



Propuesta de un Modelo Espacial con valores económicos para la recuperación de cuencas urbanas en el Municipio de Medellín.

Monografía presentada para optar al título de Especialista Geo informática y Medio Ambiente

Por: Camilo Ernesto López Jaramillo. Ing. Sanitario

Asesor: Alba Lucia Marín Valecia

Institución Universitaria de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en medio ambiente y geoinformática
Medellín- Colombia
2019

1. Monografía presentada para optar al título de Especialista Geo informática y Medio Ambiente

Propuesta de un Modelo Espacial con valores económicos para la recuperación de cuencas urbanas en el Municipio de Medellín.

2. Objetivo general

Describir los lineamientos para la elaboración del diseño de un modelo espacial, bajo herramientas de Sistemas de Información Geográfica –SIG-, que permita cuantificar los costos de las actividades necesarias para la recuperación de una cuenca urbana.

3. Objetivos específicos

- Caracterizar las fuentes involucradas en la degradación de cuencas hidrográficas urbanas.
- Describir el proceso para elaborar el diseño de un modelo espacial con valores económicos que facilite cuantificar los costos de la recuperación de cuencas urbanas.
- Identificar los datos, variables y condiciones básicas necesarias para diseñar un modelo espacial para la recuperación de cuentas urbanas.
- Generar un modelo Espacial con herramientas SIG, para la cuenca de la quebrada El Salado en la comuna 13 de Medellín.

4. Estado del arte

El Municipio de Medellín fue fundado el 2 de marzo de 1616 y está ubicado en las estribaciones de la cordillera central, en el Departamento de Antioquia. Se caracteriza por estar conformado por

una zona plana denominada el Valle de Aburrá y por dos grandes núcleos montañosos, uno al oriente y otro al occidente del Río Medellín. (Municipio de Medellín, 2006).

Debido a su conformación montañosa, el Municipio de Medellín se caracteriza por contar con muchas fuentes de agua que discurren desde la parte alta de las montañas hasta unirse al cauce del Río Medellín, constituyéndose como eje hidrográfico de la ciudad. (Municipio de Medellín, 2006).

Conforme la ciudad se consolidaba y se asentaban más habitantes, inicialmente a orillas del Río Medellín y, paulatinamente, hacia las partes altas de las laderas de las montañas, el Municipio y la empresa prestadora de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, Empresas Públicas de Medellín –EPM E.S.P.-, iniciaron la modificación de las cuencas hidrográficas por medio de la canalización y cobertura de las mismas, con el fin de lograr una estructuración lo más parecida posible a las ciudades españolas, donde se pudieran identificar calles y carreras en una cuadrícula regular.

Debido al crecimiento, en algunos casos desordenados, muchas de las estas microcuencas, han sido modificadas de manera drástica, generando procesos de deterioro y contaminación en las mismas, que, como punto final han llevado a la degradación de la calidad del agua en el Río Medellín, principal fuente hídrica de la ciudad.

Según reporta el informe Diagnóstico de la Quebrada El Salado, (Municipio de Medellín, et al 2018), la ciudad cuenta, de acuerdo con la base de información georreferenciada de cauces hídricos de la Alcaldía de Medellín, con 56 microcuencas hidrográficas aportantes al Río Medellín (en jurisdicción del Municipio), con aproximadamente 4.175 quebradas y una extensión total de 1.890 kilómetros lineales.

Al verificar en el Acuerdo 048 de 2014, “Por medio del cual se revisa y ajusta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín”, no se hace alusión a cuántas cuencas y

microcuencas existen en el municipio, pero si identifica 28 cuencas que son abastecedoras de alguno de los acueductos que existen en el territorio, entre ellos, el de Empresas Públicas de Medellín E.S.P –EPM- y otros 22 acueductos veredales que existen en el municipio.

Igualmente, el Plan de Ordenamiento Territorial –P.O.T.- de Medellín, hace referencia a “*cuencas de orden cero*”, que son aquellas que, aunque no tienen un cauce constante, son zonas de recarga de los acuíferos, que son muy vulnerables a los cambios y transformaciones generadas por las actividades humanas. En este punto, el POT establece que, en toda el área de Medellín, tanto urbana como rural, existen 21 cuencas de orden cero.

Teniendo en cuenta que, el Rio Medellín atraviesa por completo la ciudad de sur a norte, la Alcaldía de Medellín, EPM E.S.P y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá –AMVA-, como autoridad ambiental, están generando estrategias tendientes a iniciar procesos que contribuyan con la recuperación de la calidad del agua del Rio, por lo que es necesario realizar esfuerzos en lo concerniente, entre otras, al mejoramiento de las microcuencas de las cuales se alimenta el Rio Medellín.

Es así como, a finales del 2017 y comienzos del 2018, un grupo interdisciplinario de profesionales vinculados al Municipio de Medellín y EPM E.S.P., realizaron el diagnóstico en la microcuenca de la Quebrada El Salado, en la Comuna 13, con el fin de determinar y cuantificar tanto espacial como económicamente, cuáles eran las principales afectaciones que se habían generado sobre esta microcuenca y cuáles deberían ser las acciones a tomar tanto por la Alcaldía como por EPM E.S.P. para lograr la recuperación de dicha cuenca urbana.

Este diagnóstico se realizó por medio de observación directa en campo, donde profesionales de diferentes áreas de estudio, como ingeniería sanitaria, ingeniería civil, trabajadoras sociales, entre otras, realizaron recorridos en la microcuenca, verificando cada uno de los aspectos que se debían

evaluar, como son, prestación de servicios de acueducto y alcantarillado, principalmente las descargas que se realizan desde las viviendas hasta los cauces de las quebradas, ocupación de los espacios de retiro de las mismas, tramos en cobertura o canalización, número de viviendas ubicadas en los retiros o sobre las quebradas propiamente, ocupación de áreas de espacio público, entre otros.

