



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN DE
CUENCAS ABASTECEDORAS DE AGUA
POTABLE EN ZONAS URBANAS**

Sabine Giulelt Tabares Valencia

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería, Departamento de Antioquía
Medellín, Colombia
2019



**ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN DE CUENCAS ABASTECEDORAS DE
AGUA POTABLE EN ZONAS URBANAS**

Sabine Giulelt Tabares Valencia

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:
Especialización en Gestión Ambiental

Asesor(a):
Omar Darío Rengifo Celis

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Antioquía
Medellín, Colombia
2019

RESUMEN

Las cuencas abastecedoras de agua potable se han convertido en un eje de desarrollo para las poblaciones urbanas en todo el mundo, pero desafortunadamente debido a sus intervenciones antrópicas se han venido deteriorando, poniendo en peligro la obtención de sus servicios ecosistémicos como lo es el acceso de agua potable para abastecimiento de las poblaciones. Es por esta razón que el conocer alternativas de alto valor para la conservación de la cuencas, teniendo en cuenta el manejo adecuado de los usos del suelo, las coberturas vegetales, el abastecimiento apropiado del agua, el manejo de residuos y vertimientos, la implementación de tecnologías y de alternativas sociales y políticas, que permiten la conservación de tan valioso recurso. Para la identificación de los aspectos anteriores, se realizó una revisión bibliográfica que permitiera conocer e identificar casos de éxito a nivel nacional e internacional en la implementación de dichas alternativas, donde se han observado estudios, acciones, investigaciones e implementación de políticas sociales y tecnológicas que pueden ser extrapoladas e implementarse en varias partes de mundo. Dichas alternativas permiten brindar recomendaciones como información valiosa para la conservación de cuencas abastecedoras de agua potable en zonas urbanas.

Palabras clave: cuencas abastecedoras, zonas urbanas, alternativas de conservación en: suelos, coberturas vegetales, aspectos sociales y políticos, residuos, vertimientos, control y calidad del agua, abastecimiento y tecnologías.

ABSTRACT

The hydrographic basins that supply drinking water have become an axis of development for urban populations worldwide, but unfortunately due to their anthropic interventions they have been deteriorating, putting in danger the obtaining of their ecosystem services such as access of drinking water to supply the populations. It is for this reason that knowing high-value alternatives for the conservation of the hydrographic basins, taking into account the proper management of land uses, plant cover, proper water supply, management of waste and dumping, the implementation of technologies and social and political alternatives, that allow the conservation of such a valuable resource. For the identification of the above aspects, a bibliographic review was carried out that allowed to know and identify success stories at national and international level in the implementation of these alternatives, where studies, actions, investigations and implementation of social and technological policies have been observe and they can be extrapolated and implemented in various parts of the world. These alternatives provide recommendations as valuable information for the conservation of drinking water supply hydrographic basins in urban areas.

Keywords: Keywords: supply basins, urban areas, conservation alternatives in: soils, plant cover, social and political issues, waste, dumping, control and water quality, supply and technologies.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
Objetivos	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos:.....	8
METODOLOGÍA.....	9
Búsqueda de la información	9
Organización y clasificación de la información.....	9
Análisis de la información.....	10
MARCO TEÓRICO.....	11
CONCEPTUALIZACIÓN.....	13
Alternativas en protección de suelos.....	15
Alternativa en protección de coberturas vegetales	17
Alternativas sociales y políticas.	19
Alternativas en el manejo de residuos	23
Alternativa en el manejo de vertimientos	27
Alternativas para la calidad y cantidad de agua.....	29
Alternativas de abastecimiento	31
Alternativas en tecnologías.....	35
CONCLUSIONES	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS:

Lista de tablas:

<i>Tabla 1. Disponibilidad del agua de acuerdo con cada región a nivel mundial</i>	11
<i>Tabla 2. Prospección de las poblaciones en algunos países y ciudades del mundo.....</i>	13
<i>Tabla 3. Prospección de las poblaciones en dos de las principales ciudades de Colombia..</i>	14

Lista de figuras:

<i>Figura 1. Mendeley gestor bibliográfico.....</i>	10
<i>Figura 2 . Distribución de la escasez de agua en el mundo.....</i>	15
<i>Figura 3. Principios de la Gobernanza del Agua - OCDE.....</i>	22
<i>Figura 4. Delta en California.....</i>	26
<i>Figura 5. Localización geográfica de las cuencas hidrográficas de ríos altoandinos tropicales.....</i>	30
<i>Figura 6. Procedimiento genérico para el establecimiento de regímenes ambientales de caudales RCA.....</i>	32
<i>Figura 7. Diseño esquemático y servicios ecosistémicos de la ciudad sponge.....</i>	38
<i>Figura 8. Diseño de bioretención</i>	39

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son de vital importancia para suministrar agua a los sistemas de tratamiento de agua potable, con el fin de abastecer a la población radicada en diferentes ciudades y poblados en el mundo, entre otros usos. (Colombia. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2010).

Ahora bien, las cuencas hidrográficas según González & Montoya, (2010) “son sistemas de aguas superficiales donde las poblaciones aprovechan este recurso para su desarrollo, estas cuencas se componen de una parte alta, media y baja que están intervenidas por diferentes actores y otras relaciones antrópicas que generan su contaminación directa, tales como: vertimiento de pequeñas industrias avícolas, ganaderas y aguas residuales, entre otras. Lo que afecta los servicios ambientales existentes” (p.3). Es así como la sostenibilidad y el desarrollo prioritario de las zonas en la parte alta de las cuencas están dadas, fundamentalmente por la disponibilidad de este recurso, para lo cual es clave la protección de las mismas. (Ruiz Soto, 2007). Sin embargo, todos aquellos cuidados que se tengan en la conservación de las cuencas deben tener un manejo integral y su estudio tendrá la atención en toda su extensión territorial.

Por otra parte, el cuidado y manejo responsable del agua potable, las medidas que buscan elevar la producción de alimentos sin afectar el ecosistema y la construcción de nueva infraestructura con criterios ecológicos, son los factores que tendrán mayor impacto y dirigirán gran parte del gasto ambiental en América Latina durante los próximos años. (González & Monotoya, 2010) Actualmente, en la mayoría de las cuencas han disminuido la prestación de sus servicios ecosistémicos, debido a la contaminación antrópica por el inadecuado manejo de los usos del suelo, los vertimientos industriales y domésticos al agua, la deforestación, la mala aplicación e inapropiadas tecnologías, entre otras (Medellín, Empresas Públicas de Medellín, 2018), lo que ha generado una disminución del agua superficial, trayendo consigo restricciones para su tratamiento y suministro de manera óptima en las zonas urbanizadas, lo que ha generado que para los sistemas de tratamientos de agua potable sea más difícil cumplir con los parámetros de calidad y cantidad, generando un incremento en los costos de tratamiento, lo que redundará en la tarifa al usuario final. (Ruiz Soto, 2007)

Es por esta razón que los servicios ambientales asociados a los ecosistemas naturales están seriamente amenazados por acciones locales y por el calentamiento global. El servicio

ambiental asociado al agua y su efecto sobre calidad y cantidad en cuencas hidrográficas aportantes a acueductos y sistemas de riego, son de gran importancia económica y social (Ruiz Soto, 2007).

Según lo anterior, el cambio climático es un fenómeno adicional en la problemática del agua, (Medellín, Empresas Públicas de Medellín, 2018). Lo que ha generado impactos ambientales en las cuencas por los eventos extremos como: las avenidas torrenciales, sequías, derrumbes y erosiones, entre otros, asociados a los conflictos de supervivencia en las ciudades.

Por otra parte, el crecimiento de la población ha implicado una mayor atención a la prestación de sus servicios esenciales y el agua es uno de los más importantes, es así como, se tienen que buscar alternativas más exigentes para la conservación de sus cuencas hidrográficas cercanas o distantes que permitan planear y controlar el crecimiento de las ciudades. Según Ranjan, Redd, & CrokeRam, (2012) “El efecto de la escala geográfica está determinado por la variación en otros factores como las condiciones hidrológicas, el uso del suelo y las estructuras institucionales disponibles (...), lo que involucra las interacciones entre las escalas biofísica y socioeconómica” (P.985).

Es así como las cuencas hidrográficas se han convertido en una unidad de la gestión del agua, razón por la cual, las alternativas de conservación se convierten en un objeto de estudio de alto valor. (Buitrago Bermúdez, 2017).

Es importante señalar que existen unas particularidades de las cuencas que permiten que se presente una mayor capacidad de almacenamiento y la dinámica de flujos de agua a la atmósfera y a las vías de drenaje, las cuales son: el relieve, las características del suelo, la vegetación, la constitución geológica, entre otras y que realizando los análisis apropiados se puede inferir que es posible emplear resultados de experiencias de manejo realizadas en cuencas de unas pocas hectáreas y extrapolarlos a otras de mayores dimensiones. (Morejón Yilian, Vega Marina, Escarré Antonio, Peralta José, Quintero Arely, 2015)

Con la lógica anterior, la presente investigación pretende identificar las prácticas convenientes y extrapolarlas en sus extensiones con el propósito de proponer alternativas de conservación en las cuencas abastecedoras arriba de la estructura de captación como son: Alternativas de conservación asociado al territorio mediante: los sistemas de reforestación mejorando las condiciones ecosistémicas de las cuencas y el abastecimiento de agua potable, identificando metodologías más convenientes y ecológicas, teniendo en cuenta experiencias

de políticas ambientales para el manejo del agua y la conservación de los suelos reconociendo su composición geológica. (Medellín, Empresas Públicas de Medellín, 2018). Igualmente proponer alternativas de conservación asociada a las fuentes de agua teniendo en cuenta propuestas para mejorar los parámetros en calidad y cantidad para el abastecimiento en zonas urbanizadas y medidas de protección, mediante nuevas infraestructuras para la recolección y tratamiento de aguas residuales, gestión integral de residuos sólidos y programas de participación con la comunidad, que permitan prevenir, corregir y mitigar los impactos ambientales y reducir los vertimientos, lo que contribuirá a la sostenibilidad del agua para abastecimiento de agua potable en zonas urbanizadas.

Objetivos

Objetivo general

Identificar estrategias de conservación en cuencas abastecedoras de agua potable en zonas urbanizadas y proponer alternativas para el manejo de las mismas.

Objetivos específicos:

1. Identificar los principales problemas asociados en las actividades desarrolladas en las cuencas que producen contaminación a los cuerpos de agua que proveen los acueductos en zonas urbanas.
2. Encontrar alternativas tecnológicamente apropiadas que permitan contribuir a la conservación de las cuencas hidrográficas abastecedoras de agua potable en zonas urbanizadas.
3. Conocer conceptos de biodiversidad que favorezcan la conservación del recurso hídrico en cuencas abastecedoras.
4. Hallar estrategias de conservación de las cuencas abastecedoras incluidas las de participación de las partes interesadas.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se realiza a partir de un enfoque descriptivo sobre las diferentes alternativas de conservación en cuencas abastecedoras de agua potable en zonas altamente urbanizadas, mostrando varias propuestas desarrolladas a nivel mundial con el propósito de obtener información necesaria para la implementación de dichas alternativas en la conservación de cuencas abastecedoras de agua potable en zonas urbanizadas.

