



Malas prácticas en ingeniería hidráulica producto de la no consideración de factores ambientales de la zona donde se desarrolla.

En el marco del Curso internacional o diplomado titulado:

Gestión Ambiental

Celebrado en la ciudad de *Cajicá* entre el *08 de noviembre* del año *2021* y el *15 de diciembre* del año *2021*.

Presentado por:

David Antonio Farfán Quimbayo

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada
Programa Académico de Ingeniería *Civil*
Cajicá, Colombia

Febrero, 2022

Malas prácticas en ingeniería hidráulica producto de la no consideración de factores ambientales de la zona donde se desarrolla.

David Antonio Farfán Quimbayo

Ensayo científico-académico para obtener el título de:
Ingeniero Civil

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada
Programa Académico de Ingeniería *Civil*
Cajicá, Colombia

Febrero, 2022

INTRODUCCIÓN

Ha sido evidente que en muchos casos de lluvias torrenciales, los sistemas de alcantarillado y manejo de aguas pluviales colapsan, ocasionando con ello, dificultades a la infraestructura urbana, es así como cien de 116 municipios de Cundinamarca – Colombia han experimentado eventos de lluvias extremas generando inundaciones, afectaciones en predios, caídas de puentes y demás sucesos que llegaron a una magnitud tal, que la gobernación del departamento de Cundinamarca ha declarado en estado de calamidad pública, priorizando en algunos municipios; siendo la principal razón una inadecuada planeación de los proyectos hidráulicos e hidrológicos (Redación Infobae, 2021), fruto de la no adaptabilidad de los sistemas frente a los factores ambientales para el control de escorrentía. Estos errores de planeación perjudican la captación en cuencas urbanas hasta su disposición final, produciendo impactos en la calidad del agua e hidrológicos. Ante esta situación, se debe considerar nuevas estrategias que contemple una reposición de los sistemas de aguas pluviales dentro de la protección medioambiental.

La gestión de aguas pluviales históricamente tuvo como principio mitigar aquellos problemas producidos por las aguas lluvias. Por lo que los primeros intentos de gestión de aguas pluviales se centraron en controlar las inundaciones ya que esto generaba daños en las propiedades, pero con el paso del tiempo las nuevas estrategias que adoptó la gestión de las aguas lluvias cambió su objetivo, el cual consistía en imitar procesos hidrológicos. Si bien la imitación de procesos hidrológicos mejoró significativamente en la gestión de aguas pluviales de los recursos hídricos urbanos en infraestructura urbana, muchas técnicas que tomaron este enfoque no están contemplando los impactos considerados en el marco de las tendencias de ingeniería sostenible, es de esta manera que se considera importante que estos impactos sean tenidos en cuenta haciendo más eficaz el ciclo del agua, proponiendo así una tercera evolución de los enfoques de gestión de aguas pluviales.

Este ensayo plantea un enfoque alternativo e integrado a la gestión de aguas pluviales en zonas urbanas, producto de la revisión y análisis de malas prácticas de ingeniería hidráulica, y contemplando la variable impacto ambiental, tanto en la formulación, como en el desarrollo y operación de este tipo de sistemas de infraestructura. Esta revisión tendrá como referencia la gestión de aguas pluviales en el sector de La Bajada del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

GESTIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y SOLUCIONES BAJO LOS PARÁMETROS DE SISTEMAS SOSTENIBLES

En este estudio se hará una revisión documental de la gestión de aguas pluviales desde sus inicios hasta las innovaciones recientes bajo los parámetros de sistemas ambientales, de modo que se recolectará la información adecuada de los diferentes desafíos evaluados en el tiempo y sus soluciones desde el análisis de los impactos ambientales. Se examinará la mejor solución de gestión de aguas pluviales sostenible y la cual se contemple bajo un marco legal según el estado actual en Colombia para su aplicación.

Evolución Histórica De Las Estrategias De Gestión De Aguas Pluviales

(Echols & Pennypacker, 2015) llevaron a cabo una investigación sobre la historia de la gestión de aguas pluviales por lo cual nos indicaron como históricamente en sus inicios el único objetivo que tenían era solo alejar la escorrentía de las estructuras de tal manera que trataron la lluvia como un problema de mitigación, pero en su enfoque fue transformado al paso de los años con el objetivo de proteger los cuerpos de aguas naturales. Esto demuestra que la gestión de aguas pluviales ha evolucionado en el tiempo, producto de tratar la escorrentía como un recurso natural y no como algo indeseable, es de esta manera que admite revisiones y mejoras en función del recurso agua, siempre con el fin de regular y optimizar la gestión de aguas pluviales en áreas urbanas.

Los mismo autores indicaron las primeras herramientas de drenaje pluvial urbano centrados en alejar el agua lluvia de cualquier área, como fue mencionado anteriormente esto se hacía con el objetivo de proteger las propiedades de las inundaciones evitando que se causes algún tipo de daño en las estructuras, de tal manera se comenzó con la planificación y el diseño de drenaje pluvial para la eliminar el agua lo más rápido posible, pero no se tenía una preocupación por factores que se debe considerar aguas abajo como la frecuencia, el volumen, los caudales máximos o la calidad del agua. Por el cual estos sistemas adoptaron técnicas enfocadas en alejar el agua lluvia de las áreas urbanas de una manera segura, es de esta manera que comenzaron con el dimensionamiento de tuberías que sean suficientemente grandes y eficientes para alejar el agua pluvial de las propiedades, que en su momento funciono bastante bien, pero a medida que se desarrolló los sistemas de alcantarillado para el manejo de la escorrentía urbana se creó otro gran problema: la inadecuada instalación de diferentes tamaños de tubería creando así desbordamientos en los sistemas, por lo cual se señaló “el primer método eficaz para estimar el caudal de una inundación que fue desarrollado por el ingeniero irlandés Thomas Mulvaney en 1851 y popularizado en los Estados Unidos por Emil Kuichling”(p.10), el cual también señalo las tres formas naturales de eliminación de lluvias las cuales son evapotranspiración, infiltración y escorrentía, pero su enfoque llegó solo a eliminar la escorrentía con el método racional y que actualmente es muy utilizado para la predicción de las tasas máximas de flujo de

escorrentía, de tal manera que la evapotranspiración y la infiltración pasaron a un según plano en la gestión de aguas pluviales.