Por otra parte, a nivel mundial, se ha detectado la necesidad de recuperar las cuencas hidrográficas que han sido afectadas o modificadas por lo asentamientos urbanos, los cuales, han cambiado sus características contaminando las fuentes de agua de una manera drástica. Por ejemplo, en China, se hizo el estudio de cómo las políticas de recuperación de la cuenca del Rio Yantze debe ser analizada teniendo en cuenta el rio como un ecosistema acuático, donde no solo se verificó por la calidad del agua, sino que también se evaluó los aportes de sedimentos, la vegetación ribereña, entre otros. El análisis se centralizó en el estudio de la valoración del ecosistema, para poder definir los costos de su restauración. (Kong et al. 2018)

En Argentina, se realizó la estimación de los costos de aumentar la oferta hídrica de la cuenca alta del río Sause Grande, a través de la modificación de las prácticas de usos de suelo generando un Sistema de Pagos por Servicios Ambientales a manera de compensación; al conocer los montos de la compensación, se pueden tener herramientas para la toma de decisiones en lo concerniente a intervención en las cuencas (Cecilia et al. 2013).

Por otro lado, en lo referente a la metodología para la valoración de la recuperación de una cuenca, generalmente solo se tienen en cuenta los costos financieros que se generan, por ser de fácil medición, pero según Roy Brouwer, también se deben tener en cuenta los costos sociales medidos como los servicios ecosistémicos que se pueden generar a partir de los procesos propios de la

cuenca, y con esto tener más herramientas a la hora de formular las políticas de agua (Resources 2017).

En cuanto a la relación entre megaciudades y la modificación de las cuencas hidrográficas urbanas, se nota cómo cada vez se da más importancia desde los puntos de vista políticos y de investigación, al desbalance hídrico que se ha generado a partir del crecimiento de las poblaciones y que aunque se habla de gestión integral del recurso hídrico, esto todavía no se ve reflejado en el terreno, en lo que se refiere a la inversión (van den Brandeler, Gupta, and Hordijk 2018)

Por último, se continúa en la búsqueda de información en lo relacionado a estudios o documentos sobre evaluación económica de proyectos utilizando herramientas SIG, ya que estos pueden servir de insumo para la presente monografía.

5. MARCO TEÓRICO

Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica, el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente al mar. (Decreto 1640 de 2 de agosto de 2012).

Los acuíferos como parte integral de una cuenca, son ecosistemas acuáticos valiosos que proporcionan muchos servicios esenciales para el bienestar público. Esto se debe, en gran parte, a las características de la biota que vive en ellos (Rupérez-moreno et al. 2015).

Una cuenca urbana, se puede definir como el área drenada donde los arroyos y los ríos son reemplazados por un sistema de alcantarillado y saneamiento que también puede estar influenciada por los patrones de consumo de agua de los habitantes de la ciudad. En las últimas décadas, muchos

ríos y arroyos han sido cambiados de sus estados naturales como consecuencia del desarrollo urbano intensivo. (Ribas et al. 2017).

Con el deterioro y modificación de las cuencas, también se dio un avance en las políticas tendientes a recuperarlas, para eliminar o, al menos, reducir el impacto en los ecosistemas acuáticos causados por el hombre, muchos países han establecido normas destinadas a proteger y conservar estos cuerpos de agua (Rupérez-moreno et al. 2015).

En el caso particular del Municipio de Medellín, la cuenca hidrográfica del río Medellín, ha sido modificada conforme se ha dado el crecimiento de la ciudad, de manera que tanto el cauce principal, como todos sus afluentes, han sufrido cambios que van desde variaciones en su trayectoria hasta la modificación de su cauce por medio de canalizaciones y, en otros casos, de coberturas.

Teniendo en cuenta que, las poblaciones generalmente buscan los cauces de los ríos y quebradas para establecerse, sabiendo que estos les sirven como abastecedores de agua y a la vez como sistema de evacuación del agua residual, todas las fuentes de agua existentes en la ciudad, han sufrido alteraciones tales como la ubicación de viviendas en los retiros de las fuentes de agua, utilización de los muros laterales de las canalizaciones como bases o soportes de las viviendas, construcción de viviendas y senderos sobre las losas de las coberturas y la utilización de estos, como sistema de descarga de aguas residuales, debido a las dificultades y deficiencias que se presentan en la prestación de los servicios públicos en las zonas de retiro de quebradas.

Una vez se da la degradación de las cuencas urbanas, se evidencia la necesidad de implementar procesos que colaboren con la recuperación de las mismas, pero la generación de la información necesaria para cuantificar los costos del proceso de recuperación, requieren de muchas horas de trabajo de personal calificado, por lo que se propone en esta monografía, caracterizar los

principales factores que generan la degradación de las cuencas urbanas, de manera que se pueda generar un modelo espacial con valores económicos que permita estimar los costos para la recuperación de una cuenca urbana utilizando herramientas de los Sistemas de Información Geográfica, con la cual de una manera rápida y ágil, se pueda tomar decisiones referentes a la priorización en la intervención de las cuencas urbanas.

6. METODOLOGÍA

Con el objetivo de proponer un modelo SIG que permita realizar la valoración económica para la recuperación de una Cuenca Urbana, se realizará una monografía documental, en la cual se pretende desarrollar un documento técnico donde queden estipulados los lineamientos para generar una herramienta para la recuperación de cuentas urbanas desde el punto de vista de los costos en que se incurre para lograr la recuperación de las Cuencas Urbanas. Durante su desarrollo, se realizará la evaluación del estado del arte y el marco teórico, posteriormente se determinarán los lineamientos para poder desarrollar un modelo espacial con herramientas SIG, para finalmente, evaluar los resultados, tal como se muestra en la [Ilustración 1](#).