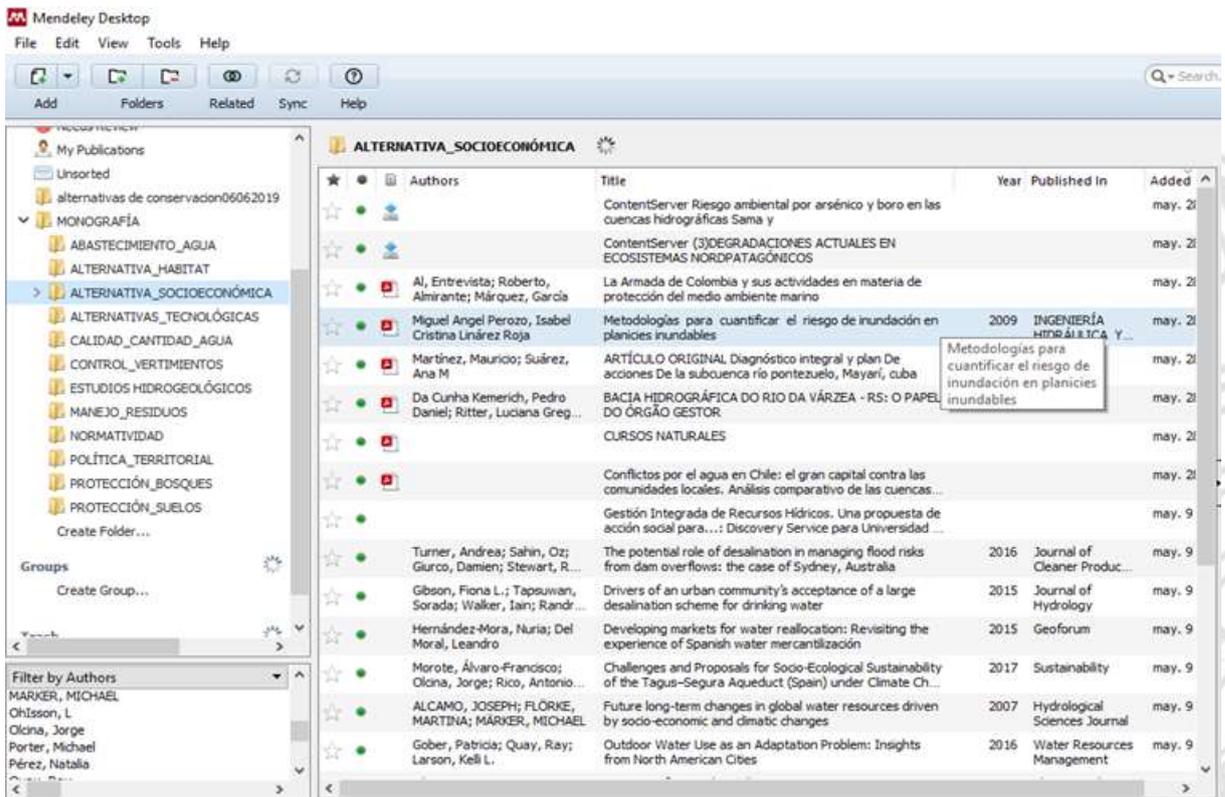
Búsqueda de la información

La revisión bibliográfica se basó en la consulta de artículos científicos en revistas indexadas, libros, monografías, tesis de grado y estudios publicados a nivel mundial y en Colombia en temas, tales como: la protección de los usos del suelo, protección de zonas boscosas; tipos de cargas de contaminantes por vertimientos, prácticas en el manejo de los residuos en las riberas de los cuerpos de agua, iniciativas sociales involucradas en la conservación de las cuencas y uso apropiado de algunas tecnologías para la conservación de las cuencas.

Organización y clasificación de la información

Toda la bibliografía consultada fue organizada y repasada empleando un gestor bibliográfico como Medeley (*figura 1*). Éste permitió seleccionar y organizar la bibliografía más apropiada para el objeto de esta monografía, para posteriormente realizar un análisis sobre las ideas más importantes y los aspectos más relevantes de cada publicación; además permitió hacer seguimiento y control de los artículos consultados en las bases de datos de las revistas, estudios y tesis, los cuales se consideraron como referente bibliográfico central para nutrir la investigación.

Figura 1. Mendeley gestor bibliográfico.



Fuente: Elaboración Mendeley.

Análisis de la información

La información consultada fue analizada a la luz de los objetivos del presente documento, teniendo en cuenta la necesidad de identificar los diferentes factores que permiten considerar viable las alternativas de conservación en cuencas abastecedoras de agua potable en zonas urbanas.

De acuerdo con esto, tras la revisión de las diferentes alternativas de conservación exitosas en diferentes lugares del mundo en relación con cuencas abastecedoras de agua potable para zonas altamente urbanas, se realizó un mapeo con la información ya analizada y clasificada, para presentar en la investigación y establecer cuáles son las principales alternativas de conservación que más pueden ser aplicables para las cuencas abastecedoras de acueductos en zonas urbanas en Colombia y en el mundo.

MARCO TEÓRICO

Las alternativas de conservación para las cuencas abastecedoras de acueductos en zonas altamente urbanas son la clave para lograr la sostenibilidad y la sustentabilidad del recurso hídrico para las poblaciones y en términos prospectivos es fundamental esta práctica para la conservación de los diferentes ecosistemas estratégicos involucrados. Es por esta razón que es importante tener en cuenta el efecto de la escala geográfica, la cual está determinada por la variación de algunos factores como son: las condiciones hidrológicas, el uso del suelo y las estructuras institucionales disponibles (Ranjan et al., 2012); lo que permite determinar qué cantidad de agua potable se necesita en un tiempo determinado para la sustentabilidad en zonas urbanas.

Según la ONU - CEPAL ,(2010) “Es claro que la escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque 2.100 millones de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento desde 1990, la decreciente disponibilidad y calidad de agua potable es un problema importante que aqueja a todos los continentes”.

Se pensaría que es fácil obtener el agua cuando sale de cada grifo en las economías desarrolladas, pero la cruda realidad es que 2,1 mil millones de personas en todo el mundo no pueden obtener agua segura de esta manera. Muchas de ellas deben pasar horas esperando en largas filas, o varias veces al día, para obtener agua incluso compartida por la comunidad, o tienen que viajar a lugares distantes solo para obtenerla. En la tabla 1. Se puede observar el porcentaje de disponibilidad del agua de acuerdo con cada región a nivel mundial, teniendo en cuenta si esta se obtiene de manera segura, básica, limitada, no mejorado o superficial.

Tabla 1. Disponibilidad del agua de acuerdo con cada región a nivel mundial

Región	Gestionado de forma segura	Básico	Limitado	No mejorado	Superficie del agua
Norteamérica	99%	-	-	1%	-
Europa Oriental	96%	3%	-	1%	-
Europa del Este y Asia Central	84%	11%	2%	2%	1%
Oriente Medio y África del Norte	77%	16%	4%	2%	1%
América Latina y el Caribe	75%	31%	1%	2%	1%

África oriental y meridional	26%	28%	18%	16%	12%
África occidental y central	23%	40%	10%	20%	7%
Asia oriental y el Pacífico	-	94%	1%	4%	1%
Asia del Sur	-	88%	4%	7%	1%

Fuente: Hoornweg & Pope, 2014

Es así como cada vez más países están experimentando estrés hídrico, teniendo en cuenta que se presenta cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad; Igualmente sucede con el aumento de las sequías y la desertificación, lo que ya están empeorando estas tendencias. Se estima que al menos una de cada cuatro personas se verá afectada por escasez recurrente de agua para 2050 (ONU - CEPAL, 2010). Igualmente, sobre las 500 ciudades más grandes del mundo ya se ha identificado que una de cada cuatro atraviesa una situación de “estrés de agua”, algo establecido cuando los suministros anuales descienden por debajo de 1.700 metros cúbicos por persona (UNESCO, 2015).

Los anteriores argumentos son los que permiten considerar conceptos tales como: el tema jurídico y la conceptualización de la importancia del manejo de cuencas, donde es pertinente precisar tanto los alcances y jerarquías normativas como los enfoques sistémicos o integrales que permiten armonizar la ordenación de cuencas con la sostenibilidad ambiental. (IDEAM, 2004).

De igual forma la elaboración de planes de manejo del recurso hídrico dirigidos a lograr el abastecimiento de agua para pequeñas poblaciones, la conservación y mejoramiento de la cobertura vegetal, hacia la regulación hídrica, la recuperación de áreas críticas y el seguimiento y evaluación para el monitoreo de estos planes hacen parte de la recuperación de los caudales y de su calidad (IDEAM, 2004). Es lo que permite mantener las características particulares en las cuencas abastecedoras de acueductos en zonas altamente urbanizadas, tales como: el suficiente caudal ecológico que corresponde al total de agua disponible abajo, para evitar alternaciones a los corredores ecológicos constituidos por los cauces hídricos, luego de realizar un proyecto, obra o actividad. Igualmente mantener las características de la calidad del agua, la estabilidad geológica, la protección y conservación de sus riberas y nacimientos, la identificación y protección de los ecosistemas existentes y las bocatomas, las cuales deben ser de fácil acceso y mantenimiento (González, 2015) y otros temas relacionados como respuesta a lo planteado en el objeto de estudio, permite contribuir a una mejor disponibilidad el abastecimiento de agua potable en zonas urbanas.

CONCEPTUALIZACIÓN

El crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización y el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor. (IDEAM, 2004).

Según el estudio realizado por Hoornweg & Pope, (2014) sobre “*las predicciones desarrolladas para el crecimiento de la población en las ciudades más grandes del mundo*”, éste plantea que, durante los años 2010 y 2025 en ciudades de diferentes niveles socioeconómicos, las tasas de crecimiento presentarán implicaciones significativas, pero se predice de la misma manera, que durante los años 2025 y 2100 el mayor incremento de las ciudades en el primer cuarto de siglo puede deberse a las condiciones sostenibles luego de que se presente el año 2025. Ahora, dependiendo de la ruta del desarrollo, la población mundial puede variar de 7.5 a 8.3 mil millones y en el 2050 entre 7.9 a 11.4 mil millones y en el 2075 hasta el 2100 entre 7.9 y 13.1 mil millones con más sostenible progreso y donde se podrían presentar predicciones de población más bajas, especialmente si existe una trayectoria continua de desarrollo más sostenible, seguido del desarrollo de ciudades que promuevan la eficiencia de los recursos naturales como lo es el agua, seguido de la cooperación global. Es por esta razón que se plantea progresar de manera óptima con infraestructura adecuada, educación y política social para frenar el crecimiento de la población y obtención de los recursos (Hoornweg & Pope, 2014). En la tabla 2. Se puede observar el aumento o disminución del incremento poblacional en algunas de las principales ciudades y países. Igualmente, en la tabla 3. Se observa de manera más precisa este mismo ejercicio para las ciudades de Medellín y Bogotá en Colombia.

Tabla 2. Prospección de las poblaciones en algunas ciudades del mundo

Ciudad	Año 2010	año 2025	año 2050	año 2075	año 2100
	Población en millones				
Rio de Janeiro	12.171	14.685	17.859	19.774	21.578
New York	19.441	22.095	26.965	29.787	30.805
México	20.117	21.009	24.329	24.178	22.219
Tokio	36.094	36.4	32.622	28.916	25.631

Fuente: Hoornweg & Pope, 2014

Tabla 3. Prospección de las poblaciones en dos de las principales ciudades de Colombia

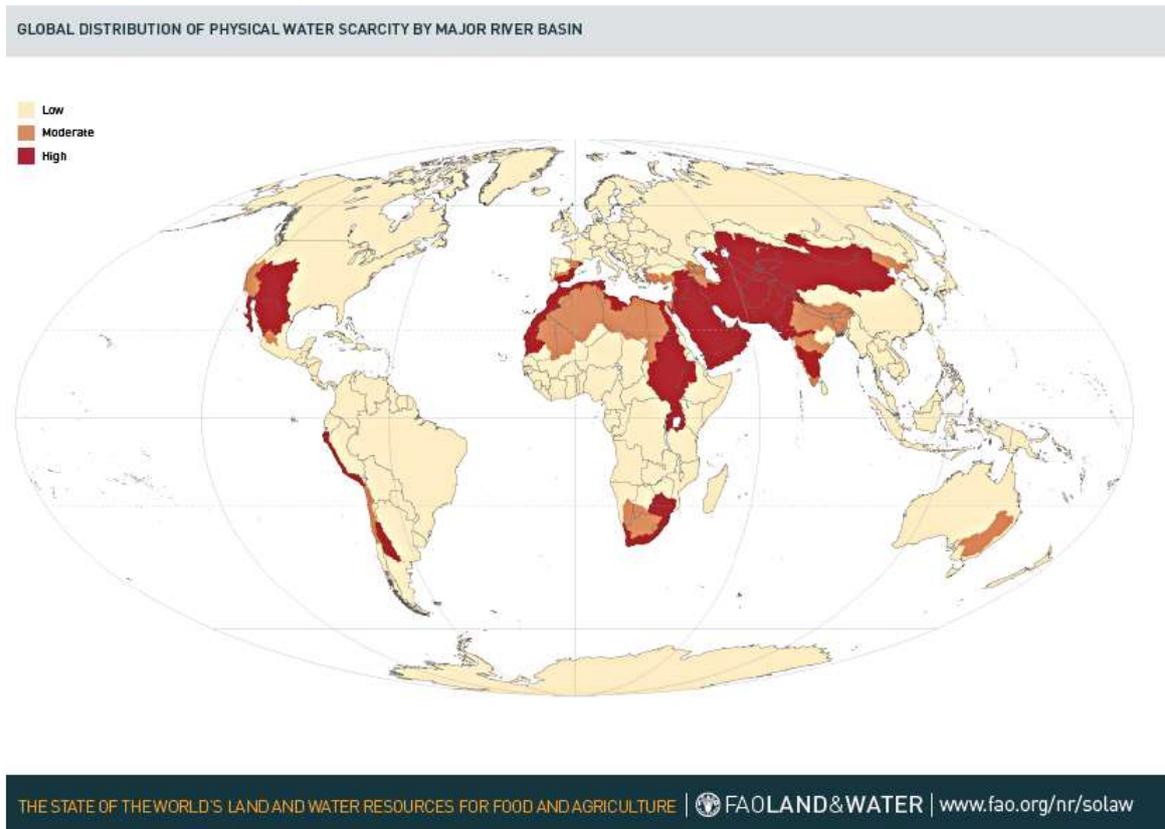
Ciudad	Año 2010	año 2025	año 2050	año 2075	año 2100
	Población en millones				
Medellín	3.52	4.398	5.941	7.769	9.97
Bogotá	8.32	9.6	11.555	11.204	12.009

Fuente: Hoornweg & Pope, 2014

Por otra parte según la UNESCO (2015) “en el año 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual y la disponibilidad de agua se enfrenta a las presiones de la contaminación”. La cuestión es que hay agua suficiente como para satisfacer las necesidades crecientes del mundo, pero si no se cambia radicalmente el modo en que se usa, se maneja y se comparte el agua. La crisis hídrica mundial es una crisis mucho más que de recursos disponibles (UNESCO, 2015).