Además, para solucionar este problema de alejar la escorrentía, vieron la oportunidad de transportar las aguas pluviales con las aguas residuales por la misma tubería, siendo en su momento muy útil para las ciudades, pero esta práctica provoco otro problema, ya que al integrar los sistemas de aguas pluviales con sistema de aguas residuales generó un impacto más grande que solo las inundaciones, debido a que se presentó la degradación de fuentes hídricas y aguas superficiales (Echols & Pennypacker, 2015). Este sistema se popularizó en el siglo XX donde en algunas ciudades del mundo se aplicó el sistema de alcantarillado combinado sin tener en cuenta el problema que presentaba este tipo de práctica, debido a que lo veían como una medida eficiente para la descarga de líquidos urbanos que no eran deseados.

En Colombia, después del siglo XX, se generó una regulación para revertir el efecto de los sistemas combinados, aprovechando parte del sistema existente sin tener ninguna afectación ambiental, de manera que se crearon parámetros para su diseño de acuerdo con la calidad de agua y bajo la resolución 0330 del 2017. consiguiendo que este tipo de alcantarillado sea de poca aplicación en zonas urbanas y que los existentes cumplan con estos parámetros para su aprovechamiento (Jiménez Rivera, 2021).

Impacto Ambiental En La Gestión De Aguas Pluviales

La solución de sistema combinado incrementó a la larga el problema, ya que propició la degradación en las fuentes hídricas debido al aumento de la carga contaminante y la degradación de la calidad de la escorrentía. (Erickson, Weiss, & Gulliver, 2012) ratificaron que “la urbanización, reflejada por el aumento de la superficie impermeable, altera la hidrología de las cuencas hidrográficas de varias formas” (p. 12), esto genera un aumento sustancial en el volumen de escorrentía y arrastres de cargas contaminantes, debido a esto también se llega a generar una alteración dentro del flujo y los canales contribuyendo a la pérdida de la integridad biológica asociada a una mayor impermeabilidad cuando la urbanización aumenta. En definitiva, el sistema combinado no solo afecta la cantidad, sino la calidad del agua.

Sobre el tema de los contaminantes también (Liu, Goonetilleke, & Egodawatta, 2015) señalaron que:

Las actividades antropogénicas en una cuenca urbana introducen una amplia gama de contaminantes en el entorno urbano. En términos de calidad de las aguas pluviales, estas consisten principalmente en sólidos en suspensión, nutrientes, carbono orgánico, tóxicos y microcontaminantes. Estos contaminantes son emitidos por una diversidad de fuentes, donde las superficies de las carreteras y, por implicación, el tráfico de vehículos, se

consideran la fuente más importante. Además, las características de la cuenca de captación y las características de las precipitaciones son dos factores principales que influyen en la calidad del agua, ya que influyen en la generación, acumulación y transporte de contaminantes. (p. 13).

Así, todos los autores consultados resaltan la complejidad que implica el tratamiento de las aguas pluviales debido a las diferentes características de la ubicación y por el cual es importante obtener este conocimiento, específicamente en las características de las cuencas, precipitaciones y contaminantes. Asimismo, destacan la necesidad de evitar estereotipos en el proceso, como sucedió durante el siglo XX con los sistemas combinados. También, reconocen la importancia de promover un cambio en el enfoque inicial que contemple la protección del medioambiente.

Gestión De Aguas Pluviales Sostenibles

Con el tiempo, la gestión de aguas pluviales buscó reducir los contaminantes y no solo alejar la escorrentía de las estructuras, de esta manera las ciudades del mundo amplió los objetivos de la gestión de aguas pluviales donde se enfocaron en aplicar sistemas que sean multifuncionales y sostenibles, así aparecen diferentes modos o sistemas como los desarrollos de bajo impacto en Estados Unidos y Nueva Zelanda, diseño urbano sensible al agua en Australia, sistemas de drenaje sostenibles en Reino Unido y ciudades esponja en China (Brown et al, 2013 como se citó en Sultana et al., 2020).

Entre las soluciones dadas para gestionar las aguas pluviales se encuentra los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS), adoptando una gran oportunidad de desarrollo no solo para las ciudades europeas, sino también para las ciudades de América, aprovechando al máximo las herramientas que dispone frente a los impactos del cambio climático en los entornos urbanos. Dichos sistemas fueron diseñados para el control de escorrentías en cuencas urbanas y para disminuir los riesgos ambientales producidos por diferentes efectos como la evapotranspiración y la infiltración, siendo dos de las tres formas para la eliminación de lluvias de forma natural pero que su enfoque paso a segundo plano en un inicio. Dentro de los objetivos que tiene es mejorar la calidad y controlar la cantidad de escorrentía superficial, dar un balance de variables hidrológicas en cuencas hidrográficas y conservar las características naturales de los cuerpos de agua (Charlesworth et al. 2003; Charlesworth 2010 como se citó en Poletto & Tassi, 2020). Este sistema proporciona diferentes beneficios que ayuda no solo al mejoramiento del recurso agua también apoya a la conservación de la biodiversidad y la ecología local, adaptarse al cambio climático, mejorar la calidad del aire y entre otros beneficios que como bien se mencionaba impulsa a la reducción de los riesgos ambientales, siendo un sistema con mayor alcance que un sistema convencional que no contempla ninguno de estos efectos.