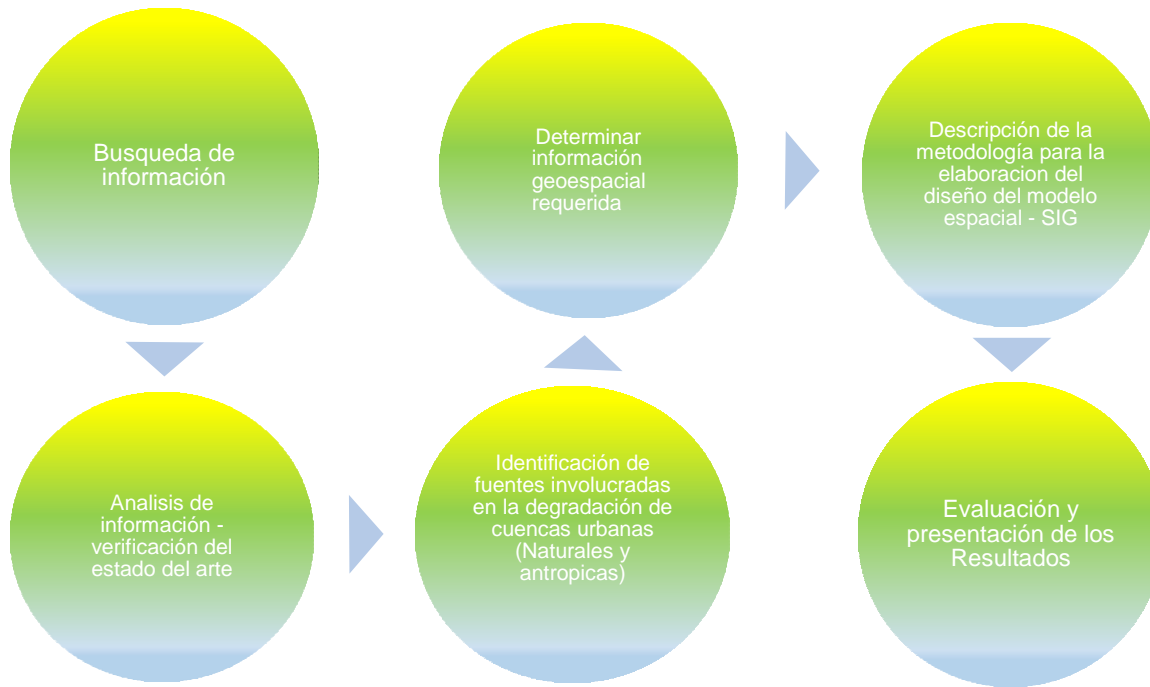


Ilustración 1. Flujograma para la elaboración de la metodología

Inicialmente, se recopiló información de diversas fuentes, referente a los factores asociados con la degradación de las cuencas urbanas, con el fin de lograr el entendimiento global de los procesos involucrados en la transformación de una cuenca hidrográfica a una cuenca urbana; observando que este fenómeno está asociado directamente al crecimiento, en muchas ocasiones sin control y desproporcionado, de las poblaciones alrededor de las cuencas, lo que genera el aumento de la necesidad de recursos naturales para el soporte de las poblaciones, en especial del agua, sirviendo como fuente para el desarrollo de diversas actividades, como aseo, alimentación, transporte, entre

otras, y también de sistema de descarga y transporte del agua residual generada en el interior de los inmuebles que se asientan en la cercanía de las cuencas hidrográficas.

Por otro lado, se determinó cuáles son las herramientas de geoprocésamiento que pueden ayudar para la determinación de zonas espacialmente similares, de manera que se puedan homogenizar y de esta manera facilitar su valoración económica, con la ayuda de información secundaria, de proyectos que se hayan desarrollado y que tengan como objeto, el mejoramiento de las condiciones alrededor de cuencas urbanas, proyectos que fueron desarrollados por entidades como la Secretaría de Medio Ambiente, la Empresa de Desarrollo Urbano de Medellín –EDU- y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA-; tomando los presupuestos de estos proyectos y combinándolos con el modelo espacial generado a partir de las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica.

Con el modelo espacial, se tiene un acercamiento a las condiciones de degradación en que se encuentra la cuenca urbana, y se puede determinar, cuáles son las acciones necesarias para realizar los trabajos de recuperación de la misma, y se puede hacer la proyección de los costos en que se debe incurrir para realizar las obras necesarias para su recuperación. De manera que, teniendo el estado actual, las mejoras que se deben hacer y los costos de estas obras, se puede valorar cuánto se debe invertir para que se dé la recuperación de la cuenca urbana.

Inicialmente, se deben identificar cuáles son las principales causas, naturales y antrópicas, de la degradación de las cuencas y cómo es su relación espacial, para luego poder determinar cuáles son las acciones que se deben emprender para lograr la recuperación de la cuenca.

- **VARIABLES ANTROPICAS**

En general, las cuencas hidrográficas, al interior de una ciudad, se ven afectadas, entre otros factores, por no respetar los retiros de las fuentes hídricas, cambiando las condiciones naturales del terreno.

