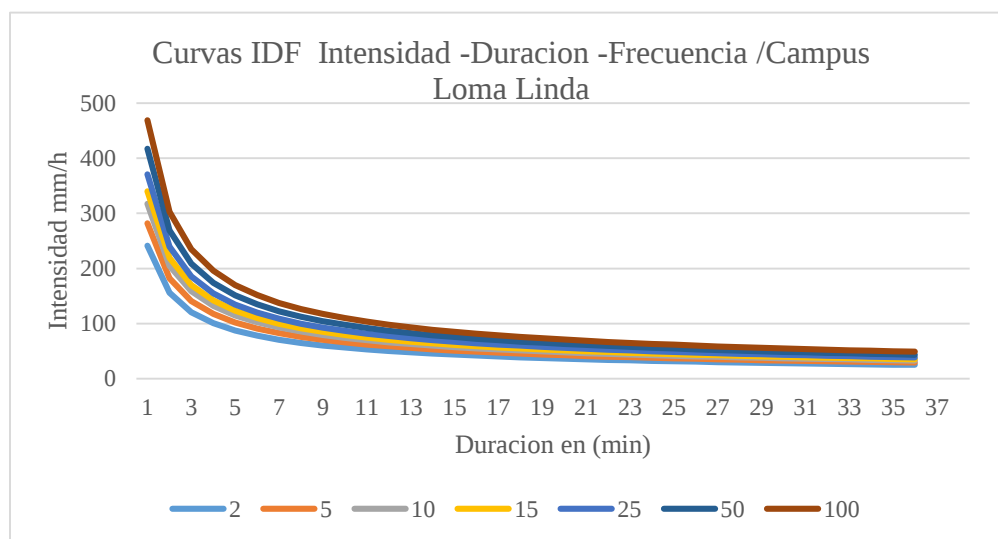


Figura 7. Curvas IDF campus Aguas Claras, por Mahecha D, a partir de base de datos pluviométricos del IDEAM, 2019.

Las figuras 5 y 6 representan la intensidad (magnitud de lluvia fuerte) 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 98.18 mm/h y 98.04 mm/h de intensidad para los campus Aguas Claras y Loma Linda respectivamente. Esto indica similitud para las dos zonas de estudio.

Se calculó el caudal a partir del método racional, con la *Ecuación 3*, donde el coeficiente de escorrentía (C) para cubiertas se tomó del título del reglamento técnico RAS 2000 (Ministerio de Desarrollo económico, 2000), con un valor de 0,95. La estimación del área de las estructuras de captación de aguas lluvias, que en este caso, corresponden a las cubiertas de las campus; para el caso de la campus Aguas Claras, el área se calculó tomando como base las cubiertas de los bloques A y B, en la campus Loma Linda se determinó el área teniendo en cuenta la sumatoria de las cubiertas de los salones, kioscos, cafeterías, baños y la casa administrativa; estos valores se detallan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. *Áreas de cubiertas, campus Loma Linda.*

Loma Linda	Aulas	Cafetería	Cafetería Veg.	Kiosco 1	Kiosco 2.	Kiosco 3	Baños	Total área
Área (m²)	1355,2	557,34	70,72	117,22	63	85,67	611,2	2860,35

Nota: Datos de áreas de las cubiertas en metros cuadrados del campus Loma Linda, por Mahecha D, 2019.

Tabla 3. *Áreas de cubiertas, campus Aguas Claras.*

Aguas Claras	Bloque A	Bloque B	Total Área
Área (m²)	1606,71	2402,96	4009,67

Nota: Datos de áreas de las cubiertas en metros cuadrados del campus Aguas Claras, por Mahecha D, 2019.

El caudal se determinó para conocer la cantidad de agua con la que puede contar cada campus, para este caso se obtuvo un caudal de 0,074 m³/s y 0,104 m³/s, para los campus aguas Claras y loma Linda respectivamente, siendo este el caudal posiblemente aprovechable. El caudal mayor corresponde al campus Aguas Claras, esto se debe a que esta posee mayor área de cobertura y tiene mayor recepción de agua lluvia a través del sistema de canales y bajantes (Tabla 4).

Tabla 4. *Caudal de aprovechamiento en el campus Aguas Claras y Loma Linda de la Universidad Santo Tomás.*

Campus	Área (A) m ²	Coeficiente (C)	Intensidad (I) mm/h	Intensidad (I) m/s	Caudal (Q) m ³ /s	Caudal (Q) L/s
Loma Linda	2860,35	0,95	98,04	2,72333E-05	0,074	74
Aguas Claras	4009,67	0,95	98,18	2,72722E-05	0,104	104

Nota: Datos para el cálculo del caudal en cada uno de los campus de la Universidad Santo Tomás, por Mahecha D, 2019.

FASE 2: Determinación de las características físico-químicas y microbiológicas del agua lluvia en dos puntos de muestreo.

Esta fase, se llevó a cabo con la toma de muestras en dos puntos de cada campus de la zona de estudio, los cuales correspondieron a las muestras recogidas en cubiertas, bajantes o canales y al aire libre; de cada punto se realizaron doce muestreos, 2 muestras cada 2 semanas, durante tres meses.

Una vez recolectados los datos en campo de manera insitu, se llevó a cabo la medición de los parámetros físico-químicos posibles a través del Multiparámetro; seguidamente se realizó el cálculo promedio de cada parámetro para cada punto de muestro en ambos campus, para obtener los valores finales, como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. *Parámetros físico-químicos y microbiológicos, fuentes de estudios en muestras de agua lluvia en los campus de la Universidad Santo Tomás*

CAMPUS	PM	T° (C°)	pH	Cd (μS/cm)	ST (gr)	Alc mg CaCO ³ /L	Tb (FAU)	D (mmol/L)	P (mg/L)	Ni mgNO ³ /L	Nitros mgNO ² /L	Coliformes Totales
Loma Linda	M1	23,4	7,3	45,6	0,106	1,42	2,333	0,1	0,3649	0,0428	0,0974	SI
	M2	24,0	7,2	45,0	0,093	1,14	1,833	0,1	0,2895	0,0418	0,0642	NO
Aguas Claras	M3	24,3	7,3	44,3	0,117	0,90	5,667	0,1	0,3568	0,0631	0,0709	SI
	M4	24,8	7,2	47,5	0,072	1,09	1,333	0,1	0,2871	0,0352	0,0843	NO

Nota: M1 y M3= Muestreo en Canales y bajantes, M2 y M4= Muestreo al aire libre, PM= Punto de muestreo, Cd= Conductividad, Alc= Alcalinidad, Tb= Turbidez, D= Dureza, Ni= Nitratos, Nitros= Nitritos, T°= Temperatura, ST=Solidos Totales, P=Fosforo, por Mahecha D, 2019.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, en primer lugar, se obtuvo una temperatura promedio en ambos campus y ambos puntos de muestreo de 24,12 C°, siendo esta una temperatura media o temperatura ambiente, la cual no tiene efecto alguno sobre otra propiedad fisicoquímica dado que no tiene una variabilidad (aumento o disminución) que afecte las características del agua.