Para mitigar los efectos de escorrentía, evapotranspiración e infiltración los sistemas sostenibles adoptaron diferentes técnicas. A continuación, se incluirá de (Poletto & Tassi, 2020) los siguientes dispositivos o técnicas que se están implementando:

- *Pavimentos permeables*: Permite controlar el tiempo de infiltración de las aguas superficie al suelo, esto se logra a través de pavimentos porosos.
- *Pavimentos semipermeables*: Su construcción es a partir de bloques de hormigón hueco que contienen un relleno de material granular, este sistema reduce los volúmenes de escorrentía.
- *Depósitos de detención y retención*: Los embalses o estanques de retención se usan después de las precipitaciones, contiene un cierto volumen de agua y un banco de sedimento que produce la eliminación de los contaminantes biológicos como materia orgánica y metales pesados. Por otra parte, los embalses de detención mantienen por unas horas la escorrentía evitando que arrastre todo tipo de residuos sólidos disminuyendo el caudal, de esta manera evitando inundaciones.
- *Humedales*: Son áreas naturales donde su suelo permanece saturado de manera estacional o permanente, su construcción busca generar variaciones considerables de los niveles de agua durante largas precipitaciones, también al mismo tiempo de incorporar plantas proporciona evapotranspiración y generando procesos de oxigenación.
- *Zanjas de infiltración*: Son depósitos llenos de rocas que tiene como función reducir la escorrentía, puede albergar cualquier tipo de vegetación natural ofreciendo servicio de evapotranspiración y oxigenación. Las zanjas de infiltración son estructuras lineales cuyo ancho y profundidad dependerá de la infiltración del suelo y del área que disponga para dar prioridad al proceso de infiltración.
- *Microdepósito*: Son estructuras en forma de caja que permite el almacenamiento de agua precipitada, con el fin de reducir el tiempo de concentración. Suelen estar enterrados y puede ser de distintos materiales como PVC, hormigón, mampostería entre otros.
- *Reutilización de agua lluvia*: Se busca que con sistemas recolectores de agua lluvias se disminuya las aguas que puedan provocar inundaciones y así mismo crear un balance hídrico y su reutilización, de esta manera también evita que llegue al contacto con las aguas residuales, por otro lado, cuando las aguas pluviales entran en contacto con las aguas residuales se crea la necesidad de que sean tratadas antes de su uso y así buscar la manera de reutilizarlas.
- *Deposito subterráneo*: También se conoce como reservorio subterráneo el cual es un tanque construido bajo tierra, este controla la salida del agua por un orificio en el fondo de la estructura y regulada por una válvula, de esta manera disminuye la escorrentía, asimismo deberá contar con un mecanismo para evitar la acumulación de contaminantes.

- *Franjas de césped*: Reduce la velocidad de escorrentía superficial y proporciona evapotranspiración, su implementan en aparcamientos y otras superficies urbanas, también este retiene partículas de contaminante siendo efectivas en control de sedimentos, pero en otros contaminantes no. Para que este sistema sea eficiente deberá contar con un mantenimiento constante.
- *Cubiertas verdes y azules*: Estas cubiertas o techos verdes reducen los caudales máximos locales y el volumen total de descarga, esto es partir de una técnica de retención natural con una capa vegetal de crecimiento medio los cuales estarán sembrados en una base impermeable. Además de las cubiertas verdes se puede implementar los techos de flujo controlado o también conocidos como techos azules, los cuales controlan la escorrentía por medio de una membrana, su limitante en su aplicación esta que solo se puede instalar en edificaciones con techos planos (Philadelphia Water Department, s.f. como se citó en Bonilla Triana, 2019).

Estos sistemas se pueden utilizar de manera separada o conjunta según las necesidades del proyecto y su localización de manera que también brinda una relación de costo-beneficio. Por otra parte, en la actualidad se puede encontrar estos sistemas complementando los sistemas de drenaje convencionales y mejorando el manejo de cuencas urbanas, son utilizados en diferentes países ya de manera consolidadas y en otros siguen en pruebas, ya que el tener un gran número de sistemas de drenaje sostenible y con las grandes posibilidades de su aplicación se debe seguir con estudios para sacar el mejor provecho de cada sistema y así componer buenos proyectos (Poletto & Tassi, 2020).

Como bien se mencionaba estos sistemas de drenaje sostenible pasaron por las ciudades de América y es así como también llegó a ciudades de Colombia, esta situación según (Jiménez Ariza, y otros, 2019), género que estos países en desarrollo generaran diferentes estrategias o metodologías para la aplicación de los SUDS, en su primera consideración en ciudades de Colombia está en definir áreas prioritarias que tengan en cuenta los aspectos hidráulicos e hidrológicos siendo la mejor estrategia para la selección de SUDS, pero como bien fue enfocada su investigación era mejor ampliar los criterios de selección siendo de esta manera una selección a través de un análisis multicriterio los cuales no solo consideraba los aspectos hidráulicos e hidráulicos, ya que entraría aspectos sociales, económicos y ambientales.

El estudio que llevaron a cabo (Jiménez Ariza, y otros, 2019) presenta un marco de planificación multicriterio para la selección de SUDS en áreas urbanas consolidadas, la metodología propuesta consta de tres escalas: La escala ciudad, la escala local y la microescala.

La escala ciudad : La primera es la escala de toda la ciudad, esta define los objetivos de toda la ciudad donde se tiene en cuenta la perspectiva de los

stakeholders y evalúa las subcuencas prioritarias y estratégicas de drenaje urbano de tal manera que se relaciona con las áreas que necesitan intervención para el manejo de escorrentía y las demás características del entorno y las cuales sean oportunas para la integración de los SUDS, esto se hace en base de una ponderación subjetiva u objetiva la cual permite un enfoque donde se distingan las necesidades del territorio y las preferencias de los interesados para la buena ejecución de los SUDS.

La escala Local: La segunda es la escala local, la cual cuenta con el análisis de viabilidad de los SUDS en los espacios públicos y privados, esta viabilidad es de acuerdo con doce tipos de SUDS en base a diferentes manuales de diseño y pautas en la utilización en todo el mundo y los que son más frecuente en su aplicación, por otra parte, para la evaluación de los diferentes tipos de SUDS en los espacios públicos se consideran las restricciones específicas del lugar y aquellos requisitos espaciales, en el caso de la evaluación de los espacios privados es de acuerdo al uso del suelo, para que la selección sea más exacta se busca evaluar en ambos espacios tanto la tasa de infiltración, el nivel freático, pendiente y la distancia a las estructuras.