Igualmente la FAO (2011) dentro de sus estudios afirma que “el 25% de las tierras del planeta están degradados, lo que trae escases de agua”. En la Figura 2, se puede observar la distribución de los escases de agua en el mundo.

Figura 2 . Distribución de la escasez de agua en el mundo



Fuente: FAO, 2011

Es por ello que las siguientes alternativas de conservación para las cuencas abastecedoras de acueductos en zonas altamente urbanas, se muestran como una de las claves para mejorar la sustentabilidad del recurso hídrico para las poblaciones y la sostenibilidad de los ecosistemas estratégicos involucrados.

Alternativas en protección de suelos

Una de las causas de contaminación del recurso hídrico por el inadecuado manejo de los suelos, son los problemas erosivos por fallas geológicas o excesivas intervenciones antrópicas, lo cual implica en verano la disminución de la oferta hídrica y en invierno la contaminación por sedimentos. Las lluvias abundantes en la parte alta y media de las cuencas pueden producir avenidas torrenciales, capaces de arrastrar enormes cantidades de materiales a gran velocidad, especialmente en ríos Interandinos (Colombia. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2010).

Así mismo, es importante saber que los fenómenos de erosión son uno de los principales factores degradantes de los suelos, estos se presentan en muchas ocasiones por la disminución de áreas cultivables y la limitación de la productividad. Ante la mirada de las zonas restantes por degradación, se hace impostergable el establecimiento y ejecución de una serie de acciones encaminadas a la conservación y mejoramiento de los suelos, que permitan el logro de una agricultura sostenible versus la protección de las cuencas. Para esto es importante poseer información cuantitativa y cualitativa sobre el nivel de redistribución del suelo y así desarrollar prácticas apropiadas en el manejo de la tierra y poder predecir el impacto potencial de los cambios ambientales futuros (Castillo et al., 2014).

Es por lo que, como estrategias de conservación de los suelos para la protección de las cuencas abastecedoras de agua potable Lysias Vellozo (2016) propone evaluar el comportamiento de la escorrentía superficial para diferentes usos de la tierra en las cuencas hidrográficas en el noroeste de Paraná, Brasil, mediante el estudio y evaluación de la efectividad de implementar un ecosistema forestal para mantener los procesos hidrológicos que participan en la erosión. El trabajo se llevó a cabo mediante un experimento de lluvias simuladas repetidas en tres (3) cuencas hidrográficas en esta zona, comparando el comportamiento de la escorrentía en cuatro (4) usos diferentes de la tierra: bosque y tres (3) cultivos (café, yuca y pasto). Los resultados mostraron los coeficientes de infiltración más altos en los suelos de la cubierta forestal.

Por otra parte, en la cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario, ubicada en el Partido de Tomquist, en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, se propone el modelo *U.S.L.E.* (*Universal Soil Loss Equation*), es un modelo paramétrico creado para estimar la pérdida anual de suelo. Se tienen en cuenta cinco (5) factores intervinientes en todas las características de la cuenca, incluyendo tanto aspectos físicos como las características edáficas, geológicas y geomorfológicas, sin olvidar las relacionadas con el clima y el tipo de manejo y uso del suelo. El objetivo del trabajo fue estimar la pérdida de suelo a nivel de la cuenca. Se concluyó que el modelo fue aplicado de manera correcta en esta cuenca, brindando resultados que facilitarán la toma de decisiones para un futuro ordenamiento (Delgado, 2010).

De manera similar en la subcuenca del municipio de Colorado do Oeste de Brasil se propone un análisis fisiográfico del relieve y de la red de drenaje, a fin de promover la planificación de la utilización y la ocupación del suelo, además de fortalecer las directrices básicas para la gestión del recurso hídrico y la cualificación de las posibles alteraciones

ambientales. Los métodos utilizados se basaron en la jerarquización de la red de drenaje a partir de los Modelos Numéricos de Terreno en software de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Como resultado se constató que los canales de la red fluvial de la subcuenca son densos y ramificados y la forma es alargada con baja densidad de drenaje y que presentan un rápido proceso de sequía. (Lima da Fonseca & Pereira da Silva, 2017).

De manera general, los autores hablan de implementar estudios de investigación en los suelos de algunas cuencas hidrográficas, a través de herramientas como los SIG y el monitoreo de precipitaciones en zonas específicas, que de manera simple se puedan usar para realizar un análisis que permita arrojar los resultados para la toma de decisiones en la conservación de las cuencas hidrográficas.

Alternativa en protección de coberturas vegetales

Los bosques no son productores de agua, pero éstos cumplen la función de ser reguladores de esta. Su contribución se da en la conservación y restauración de las cuencas hidrográficas mediante la regulación de los recursos hídricos y la recuperación de los recursos edáficos, la conservación de la biodiversidad, la generación de alternativas a las actividades productivas y de empleo en las áreas urbanas y rurales. (Colombia. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2010). Es por esta razón que los bosques representan una parte fundamental en la conservación de las cuencas abastecedoras de agua potable.

Como estrategias de conservación de bosques para la preservación de cuencas abastecedoras La Corporación Cuenca Verde, en convenio con otras organizaciones privadas y públicas, conforman una bolsa del agua en el Departamento de Antioquia-Colombia, con el objetivo de realizar acciones de gestión tendientes a contribuir con la disponibilidad y la calidad del agua, no solo desde el territorio de influencia de las cuencas abastecedoras del área metropolitana. Para ello una de las principales actividades es la compra y el restablecimiento de los bosques, la restauración y la protección en metros lineales de las riberas recuperadas, la protección del bosque en los nacimientos de aguas y la reforestación en las áreas degradadas, lo que ha permitido la protección y la disminución del aporte de sedimentos y la revegetalización con la siembra de especies ornamentales que permitan armonizar con el ambiente y el entorno natural. (Cardozo, 2018)

Por otra parte, el Instituto de Investigaciones Forestales de la Ciudad de La Habana, Cuba (2016) realizó una investigación sobre la recuperación de los sistemas silvopastoriles, para aumentar el índice de boscosidad y alargar el período de vida útil de las obras hidráulicas,

para ello propone plantar en proporciones de desarrollo silvopastoril, que para una hectárea de bosque de especies latifolias, ubicadas en las márgenes de los cursos de agua, lo que permite retener el escurrimiento superficial procedente de las vertientes ocupadas por los pastizales y los cultivos agrícolas, en las subcuencas o las cuencas hidrográficas; la vegetación forestal permite obtener una lámina de escurrimiento de agua por hectárea que resulta purificada. La interpretación del cálculo del estudio indica que anualmente, una vez establecida esa superficie boscosa (una (1) ha) en forma de faja forestal y después de transcurridos cinco (5) o seis (6) años de la reforestación, se puede mejorar la calidad del agua que fluye hacia el sistema hidrográfico de la cuenca, lo cual constituye una importante base de cálculo para disminuir la contaminación de las cuencas hidrográficas por zonas de pastizales (Forestales, 2016).

Es claro que las coberturas vegetales cumplen la función de interceptar el agua lluvia a través de las copas de los árboles y el escurrimiento por los tallos, disminuyendo la energía cinética de las gotas de agua que caen sobre el suelo para que éste conserve su estructura y porosidad y se mantenga la capa de liter u hojarasca. Esto permite la descomposición de la materia orgánica, la disposición de minerales y nutrientes en el suelo, disminuyendo así la contaminación por arrastre de los sedimentos y los compuestos químicos orgánicos a las fuentes de aguas. Lo que no ocurre en un suelo sin cobertura vegetal. Es por ello que una función importante de las coberturas vegetales es alimentar y mantener el nivel freático en el suelo garantizando así un nivel base constante en fuentes de aguas (Tobón, 2019).

Sin embargo, es importante reconocer que las zonas rurales están expuestas a procesos de fragmentación de los bosques debido al desarrollo de las actividades agropecuarias, agroindustriales, de expansión urbana y otras intervenciones antrópicas que ambientalmente no son sostenibles. Ante esta situación, el estudiar la fragmentación y la conectividad del bosque en una subcuenca agropecuaria es un tema de interés no solo para la protección de las coberturas vegetales, sino también, de las cuencas abastecedoras de agua potable (León, 2019).

Es así como en el noroeste del Valle Central de Costa Rica, se desarrolló una red de conectividad basada en los enlaces de la vegetación a partir de la red de drenaje; para ello el principal reto era la conservación de los ecosistemas, que consistía en integrar los territorios que están fuera de las áreas protegidas, tal como los paisajes agrícolas, ya que estos espacios representan a escala mundial una mayor proporción de la superficie y en algunas ocasiones incluso poseen mayor biodiversidad que dichas áreas protegidas, por lo que se estudió la

fragmentación y la conectividad desde la ecología del paisaje, el cual sería una aproximación particularmente útil en el manejo de recursos naturales, especialmente en lo que tenga que ver con la gestión de los hábitats modificados por las actividades humanas (León, 2019).

Para el tema de *fragmentación* se realizó un análisis del uso de la tierra, la caracterización de la cobertura vegetal por medio de un análisis estadístico de las zonas de vegetación y una investigación sobre la red de drenaje mediante un tratamiento morfométrico y el establecimiento de la relación entre la densidad del sistema hídrico y los parches de bosque. El tema de *conectividad* se realizó en tres (3) etapas: la primera es la identificación de vacíos a lo largo de la red hídrica con el fin de identificar los sitios de mayor atención por los posibles impactos del recurso hídrico por el uso de la tierra, en la segunda se realizó un análisis de la posibilidad del cambio del uso de la tierra, teniendo en cuenta las implicaciones al considerar la gestión del agua y en la tercera etapa se analizó la forma más integrada de realizar la conectividad en la subcuenca, a partir de los estudios previos como inventario, los usos del suelo, el tipo de vegetación, otros, lo que permitió la formulación de enlaces de vegetación (León, 2019).

Como resultado de la propuesta del estudio en los sectores localizados se identificaron mejoras en la continuidad de la vegetación ribereña, donde de manera complementaria a los enlaces propuestos, se implementaron barreras rompevientos, las cercas vivas y otros tipos de estructuras vegetales lineales de importancia en el paisaje estudiado, las cuales pueden contribuir a la conectividad estructural inicial en un paisaje agropecuario, lo permite que el grado de fragmentación que presenta la subcuenca del río Tapezco en Costa Rica se conserve mejor (León, 2019).

Alternativas sociales y políticas.

Dada la forma de relación entre los actores que interactúan en la cuenca, se observa que la gobernabilidad sobre el recurso hídrico es un aspecto de fundamental importancia para la protección de esta, en la medida en que hace posible que dichas relaciones se den de manera armónica, efectiva, eficiente y eficaz. (Colombia. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2010).

Lo anterior es importante, debido a que las cuencas hidrográficas pueden verse afectadas por estar ubicadas en zonas altamente urbanizadas. Un ejemplo es en Costa Rica, en las subcuencas hidrográficas: Virilla y Grande de San Ramón, ambas conforman la cuenca del río Grande de Tárcoles, donde la fuerte presión urbanística e industrial sobre los suelos más

fértiles del país, ha provocado modificaciones de los suelos por erosiones fuerte en sitios con pendientes inclinadas y en las riberas de los ríos, incrementando la escorrentía; Igualmente la expansión urbana incrementando los contaminantes por actividades industriales, lo que genera cambios en el régimen hidrológico de las dos principales subcuencas hidrográficas del país. (Quesada, 2012).