El segundo parámetro químico base de estudio fue el pH, obteniendo así un pH de 7,3 para las muestras tomadas en canales o bajantes, y un pH de 7,2 para los muestreos realizados al aire libre en ambos campus del campus universitario. Siendo el pH un parámetro hídrico el cual determina una medida de la actividad del potencial de iones de hidrogeno, este es medido en una escala de cero 0 a 14, donde las soluciones con un pH por encima de siete 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalino, y un pH menor a siete 7.0 corresponde a sustancias acidas; siendo el 7 un pH neutro (Aznar Jiménez, 2000).

En aspectos normales en aguas superficiales el pH adecuado es de 6,5 a 8,5; para el agua lluvia en estudio se obtuvo un pH neutro, es decir sin variabilidades básicas o acidas. Cuando hay presencia de una acidez aguda en el agua lluvia es a causa de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, presentes en el agua, estos como consecuencia de automotores y plantas industriales en la zona. Sin embargo, al tener un cambio de 0,2 y 0,3 en cada pH de cada punto de muestreo, se infiere que esto se debe principalmente a una muy leve contaminación por gases en la atmosfera circundante al área de estudio por la presencia de algunas industrias que cargan la atmosfera de gases y material particulado que es arrastrado por el aire acumulándose en los tejados de las edificaciones y por ende trasladado por el agua lluvia. A pesar de esta mínima variabilidad del pH por factores contaminantes, el pH se encuentra entre los límites normales. No se registraron diferencias significativas

Un parámetro químico determinado por el pH es la alcalinidad, esta es una medida del agua para resistir un cambio de pH es decir neutralizar ácidos. En las aguas naturales, esta propiedad se debe principalmente a la presencia de ciertas sales de ácidos y bases débiles; dado esto, la capacidad de reaccionar con los iones hidrógeno del agua, está vinculada por los iones carbonato (CO_3^-) y bicarbonato (HCO_3^-), aunque también influida por el contenido en otros como boratos, fosfatos, silicatos y oxidrilos (Aznar Jiménez, 2000). Para la investigación se obtuvo una alcalinidad entre 1,40 a 1,50 mg CaCO_3/L , de acuerdo a la Figura 7, esta es una alcalinidad bicarbonato en un punto de neutralidad con base en el pH de la muestra, es decir que el agua presenta una leve presencia de carbonatos (sales derivadas del ácido carbónico), los

cuales forman parte natural de algunos minerales y rocas, haciéndolos pocos solubles en agua (Giraldo Gómez, 1995). Dado esto se puede confirmar la presencia casi nula de un ácido fuerte en el agua lluvia fuente de estudio.⁷

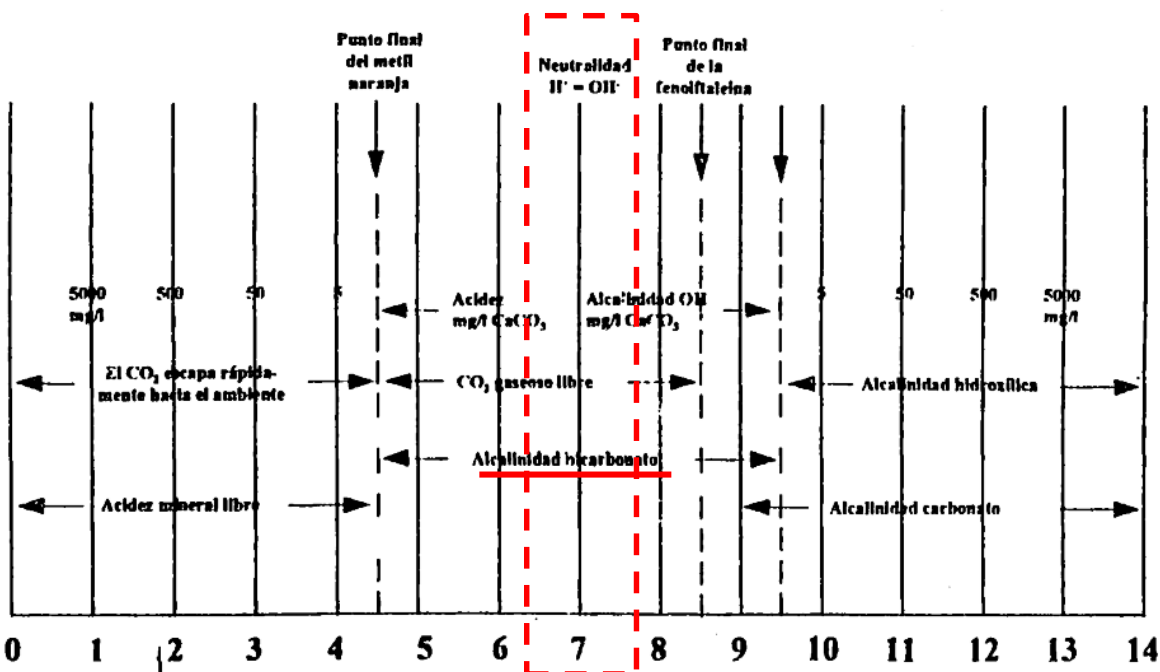


Figura 8. Relación entre pH y Alcalinidad, por Giraldo Gómez, 1995.

Posteriormente se realizó el cálculo de los sólidos totales (ST) presentes en la muestra, siendo estos la suma de sólidos sedimentables (SS) y sólidos disueltos (SD) en el agua.