La microescala: Por último se busca la evaluación a microescala, donde se selecciona el sitio teniendo en cuenta las escalas anteriores de esta manera el escenario más adecuado se basará en la calificación más alta de la subcuenca de drenaje urbano definida como prioritaria y estratégica, después se pasa a la selección de SUDS y la selección del tren de tratamiento, la selección de SUDS estará relacionada con el desempeño de diversos aspectos que definirán una matriz que compare los diferentes tipos de SUDS y el tren de tratamiento que permitirá adecuar la calidad de la escorrentía basado en cinco procesos para su configuración y selección: infiltración, detención, recolección de aguas lluvias, conducción y riego.

Adecuación Del Marco Normativo En Torno A La Gestión De Aguas Pluviales

Cuando se lleva un marco de planificación y se busca poner en marcha cada proyecto es necesario incluir aquellas reglamentaciones que aquejan para su cumplimiento según su gobernanza. Es así como lo mencionan (Villegas-Rodríguez, Sandoval-Betancour, Casas-Matiz, Cortés -Cely, & Molina-Prieto, 2019) en su artículo "Gestión estratégica del recurso pluvial urbano: condición actual en Colombia", que en el caso de la gestión de aguas pluviales en Colombia es necesario valorar las políticas desde leyes, decretos, resoluciones y otros requisitos legales que rijan en la gestión del recurso pluvial, también señala que las políticas públicas que lleva las aguas lluvias se pierden en las actividades de planificación y toma de decisiones, pero resalta la importancia de estas ya que puede orientar cada proyecto para el desarrollo del mismo y así lograr una relación costo-beneficio sin perder aquellos factores fundamentales de diseño que fomenta la gestión del recurso pluvial.

Estos autores mencionan también la importancia de involucrar el recurso pluvial desde un marco normativo en la planificación urbana con el objetivo de establecer nuevas estrategias de regulación que se alejen de los sistemas antiguos, las cuales no contaban con una planificación y un diseño que respondieran a un sistema adecuado de ciudades sustentables. Esto se ha reflejado históricamente ya que su enfoque inicial solo se basaba en diseñar para retirar las aguas lluvias de las áreas urbanas sin tener ninguna planificación, esto provocó a que las ciudades presentaran sistemas vulnerables y generaran grandes impactos y no solo ambientales ya que afectaba tanto de manera económica y social.

Normativa Ambiental

Como se mencionaba anteriormente, es importante el uso de normativas para el proceso de planificación y toma de decisiones siendo de suma importancia para la gestión de aguas pluviales, por ello en Colombia se considera las normativas ambientales para la regulación y la aplicabilidad de cada gobernanza a nivel nacional y local.

En este orden de ideas, se dicta la ley 99 de 1993 la cual crea el Ministerio del Medio Ambiente actualmente conocido como Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, encargado de planificar la gestión ambiental en proyectos del sector público a nivel nacional, creando mecanismos y procedimientos para el licenciamiento ambiental; con el fin de tener en cuenta todas las etapas de desarrollo de un proyecto que pueda presentar un daño al ambiente. Dicha ley también se encargó de crear las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) para que regulen aquellas autorizaciones ambientales teniendo en cuenta que garantice el uso adecuado de los recursos naturales renovables y conduzca al desarrollo sostenible (Ley 99, 1993). Esto ayuda a dirigir proyectos como sistemas de drenajes urbanos desde los recursos naturales en este caso el recurso agua, el cual si bien da paso a estudios importantes como hidrológicos e hidráulicos entre otros que genere su licenciamiento y satisfaga las necesidades del desarrollo sostenible en cada proyecto.

La ley 99 de 1993 en su artículo 5 establece la reducción de contaminación hídrica en todo el territorio, por tal motivo se dicta en su función para su cumplimiento la resolución 631 de 2015. Dicha regulación “establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público” (Resolución 631 de 2015, Artículo 1). Con esta medida se busca realizar el análisis pertinente de los parámetros fisicoquímicos en los puntos de vertimiento, ofreciendo reportes de caracterización a las empresas prestadoras del servicio de alcantarillado para efectuar la gestión de tratamiento de aguas residuales adecuado y con el fin de prevenir los factores de deterioro ambiental.

Debido a que los problemas presentados por inundaciones deben llevar un proceso de rehabilitación, también se adoptan políticas que afianzan las medidas

preventivas y correctivas para la gestión de riesgos de desastres, ya que las obras civiles que se ejecuten por parte de las entidades públicas o privadas y pertenezcan al servicio público se encargaran de llevar a cabo un análisis correspondiente a los posibles efectos de eventos naturales que se asocien a daños en aquellas áreas donde la infraestructura signifique un riesgo de desastre para la comunidad, con el fin de diseñar e implementar las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia (Ley 1523 de 2012, Artículo 42). Esta política permite que sistemas como son los multifuncionales y sostenibles consideren en su totalidad aquellos efectos ambientales para su aplicación como medidas de reducción de riesgo desde su diseño, siendo sistemas totalmente nuevos o adicionales que respondan a estos eventos.

Normativa SUDS

Dentro de la mención de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) como solución bajo la imitación del ciclo del agua y su aplicación en Colombia, es pertinente indagar la adopción de este sistema en el marco normativo en condiciones actuales. Por consiguiente, los SUDS en un primer acercamiento en las políticas públicas a nivel nacional son mencionados dentro de la Resolución 0330 en su Artículo 153, estableciendo su diseño “con el objeto de reducir mínimo en un 25% el caudal pico del hidrograma de creciente de diseño, a fin de evitar sobrecargas de los sistemas pluviales y posteriores inundaciones” (Resolución 0330 de 2017, p.68). De esta manera se promueve el uso de los sistemas urbanos de drenaje sostenible bajo el análisis de las condiciones de escorrentía, la aplicación de estos sistemas tiene como alcance mitigar la impermeabilización en áreas que presente un aumento de los caudales de escorrentía.