Como iniciativas sociales para la conservación de las cuencas abastecedoras en zonas urbanas, se propuso una innovación institucional para la gobernanza de los flujos fluviales transfronterizos en América del Sur. Los países como Brasil, Bolivia, Paraguay, Perú y Uruguay, compararon sus políticas en la gestión del recurso hídrico para discutir sobre la gestión de las cuencas de los ríos Apa, Acre y Quaraí y la cuenca del río de Mirim Lagoon, ya que estos tienen injerencia en cada territorio. En la gestión se tuvieron en cuenta reglas generales que podrían implementarse en los países de manera simultánea, como fueron: la participación descentralizada, amplia y autónoma de las comunidades; la formulación de políticas locales con la metodología “de abajo hacia arriba”, donde los lugareños no solo se interesan en lo que sucede en su entorno inmediato respecto a la utilización del agua, sino también, cómo se está utilizando o afectando esta, aguas arriba; la identificación de los límites del área de captación y la cobertura territorial de una cuenca dada; el uso de la tierra y la preservación forestal; la identificación del principio del valor económico del agua y el desarrollo de los SIG para el seguimiento de aspectos cualitativos de los recursos hídricos. Lo anterior, ha permitido que dos (2) o más países compartan los recursos hídricos, considerando la evidente interdependencia entre los usuarios y los desafíos políticos, brindando como resultado una mayor aceptación en el cumplimiento de las reglas, si son formuladas por los propios actores ribereños del recurso y estimulado por la constitución de tratados internacionales para establecer formas compartidas de administrar estos recursos (de Souza, Veloso, Santos, & de Caeiro, 2014).

En otra experiencia, en la subcuenca del río Pontezuelo en Mayarí, en la Habana Cuba, los pobladores, luego de haber soportado la escasez del agua por el cambio climático, diseñaron de manera conjunta programas de acción encaminados a la conservación de la subcuenca, con recursos locales y de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Los programas fueron diseñados teniendo en cuenta: los aspectos económicos enfocados al mejoramiento tecnológico, recuperando la fertilidad de los suelos mediante prácticas de abonos orgánicos; subprogramas de educación técnico profesional, trayendo como beneficio el conocimiento en los estudiantes acerca de la implementación de pago por servicios ambientales por la

protección de recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna); las campañas de sensibilización en la conservación del recurso hídrico con todos los actores de la región; y el programa para el control y el seguimiento del proyecto, el cual tuvo como finalidad conformar comisiones para la supervisión, designar el responsable en la inspección y el control de la cuenca.

Este tipo de iniciativas permitió vincular a la comunidad de la zona en la toma de decisiones del municipio en lo referente a la protección del medio ambiente y en el manejo de la subcuenca de Pontezuelo, conformando cuerpos de vigilancia e inspección ambiental a nivel local y otras instituciones del estado y conformando comités de defensa de los recursos naturales desarrollando el sentido de pertenencia.(Martínez & Suárez, 2016).

También, en Colombia en la ciudad de Cali, una de las mayores preocupaciones es la vulnerabilidad de la cuenca media del río Cañaveralejo, esto debido a que el daño ambiental generado a la quebrada Guarrús, uno de los afluentes de Río Cañaveralejo, es diariamente contaminada con los vertimientos de aguas residuales y de residuos sólidos que terminan en el cauce a falta de un sistema de alcantarillado para las viviendas que fueron construidas sin ningún tipo de planeación urbanística, pero reconocidas por el Concejo Municipal de la Ciudad (Castañeda, 2016).

Es por esta razón, que el Tribunal Contencioso Administrativo del Valle del Cauca emitió una sentencia correspondiente a la Acción Popular instaurada por los habitantes de la zona; la sentencia fue en contra de las Empresas públicas de Cali, la Alcaldía Municipal y la Corporación Autónoma Regional del Valle (CVC). Para ello, El Tribunal decide crear un comité de seguimiento que brinde el cumplimiento a los requisitos reglamentados en la instalación y la gestión eficiente en el suministro del agua y los servicios asociados a la recolección de las aguas residuales e instalación del alcantarillado, que permiten regular las acciones en contra de la contaminación por el daño ambiental generado a la quebrada Guarrús, uno de los afluentes de Río Cañaveralejo (Castañeda, 2016).

Como estrategias para la recuperación de las fuentes hídricas, se presenta el activismo judicial en el que se destacan la creciente incidencia en la toma de decisiones de los jueces en las políticas públicas y en los problemas que estos representan para la búsqueda del equilibrio de las partes en conflicto, con el fin de preservar los límites dinámicos de la función jurisdiccional, combinado con un marco de acciones populares, que exigen la reconstrucción o el uso de un discurso de derechos humanos sobre el agua y el medio ambiente, donde el acceso al agua potable es un bien vital y un derecho humano fundamental que debe ser rescatado y recuperado (Castañeda, 2016).

Por otra parte, se ha analizado la intervención social en el tema de La Gobernanza del Agua, donde se ha identificado que son importantes las inversiones de capital para hacerle frente al futuro, teniendo en cuenta que no existe una solución universal para los desafíos del agua, sino un conjunto de opciones en la diversidad de los países. Es por ello que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) que agrupa a 36 países miembros, con la misión de promover las políticas que mejoren el bienestar económico y social de las personas alrededor del mundo, creó los principios para la Gobernanza del Agua que tienen como objetivo ayudar a gestionar los temas principales como lo menciona la OCDE (2015):

“Demasiada agua”, “muy poca agua” y “agua demasiado contaminada” “de manera sostenible, integral, e incluyente, a un precio aceptable y en un espacio de tiempo razonable, considerando que la gobernanza del agua es una buena ayuda de resolver los desafíos en una combinación que impulsa la relaciones constructivas entre el Estado y la sociedad”.

En la Figura 3. Se puede observar la visión general de los principios, en el cual las dimensiones como: la efectividad, la eficiencia y la confianza y la participación, son la base para el desarrollo de la gobernanza.

Figura 3. Principios de la Gobernanza del Agua - OCDE

Visión general de los Principios de la Gobernanza del Agua de la OCDE



Fuente: OCDE, 2015

La efectividad se refiere a definir políticas del agua claras y con metas que permitan la contribución de la gobernanza, en todos los tipos de gobiernos. *La eficiencia* está relacionada con la contribución de la gobernanza, mediante una gestión sostenible del agua y el bienestar, al menor costo para la sociedad y *la confianza y participación*, están relacionadas con la confianza entre la población articulada con la legitimidad democrática y la equidad para todos (OCDE, 2015).

Otra de las alternativas políticas importantes para la conservación de las cuencas abastecedoras, es el tema de división territorial. Una experiencia para delimitar el espacio administrativo con criterios ambientales fue la que se realizó en el municipio de San Quintín, México, con el objetivo de mejorar el manejo del recurso hídrico, debido a que en Baja California se enfrentaban demandas de los habitantes de San Quintín por la igualdad en la delimitación y el uso del suelo y del agua. Para ello se creó una nueva propuesta llamada: “Cruzada del Agua y el Bosque”. que permitió crear una nueva delimitación de un municipio en San Quintín con límites que obedecieran a un criterio de igualdad con la que se buscaba integrar la apropiación de los recursos naturales incluyendo sus cuencas geográficas y la integración desde el desarrollo sustentable.(Espejel, Hernández, Riemann, & Hernández, 2005).

Alternativas en el manejo de residuos

Las cuencas hidrográficas abastecedoras de agua potable cada vez acrecientan más sus niveles de contaminación y una de las causas es la generación de los residuos sólidos, por el inadecuado manejo de los envases de agroquímicos, los fertilizantes utilizados en la producción agropecuaria y otros restos depositados en las riberas de los ríos como: la madera, el vidrio, las llantas y los sedimentos, que aumentan en la medida que hay más población, con secuelas tales como, la proliferación de epidemias y la disminución de los caudales hídricos (Párraga & Díaz, 2012).

Un ejemplo de ello es El Río Portoviejo en la provincia de Manabí, Ecuador, donde uno de los mayores problemas de su cuenca es la generación de contaminantes por desechos industriales, los cuales no tienen registro, ni puntos de control; una parte de los desechos se envían a través del carro recolector municipal y los demás son depositados en los afluentes directamente, trayendo consigo la alteración de las condiciones naturales del río, donde se presenta escasez y deterioro de la calidad de agua para el consumo humano (Párraga & Díaz, 2012). Para ello, Párraga & Díaz,(2012) en su estudio; “*Estrategias generales para el*

control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca del Río Portoviejo”, realizaron un inventario de agresiones ambientales a los cursos hídricos del Sistema de río Portoviejo y se calculó la carga contaminante, donde se estableció que la frecuencia de muestreo sería de una (1) vez al mes por un espacio de 20 meses seguidos, teniendo en cuenta condiciones climáticas o los eventos extremos que indujeran a elegir la fechas más adecuadas. Como resultados se obtuvieron que la generación del total de los residuos sólidos era de 60.600 ton /año, los residuos orgánicos: 43.217 ton/año y los lixiviados generados: 1.080 m³/año y otros parámetros importantes en la calidad del agua, tales como: DBO, DQO y SST.

La anterior caracterización permitió dar cuenta que las principales fuentes de contaminantes por generación de residuos sólidos provenían de la disposición de residuos comunes en las riberas por parte de los pobladores y otra parte por la generación de residuos peligrosos de lavanderías y empresas lubricadoras. A partir de ello se permitió tomar iniciativas locales por parte de las instituciones públicas y organismos no gubernamentales, mediante el programa Bio-Corredor Río Portoviejo, que trata de la recuperación de la cobertura vegetal, la ubicación de puntos de recolección, acompañado de campañas de sensibilización en la separación de residuos; así como la implementación del proyecto PROCOSTA que consistía en realizar lagunas de oxidación que permitieran tratar las descargas municipales. Lo que aportó en la disminución de la disposición de los residuos en el Río Portoviejo (Párraga & Díaz, 2012).

Por otra parte, es importante mencionar que todos los residuos sólidos son agentes contaminantes de las fuentes superficiales, pero existen algunos con niveles altos de contaminantes lo cuales representan un riesgo para la salud humana y el ambiente. Es el caso de los plaguicidas; se ha comprobado que la mayoría de estos empleados en la agricultura afectan el sistema nervioso de los seres humanos y adicionalmente algunos de ellos pueden ser clasificados como contaminantes orgánicos persistentes (COP), además, en la mayoría de los casos, las concentraciones encontradas sobrepasan los límites establecidos por las normas nacionales e internacionales, especialmente en algunos países de Latinoamérica. (Benítez Díaz & Miranda Contreras, 2013).

En este sentido una de las investigaciones realizadas es la “*contaminación por plaguicidas en aguas superficiales en países de Latinoamérica*” por Benítez Díaz & Miranda Contreras (2013). Donde explican cómo la práctica agroindustrial intensiva basada en el empleo de agroquímicos, instalada a partir de los años 50, aún está vigente en toda Latinoamérica y

como el problema de la contaminación del agua, ha sido la insuficiencia en el control ambiental de los gobiernos donde una de las causas es controlar y mitigar la incorporación de desechos provenientes de la actividad agrícola a los recursos hídricos. Uno de los ejemplos más importantes de esta situación se encuentra en la producción de la floricultura que han experimentado países como Ecuador, Colombia y México. Aunque la actividad florícola no es la única responsable de la contaminación de los cursos de aguas superficiales, se ha considerado que es la de mayor envergadura y extensión que la producida por la actividad agrícola dedicada a la explotación de los rubros agroalimentarios tradicionales, como papa y pastos para la ganadería.

Como estrategias de conservación, teniendo en cuenta que la necesidad de los productores es mejorar el éxito de sus cultivos, fue brindarles asesoría en el manejo adecuado de plagas agrícolas, debido a que se reflejaba una redundancia y sobredosificación en la aplicación de plaguicidas, especialmente en la frecuencia en que eran usadas y el tipo de agroquímicos, los cuales podrían ser sustituidos por otros que reflejaran menor contaminación en la calidad de los cuerpos de aguas superficiales. (Benítez Díaz & Miranda Contreras, 2013). Esta y otras capacitaciones en el manejo de sistemas productivo, dio cuenta de mejoras en los sistemas de calidad de agua.

Existen también otro tipo de residuos como son los sedimentos por prácticas de minería, las cuales representan un serio problema para las cuencas abastecedoras de agua potable. Los principales impactos se generan por extracción de material y los compuestos químicos contaminantes en los flujos de agua; lo cual genera un grado de alteración en la fragilidad e incapacidad de recuperación del medio receptor por la presión ambiental. (MINAMBIENTE, 2014)

Un ejemplo de este tipo de prácticas son las realizadas en la minería hidráulica durante la fiebre del oro desde hace 150 años en los ríos Sacramento y San Joaquín, un importante sistema fluvial que forma el gran Delta en el estado de California en Estados Unidos y que solo a partir del año 2012 tuvo la capacidad de abastecer a dos (2) tercios de los Californianos con agua potable, esto debido a las afectaciones que se presentaban anteriormente por las múltiples presas grandes de la minería hidráulica donde el exceso de sedimentos se bombeaban y llegaba a más de 25 millones de californianos en toda la bahía de San Francisco, disminuyendo la influencia de las mareas, aumentando las inundaciones y la contaminación del agua. (Laćan & Resh, 2016). *En la Figura 4.* Se puede observar la

ilustración del Delta de California, su formación con las fuentes de los ríos Sacramento (norte del Delta) y San Joaquín (sur del Delta).