Para la muestra de agua lluvia recolectada en bajantes, se obtuvo una concentración promedio de 0,11 gr ST, y la muestra de agua lluvia al aire libre una concentración de 0,08 gr ST. Por consiguiente, y como se puede observar en la Tabla 5, el mayor contenido de sólidos totales se encontró en el agua lluvia proveniente de canales o bajantes, esto se puede atribuir a la mala limpieza (suciedad y contaminación) de las mismas, dado que en estas se pueden encontrar formaciones de moho, alguna vegetación y por ende tierra, polvo; material que en cierto porcentaje por escorrentía se convierte en material de arrastre a través del agua lluvia, disolviéndose una parte y otra parte como material flotante.

A pesar de no haber realizado una medición particular de SS y SD, es posible evidenciar la presencia, afectación o acción de estos frente a otros parámetros; tal es el caso de la conductividad, la cual es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos (SD), por lo tanto cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad, debido a que se

disuelven descomponiéndose en el agua y cargándola con iones de sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{+2}) (Giraldo Gómez, 1995), entre otros. Dado esto, se obtuvo una conductividad promedio para todos los puntos de muestreo en total de $45,6 \mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual evidencia una concentración media de SD que favorecen a un nivel medio de conductividad, la cual se encuentra entre los límites normales.

En cuanto a los sólidos sedimentables (SS), estos son los principales causantes de la turbidez debido a que producen dispersión de la luz que atraviesa la muestra de agua, siendo una relación directamente proporcional, es decir que en cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez (Aznar Jiménez, 2000).

Para las muestras de estudio se obtuvo un mayor nivel de turbidez en el agua lluvia proveniente de canales o bajantes, para los campus loma Linda se obtuvo una turbidez de 2,3 FAU (unidades de atenuación de formacina) y para los campus agua Claras 5,67 FAU (Tabla 2). Estos niveles de turbidez son asociados directamente a la presencia media-baja de sólidos suspendidos en las muestras, como consecuencia reiterada de la limpieza y mal estado de canales y bajantes en ambas campus de estudio, dado la formación de moho, vegetación, algas, presencia de algunos animales, sedimentos, entre otros, que tienden acumularse en tejados y canales; haciendo que se presente un arrastre de dicho material por el agua lluvia y ocasionando la variabilidad de turbiedad al momento de la medición en campo

Otro parámetro químico determinante en la calidad del agua y sus posibles usos, es la dureza, esta está condicionada o bien se puede determinar a partir del contenido de sólidos disueltos o conductividad en el agua. Esto se debe a la presencia de iones de calcio (Ca^{2+}) o magnesio (Mg^{2+}) disueltos en el agua dada la presencia de sólidos disueltos, la presencia de estos es de origen natural y raramente antrópica por contaminación; partiendo de esto se obtiene un nivel dureza de $0,1 \text{ mmol}/\text{L}$ lo que equivale a aproximadamente $0,178^\circ\text{F}$ (grado francés) la unidad más común de dureza. Por consiguiente, relacionando los valores de dureza, conductividad y a aparentemente sólidos disueltos, se puede determinar el nivel de dureza del agua como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. *Dureza del agua*

Tabla de Dureza del Agua			
ppm	$\mu\text{S/cm}$	$^{\circ}\text{f}$	Dureza
0-70	0-140	0-7	Muy blanda
70-150	140-300	7-15	Blanda
150-250	300-500	15-25	Ligeramente dura
250-320	500-640	25-32	Moderadamente dura
320-420	640-840	32-42	Dura
Superior a 420	Superior a 840	Superior a 42	Muy dura

Nota: tabla de caracterización según el parámetro de dureza del agua, tomado de, Reitec S.A.S, 2001.

Dado lo anterior se puede determinar que el agua de lluvia fuente de estudio, tiene un nivel de dureza en el agua catalogada como agua muy blanda

Respecto al contenido de Fosforo (P) Nitritos (mgNO^2/L) y Nitratos (mgNO^3/L) a través de estos es posible determinar el nivel de contaminación del agua a partir de la cantidad presente de estos. Un alto contenido de estos en el agua indica un nivel alto de contaminación con un largo periodo de suceso, causando un crecimiento de biomasa acuática ocasionando eutrofización.

Lo anterior se debe básicamente a que la oxidación aeróbica de compuestos amoniacales y nitrogenados lleva a la formación de nitritos,, y estos se degradan convirtiéndose en nitratos en un largo periodo de tiempo, lo mismo sucede con el fosforo (Aznar Jiménez, 2000).

Según los resultados obtenidos en laboratorio recopilados en la Tabla 5 se logra evidenciar un bajo contenido de Fosforo Nitratos y por ende de Nitratos, de igual manera se puede ratificar la degradación de nitritos a nitratos dado sus bajas concentraciones y su disminución en casi un 30 - 40%; esto quiere decir que el agua contaba con un nivel bajo de contaminación favoreciendo a la formación de estos compuestos presentes en el agua. Dicha contaminación puede ser atribuida a las condiciones físicas y estructurales de las canales, bajantes y tejados los cuales presentan los niveles más altos de nitrito y nitratos.

El último parámetro químico que se analizó en laboratorio fue la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) Tabla 7, esta me indica la variación de Oxígeno disuelto en el agua (materia hidrocarbonada y nitrogenada biooxidable) permitiendo conocer la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en una muestra, y por ende es simultáneamente un indicador de contaminación orgánica en el agua. Como se puede observar en la Tabla 4, se encontraron bajos

niveles de DBO en el agua a una temperatura ambiente promedio de 23 C°; determinando así y ratificando unos niveles bajos o medio-bajos de contaminación, y en especial contaminación antrópica.

Tabla 7. *Demanda Biológica de Oxígeno*

CAMPUS	Muestreo	Medición Inicial		Medición cinco (5) días después	
		T° (C°)	O ₂	T° (C°)	O ₂
C. Loma Linda	M1	23	7,50	22	4,45
	Canales				
	M2	24	7,46	23	3,94
C. Aguas Claras	Aire Libre				
	M3	23	7,52	23	4,20
	Canales				
	M4	24	7,45	23	3,96
	Aire Libre				

Nota: Datos obtenidos en la medición del parámetro DBO en cada campus y sitio de muestreo, por Mahecha D, 2019.