Se entiende por zonas de retiro, las fajas laterales de terreno a ambos lados de las corrientes, paralelas a las líneas de máxima inundación o a los bordes del canal natural o artificial; que tienen como finalidades, entre otras, la de servir como faja de protección contra inundaciones y desbordamientos y conservar el recurso hidrológico; brindar estabilidad para los taludes laterales que conforman el cañón de la corriente natural; adecuar posibles servidumbres de paso para la extensión de redes de servicios públicos; mantener el cauce y proporcionar áreas ornamentales, de recreación y senderos peatonales ecológicos. Estas áreas se establecen para garantizar la permanencia de las fuentes hídricas naturales; por lo tanto, no podrán edificarse, ya que su fin es la protección, el control ambiental y el constituirse como faja de seguridad ante amenazas hídricas. (Acuerdo 048 de 2014, POT de Medellín).

La invasión de los retiros se puede observar en toda la ciudad de Medellín. Las quebradas que discurren por la ciudad, pasan de estar en su estado natural en las partes más altas de las laderas a tener tramos intermitentes donde aparecen y desaparecen, estando canalizadas en algunos puntos, con coberturas en otros, pasando por los solares de las viviendas o simplemente pasando por debajo de las viviendas propiamente dichas.

En el mejor de los casos, donde los retiros no han sido invadidos completamente, y las viviendas se encuentran a alguna distancia de las fuentes de agua, la degradación de la cuenca está dada por la deforestación realizada en esta zona, eliminando en su totalidad la parte vegetal de las laderas

de las quebradas, disminuyendo así, la zona de protección del cuerpo de agua, además de intervenir completamente las llanuras de inundación de los cuerpos de agua. Este proceso de deforestación de la zona de inundación, aumenta la posibilidad de desestabilización del suelo, debido a que la capa vegetal, contribuye a mantener estables los taludes de los cauces además de servir de instrumento de control de la escorrentía superficial que se genera durante los episodios de precipitaciones de lluvias fuertes.

Por otro lado, cuando se ubican viviendas en las zonas bajas o en los retiros de las quebradas, generalmente estas quedan por debajo de las rasantes de las vías donde están ubicados los sistemas de alcantarillado municipales, siendo imposible realizar una conexión de los desagües de los inmuebles a las redes de alcantarillado, quedando como opción más fácil, evacuar las aguas residuales generadas en el interior de las viviendas, directamente sobre el cauce del cuerpo de agua, generando con esto, procesos de contaminación del afluente, que se va incrementando a medida que la corriente discurre por las laderas.

Otro factor que se puede observar en las cuencas urbanas y que incrementan su degradación, corresponde al uso de la corriente de agua, como sistema de evacuación de residuos sólidos, donde se puede ver que la comunidad arroja todo tipo de materiales a los cauces de agua, esperando que estos los evacúen y sin tener en cuenta, que esto puede ocasionar obstrucciones en el cauce y generar avalanchas que pueden afectar a las comunidades ubicadas aguas abajo.

En este punto, se debe tener en cuenta que el mal manejo de las aguas residuales y de los residuos sólidos por parte de los habitantes ubicados en las cuencas urbanas, genera la proliferación de insectos, roedores y otros vectores de enfermedades que pueden afectar la salud pública, haciéndose necesario, realizar inversiones para lograr la adecuada erradicación de todas las especies que se puedan presentar en el territorio.

Otra variable que interviene directamente en la degradación de las cuencas, es la densidad demográfica, notándose que a más personas ubicadas por una unidad de área, son más los recursos que requieren, teniendo en cuenta que necesitaran más espacio para ubicarse, generando una alta presión sobre el territorio, utilizando más agua para sus actividades diarias y por consiguiente, generando más aguas residuales que serán descargadas en el cauce de los cuerpos de agua, al igual que la generación de residuos sólidos también será mayor.

□ **VARIABLES NATURALES**

Como es de esperarse, la degradación de una cuenca, generalmente se verá afectada en mayor proporción por variables y factores antrópicos, que han sido introducidos o modificados por las acciones humanas que, por las variables naturales, a continuación, se describe brevemente, cuáles son las principales variables naturales involucradas en la modificación de las cuencas hidrográficas.

En primera instancia, la topografía se constituye como una de las principales variables a analizar cuando se estudian los procesos de degradación de las cuencas urbanas, debido a que, la conformación misma del terreno es la que controla los flujos de agua, haciendo que ésta siempre discurra hasta los puntos más bajos, generando además depresiones que son usadas por agua. Igualmente, y como se mencionó antes, al tener las quebradas la característica de ubicarse en los puntos más bajos de una cuenca, las aguas residuales de las viviendas ubicadas en las cuencas, no pueden ser evacuadas hacia los sistemas de alcantarillado.

La variable anterior, está directamente relacionada con la generación de sitios críticos, debido a que en las zonas altamente pobladas, se genera condiciones adversas desde el punto de vista de usos del suelo, de necesidades de aguas para consumo, de generación y descarga de aguas

residuales y de residuos sólidos; los cuales no sea posible que la cuenca los asimile y se comiencen a dar problemas de contaminación, de deforestación y procesos de remoción en masa que afecten a los habitantes; dichos sitios deberán ser identificados para poder ser intervenidos de una manera adecuada y lograr su regeneración.

También se debe tener muy en cuenta, para determinar las afectaciones realizadas en el territorio, los usos del suelo estipulados en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín, ya que esta es la carta de navegación municipal para generar el desarrollo del territorio. Como se expuso anteriormente, los retiros de las quebradas, deben ser franjas que sirvan para la protección de los cauces, entendiéndose con esto, que no se podrá tener ninguna construcción y no se podrá generar actividades que permitan la expansión de las zonas habitadas, hacia los retiros.

Igualmente, los usos del suelo estipulados en el POT, son los que requiere el territorio para poder lograr su adecuado manejo, es por esta razón, que todas las decisiones que se tomen para la recuperación del territorio, deben estar articuladas con lo que esté aprobado en el POT.