Figura 4. Delta en California



Fuente: Laćan & Resh, 2016

Es por lo que desde varias dćadas la empresa de servicios pćublicos del estado estuvo planeando satisfacer la demanda de agua, sabiendo que las fuentes de agua subterránea serían incapaces de sostener las necesidades futuras de la ciudad, como opci3n tenían el uso del agua asociada al Delta, para lo cual debían realizar un proceso de recuperaci3n tanto en su calidad como cantidad. Para ello como estrategia de recuperaci3n, se implementaron acciones para restauraci3n del hábitat en el Delta y aguas arriba en los ríos Sacramento y San Joaquín. Igualmente se adelantaron procesos judiciales contra las empresas mineras y agrícolas y se desarroll3 un centro de investigaci3n donde se iniciaron algunos de los estudios a gran escala sobre programas de restauraci3n, como es el programa integral de ecosistema para mejorar el agua, igualmente se realiz3 un enfoque progresivo de diseño y construcci3n mediante instalaciones de sistemas de tratamientos. Hoy en día el acceder a una nueva fuente de agua superficial mediante estrategias legales severas y otros proyectos innovadores en construcci3n pudo evitar sobrecargar las aguas subterráneas y comprar agua tratada del Delta California (Laćan & Resh, 2016).

Alternativa en el manejo de vertimientos

La identificación de las actividades productivas o servicios que se asientan en las cuencas abastecedoras de agua potable, permiten a su vez identificar la generación de vertimientos puntuales y difusos de aguas residuales, domésticas e industriales; y de esta manera poder obtener estimaciones de las cargas contaminantes aportantes a las cuencas, lo que permite realizar una identificación de los sistemas de manejo y disposición final de estas aguas residuales de manera adecuada. (MINAMBIENTE, 2014).

Uno de los casos de afectación en las cuencas abastecedoras por efectos de vertimientos, combinado con inundaciones, es en Puerto Rico, un territorio estadounidense ubicado en el noreste del Caribe; es la isla más pequeña del archipiélago de las Antillas Mayores, pero también la más urbanizada y densamente poblada, presenta bosque secundario y un cambio de la agricultura intensa hasta mediados del siglo XX a una economía industrial. El promedio de precipitaciones en Puerto Rico es de 1651 mm anuales y las montañas reciben una precipitación mucho mayor que la costa, debido a factores orográficos, la lluvia se distribuye de manera desigual a través de la isla. Es por esta razón que se presentan una gran concentración de vertimientos en los sistemas hídricos por actividades industriales y agropecuarias, combinadas con los fenómenos meteorológicos extremos, los que generan inundaciones, donde las aguas residuales no tratadas a menudo se mezclan con la escorrentía, contaminando los cultivos y afectando la disponibilidad de agua potable y segura para ingerir, lo que puede igualmente generar enfermedades gastrointestinales (De Jesus Crespo, Wu, Myer, Yee, & Fulford, 2019a).

Pero una de las alternativas para prevenir este tipo de afectaciones al agua es con un estudio de prevención de los servicios del ecosistema de la protección contra inundaciones. Según De Jesus Crespo et al, (2019): “ Los servicios del ecosistema de protección contra inundaciones incluyen la intercepción de lluvia y la infiltración por la cubierta natural del suelo, lo que resulta en reducciones en la escorrentía superficial y el impacto de la inundación”. Este tipo de servicio está determinado por factores socioeconómicos que determinan el nivel de exposición a los peligros y las adaptaciones disponibles a través modificación de la infraestructura natural para prevenir inundaciones y por ende mitigar la contaminación por vertimientos. Para este caso se utilizan los servicios del ecosistema de protección contra inundaciones utilizando las leyes y normas reglamentarias de los Estados Unidos (EPA), la “Herramienta H2O”, que mediante números de curva (CN) estiman un índice de retención de lluvia, la transferencia del agua residual y las características de

infiltración del suelo y capa, lo que puede influir en el nivel de exposición de los patógenos durante las inundaciones. (De Jesus Crespo, Wu, Myer, Yee, & Fulford, 2019b).

Como resultado se muestra que el impacto de las inundaciones varía proporcionalmente con la lluvia extrema. El efecto protector de los suelos kársticos se pierde cuando hay un alto porcentaje de personas que viven en áreas propensas a inundaciones. Como resultado del estudio, se concluye que la infiltración natural proporcionada por los suelos kársticos puede ayudar a prevenir inundaciones y eventos de enfermedades gastrointestinales, la adecuada planificación en el desarrollo residencial en áreas propensas a inundaciones y la conveniente infraestructura de alcantarillado, permiten minimizar los impactos de las inundaciones y por ende de los vertimientos y los efectos sobre la salud humana. (De Jesus Crespo et al., 2019b).

Por otra parte en la microcuenca de la quebrada Santa Elena en el municipio de Medellín en Colombia se presentan como en muchas otras cuencas a nivel de Latinoamérica diferentes problemáticas asociadas a el saneamiento, relacionadas con vertimientos de aguas residuales en las fuentes hídricas debido a la falta de mantenimiento adecuado de los sistemas de tratamiento en la zona rural y la interrupción del sistema de alcantarillado en los barrios de las zonas urbanas, donde se identifican focos importantes de residuos sólidos en la

microcuenca y las áreas de retiro a las quebradas sin vegetación de protección, donde a su vez, se evidencia la deforestación por las actividades agrícolas y ganaderas en grandes predios, sumado a que es una zona donde el principal uso del suelo en la parte alta de la microcuenca corresponde a una expansión urbana y agropecuaria (Área Metropolitana & CTA, 2018).

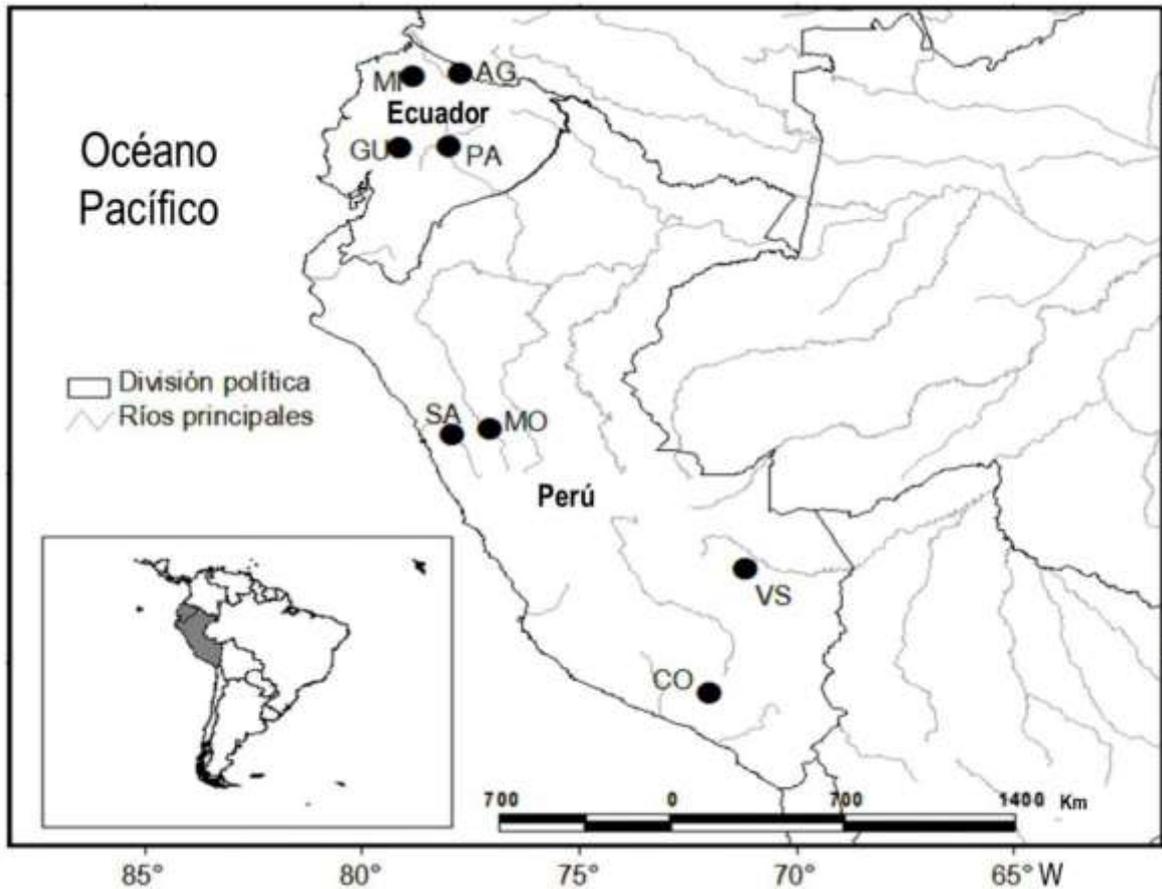
Como estrategia para la recuperación de la microcuenca fue desarrollar un programa para integrar el mejoramiento de las condiciones del recurso hídrico y una apropiación de todos los actores en la microcuenca que sea sostenible a mediano y largo plazo. Para ello dentro de los objetivos planteados fue implementar un programa de saneamiento en zonas rurales y urbanas para el manejo y tratamiento de vertimientos de aguas residuales domésticas, en la población del municipio de Medellín mediante procesos con las comunidades, los municipios y todos los actores, articulado con las líneas de acción de los instrumentos de planificación, formalizando a los usuarios no conectados a los sistemas de alcantarillado, por medio de la construcción de nuevas conexiones y mediante un seguimiento y control. Es lo que contribuyó al mejoramiento de la calidad del agua en la zona rural y urbana de la microcuenca Santa Elena del municipio de Medellín, (Área Metropolitana & CTA, 2018).

Alternativas para la calidad y cantidad de agua

El recurso agua, es un eje articulador de todas las actividades en un territorio y por ende de las poblaciones, puesto que se realizan varias actividades que dependen de la cantidad y calidad de dicho recurso. Pero además estas mismas actividades pueden generar alteraciones en el estado natural del agua. Es por esta razón que para responder que una cuenca abastecedora de agua potable cumpla con los parámetros de calidad y cantidad, es importante tener en cuenta varios aspectos como: seguimiento a la cantidad de agua mediante la evolución de comportamientos de caudales, manejo y disposición de residuos líquidos y sólidos, identificación y evaluación de las redes de monitoreo existentes en la cuenca que permita categorizar la calidad del agua conforme a los parámetros mínimos del índice de calidad del agua (ICA), realizar una identificación de las actividades productivas desarrolladas que generan vertimientos y verificar las estimación de cargas contaminantes vertidas a las corrientes principales. (MINAMBIENTE, 2014).

Un estudio importante para identificar la calidad y la cantidad de agua fue el realizado por Villamarin, Prat, & Rieradevall (2014) sobre: *“Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú”*, donde se muestrearon 123 localidades en cuatro cuencas del Ecuador y cuatro cuencas en Perú entre los años 2007 y 2008, coincidiendo con la época seca en ambos países. En cada cuenca se tomaron muestras de 14 a 16 localidades, teniendo en cuenta zonas con o sin intervenciones antrópicas. Para ello se midieron tanto los parámetros físicos y químicos (la temperatura, el oxígeno disuelto, la conductividad, fosfatos, nitritos, nitratos, el amonio, etc.) como hidromorfológicos (la altitud, el índice de calidad riparia (QBR), con el fin de conocer la variabilidad de dichos parámetros en los ríos tropicales altoandinos de manera conjunta, esto debido a que los estudios actualmente realizados se encuentran limitados a una sola cuenca o a pocas cuencas de un mismo país, por lo que es difícil comparar datos entre ríos en diferentes países ya que en muchas ocasiones no se analizan los mismos parámetros y métodos, lo que dificulta la interpretación y análisis de los patrones de cambio de las variables ambientales a nivel regional. *En la Figura 5.* Se puede observar la integración de Localización geográfica de las cuencas hidrográficas de ríos altoandinos tropicales estudiadas en Ecuador (MI: Mira, AG: Aguarico, GU: Guayas, PA: Pastaza) y en Perú (SA: Santa, MO: Mosna, CO: Colca, VS: Urubamba).