Finalmente en cuanto a los parámetros microbiológicos, estos se determinaron a partir de la presencia o ausencia de Coliformes Fecales (Tabla 5), para ambas campus de estudio en los puntos de muestreo correspondientes a canales, se encontró la presencia positiva de coliformes fecales en un mínimo porcentaje, esto se atribuye a las condiciones físicas y estructurales de las canales, bajantes y tejados, dado a que estas infraestructuras no cuentan con una limpieza adecuada y hay presencia de heces de fauna silvestre la cual habita cerca a las instalaciones, debido a su cercanía al humedal Aguas Claras y la zona boscosa en la campus Loma Linda.

FASE 3: Determinación del uso más favorable del agua lluvia, de acuerdo con los resultados obtenidos.

De acuerdo a los resultados obtenidos y realizando una comparación con la normatividad ambiental y de sanidad vigente, se logró determinar los posibles usos del agua lluvia en las zonas de estudio y su cumplimiento o no de la normatividad (Tabla 8).

De acuerdo al Decreto 1575 de 2007 en su artículo 2 capítulo I “Definiciones” se puede clasificar y definir el agua lluvia como “Agua Cruda”, siendo esta el agua natural que no ha sido sometida a procesos de tratamiento para su posterior potabilización y uso.

A partir de esto y según el Decreto 1594 de 1984 en su artículo 29 capítulo III menciona los posibles usos y destinación de las aguas de acuerdo a sus características de calidad. Dado esto el agua lluvia como agua cruda sin ningún tratamiento y teniendo en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, puede ser empleada para actividades de uso doméstico y preservación de fauna y flora.

Sin embargo, cabe aclarar en el Artículo 30 y 31, cuales son los límites que abarca el uso del agua lluvia en estas actividades; entendiendo para uso doméstico el agua empleada en la satisfacción de necesidades domesticas de limpieza de materiales y lugares, y para preservación de fauna y flora, las actividades destinada a mantener ecosistemas sin causar alteraciones en estos. Adicionalmente en es este decreto en el artículo 38 capítulo IV se especifican los criterios de calidad del agua para cada actividad antrópica en la cual se utilizará el agua; cumpliendo así con los límites máximos permisibles.

Finalmente de acuerdo a la Resolución 0330 de 2017 expedida por el ministerio de salud y protección social, especifica los límites máximos permisibles para los parámetros físicos químicos concernientes a la preservación de la salud del ser humano; de acuerdo a esta normatividad nacional vigente y pertinente al recurso hídrico se puede determinar que el agua lluvia de estudio en los campus de la universidad Santo Tomás, puede ser empleada para fines de limpieza de fachadas, sanitarios y riego de zonas verdes.

Tabla 8. Comparación de los límites máximos permisibles con la normatividad vigente colombiana.

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4	Dec.3930/2010	Dec.1594/2007	Dec.1575/2007	Res.3930/2010
Temperatura	C°	23,4	24,0	24,3	24,8	SI	SI	SI	SI
pH		7,3	7,2	7,3	7,2	SI	SI	SI	SI
Conductividad	µS/cm	45,6	45,0	44,3	47,5	SI	SI	SI	SI
Solidos Totales	gr	0,1065	0,0926	0,1166	0,0718	SI	SI	SI	SI
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	1,42	1,14	0,90	1,09	SI	SI	SI	SI
Turbidez	FAU	2,33	1,83	5,67	1,33	SI	SI	SI	SI
Dureza	mmol/L	0,1	0,1	0,1	0,1	SI	SI	SI	SI
P	mg/L	0,3649	0,2895	0,3568	0,2871	SI	SI	SI	SI
Nitratos	mgNO ₃ /L	0,0428	0,0418	0,0631	0,0352	SI	SI	SI	SI
Nitritos	mgNO ₂ /L	0,0974	0,0642	0,0709	0,0843	SI	SI	SI	SI
Coliformes Totales		+	-	+	-	NO	NO	NO	NO

Nota: M1 y M3= Muestreo en Canales y bajantes, M2 y M4= Muestreo al aire libre, T°= Temperatura, ST=Solidos Totales, P=Fosforo, SI=Cumple, NO= no cumple, + = (positivo/presencia), - = (Negativo/Ausencia) , por Mahecha D, 2019.

Según la Tabla 8, se puede evidenciar el cumplimiento en un 90% de los parámetros físicoquímicos frente a la normatividad nacional vigente; sin embargo, la presencia de coliformes fecales así sea en un mínimo contenido no da cumplimiento con una buena calidad para el agua. Según los resultados obtenidos en el análisis de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del agua lluvia muestreada en las campus Aguas Claras y Loma Linda de la Universidad Santo Tomás se logra determinar una leve presencia de contaminación y por ende, no una calidad óptima para que esta sea usada con fines de consumo humano; sin embargo realizando una comparación de cada parámetro con respecto a la normatividad ambiental vigente en Colombia, y su cumplimiento a cabalidad en el 90% de los niveles máximos permisibles, se determinó que los posibles usos para dicha agua lluvia es con fines de limpieza de fachadas, sanitarios y riego de zonas verdes.

Según Estupiñán y Zapata en su investigación “*Requerimientos de infraestructura para el aprovechamiento sostenible del agua lluvia en el campus de la pontificia Universidad Javeriana*” del año 2010, el agua lluvia pura es difícil de encontrar, dado que existen diversos factores que afectan la calidad de esta; en primer lugar, existe un nivel de contaminación atmosférico de componentes particulados compuestos por microorganismos, metales pesados y sustancias orgánicas, los cuales se precipitan inmersos en las gotas de agua lluvia. En segundo lugar y adicional a esto, hay presencia de contaminantes acumulados en las zonas de recolección y captación (Tejados, bajantes, canales y tanques), debido a los materiales con los que están contruidos, por ejemplo, en zinc, aluminio y cobre; así mismo el uso de diferentes impermeabilizantes que contienen derivados del petróleo, metales pesados, grasa y aceites. Y finalmente otro tipo de contaminación es generada por contaminación fecal de aves, mamíferos y reptiles que pueden tener acceso a las zonas de captación y recolección, generando la reproducción de bacterias, virus y protozoos (Estupiñán, J. y Zapata, 2010).