Todo lo anterior, tiene una relación directa con los factores climáticos, los cuales pueden incrementar o disminuir las consecuencias de una mala ocupación de las cuencas hidrográficas, evidenciándose que en épocas de lluvias, los caudales de los cuerpos de agua crecen de manera considerable, debido a los procesos de impermeabilización del suelo por la urbanización excesiva, lo que disminuye la capacidad de los mismos de controlar la escorrentía y el agua precipitada, llega rápidamente a los cauces. Por otro lado, en épocas de sequía, los caudales que escurren por los cauces, se ven disminuidos notoriamente y, por lo general, se puede observar que solo discurren por los mismos las aguas residuales descargadas por las viviendas ubicadas aguas arriba sobre los bordes de las quebradas, generando esto, condiciones apropiadas para la proliferación de insectos, roedores y otros vectores de enfermedades que pueden llegar a afectar la salud pública.

Es así, como la combinación de estas variables, conllevan al deterioro de la cuenca urbana, realizando cambios significativos en el medio ambiente pasando de ecosistemas naturales, a sitios totalmente intervenidos

Descripción de la metodología para la elaboración de un modelo espacial que permita determinar costos de la recuperación de una cuenca urbana

Inicialmente, se debe tener claro cuáles son los límites espaciales para el trabajo a realizar, ya que todo el análisis tanto espacial como de costos, se realizará en una fracción del territorio, para poder determinar todos los factores que afectan dicho territorio y con esto, facilitar el análisis de la información. En este caso, se toma la cuenca de la quebrada El Salado, en la Comuna 13 del Municipio de Medellín.

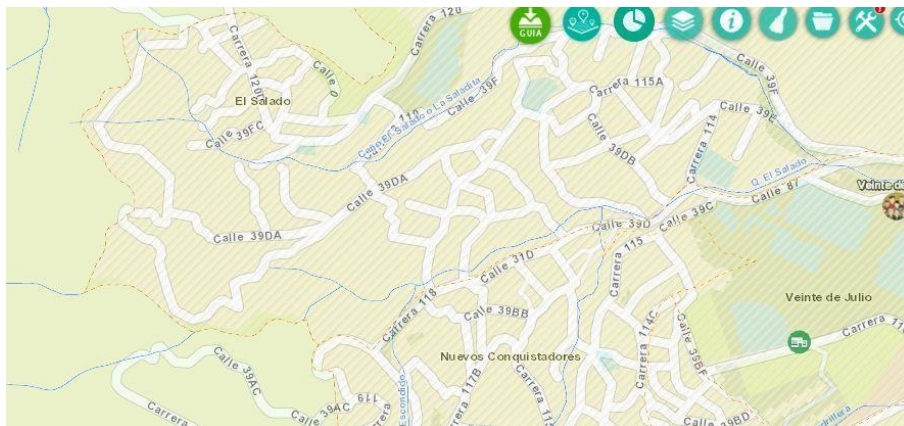


Ilustración 2. Comuna 13, cuenca de la quebrada El Salado. Tomado de https://www.medellin.gov.co/MAPGISV5_WEB/mapa.jsp?aplicacion=0

Para esto, se debe contar con una serie de información espacial y normativa, que permita realizar el análisis requerido, dentro de la información necesaria, se tiene:

- Contar con la información geoespacial de la microcuenca a intervenir. Se deben tener los Shapefile de la zona que se pretende recuperar

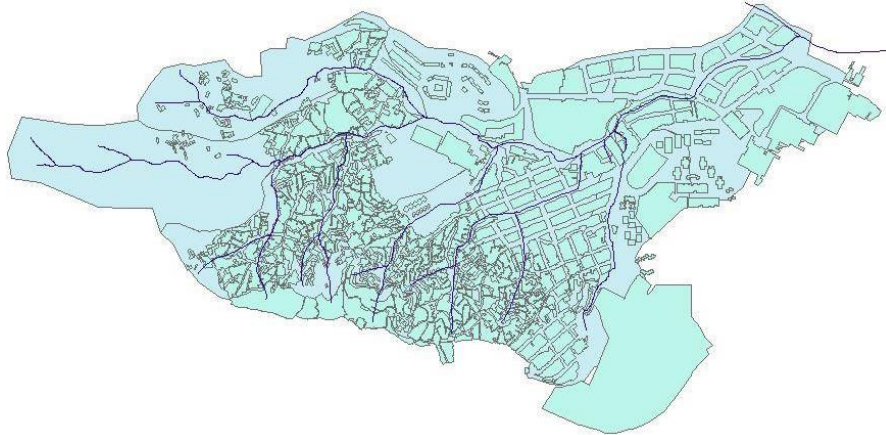


Ilustración 3. Cuenca que la Quebrada el Salado. Comuna 13, Medellín.

- Conocer los lineamientos con que cuenta el POT en la zona a intervenir; de esta manera, se pueden determinar los usos del suelo existentes y permitidos, los retiros a ríos y quebradas, las amenazas y riesgos, entre otros factores importantes para la toma de decisiones.
- Conocer el área de prestación efectiva de servicios públicos, especialmente acueducto, alcantarillado y aseo, ya que como se describió anteriormente, estos están relacionados directamente con la degradación de las cuencas urbanas. Se puede consultar en la dirección <https://grupoepm.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=a7a4a748a14b421eae6f45eb80aa7ba1>.