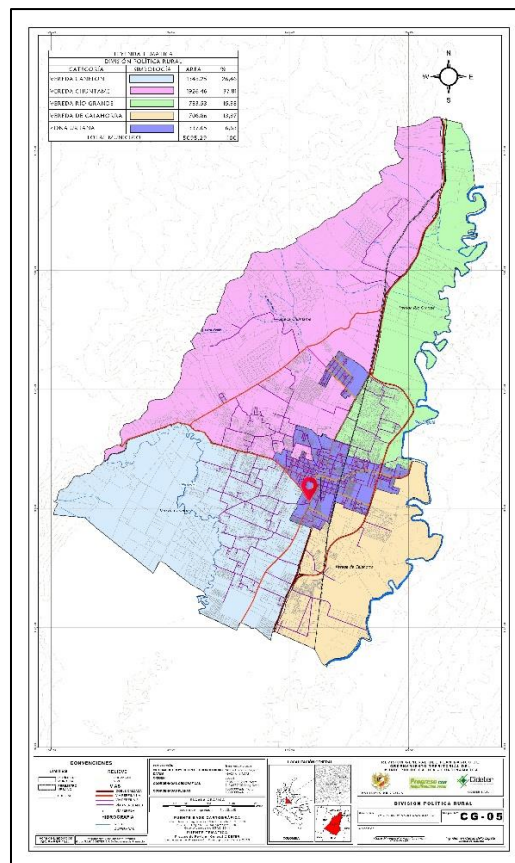
En Bogotá como una de las ciudades que adopta el uso de los SUDS para el desarrollo Urbano, estableció su propia normativa que contempla los criterios para el diseño y construcción de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el espacio público de la ciudad, dentro de su contenido ofrece los requisitos, generalidades, condiciones de uso, diseño hidrológico, trenes de tratamiento, tipología de SUDS y estructuras anexas. Adicionalmente, busca establecer el uso de estos sistemas como complemento al sistema de alcantarillado convencional de la ciudad (NS-166, 2018). Esta normativa expone las ventajas del uso de estos sistemas dentro de la gestión del recurso pluvial, pero su enfoque esta para el uso en la ciudad de Bogotá lo cual es una de sus limitantes, sin embargo, se puede adaptar este criterio a diferentes lugares de Colombia que cuente con una tipología similar acompañado de las normativas ambientales vigentes para su uso adecuado.

CASO DE ESTUDIO: SISTEMA DE ALCANTARILLADO SECTOR DE LA BAJADA – CAJICÁ, CUNDINAMARCA

En el municipio de Cajicá debido a la expansión urbana y la cual hizo que sea entubado la quebrada Tenería que actualmente sirve como afluente entre el servicio de alcantarillado de Cajicá y Río Bogotá, en los últimos años el sistema de alcantarillado debido a su cambio estructural ha sufrido colapsos causando inundaciones en el sector de La Bajada, como se muestra en la Figura 1 este sector se ubica en las coordenadas: 4°54'50.88" de latitud y 74°01'43.51" de longitud. En consecuencia, se ha generado malas prácticas en el desarrollo del sistema de alcantarillado producto de este cambio estructural, tampoco se consideró los factores ambientales de la zona donde se desarrolla, debido a que se presentó una disminución de la capacidad hidráulica de la quebrada Tenería (Roy Salas Adán, 2021). Por eso, se busca rehabilitar el sistema de alcantarillado desde estrategias ofrecidas por la gestión de aguas pluviales sostenibles, la cual cumpla con el marco legal y aborde el control del medioambiente de la zona.

Figura 1

Imagen Localización Del Sector La Bajada En El Mapa Político-Territorial De Cajicá.



Nota. Mapa División Política Rural del Municipio - Cajicá, elaborado por la Secretaría de Planeación de Cajicá, CARTOGRAFIA – PBOT: <https://cajica.gov.co/plan-de-ordenamiento/>

Según el informe de gestión 2020 dado por la Empresa de Servicios Públicos de Cajicá S.A. E.S.P., La ciudad presenta una red de alcantarillado de cerca del 96% de los servicios, razón por la cual son frecuentes las emergencias por inundaciones en épocas invernales. Esto es particularmente crítico el sector de La Bajada.

Como ya se mencionó antes, el sistema combinado termina siendo perjudicial ya que al combinar las aguas residuales con las pluviales y en la presencia de grandes lluvias las tuberías se llenan hasta el punto de que se presenten desbordamientos en las redes de alcantarillado causando no solo inundaciones también genera que las aguas residuales se regresen presentado un mayor problema y aunque presenten planes de mantenimiento de las redes de alcantarillado para disminuir la cantidad de residuos y no se presente desbordamiento tampoco es suficiente para una solución ya que no reconoce el verdadero impacto.

Para minimizar los problemas hídricos en el desarrollo de las redes de alcantarillado se creó una evaluación de los impactos ambientales en el municipio de Cajicá, (Ruiz Alfonso & Puentes Gómez, 2019) ofrecen esta valoración a partir de la metodología City Blueprints, la cual cuenta con 24 indicadores ambientales que son utilizados para la recopilación de información del sistema ambiental de la zona de estudio. Los indicadores son clasificados en 8 categorías, a continuación, se mencionarán las categorías con sus respectivos indicadores:

- *La seguridad del agua:* Se compone de tres indicadores: la huella hídrica total, escasez de agua y autosuficiencia hídrica.
- *Calidad del agua:* Esta categoría se compone de la calidad del agua superficial y calidad del agua subterránea.
- *Agua potable:* Para esta categoría cuenta con cinco indicadores: suficiencia, fugas en el sistema de agua, eficiencia de agua, consumo y calidad.
- *Saneamiento:* La categoría de saneamiento cuenta con cinco indicadores: saneamiento seguro, calidad de los lodos de aguas de energía, recuperación de energía y la recuperación de nutrientes.
- *Infraestructura:* Esta categoría cuenta con estos indicadores: mantenimiento y la separación de las aguas residuales y pluviales.
- *Robustez climática:* En la categoría robustez climática cuenta con tres indicadores: autoridad local y compromisos, la seguridad y eficiencia energética de las estructuras.
- *Biodiversidad y atractivo:* Esta categoría se compone de dos indicadores: siendo el primero la biodiversidad, el cual busca tomar medidas para su conservación y conocer las especies existentes. Por otro lado, está el segundo indicador que es el atractivo, este se encarga de describir la calidad del paisaje.
- *Gobernanza:* Esta última categoría se compone de tres indicadores: gestión y planes de acción y la participación del público.