Para el caso de los campus de la Universidad Santo Tomás, la leve variación de algunos parámetros físicoquímicos y microbiológicos se debe a estos factores mencionados anteriormente, dado a que la infraestructura de los tejados y bajantes de ambos campus no cuentan con una limpieza adecuada y hay presencia de fauna silvestre debido a su cercanía al humedal Aguas Claras y la zona boscosa en el campus Loma Linda. Sin embargo, el material de PVC o plástico en el cual están contruidos no permite una formación abundante de musgo o lama que favorezca más a la formación o acumulación de bacterias o virus.

Así mismo Arboleda Montaña en su investigación “*Diagnostico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de los Lago, Buenaventura*” del año 2015, frente al análisis estructural de las zonas de captación y almacenamiento, determina como factible el uso de tejados y bajantes o canales en zinc o PVC, ya que se evidencia una presencia baja o nula de contaminantes microbiológicos que afecten la calidad del agua en comparación con el tejado de asbesto que contribuye a una contaminación por microorganismos y metales pesados al agua lluvia (Arboleda Montaña, 2016).

A partir de esto y una vez determinados los diferentes posibles usos para el agua lluvia en los campus de la Universidad Santo Tomás, se tuvo en cuenta la oferta hídrica a nivel Nacional y la demanda hídrica de la Universidad en comparación con el caudal disponible para los usos propuestos, determinando si se cubre los requerimientos hídricos para las instalaciones de los campus.

De acuerdo con los informes del Instituto de Recursos Mundiales y de las Naciones Unidas, Colombia, cuenta con una oferta hídrica de 33.630 m³ al año por persona; según los estimativos del IDEAM la oferta hídrica total en el país supera los 2.000 km³ al año, y corresponde a 57.000 m³ anuales por habitante, se estima que, si se incorporan reducciones tanto por alteración de la calidad como por regulación natural, se alcanza apenas una disponibilidad de 34.000 m³ por habitante al año. Para las condiciones de año seco consideradas, esta disponibilidad se reduce a 26.700 m³ al año por persona (IDEAM, 2019).

En cuanto a la demanda a nivel institucional, según la NTC 1500 (Norma Técnica Colombiana) del Código Colombiano de Fontanería, el consumo promedio de agua para las Universidades corresponde a 50 L/persona/día; para el caso específico de la Universidad Santo Tomás, el campus Aguas Claras cuenta con una población de 1790 estudiantes y personal administrativo aproximadamente, es decir tiene una demanda hídrica total de 89500 L/día, dicha demanda engloba diferentes actividades cotidianas que empleen agua. Así mismo para el campus Loma Linda cuenta con una población de 480 estudiantes y personal administrativo aproximadamente, lo que se traduce en una demanda hídrica total de 24000 L/día.

Sin embargo, el agua lluvia fuente de estudio en la presente investigación será empleada únicamente para el desagüe de batería de baños (Inodoros), lavado de fachadas y riego de jardines, es decir la demanda hídrica disminuiría. Según la NTC 1500 el caudal mínimo

requerido en un sanitario tanque es de 0,19 L/s, y en un orinal es de 0,19 L/s, es decir 0,38 L/s de caudal será requerido para uso sanitario, generando así en primer un ahorro de agua potable que podrá ser empleada en otras actividades y un ahorro económico en la disminución de la factura del servicio público. Partiendo del caudal obtenido en esta investigación (Tabla 4) se puede determinar que el caudal determinado cubre el abastecimiento necesario para los campus de la Universidad (Aguas Claras y Loma Linda).

Dicha actividad de abastecimiento de batería de baños a partir del agua lluvia cuando se presenta un desabastecimiento del agua proveniente del acueducto municipal de Villavicencio, es una actividad que ya se realiza de manera empírica a través de bombas desde los tanques de almacenamiento hasta los tanques elevados que se encargan de distribuir el agua a los sanitarios e inodoros en el campus Agua Claras de la Universidad Santo Tomas en el bloque “B”; por su infraestructura el bloque “A” no cuenta con este abastecimiento de agua lluvia para sanitarios en casos de desabastecimiento.

El agua lluvia restante o caudal restante del agua capturada será empleada para el lavado de fachadas (parqueaderos, paredes, senderos peatonales, tejados, etc...) y riego de jardines (zonas verdes ornamentales) en ambos campus universitarios.

Conclusiones

- A partir de los datos pluviométricos del sector, obtenidos a través de la base de datos de las estaciones climatológicas del área de estudio y el posterior calculo y análisis de las curvas IDF, se logró determinar el posible caudal de aprovechamiento en cada campus los cuales corresponden en los campus Loma Linda 74 L/S y Aguas Claras 104 L/S. siendo esto unos caudales óptimos para su recolección y almacenamiento.
- Se logró dar una respuesta positiva frente la hipótesis investigativa planteada “Es factible suponer que las condiciones de calidad del agua lluvia sean apropiadas, y el caudal disponible en la zona de los campus de la Universidad sea suficiente para servir como suministro de agua para uso doméstico (lavado de zonas duras, fachadas y riego de zonas verdes)”.
- A partir de los análisis de los parámetros físico químicos y microbiológicos de agua lluvia se logró determinar un nivel de contaminación bajo dado a estos datos se encuentran en los límites máximos permitidos y no tiene contraindicaciones para el uso previsto para el agua lluvia, el cual corresponde a la limpieza de fachadas, sanitarios y riego de zonas verdes.
- Dado el estudio, el aprovechamiento del agua lluvia es factible para uso sanitario, zonas verdes y fachadas.
- De acuerdo a la normatividad nacional vigente y pertinente al recurso hídrico se pudo determinar que el agua lluvia de estudio en los campus de la universidad Santo Tomás, puede ser empleada para fines de limpieza de fachadas, sanitarios y riego de zonas verdes.

- Según información secundaria recolectada en el área administrativa de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, esta cuenta con un sistema de recolección y distribución por bombas a los tanques aéreos, para dar abastecimiento de agua cuando se presenta una escases del recurso, uso al cual es destinado es para el cargue y descargue de batería sanitaria del campus Aguas Claras únicamente; sin embargo no se cuenta con un estudio hidrológico, el cual determine la calidad del agua que está siendo empleada.