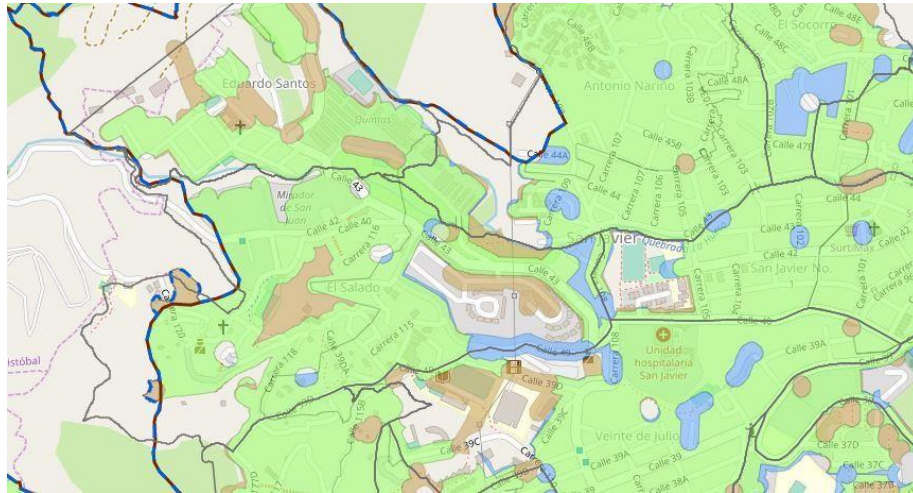


Ilustración 4. Cobertura de servicios de acueducto y alcantarillado de EPM en la cuenca El Salado

- Contar con una base de datos sobre precios de los terrenos por estratos, comercial, industrial y en general una base de los costos de los predios.
- Tener valores de reacondicionamiento, paisajismo y ornato de zonas intervenidas.
- Contar con costos de construcción de obras civiles, como andenes, parques lineales, malecones, redes de acueducto ya alcantarillado, entre otros.
- Imágenes aéreas o satelitales de la cuenca.
- Bases catastrales, donde aparezcan los diferentes predios que puedan existir en la zona.

Una vez se cuente con toda la información preliminar, se inicia el geoprocésamiento de la misma. Inicialmente, por medio de un buffer, se debe determinar los retiros de los cuerpos de agua involucrados en la cuenca seleccionada, ya que, como mínimo esta zona, se debe recuperar para poder garantizar la vuelta a la normalidad de cada cuerpo de agua. El ancho de esta franja, será el estipulado en el POT.

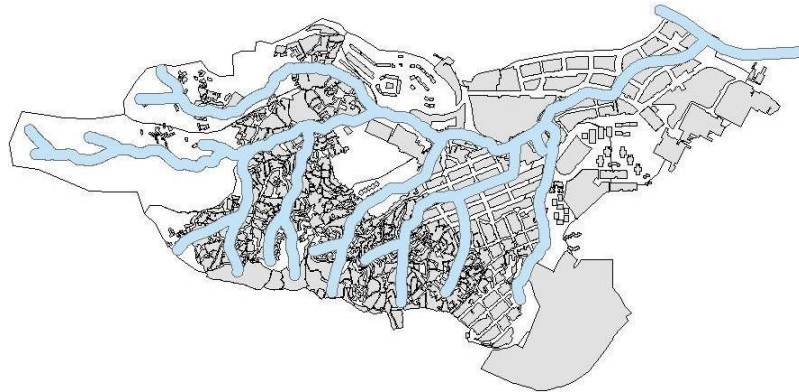


Ilustración 5. Buffer en las quebradas de la Cuenca El Salado. 20 m. de ancho

Es importante tener en cuenta, que en los lotes identificados dentro de la zona de retiro y que en estos se encuentre asentada una vivienda, todo el lote deberá ser sometido a los procesos de recuperación, de manera que no solo la franja del retiro es sujeto de interés, sino que todo el espacio que pudiera ocupar un inmueble, deberá ser intervenido.

Por medio de la herramienta intesec del ArcMap, se realiza la verificación de las zonas que, estando construidas, están dentro de la zona de retiro seleccionada en la etapa anterior con el Buffer.

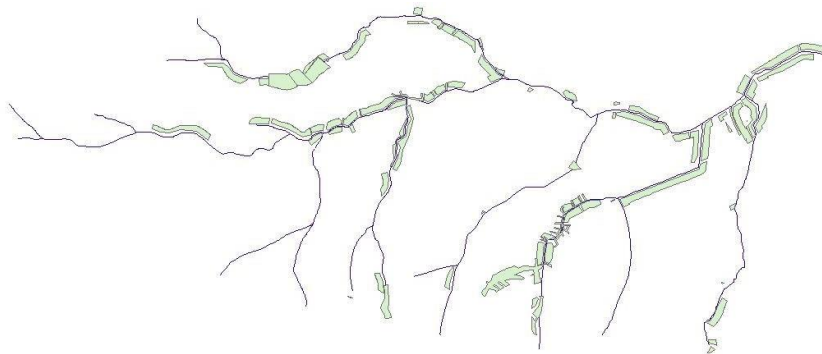


Ilustración 6. Intersección entre el Buffer y las áreas construidas

Esta operación se puede repetir con las zonas verdes, áreas que requieran alcantarillado, paisajismo y demás espacios que sean relevantes en el área de estudio. Para el ejercicio de la Cuenca de la Quebrada el Salado, se verifico las zonas verdes y los requerimientos de alcantarillado.