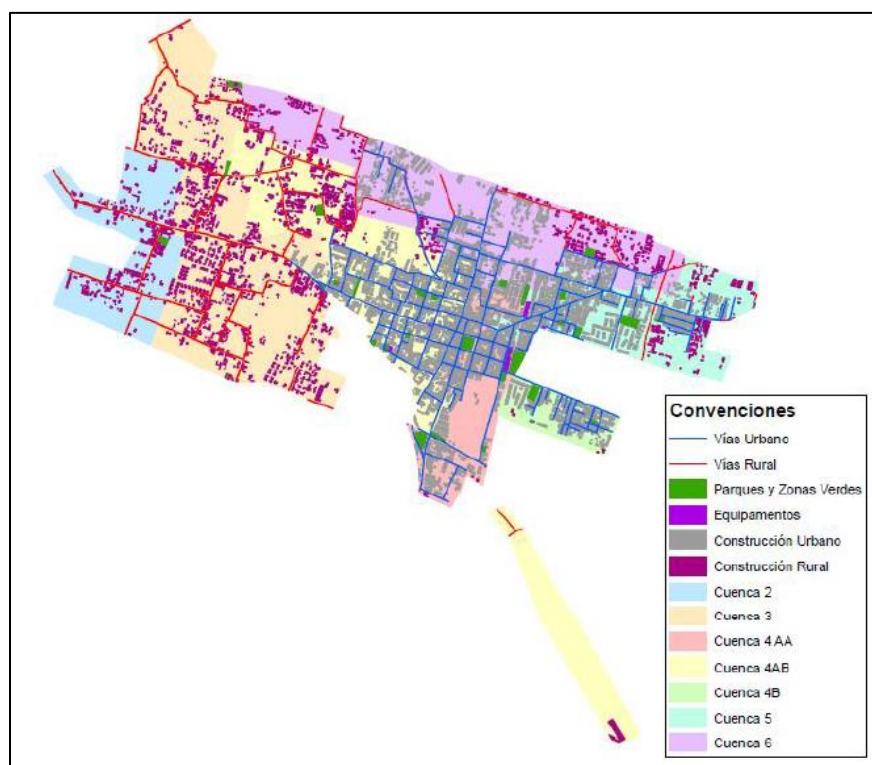
Con la aplicación de la metodología City Blueprints se planteó estrategias muy útiles que mejora la gestión del recurso hídrico en el municipio de Cajicá, de manera que según los resultados en función de los indicadores se formaron alternativas para el mejoramiento de cada uno; si bien se generó una gráfica radial donde se calificó cada indicador entre 0 a 10, siendo 0 un bajo desempeño y 10 un alto desempeño. Se “evidencia los menores puntajes en los indicadores de separación de aguas residuales y pluviales (0), autosuficiencia hídrica (2), consumo de agua potable (2.5), calidad de agua superficial (4.25) y participación del público (5)” (Ruiz Alfonso & Puentes Gomez, 2019, p.71). Dentro de la separación de aguas residuales y pluviales en el municipio de Cajicá se consideraría una de las alternativas más eficientes para su solución, pero esto genera costos muy altos para el municipio ya que el 100% de red es de tipo combinado, aun así, el municipio deberá invertir en este cambio por medio de un análisis de costo-beneficio donde se contemple la capacidad financiera del municipio para un cambio a largo plazo. De igual modo mientras se forma este cambio es importante dar soluciones para los demás indicadores, por lo cual en el caso de la calidad de agua se busca contribuir con un plan de tratamiento de coliformes totales y DBO de esta manera se creará un mejoramiento en la calidad de agua y más del río Bogotá donde se compone los vertimientos por parte del municipio de Cajicá. Para el consumo de agua potable se busca capacitar a las zonas comerciales e institucionales siendo los mayores consumidores según su evaluación y generar programas de ahorro de agua y de uso eficiente. Otro de los indicadores a tomar en cuenta fue la autosuficiencia hídrica ya que en el municipio de Cajicá no cuenta con abastecimiento de agua propia por lo cual se busca la alternativa de evaluar posibles fuentes hídricas para su independencia, también para lograr la autosuficiencia se incentiva al municipio en la admiración del consumo de agua para evitar el deterioro de las fuentes hídricas, esto también ayuda en la actualidad a que el costo de compra del recurso agua disminuya. Por último de los indicadores y no menos importante se debe considerar la participación pública siendo de gran importancia para lograr la gestión integrada del agua donde se integren todos los stakeholders, donde se manifieste el interés para la gestión del recurso hídrico en el municipio, informando a toda la comunidad el uso que se dará en los próximos años demostrando las diferentes estrategias que tomará el municipio, trayendo un beneficio para todos los interesados principalmente la comunidad (Ruiz Alfonso & Puentes Gómez, 2019). Con estos indicadores se evalúa la efectividad del plan de gestión de aguas pluviales en el municipio de Cajicá y las medias que toma frente al recurso hídrico, por otra parte, para que esta metodología sea posible se divide en tres fases donde la primera contempla la identificación del estado base de la gestión, la segunda fase entiende la magnitud para cada una de las categorías y por último la fase tres establece el diseño y la propuesta de las diferentes alternativas.

El Sistema Urbano De Drenaje Sostenible (SUDS) planteado como una de las soluciones que contempla los factores ambientales para la rehabilitación de las redes de alcantarillado combinado en Colombia, se puede exponer como una de las

soluciones más acorde y potencial para el sector de La Bajada en Cajicá trayendo una gama de beneficios haciendo frente a las inundaciones y aspectos ambientales que promueve las buenas prácticas en ingeniería hidráulica. Es así como (Bonilla Triana, 2019) en su trabajo evalúa el rendimiento del sistema de drenaje urbano sostenible en Cajicá para la captura de la lluvia con los sistemas de techos verdes y techos azules, hace la división de 5 cuencas de inundación y una subdivisión en tres de la cuenca más grande con el cual se estudiaron para la aplicación de estos dos sistemas, establece la modelación del funcionamiento de estos sistemas con el Software EPA SWMM con información adecuada de software adicional y demás consultas que contempla los parámetros bajo el cual se hace la evaluación. Dentro de la división de subcuencas específicamente entre la cuenca 4AA, 4AB y 4B como se muestra en la Figura 2, se identificó el sector de La Bajada como uno de los puntos más críticos, siendo una de las zonas con mayor urbanización, también producto de este estudio por medio de imágenes satelitales se observó que la actividad residencial cuenta con mayor presencia seguida de la dotacional y comercial (Ver Figura 3). Con esta información se obtuvo la caracterización de las áreas de estudio y permitió la evaluación de aquellos lugares potenciales para la implementación de techos verdes y azules.