Recomendaciones

- Se recomienda implementar el análisis de más parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de calidad de agua, si se es necesario el uso del recurso hídrico en otras actividades antrópicas que requieran más contacto e intervención del ser humano, diferentes a las propuestas.
- Adicional a esto se recomienda contar con un sistema de tratamiento adecuado para el uso del agua lluvia en actividades diferentes a las propuestas en la investigación.
- Cabe especificar que esta investigación abarca únicamente el análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua lluvia fuente de estudio para los campus de la universidad Santo Tomás, para determinar así la calidad y cantidad del agua aprovechable para ciertas actividades antrópicas de uso sanitario (limpieza y lavado). Por esta razón se recomienda para futuras investigaciones el análisis y diseño del posible sistema de almacenamiento y tratamiento adecuado para el agua lluvia.
- Dado a que la infraestructura de los tejados y bajantes de ambas campus no cuentan con una limpieza adecuada y a causa de la presencia de fauna silvestre cerca debido a su cercanía al humedal Aguas Claras y la zona boscosa en la campus Loma Linda presenta contaminación por heces, se recomienda un lavado y limpieza de las zonas de captación y almacenamiento, Sin embargo el material de PVC o plástico en el cual están contruidos no permite una formación abundante de musgo o lama que favorezca más a la formación o acumulación de bacterias o virus.
- De acuerdo con los resultados de cantidad de agua lluvia con la que cuenta cada campus, se recomienda realizar un estudio de diseño e implementación de una estructura de captación, almacenamiento y distribución de aguas lluvias. Sería posible también realizar un piloto para utilizarlo en aguas para sanitarios en el caso de los campus loma Linda que cuenta con baterías sanitarias exteriores (junto al Kiosco 1) y para riego en el caso de los dos campus.

Bibliografía

- Alcaldía de Villavicencio. (2015). Plan de Ordenamiento Territorial. Villavicencio. Retrieved from: [http://villavicencio.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/POT_2015_Componente General POT.pdf](http://villavicencio.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/POT_2015_Componente_General_POT.pdf)
- Arboleda Montaña, N. (2016). Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de Los Lagos, Buenaventura. *Luna Azul*, 43(43), 29–55. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.3>
- Arevalo, D., Lozano, J. G., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo*, 7, 103–126. Retrieved from: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11915/101-126%20Arevalo_Huella%20Hidrica.pdf
- Aznar Jiménez, A. (2000). *Determinación de los parámetros físico-químicos de la calidad de las agua. Gestión Ambiental* (Vol. 2). Madrid España. Retrieved from <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Colombia, C. de la R. de. Decreto 1594 de 1984 (1984). Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>
- Congreso de Colombia; República de Colombia, G. N. Ley 373 de 1997 (1997). Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- Environmental Protection Agency (EPA). (2000). Introducción a la Ley de Agua. *Watershed Academy Web*, 1–101. Retrieved from: https://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/Introduccion_a_la_Ley_de_Aqua_Limpia.pdf
- Espinel, L. G., & Moncayo, L. S. (2012). Aprovechamiento del agua lluvia en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá en función de la variabilidad de la calidad. retrieve from: <http://hdl.handle.net/10554/15421>
- Estupiñán, J. y Zapata, H. (2010). *Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana , sede Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana*. Retrieve from: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1265/ing05.pdf;jsessionid=06D11D729F0908F55DBA002870847B6B?sequence=2>

- Gerena B, J. D., & Mora G, M. V. (2017). *Evaluacion de parametros fisicoquimicos en agua lluvia de escorrentia en tres puntos con tipos de suelo industrial, residencial y vehicular en bogota con proyeccion a sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Retrieve from: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9236/GerenaJuan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Giraldo Gómez, G. I. (1995). *Manual de Análisis de aguas*. Manizales Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisisdeaguas.pdf>
- Gobernación del Meta. (2013). Plan de Ordenamiento Territorial Villavicencio. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua. Estudio Nacional del Agua 2014*. Retrieve from: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua ENA 2018*. Bogotá D.C. Colombia. Retrieved from http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf
- Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, M. (2010). Decreto 3930 de 2010. Bogota D.C. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf
- Ministerio de Desarrollo económico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento basico RAS-2000*. Bogotá D.C. Retrieved from http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- Montes, M. P. (2007). La Gestión del Agua Lluvia y la Reducción de Riesgos Urbanos. *La Gestión Del Riesgo Urbano En América Latina*, 12. Retrieve from: <https://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/la-gestion-del-riesgo-urbano-en-america-latina.pdf>
- Ospina, Ó., & Ramírez, H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 125–137. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.812>
- Ospina Zúñiga, O. E., & Moyano Díaz, Y. C. (2015). Evaluación del aprovechamiento para consumo humano del agua de lluvia en una microcuenca urbana de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingenium*, 9(24), 11. <https://doi.org/10.21774/ing.v9i24.517>
- Ramírez, R. (2003). Colombia: Potencia Hídrica. *Boletín Sociedad Geográfica De*

- Colombia (Academia Colombiana De Ciencias Geográficas)*, 46, 121–135. Retrieve from: <https://www.sogeocol.edu.co/documentos/06colo.pdf>
- Reitec S.A.S. (2001). *Conductividad eléctrica*. España. Retrieved from <http://www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf>
- Reyes, M. C., & Rubio, J. J. (2014). Descripción De Los Sistemas De Recolección Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias. 2014, 53. Retrieve from: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>
- Rojas-Valencia, M. N., Gallardo-Bolaños, J. R., & Martínez-Coto, A. (2012). Implementación y Caracterización de un Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), 16–23. Retrieve from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-2012/cqb121b.pdf>
- Secreteria del Convenio Sobre la Diversidad Biologica. (2010). *Guía De Buenas Prácticas : Agua Potable , Diversidad Biológica Y Desarrollo*. Retrieve from: <https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf>
- Serea, V. I., & Urbano, A. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia José Alejandro Ballén Suárez 1 ,Miguel Ángel Galarza García 2 ,Rafael Orlando Ortiz Mosquera 3.
- Torres, A., Méndez, S., López, L., Marín, V., González, A., Suárez, C., ... Ruiz, A. (2011). Preliminary assessment of roof runoff rain water quality for potential harvesting in Bogota's Peri-urban areas- Sohacha. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 127–135. Retrieve from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262011000100016
- Vargas Diaz Granados. (1998). Curvas sintéticos regiónlizadas de intensidad duracion frecuencia para curvas IDF. Retrieve from: <https://es.scribd.com/doc/249526743/Vargas-Diaz-Granados-CurvasIDF-1998>