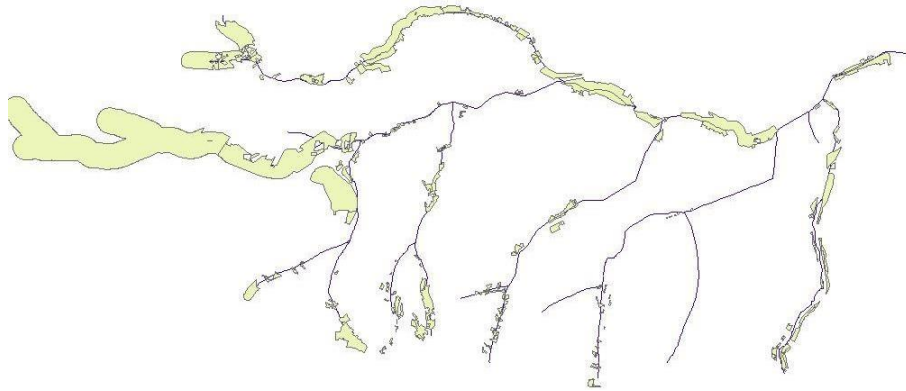


Ilustración 7. Intersección del Buffer con Zonas Verdes.

En cada uno de las Shapefile generadas, se puede verificar en la tabla de atributos, cual es el área requerida para compra de predios, que en general sería toda la que corresponde al buffer generado a las quebradas, se puede identificar el área en la que se deben demoler inmuebles y son las ubicadas en la zona de Buffer y que tengan adicionalmente construcciones, esta área se define en la tabla de atributos de la intersección del Buffer con las zonas construidas. La operación anterior se repite para la zona verde y por medio de operaciones matemáticas, se pueden determinar las áreas totales a intervenir.

Intersec_Que_ZV									
FID	Shape	FID Buff Q	Id	FID ZonasV	ID ZV	SHAPE Leng	SHAPE Area	T	
0	Polygon	0	0	1	1	308,96786	3097,449293	Privado	
1	Polygon	0	0	2	4	421,976769	1550,431029	Privado	
2	Polygon	0	0	3	2	287,453438	3077,044536	Privado	
3	Polygon	0	0	4	3	243,684174	462,043909	Privado	
4	Polygon	0	0	10	5	126,362609	328,982007	Privado	
5	Polygon	0	0	13	6	32,238072	48,013275	Privado	
6	Polygon	0	0	16	7	40,387865	76,411909	Sin Inform	
7	Polygon	0	0	17	8	56,021703	79,953202	Privado	
8	Polygon	0	0	18	9	239,933173	838,511818	Privado	
9	Polygon	0	0	22	10	63,749379	129,927973	Privado	
10	Polygon	0	0	23	11	199,326101	801,377535	Público	
11	Polygon	0	0	26	12	847,44575	4982,83842	Público	
12	Polygon	0	0	44	13	402,95431	836,138293	Público	
13	Polygon	0	0	46	14	211,896779	1015,058792	Privado	
14	Polygon	0	0	71	12	194,796343	893,907714	Sin Inform	
15	Polygon	0	0	76	12	259,292131	826,504223	Privado	
16	Polygon	0	0	78	13	173,491251	384,426088	Privado	
17	Polygon	0	0	83	11	27,290507	41,285491	Privado	
18	Polygon	0	0	84	11	72,141179	300,551204	Sin Inform	
19	Polygon	0	0	85	15	135,167709	829,21267	Privado	
20	Polygon	0	0	86	17	18,802517	17,733019	Privado	
21	Polygon	0	0	87	18	35,364778	45,928747	Privado	

Ilustración 8. Determinación de área para cada Shapefile

En el caso de prestación de servicios públicos, especialmente alcantarillado, se verifica la longitud de redes que se deben extender, para la recolección de las aguas residuales generadas y que, además, estén dentro de la zona de retiro (buffer) de la quebrada.

Una vez se determinen todas las áreas, longitudes y cualquier otro aspecto que deba ser tenido en cuenta, se realiza la operación de multiplicar los datos de áreas y longitudes, por los costos unitarios de cada operación, para así, poder cuantificar las acciones a realizar.

Cabe anotar, que los geoprocursos que se pueden aplicar en este punto, pueden ser variados y dependen de la cantidad de información con se cuenta a la hora de realizar el modelo espacial, se pueden realizar análisis de imágenes satelitales, generar modelos DEM para verificar las áreas reales a intervenir teniendo en cuenta las pendientes de los taludes, entre otras.

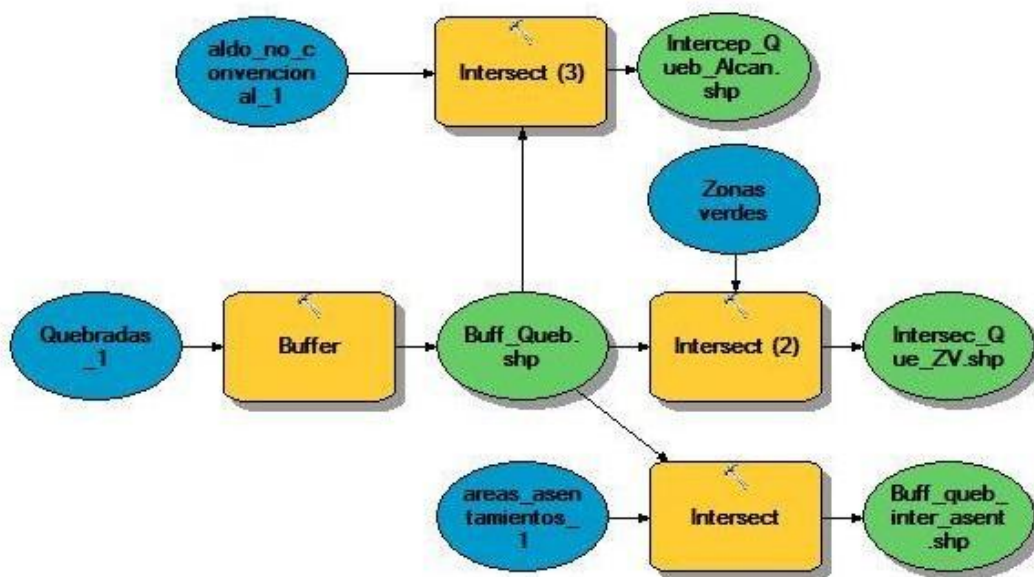


Ilustración 9. Modelo conceptual.

7. RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, se deben tener costos aproximados de las obras a realizar, en el caso de la Cuenca de la Quebrada el Salado, se tienen los costos de compra de los lotes de terreno que van por el retiro, igualmente se tienen los costos de los inmuebles ubicados en dicha zona, el costo de demoler los mismos, costo de compra de zonas verdes, los costos de construcción de alcantarillados.

En el ejercicio, se tiene en cuenta el área total de retiros obtenidos con el buffer, el área total de las construcciones a demoler, el costo total de la compra de los inmuebles, el área total a realizarle paisajismo y la totalidad de alcantarillado que se debería construir al compararlo con la disponibilidad de servicios públicos en la zona

En la [Tabla 1](#), se consignan las áreas y longitudes tomadas de las tablas de atributos de los shapefiles generados para el ejercicio de la Cuenca de a quebrada EL Salado, como también los costos generales para su aplicación.

	Unidad	Área	Longitud
Buffer Área de Retiro	m2	205.460	
Intersecto Buffer y construcciones	m2	66.250	
Zona Verde	m2	120.214	
Alcantarillado	m		2607,7
Demolición	m2	66.250	
Paisajismo	m2	325.674	
Total			

Tabla 1. Resumen de datos obtenidos con el modelo SIG.

En la [Tabla 2](#) se encuentran los costos asociados a cada una de las características evaluadas en el modelo, tomando como base de cálculo las longitudes y las áreas encontradas mediante el Modelo espacial utilizando herramientas SIG.

	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
Buffer	m2	205.460	10.000	2.054.600.000
Intersecto Buffer y construcciones	m2	66.250	350.000	23.187.500.000
Zona Verde	m2	120.214	17.000	2.043.638.000
Alcantarillado	m	2607,7	490.000	1.277.773.000
Demolición	m2	66.250	68.400	4.531.500.000
Paisajismo	m2	325.674	119.000	38.755.206.000
Total				71.850.217.000

Tabla 2. Costos de las obras a realizar

8. CONCLUSIONES

Es evidente los cambios que se han presentado en el Municipio de Medellín en las 5 últimas décadas, cambiando las totalmente la cuenca del río Medellín y cada uno de sus afluentes, pasando de ser terrenos naturales empinados a zonas totalmente intervenidas donde en muchas ocasiones

no se observan los cuerpos de agua. Igualmente es evidente los esfuerzo realizados por diferentes entidades para realizar la recuperación de las cuencas urbanas.

- A nivel mundial se están notando esfuerzos importantes en lo referente a la recuperación de cuencas urbanas y cuáles serían los costos de su recuperación.
- Para lograr la recuperación de una cuenca urbana, se deben tener en cuenta cuales son los usos del suelo y como se deben modificar, para esto, en ocasiones se hace necesario identificar los servicios Ambientales que se generen a partir de la cuenca y realizar algunos pagos por estos.
- Para poder aplicar un modelo espacial que permita identificar los costos para la recuperación de una cuenca urbana, se debe identificados los límites espaciales de trabajo y contar con información secundaria sobre costos de terrenos, de paisajismo, de demolición, de instalación de servicios de acueducto y alcantarillado, de manera que sirvan de insumos al modelo.
- Para el caso aplicado en la Cuenca de la quebrada El Salado, se requieren \$71.850.217.000 (setenta y un mil ochocientos cincuenta millones doscientos diez y siete mil pesos), para lograr la recuperación de la misma. A medida que se pueda contar con más datos específicos de los costos en el lugar exacto del trabajo, mayor será el grado de exactitud que puede arrojar el modelo.

9. BIBLIOGRAFIA

Municipio de Medellín, et al (2018), Diagnóstico de la quebrada El Salado– Mejoramiento de las condiciones ambientales de la Quebrada La Hueso.

Municipio de Medellín, Documento técnico de soporte POT - acuerdo 48/2014. Primera parte, Generalidades, Medellín y su Población.

van den Brandeler, Francine, Joyeeta Gupta, and Michaela Hordijk. 2018. “Megacities and Rivers: Scalar Mismatches between Urban Water Management and River Basin Management.” *Journal of Hydrology*: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.001>.

Cecilia, Claudia, Carrascal Leal, Gerardo Andrés Denegri, and María Isabel Delgado. 2013. “Costos Mínimos de Compensación y Cuantificación de La Oferta Hídrica En La Cuenca Alta Del Río Sauce Grande , Argentina Minimum Compensation Costs and Quantification of Water Supply in the Upper Watershed of the Sauce Grande River , Argentina.” : 55–70.

Kong, Lingqiao et al. 2018. “Science of the Total Environment Evaluating Indirect and Direct Effects of Eco-Restoration Policy on Soil Conservation Service in Yangtze River Basin.” *Science of the Total Environment* 631–632: 887–94. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.117>.

Resources, Water. 2017. “Water Resources and Economics.” 17: 1–8.

Ribas, Anna et al. 2017. “Public Participation GIS for Assessing Landscape Values and

Improvement Preferences in Urban Stream Corridors.” 87: 184–96.

Rupérez-moreno, Carmen, Julio Pérez-sánchez, Javier Senent-aparicio, and M Pilar Flores-asenjo.

2015. “Science of the Total Environment The Economic Value of Conjoint Local Management in Water Resources : Results from a Contingent Valuation in the Boquerón

Aquifer.” *Science of the Total Environment, The* 532: 255–64.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.028>.