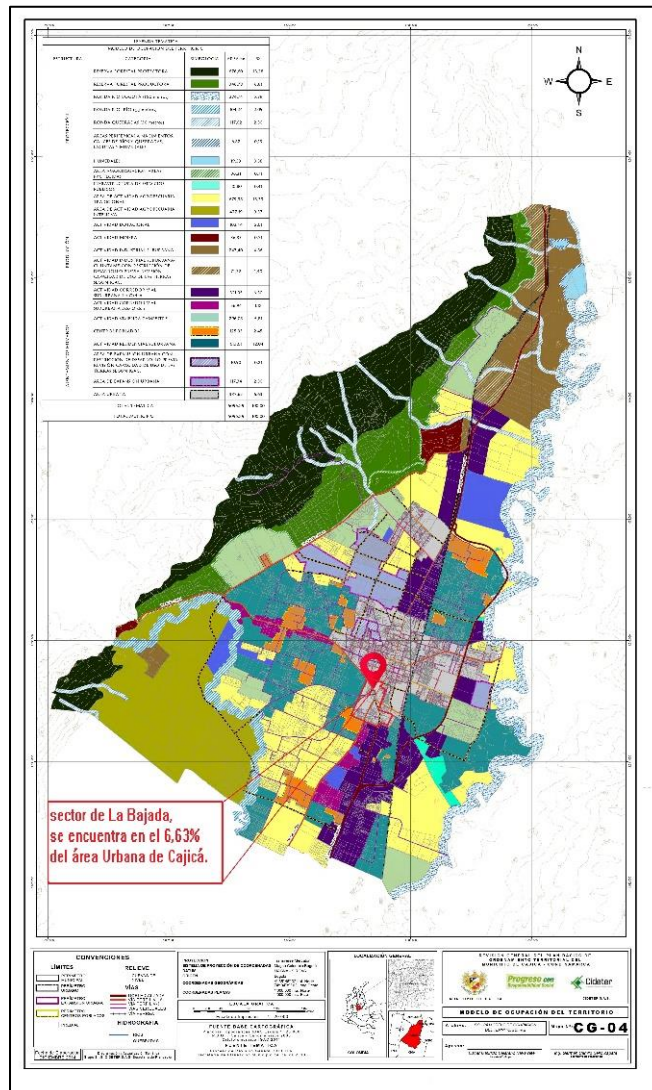
Figura 2

Imagen Distribución urbana y rural en el área de estudio



Nota. Distribución urbana y rural en el área de estudio - Cajicá, elaborado por Bonilla Triana, L. (2019). Evaluación de los sistemas de drenaje urbano sostenible en la reducción del riesgo de inundación urbana. <http://hdl.handle.net/1992/44738>

Figura 3
Imagen Sector La Bajada En El Modelo De Ocupación Del Territorio- Cajicá



Nota. Mapa Modelo De Ocupación Del Territorio - Cajicá, elaborado por la Secretaría de Planeación de Cajicá, 2014, CARTOGRAFIA – PBOT: <https://cajica.gov.co/plande-ordenamiento/>

Como bien lo menciona (Bonilla Triana, 2019) la conformación de un techo verde es la instalación de una capa suelo en un techo con el fin que imita el proceso de infiltración y evapotranspiración, este sistema se adecua a los canales y bajantes de las estructuras pero con desventajas que hace que no sea eficiente en todo momento ya que debe tener un grado de mantenimiento alto, cabe señalar que también su instalación es costosa, en el caso de los techos azules cuenta con una membrana impermeable esto hace que controle la entrada de escorrentía y su salida, este sistema ofrece un control en un periodo de tiempo para evacuar la escorrentía también cuenta con la conexión de bajantes y su instalación solo se

ofrece en techos planos. Entre estos dos sistemas como bien lo afirma el autor es más eficiente los techos azules demostrando mayor capacidad de drenaje del agua a una superficie permeable que un techo verde, ya que dentro de su estudio también resalta que los techos azules llegan a reducir hasta más del 100% que los techos verdes que logran reducir el 80% del volumen de inundación en las cuencas estudiadas. Cabe resaltar que esto también dependerá del crecimiento urbano y la conformación de las estructuras para la aplicación de estos techos ya que como bien se menciona los techos azules necesitan de techos planos, por eso es válido tener en cuenta los techos verdes para la reducción del volumen de inundación si así lo amerita ya que también presentó buenos resultados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se observan muchos cambios históricos del manejo de las aguas pluviales y como su gestión perdió fuerza a partir de las malas prácticas, pero en la actualidad se ve nuevas estrategias para el mejoramiento de la gestión de aguas pluviales en ciudades del mundo, teniendo un enfoque más ambiental y buscando la rehabilitación de los sistemas. Como solución los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) se enfocan al mejoramiento de la gestión de aguas pluviales, con sistemas basada en la naturaleza y en imitar le ciclo del agua, su aplicación en ciudades de América ha generado un gran impacto llegando a conformar un marco de planificación multicriterio que permitirá maximizar los beneficios de los SUDS dentro de la gestión de aguas pluviales Urbanas, también apoya al mejoramiento para la implementación de estos sistemas bajo un marco normativo de manera más organizada.

Después de una revisión del marco normativo colombiano para la planificación de proyectos dentro de la gestión ambiental para el uso del recurso hídrico, se puede evidenciar que cuenta con buenas políticas públicas para su uso y pertinentes en aplicaciones específicas, se observa que se tiene un control del recurso pluvial desde su origen hasta su disposición final, contemplando desde la gestión de riesgo de desastre como prontas respuestas a daños ambientales, económicos, materiales o humanos. Pero en el caso de las políticas para la gestión de aguas pluviales siguen siendo de mucho desarrollo, ya que se refleja la complejidad para documentar los mecanismos de solución en el país, es así como en el caso de los Sistemas Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) no presenta una política nacional para su uso y aplicación, solo en casos extremadamente específicos es nombrado y en normativas urbanas, cabe señalar que se recomienda documentar esta estrategia en las políticas nacionales para su uso oportuno dentro de la gestión de aguas pluviales del país.