Figura 5. Localización geográfica de las cuencas hidrográficas de ríos altoandinos tropicales



Fuente: (Villamarín et al., 2014)

Dentro de las alternativas de conservación en cuencas, el estudio permitió identificar dichos parámetros de manera integral en ríos de varios países, teniendo en cuenta que se pueden presentar diferencias por la escala local, latitudinal y altitudinal. Sin embargo, el conocer la variabilidad de los factores ambientales en un estudio amplio, permitió concluir que la calidad del bosque de la ribera, la heterogeneidad del hábitat fluvial y las intervenciones en varios regiones que confluyen en una cuenca, deberían ser consideradas dentro de los estudios de la calidad y la cantidad del agua, para ser utilizadas en su total potencialidad para el consumo humano (Villamarin, Prat, & Rieradevall, 2014).

Otra de las experiencias en estudios de calidad del agua, fue el realizado en Colombia, en la cabecera municipal de Facatativá en Cundinamarca, donde la población se abastece de agua del Río Botello y otras fuentes alternativas, tales como el Río Subachoque y sus quebradas afluentes; allí se realizó una investigación que se orientó a modelar hidrodinámicamente y evaluar la calidad del agua del Río. Para ello se tomaron parámetros hidráulicos, lo que permitió conocer la posible ocurrencia de eventos hidrometeorológicos

que podrían impactar catastróficamente al municipio, centrando la necesidad en la predicción del riesgo, asociada a la amenaza hidrológica (nivel del agua) más que en la atención del desastre. Igualmente se tomaron parámetros de calidad del agua. El estudio permitió definir en qué lugares se presentaba mayor susceptibilidad a inundaciones en temporada de lluvias y en qué punto se presentaba mayor contaminación de la calidad del agua. La modelación del río Botello se constituyó como una herramienta indispensable para la gestión integral del recurso hídrico en el municipio y debido a esto, se pueden derivar nuevos proyectos que mitigaran los impactos ambientales y económicos que se presentan en la zona. (Oswaldo, Paiba, Fabian, & Avila, 2015).

Alternativas de abastecimiento

En las alternativas de protección de las cuencas hidrográficas para acueductos, el abastecimiento hace parte de una de las funciones principales declaradas a través de la Ley 99 de 1993, Artículo 31: funciones de Las Corporaciones Autónomas Regionales. Con el propósito de hacer una gestión integral en la protección, el manejo, el control, la regulación y la disposición del agua y donde se debe apoyar a las comunidades para el abastecimiento, su uso y la conservación. En el caso de Colombia, más del 80% de los asentamientos humanos de los municipios se abastecen de fuentes pequeñas y no están conectados a los sistemas de almacenamiento, convirtiéndose en una importante población vulnerable al abastecimiento de agua (Colombia. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2010). Esta es una de las razones donde cobra importancia lo arriba anotado, por lo que al favorecer los acueductos urbanos se podrá lograr dar un mayor cubrimiento a los pobladores que no cuentan con las ventajas estratégicas de tener este recurso.

Es así como las alternativas de protección de las cuencas hidrográficas en el abastecimiento, es fundamental el estudio e intervención favorable de la regulación de las corrientes de agua, que busca el aprovechamiento equilibrado de este recurso salvaguardando el patrimonio hidrobiológico y sociocultural, la ecología (la tasa de variación de caudal condiciona la vida y limita la coexistencia de plantas y animales de diferentes especies), la recreación y la estética que se logra en ese análisis de un Régimen de Caudales Ambientales (RCA), que integra la ecohidráulica y la herramienta "*Instream Flow Incremental Methodology*" (IFIM) con el propósito de calcular los RCA en el requerimientos hídricos de los diferentes actores bióticos del sistema fluvial y que permite utilizar diferentes metodologías desarrolladas en el ámbito nacional e internacional y la generación de claves

para incorporar los Caudales Ambientales en los Planes de Ordenamiento de Cuencas y en las Evaluaciones Ambientales Estratégicas Locales (Díez & Burbano, 2007). Además, las características medioambientales y socioeconómicas evaluadas en la planeación hidrológica de una cuenca hidrográfica definen las especificaciones de los caudales de los RCA y en general la adaptación de los procedimientos que los involucran, lo que permitirá que en los ríos se favorezca la conservación de la biodiversidad asociada a éstos (Díez, 2008). La capacidad de un RCA para mantener una condición ecológica fluvial depende de: la calidad del agua, calidad de hábitat y variabilidad de caudal con dos parámetros críticos, uno (1) el caudal mínimo que cumpla con las exigencias ecohidráulicas de calidad de agua y de hábitat y dos (2) una variabilidad de caudal que satisfaga los requerimientos ecohidrológicos (Díez, 2008).

Figura 6. Procedimiento genérico para el establecimiento de regímenes ambientales de caudales RCA

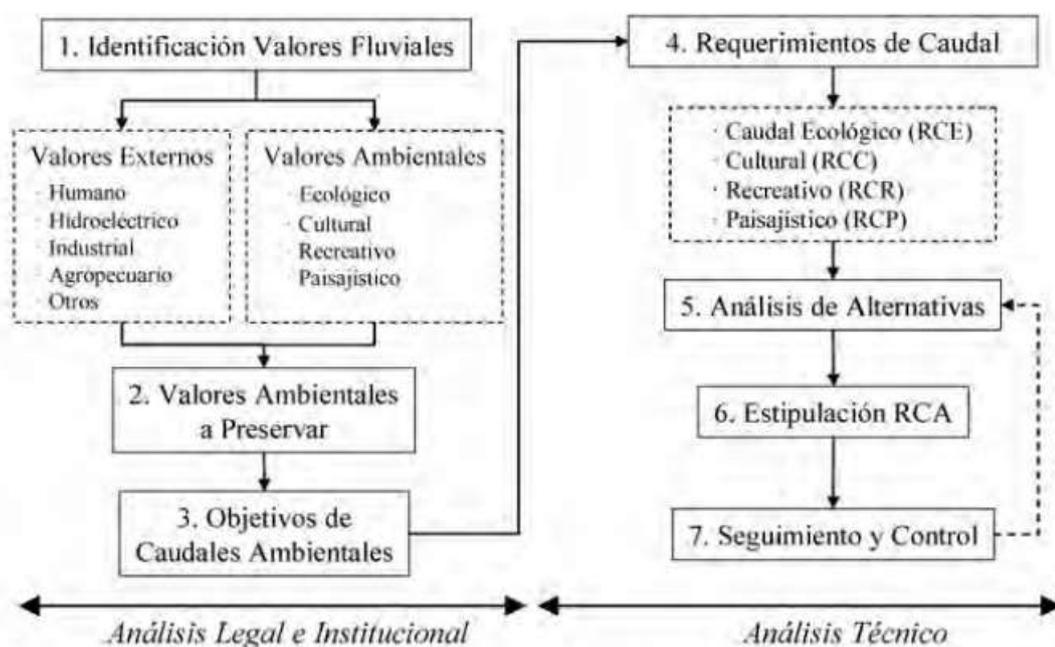


Figura 1. Procedimiento genérico para el establecimiento de Regímenes Ambientales de Caudales (RAC).

Fuente: (Díez, 2008)

En la figura 6 se observa a metodología para establecer unos RCA confiables que incorporan los requerimientos ecosistémicos, esto es, los caudales ecológicos, como una demanda hídrica pasiva y prioritaria y que es la base para los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (Díez, 2008)

Paralelamente hay que tener en cuenta que, los Servicios Ambientales (SA) asociados a los ecosistemas naturales se ven fuertemente comprometidos por las acciones antrópicas y por el calentamiento global, degradándolos y que finalmente condicionan la calidad y cantidad de agua dulce disponibles; el Cambio Climático (CC) altera la composición de los ecosistemas, afectando la diversidad biológica, que es otro SA de los ecosistemas naturales, además el CC con su característica de fenómenos asociados a las temperaturas extremas y que directamente altera el ciclo del agua, donde muchas especies no logran adaptarse así estén en áreas o ecosistemas protegidos, esto por consiguiente, limita el abastecimiento y altera la biodiversidad por los daños del hábitat para diferentes usos (Ruiz Soto, 2007).

Por otra parte algunos planeadores del recurso agua, utilizan los métodos estadísticos cuya rigurosidad permite el análisis de eventos extremos como lo realizado en las cuencas hidrográficas de Cuyo y Patagonia (Argentina), utilizando el estadístico de Anderson-Darling (AD), también, se tiene en cuenta el índice de precipitación estandarizado (IPE) en el mundo, permitiendo el monitoreo y el estudio de las sequías meteorológicas, estos es, el desarrollo y uso de índices estandarizados para el análisis de las variables del ciclo del agua, lo que ahora es muy utilizado, como es el caso del índice de caudal estandarizado (ICE) que se utiliza para monitorear sequías hidrológicas utilizando información de los caudales mensuales, con esto se logra la evaluación del nivel de los ríos, como también, proponer planes de seguimiento y control en épocas de creciente (Rivera & Penalba, 2018).

Por otro lado, revisando el caso de los acueductos y las plantas de tratamiento de agua, donde ésta proviene de una cuenca degradada, los costos son muy altos comparados con el agua que proviene de una cuenca conservada, lo que incide directamente en el abastecimiento, es así como argumenta Ruiz,(2007);

“En el largo plazo, es más rentable y costo/efectivo detener cuanto antes el proceso de deterioro de la cuenca si ya está parcialmente degradada y realizar las inversiones requeridas para recuperar los servicios ambientales destruidos por la transformación de los ecosistemas naturales, que realizar el tratamiento de potabilización del agua una vez se dé la degradación por sedimentación y contaminación”.

Cuando se construyen los acueductos y las plantas de tratamiento de agua, es clave diseñar los programas y establecer el presupuesto para la conservación de las cuencas hidrográficas, también, utilizar metodologías como son el pago de servicios ambientales (PSA) en áreas críticas, llegando a acuerdos voluntarios donde se recibe una compensación por la actividad de conservar o reestablecer el servicio ambiental (SA) y por el cual otro está

dispuesto a pagar, es de anotar que las tuberías de conducción no garantizan el abastecimiento del agua, este depende realmente de los flujos y la adecuada regulación y por lo tanto, los embalses y manejo de las cuencas son complementarios (Ruiz Soto, 2007), no obstante, es importante porque permiten optimizar el manejo de dicho recurso.

Además, es conveniente implementar prácticas que permitan reducir el gasto de agua y aumentar el abastecimiento en los acueductos municipales, como es por ejemplo, el reciclaje de aguas lluvias para riego de cultivos y jardines, el uso de aguas grises que resultan de las actividades de aseo como una alternativa de lavado de lugares que no requieren agua potable; por ejemplo el trapeador, el antejardín, el lavado de motos, carros, otros (Pulgarín & Mejía, 2017).

En ciudades como Bogotá y Medellín en Colombia se destinan fondos para conservar y proteger las fuentes abastecedoras de los acueductos que surten de agua las ciudades, recursos invertidos en unas líneas específicas y proyectos Sanabria & Hurtado, (2017), tal que, en el caso de Bogotá, los recursos son direccionados a la conservación de 245.000 hectáreas mediante el esquema de incentivos a la conservación, buscando generar cambios de comportamiento en la población ubicada en el área de influencia de las zonas de abastecimiento en relación con los recursos naturales, restauración a escala de paisaje, conectividad entre corredores, entre otras. En Medellín los recursos del fondo se orientan a la conservación de 23.600 hectáreas de las cuencas abastecedoras del acueducto de Medellín y del Valle de Aburrá, con el fin de mejorar la calidad del agua. Los recursos se orientan al saneamiento básico y al manejo integral de cuencas, buscando involucrar a los diferentes actores desde el papel que cada uno tiene frente al recurso, así como en el rol de consumidor. A través del programa cultura del agua se realizan actividades de educación ambiental, comunicación y divulgación y se forman vigías del agua, también conocidos como “Guardacuencas”. En el programa de gestión del recurso hídrico y la biodiversidad se trabaja predio a predio en la recuperación de los bosques de las riveras, nacimientos, humedales, mediante acuerdos de conservación con los propietarios. De igual forma, se implementan prácticas de producción sostenible en las fincas o buenas prácticas ambientales y finalmente, se propende por el mejoramiento de las prácticas productivas de las empresas asociadas al fondo.(Sanabria & Hurtado, 2017)

Alternativas en tecnologías

En el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA), se plantea una actividad en el desarrollo de los proyectos que consiste en la fase de formulación. En esta tarea se proponen las hipótesis, los objetivos, se establece la estructura, la organización, el tema financiero, la evaluación y la ejecución, en general se hace un diagnóstico. Con la información anterior, se realizan los estudios de pre y factibilidad, se diseña y en general lo que se busca es tomar las decisiones más acertadas para dar solución a los diferentes proyectos. (Villegas Rodríguez, 2015)

La tecnología y su viabilidad tienen un rol fundamental y hace parte de los elementos que se han desagregado de algún sistema que representa la solución a un requerimiento. Luego, las soluciones se categorizan en: programas, proyectos, actividades, prácticas y tareas y de forma paralela se propone que una solución de carácter continuo se desagregue en: Sistema de producción, subsistemas; Conjunto de tecnologías; conjunto de prácticas; conjunto de tareas; conjunto de pasos (Vargas et al., 2004)

Toda esta sistematización del conocimiento hace parte en sí misma, de una tecnología “blanda” que equivale a entender las soluciones para clasificar y crear los elementos que conforman un modelo computacional. Por otro lado, esto nos permite identificar los requerimientos tecnológicos “duros” que si son seleccionados y gestionados de forma precisa y acertada, estos dan respuesta a la materialización de las alternativas tecnológicas para la conservación en las cuencas abastecedoras de agua potable. (Vargas et al., 2004)

Una tecnología “blanda” importante muy utilizada como herramienta para la toma de decisiones y que facilita una evaluación multicriterio para la conservación de cuencas hidrográficas como una unidad de análisis y la elaboración de protocolos para medir los riesgos de forma integral y establecer prioridades, está relacionada con los Sistema de Información Geográfica (GIS). Estos permiten elaborar un modelo espacial que integra factores ambientales, donde pueden estar amenazados tanto, la flora y fauna, como también, los seres humanos; es el caso de aplicación en la cuenca del río Matanza-Riachuelo en Argentina (CMR), donde se logró obtener en una zonificación del territorio los grados de aptitud para residir. (De Pietri et al., 2011). Allí, se georreferenciaron variables que permitieron caracterizar los niveles de habitabilidad de las viviendas y las posibles fuentes de contaminación de la cuenca, también, se logró evaluar los riesgos relativos de la población expuesta en relación con las zonas que no ofrecían peligro alguno, donde las acciones tomadas tenían unas fuertes repercusiones económicas y para dar respuesta a los temas de

seguridad sanitaria, entre otras.