Anexos

Anexo 1. Plano arquitectónico del Bloque A Campus Aguas Claras

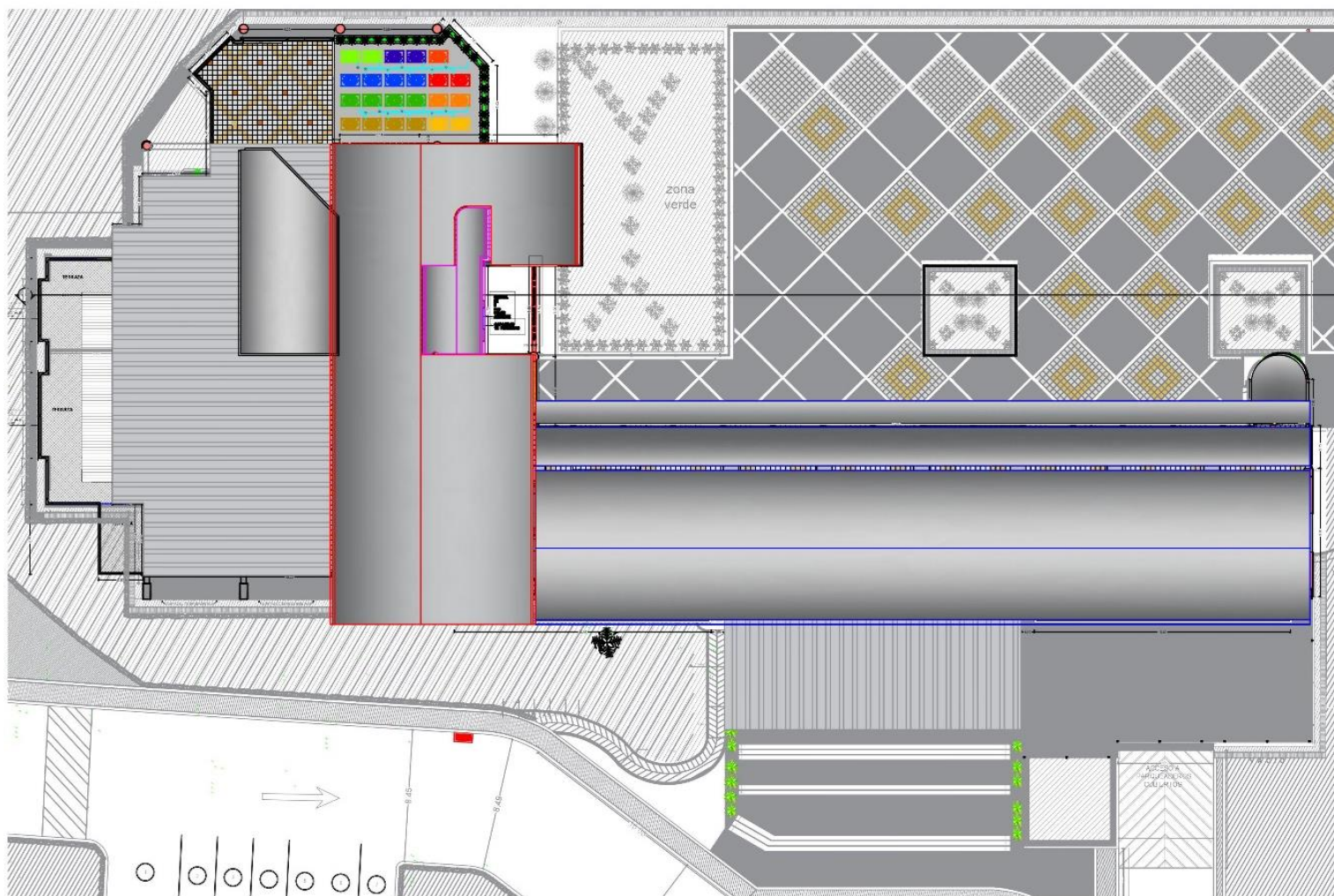


Figura 9. Planos arquitectónicos del bloque A del campus Aguas Claras, tomado de, Universidad Santo Tomás, 2019.