Dentro del caso de estudio en el municipio de Cajicá presenta los mismos problemas que llegaron en el siglo pasado por parte de la gestión de aguas pluviales, en los últimos años se ha creado estrategias para el mejoramiento de esta gestión, con la aplicación de la metodología City Blueprints se ha entregado información que

responde a la toma de decisiones, garantizando eficiencia dentro de la gestión de aguas pluviales desde los parámetros ambientales, esta metodología involucra indicadores que priorizara aquellos problemas que se consideran de pronta solución, esto garantizara la eficiencia de esta gestión con el uso de la metrología City Blueprints para el diseño de estrategias dentro del municipio. Es necesario que la información sea actualizada si así es necesario para que los resultados sean óptimos para su aplicación.

La utilización de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) en el municipio de Cajicá como solución ofrece excelentes resultados para el control del volumen de escorrentía con los sistemas de techos verdes y azules, sin embargo el estudio realizado por (Bonilla Triana, 2019) se hizo para la aplicación de estos dos sistemas que se basarían solo en la evaluación de los aspectos hidráulicos e hidrológicos, por lo cual se aconseja que se implemente otros sistemas a través de un marco de planificación multicriterio donde se marque los aspectos ambientales y económicos aparte de lo los hidráulicos e hidrológicos, esto se puede apoyar de la metodología City Blueprints para la toma de decisiones de la aplicación de estos sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bonilla Triana, L. (2019). *Evaluación de los sistemas de drenaje urbano sostenible en la reducción del riesgo de inundación urbana*. Bogotá D.C.: Uniandes. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/44738>
- Echols, S., & Pennypacker, E. (2015). The History of Stormwater Management and Background for Artful Rainwater Design. En *Artful Rainwater Design* (págs. 7-22). Island Press, Washington, DC.: Artful Rainwater Design. https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.5822/978-1-61091-318-8_2.
- EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE CAJICÁ S.A E.S. P. (2020). *Informe de gestión* . Obtenido de EPC Cajicá: https://www.epccajica.gov.co/Transparencia/Planeacion_Presupuesto_Informes/Informe_Gestion_2020.pdf
- Erickson, A. J., Weiss, P. T., & Gulliver, J. S. (2012). *Impacts and composition of urban stormwater. Optimizing stormwater treatment practices (pp. 11-22)*. New York, NY: Springer New York. doi:10.1007/978-1-4614-4624-8_2 Recuperado de: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-4624-8_2.
- Jiménez Ariza, S., Martínez, J., Muñoz, A., Quijano, J., Rodríguez, J., Camacho, L., & Díaz-Granados, M. (2019). A Multicriteria Planning Framework to Locate and Select Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas. *Sustainability* , 11(8):2312. <https://doi.org/10.3390/su11082312>.
- Jiménez Rivera, D. T. (2021). *Guía de diseño y construcción de alcantarillados*. Boyacá: Universidad Santo Tomás Volumen 1, emisión 1. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/37751>
- Ley 1523 de 2012. (24 de abril de 2012). *Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 48.411. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html
- Ley 99 de 1993. (22 de diciembre de 1993). *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la*. Diario Oficial No. 41.146. Obtenido de https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf
- Liu, A., Goonetilleke, A., & Egodawatta, P. (2015). *Urbanisation and stormwater quality. Role of rainfall and catchment characteristics on urban stormwater quality (pp. 1-14)*. Singapore: Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-287-459-7_1 Recuperado de: http://link.springer.com/10.1007/978-981-287-459-7_1.

- NS-166. (09 de febrero de 2018). *CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS*. EAAB-Norma Técnica de Servicio - V.0.0. Obtenido de <https://www.cccs.org.co/wp/download/1-ns-166-criterios-para-disen%cc%83o-y-construccion-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-pdf/?wpdmdl=15970&refresh=6209ac0f123581644801039>
- Poleto, C., & Tassi, R. (2020). Sustainable urban drainage systems . *Drainage Systems*, 55-72. doi:10.5772/34491.
- Redación Infobae. (02 de noviembre de 2021). *Por torrenciales lluvias, Cundinamarca se declaró en calamidad pública*. Obtenido de Infobe: <https://www.eltiempo.com/bogota/inundaciones-en-cajica-que-esta-pasando-626975>
- Resolución 330 de 2017. (08 de junio de 2017). *Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009*. Diario Oficial No. 50.267 de 17 de junio de 2017. Obtenido de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minviviendact_0330_2017.htm
- Resolución 631 de 2015. (17 de marzo de 2015). *Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015. Obtenido de <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>
- Roy Salas Adán. (22 de octubre de 2021). *Las causas de las inundaciones en el municipio de Cajicá*. Obtenido de El Observador : <https://elobservador.com.co/las-causas-de-las-inundaciones-en-el-municipio-de-cajica/>
- Ruiz Alfonso, L. C., & Puentes Gómez, C. A. (2019). Evaluación de la gestión del recurso hídrico urbano a partir de la metodología City Blueprints: 24 Indicators to assess the sustainability of the urban water cycle en el municipio de Cajicá Cundinamarca. *Universidad Santo Tomás*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/16700>
- Secretaría de Planeación de Cajicá. (Diciembre de 2014). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial*. Obtenido de CARTOGRAFIA – PBOT: <https://cajica.gov.co/plan-de-ordenamiento/>
- Sultana, R., Mroczek, M., Sengupta, A., Dallman, S., & Stein, E. D. (2020). Improving Effective Impervious Estimates to Inform Stormwater

Management. *Water Resources Management*, 34(2), 747-762.
10.1007/s11269-019-02474-7.

Villegas-Rodríguez, E., Sandoval-Betancour, G., Casas-Matiz, E. I., Cortés -Cely, O. A., & Molina-Prieto, L. F. (2019). Gestión estratégica del recurso pluvial urbano: condición actual en Colombia. *Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo*, 12(24). 10.11144/Javeriana.cvu12-24.gerp.