Por otro lado, existen métodos que permiten las modelaciones espacial y temporal del hábitat acuático que han sido informatizadas convenientemente para calcular los caudales mínimos de los ríos que permitan preservar las especies de Ictiofauna (Díez & Burbano, 2007) y de forma integral como una alternativa tecnológica para la protección de las cuencas hidrográficas, se tiene conocimiento de las primeras aproximaciones científicas producidas en EEUU desde la década de los 60; donde se fundamenta procedimientos analíticos y relacionan diferentes componentes ambientales que permiten entender el caudal y la vida en los ríos. Las metodologías utilizadas convencionales tienen los siguientes enfoques: *hidrológicos* que deducen el caudal ecológico por el uso de la estadística. El enfoque *Hidráulico* donde se analiza la variación de variables hidráulicas simples como área, perímetro mojado y otras, con el caudal en secciones transversales representativas que tienen una importancia crítica. El de *Multivariabes* basado en la preferencia biológica de un organismo a vivir en su hábitat natural o propio en unas condiciones de variabilidad hidrológica e integridad del ecosistema fluvial. El enfoque *Ecohidráulico* donde se evalúa la cantidad e idoneidad del hábitat acuático utilizado por una especie y donde se generan diferentes caudales soportados en escenarios múltiples con los diferentes actores biológicos. Ahora bien, una metodología muy utilizada mundialmente es "*Instream Flow Incremental Methodology*" (IFIM) que combina los enfoques *Ecohidrológicos* y *Ecohidráulicos* avanzados evaluando en escala temporal y espacial los efectos de las variaciones del caudal y la disponibilidad del hábitat físico, como también, la calidad fisicoquímica del agua. (Díez & Burbano, 2007)

Así mismo en la alternativa de conservación de las cuencas hidrográficas desde el escenario tecnológico es importante la relación, entre ésta y el tamaño del proyecto y considerando que las obras grandes van en una dirección desfavorable en cuanto a los impactos ambientales. Las tecnologías utilizadas entonces no se aplican solamente a proyectos públicos de gran tamaño, sino también, a proyectos privados de agua a pequeña escala y que tienen un gran impacto en iniciativas de conservación y desarrollo rural en todas partes del mundo, como son los sistemas de recolección de aguas lluvias y que responden a las épocas de sequía que se han presentado en California, Estados Unidos y en Tanzania. África, por ejemplo (Xie & Zilberman, 2016). Donde es importante que las reformas de las instituciones del agua se consideren como un elemento clave; como es el caso de la adopción

de una mayor eficiencia en las tecnologías de riego que en general son unas buenas inversiones en la infraestructura hidráulica en el mundo (Xie & Zilberman, 2016).

Se han planteado modelos para encontrar las capacidades óptimas de los proyectos de agua, que involucran tecnologías hidráulicas como: las represas de desvío, las represas de control de inundaciones, los proyectos de transferencia de agua y los sistemas de recolección de agua de lluvia, entre otros. Además, las condiciones de demanda de agua, inundaciones, cambio climático y su relación con el diseño de proyectos más eficientes, de acuerdo a su tamaño y a la implementación de tecnologías de conservación de agua, como por ejemplo, el riego por goteo (Xie & Zilberman, 2016).

Por otro lado, en relación con las tecnologías y la demanda de agua, se calcula que para el año 2050 se requerirá un abastecimiento mayor en un 55%, debido al crecimiento poblacional específicamente en los países en desarrollo. Las ciudades requerirán de lugares más distantes para su provisión de agua o se verán obligados a utilizar las reservas de sus acuíferos y en la necesidad de perforar a mayores profundidades para lograr dicho recurso, también, se tendrá que utilizar ideas innovadoras, aumentar la eficiencia en los recursos, reducir los residuos, cambiar modelos de consumo y elegir tecnologías apropiadas y en muchas situaciones, procurar tecnologías avanzadas como es el caso de la teledetección, que tiene un elevado costo inicial, pero que pueden proporcionar datos de observación en áreas en las que los datos tradicionalmente escasean y que son claves en los procesos de exploración y en la consecución del agua (UNESCO, 2015).

También, se vienen desarrollando proyectos que responden a políticas inadecuadas de planificación urbana, donde las tecnologías utilizadas son clave para la protección, la descontaminación y la reducción de la escasez del agua y que ayudan a controlar la sobre explotación de las cuencas hidrográficas; el ejemplo está materializado en *Sponge City*, implementado en China en el año 2013, donde sus principios fundamentales son: los recursos de agua urbana, la gestión ecológica del agua, las infraestructuras verdes y el pavimento permeable urbano, por lo tanto, una ciudad esponja bien planeada garantiza un buen equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación del medio ambiente, es así como la gestión del agua por medio de las tecnologías y otras acciones integrales se convierten en algo esencial para el desarrollo sostenible, con un enfoque de la gestión de la tecnología y la innovación que afronta la escasez del agua en zonas urbanas, como también, mejora las condiciones ecológicas y amortiguar los riesgos climáticos (Nguyen et al., 2019).

Al eliminar las condiciones naturales en las zonas urbanizadas, se generan inundaciones por la falta de: los bosques, las zonas verdes, los humedales y lagos, también, mezclar las aguas lluvia con las residuales son situaciones que evitan la retención del agua y como consecuencia los desastres; se cuestiona los actuales modelos centralizados de drenaje urbano, proponiendo diferentes soluciones para rescatar el agua en las zonas urbanas, donde se incluyen las ciudades de crecimiento inteligente y las ciudades verdes. Las tecnologías utilizadas corresponden, entre otras, a la construcción de techos verdes en los edificios y las casas, la conservación de humedales naturales y la construcción de humedales artificiales y jardines de agua lluvia, la bioretención de aguas pluviales y los humedales artificiales, tener muchos espacios naturales verdes, los estanques de infiltración e instalaciones de retención biológica, la construcción de drenajes sostenibles y el pavimento permeable al agua, en otras palabras, utilizar las técnicas y tecnologías que permitan respetar la naturaleza como una premisa esencial. (Nguyen et al., 2019).

Figura 7. Diseño esquemático y servicios ecosistémicos de la ciudad sponge

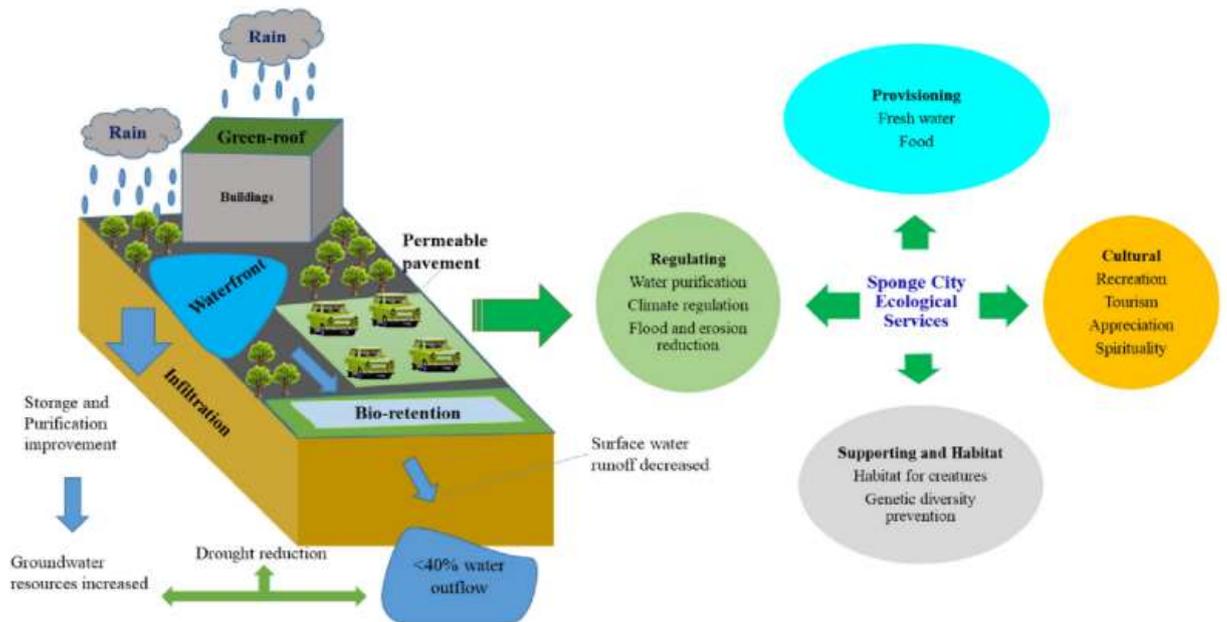


Fig. 4. Schematic design of the Sponge City and Sponge City Ecological Services.

Fuente: Nguyen et al., 2019

En la figura 7 se muestran los objetivos planteados en *Sponge City*: controlar las inundaciones urbanas, la descontaminación y mejorar la calidad del agua con sistemas de auto purificación y frentes ecológicos, el reciclaje del agua y su uso urbano, los sistemas de infraestructura de aguas pluviales conectados a los circuitos de hidrología natural para

proteger los corredores y áreas de amortiguamiento de los ríos, los pastizales, los árboles, los arbustos, entre otros. También, se usan tecnologías como son los sistemas de información geográfica (SIG) y de la información espacial como es; la socioeconomía, el uso del suelo, el clima, las prácticas de infraestructura verde e información sobre las condiciones hidrológicas como variables para la toma de decisiones en el modelo de ciudad esponja. La implementación de estas tecnologías requiere de experiencia y habilidades con respecto a los materiales verdes para techos y bio-retención como se muestra en la *figura 8*, la formación y capacitación como funciones de la gestión de la tecnología; condiciones y desafíos a resolver como, el clima, los suelos, la topografía y otros, que deberán ser estudiados para una acertada apropiación y ejecución de los proyectos, colocando en una fuerte ventaja a aquellos países que han logrado el conocimiento, la fabricación e instalación de la infraestructura verde (Nguyen et al., 2019).