Anexo 2. Plano arquitectónico del Bloque B Campus Aguas Claras

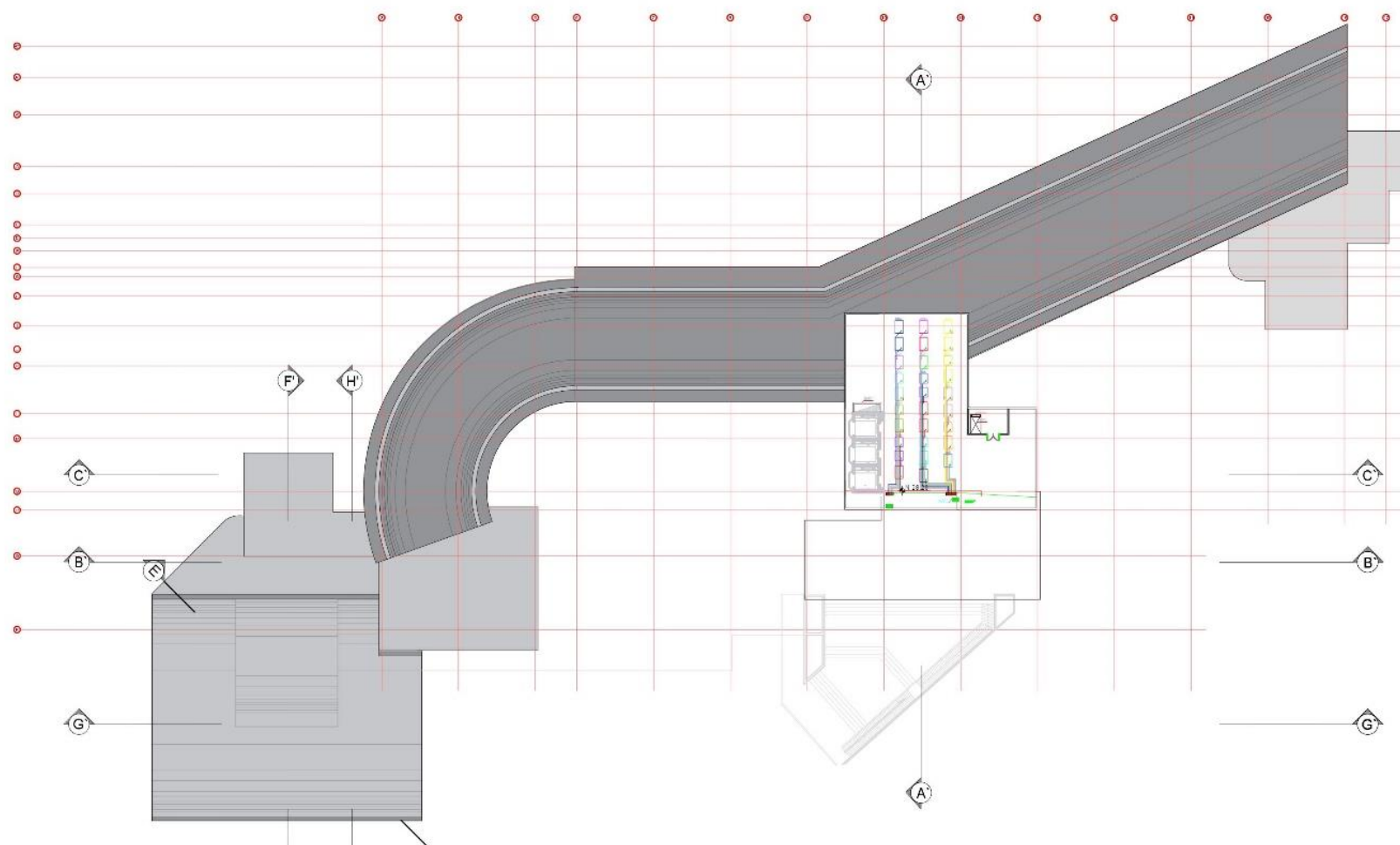


Figura 10. Planos arquitectónicos del bloque A del campus Aguas Claras, tomado de, Universidad Santo Tomás, 2019.

Anexo 3. Plano arquitectónico de la Campus Loma Linda

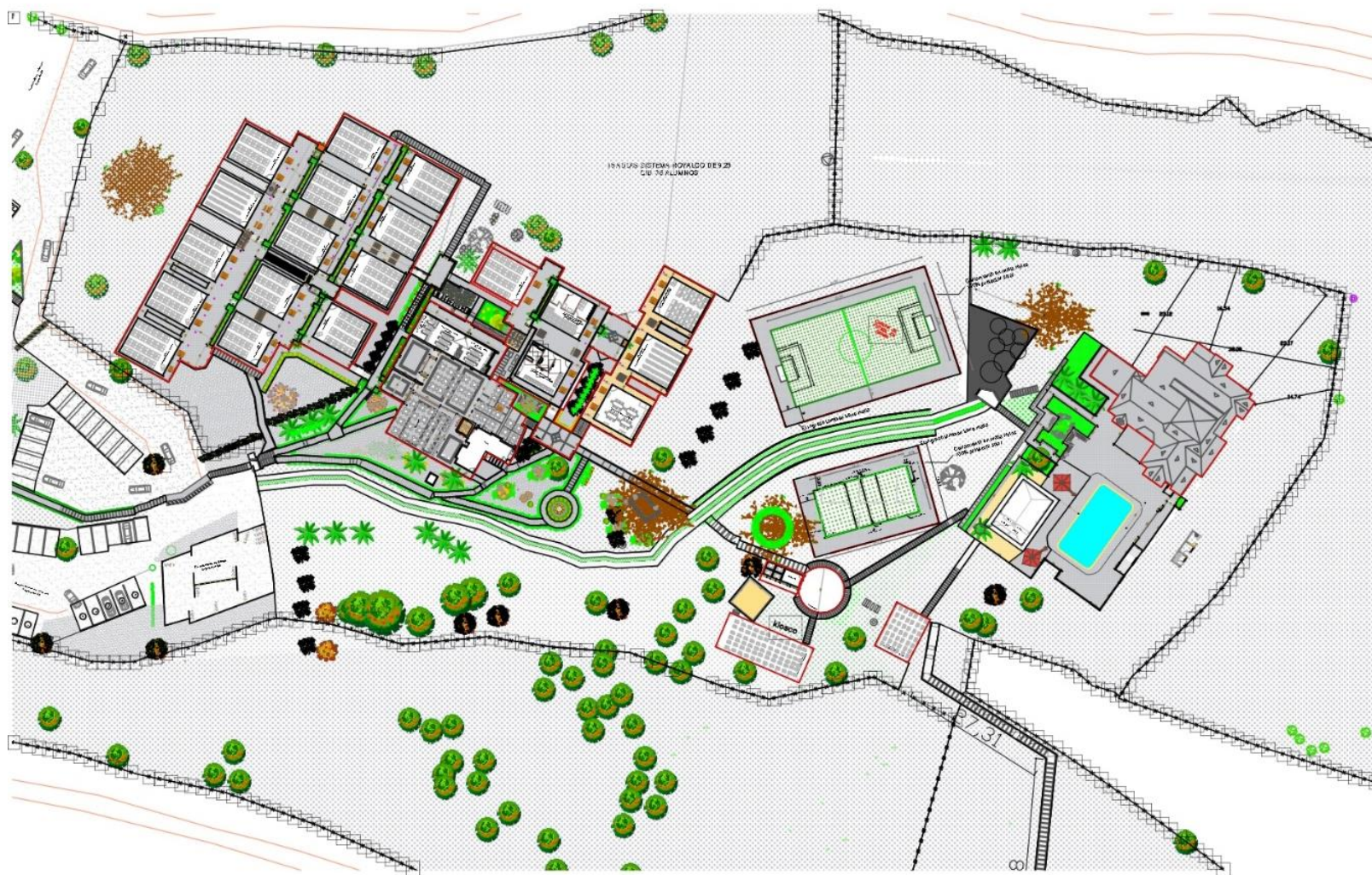


Figura 11. Plano arquitectónico del campus Loma Linda, tomado de, Universidad Santo Tomás, 2019.