Figura 8. Diseño de bioretención

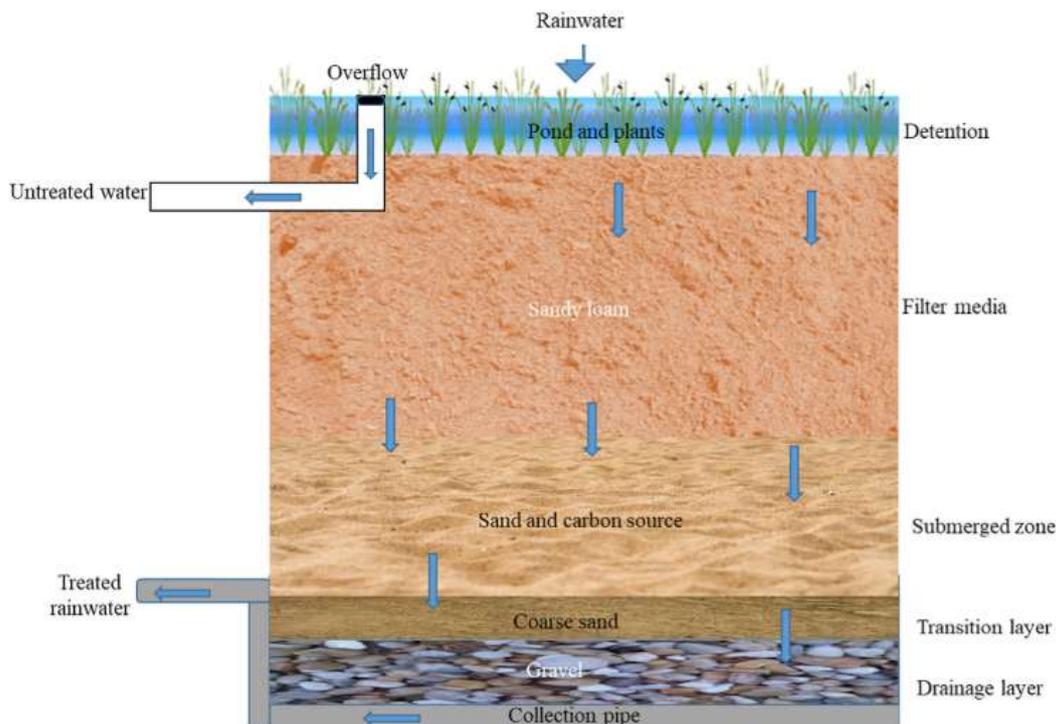


Fig. 7. Bio-retention design.

Fuente: Nguyen et al., 2019

Entre los aspectos tecnológicos para la protección de las cuencas se debe tener en cuenta que el suministro de agua superficial para éstas depende del agua local generada por la precipitación y las conexiones de agua con otras cuencas (Duan et al., 2019)(Duan et al.,

2019) Estos circuitos fluviales están influenciado por la topografía y la infraestructura construida y están relacionados con factores estresantes como el cambio climático, el crecimiento de la población, el aumento de la demanda de energía y agua (Duan et al., 2019). Las tecnologías utilizadas buscan la integración de la simulación y la evaluación de dichas conexiones fluviales y de la intervención humana, esto es, los flujos y las transferencias de agua entre las cuencas, la explotación del recurso y los retornos. Con lo anterior, se busca investigar los posibles impactos en la variación del clima y el uso del agua en la disponibilidad de agua regional y el estrés hídrico y por consiguiente como progresa la oferta de agua compensada con unas mejores prácticas tecnológicas que hacen énfasis en reducir la demanda. Se hacen estudios que vinculan los modelos demográficos con los cambios climáticos y de uso de la tierra, la demanda termoeléctrica de agua, la electricidad generada en los combustibles fósiles y una reducción de las emisiones de carbono de las plantas de combustibles fósiles, además, el uso de agua por kWh que ha disminuido en las últimas décadas debido a la mejoras tecnológicas (Duan et al., 2019), los cambios futuros en la política, la demanda, la estructura y la eficiencia energética tendrán consecuencias directas en el uso del agua. También, los sistemas de riego son todos los días más eficientes de acuerdo a condiciones socioeconómicas y políticas agrícolas mejoradas, mercado de cultivos y las tecnologías de riego, como por ejemplo, inundación de superficie, los rociadores y el microrriego, el riego por aspersión y goteo; se espera que los sistemas de rociadores y goteo reemplacen gradualmente las inundaciones en la superficie, es de anotar, que las prácticas anteriores que requieren que se extraiga menos agua, pueden incentivar un mayor consumo y reducir los flujos de retorno de agua. Por otro lado, la tecnología de captura y almacenamiento de carbono que es utilizada para frenar las emisiones de gases de efecto invernadero requieren de más agua, situación importante que debe ser considerada.(Duan et al., 2019)

Finalmente, es fundamental adoptar tecnologías y crear hábitos de consumo que permitan eliminar el desperdicio y disminuir la contaminación del agua y para esto se ha avanzado, como se ha señalado anteriormente, en la expedición de la Política de Producción más Limpia, 1997(Colombia. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2010).

En este tema de las tecnologías con el propósito ya mencionado, es necesario dirigir la atención a las metodologías y convenios de los programas de producción más limpia (P+L). La importancia que tienen está relacionada con los procesos de gestión de la tecnología y la innovación, lo que permite el acercamiento, la concertación, la sensibilización y la

coordinación de acciones con los diferentes actores que buscan la prevención y reducción de la contaminación, el uso e implementación de metodologías sostenibles y limpias, no sólo en las cuencas, sino también, en cualquier lugar de asentamiento de las industrias. Está fundamentado en la implementación de Buenas Prácticas Ambientales, mejoras en las prácticas de operación, los cambios simples de procesos y una mejor actitud de los operarios y empleados (Gómez et al., 2006). También, el control de las emisiones y el tipo de combustible utilizado, como la tecnología apropiada, logrando hacer un uso racional de la energía y por consiguiente mejorar los procesos, aumentar los ingresos económicos, disminuir las pérdidas energéticas y reducir el impacto ambiental generado (Gómez et al., 2006).

La problemática ambiental y en los temas de la crisis por el agua se han generado iniciativas nacionales e internacionales que buscan la disminución de los impactos negativos, donde se construye el principio general de la producción más limpia, que se convierte en una estrategia empresarial preventiva aplicada a productos, procesos y a la organización del trabajo, que busca reducir la contaminación generada en las dinámicas antrópicas. La implementación de las tecnologías limpias en el siglo de la sostenibilidad y la reducción de los impactos negativos al ambiente, cambian la forma de pensar y actuar en la planeación de los procesos productivos en el mundo. Con las tecnologías limpias se busca un mundo más limpio utilizando la correcta administración de recursos económicos y productivos haciendo énfasis en la competitividad (Arroyave & Garcés, 2006).

Otra tecnología importante comentada en los medios académicos, como una aplicación limpia emergente, es la electrocoagulación. Conocida desde principios del siglo pasado, ha sido aplicada en el tratamiento de diversas aguas residuales y que se sigue investigando en sus procesos y mecanismos. La electrocoagulación es un proceso electroquímico que busca la remoción de muy diversos contaminantes contenidos en las aguas residuales de diferentes fuentes; con esta tecnología se han generado muchas expectativas que buscan optimizar los mecanismos de reacción y el diseño y operación de los reactores que hacen parte de esta técnica y que permiten proteger, conservar y recuperar el recurso hídrico (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006).

Entre las ventajas que tiene la tecnología de electrocoagulación se destacan: facilidad de manejo y operación, versatilidad y adaptabilidad a diferentes procesos y a sus ventajas ambientales y económicas. Además, se abre un gran campo de investigación en biotecnología y en el diseño de reactores, la selección de nuevos materiales de los electrodos e

investigación en las condiciones de operación que permiten todos los días la optimización de esta aplicación, mejorando su competitividad y que se convierte en una solución a la necesidad de proveer agua para la inmensa demanda mundial y a la crisis por el recurso hídrico; es así como, fuera del rigor científico que tiene esta aplicación, también, se convierte en una solución global al problema de escasez de agua (Restrepo et al., 2006)

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica acerca de las diferentes alternativas de conservación en las cuencas abastecedoras de agua potable en diferentes partes del mundo, se puede decir que se identificaron interesantes propuestas, que permiten dar a conocer por medio de este documento; estudios, investigaciones, actividades, nuevas políticas sociales y tecnologías, que se pueden implementar en la gestión para la conservación de las cuencas abastecedoras. Igualmente, el documento permite validar que para la conservación de dicho recurso tan valioso como lo es el agua, es necesario incluir otros recursos naturales, económicos, sociales y físicos de manera articulada.

Igualmente, a través de la implementación de estas alternativas, extrapoliéndolas en poblaciones urbanas, en pequeña o gran escala, se puede concluir que podría ser una forma eficiente tanto económica, técnica y social, para suplir en un mayor porcentaje el bastecimiento del agua a nivel mundial.

Según las experiencias analizadas, se lograron identificar determinantes alternativas propuestas para la conservación de cuencas abastecedoras, tales como la implementación de estudios de investigación en suelos a través de herramientas como los SIG y monitoreo de precipitaciones en zonas específicas, que permitan arrojar resultados para la toma de decisiones en la conservación de cuencas hidrográficas. También, la implementación de sistemas silvopastoriles, para aumentar el índice de boscosidad, articulado con el pago por servicios ambientales a través de mecanismos económicos como otra alternativa que permite incentivar a las comunidades en desarrollar actividades locales en pro a la conservación del agua.

Por otra parte, el realizar la caracterización de los residuos sólidos generados en una determinada cuenca hidrográfica, permite dar cuenta de las principales fuentes de contaminantes por generación, lo que permite promover acciones para evitar la mala disposición y realizar una adecuada gestión de los mismos y de esta manera, disminuir la

contaminación en las fuentes abastecedoras de agua potable. De igual forma se deben implementar estrategias en la evaluación de los servicios del ecosistema de protección contra inundaciones donde se incluyen la intercepción de la lluvia y la infiltración por la cubierta natural del suelo y la escorrentía superficial, permite evitar que mayor cantidad de vertimientos contaminados lleguen directamente a las cuencas hidrográficas.

Teniendo en cuenta que una cuenca hidrográfica puede expandirse en varios países, presentando diferencia por la escala local, latitudinal, altitudinal y variedad en actividades económicas. Es importante identificar los parámetros de calidad de manera integral en ríos de varios países, con el fin de conocer la variabilidad de los factores ambientales en un estudio amplio, lo que permite concluir que la calidad del bosque de ribera, la heterogeneidad del hábitat fluvial y las intervenciones en varias regiones que fluye en una cuenca.

Así mismo, el estudio de regímenes de caudales ambientales a través de herramientas que integra la ecohidráulica son claves para incorporar los resultados a los Planes de Ordenamiento de Cuencas y a las Evaluaciones Ambientales Estratégicas Locales.

Por otro lado, implementar las alternativas tecnológicas directamente en las cuencas hídricas, o establecer otros tipos de tecnologías para mejorar el abastecimiento en cuanto a la calidad y cantidad para consumo en zonas urbanas es uno de los principales retos a nivel mundial, es por esta razón que construir ciudades tipo *Sponge City*, donde se realizan infraestructuras verdes y pavimento permeable urbano y acciones integrales con un enfoque de tecnología e innovación permiten enfrentar la escasez del agua en zonas altamente urbanizadas.

También, se evidenció de manera importante que la innovación institucional para la gobernanza de los flujos fluviales entre países transfronterizos, comparando y gestionando las políticas en la gestión del recurso hídrico de manera articula, permite ordenar las cuencas de manera más eficiente, aportando a su conservación con una mirada clara desde lo local, regional, nacional y continental.

Se espera que este documento se convierta en un texto de consulta para diversos públicos interesados en el tema sobre alternativas de conservación en cuencas abastecedoras de agua potable para zonas urbanas como referencia en sus trabajos, que puedan encontrar en ella información práctica y aplicable, de manera que puedan conocer las principales problemas que enfrentan las cuencas y de qué manera pueden aportar a los planes y gestiones del recurso hídrico como fuente abastecedora de agua potable. Es importante aclarar que por ser un tema tan amplio y de impactos constantes, es necesario seguir investigando alternativas que estén

encaminadas a mejorar las condiciones de la cuencas y la prestación de sus servicios, de manera que todos requerimos de dicho recurso natural para el abastecimiento y el acceso a la misma implica que cada localidad, región, país, continente incida con la implementación de estas y otras propuestas en la conservación de un recurso tan valioso como lo es el agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Área Metropolitana, del V. de A., & CTA, C. de C. y tecnología de A. (2018). *Programa Para El Mejoramiento Integral De La Microcuenca Santa Elena , Municipio De Medellín*. Medellín -Colombia.
- Arroyave, J., & Garcés, L. (2006). Tecnologías ambientalmente sostenibles. *Producción + Limpia*, 1, 9.
- Benítez Díaz, P., & Miranda Contreras, L. (2013). Contaminación de Aguas Superficiales por Residuos de Plaguicidas en Venezuela y otros Países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 7–23.
- Cardozo, I. C. (2018). *Gestión Informe Cuenca Verde*. Antioquía-Colombia.
- Castillo, R. G., Vital, J. L., González', C., Mario, R. R., Valenti-, F. P., & Cabrera, E. (2014). Aplicación de las determinaciones de ¹⁴C s para evaluar niveles de erosión en suelos agrícolas del Occidente de Cuba. *Ciencias Nucleares*, 41, 23–27.
- Colombia. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestion del Recurso Hídrico*. Colombia: Dirección de Ecosistemas • Grupo de Recurso Hídrico.
- De Jesus Crespo, R., Wu, J., Myer, M., Yee, S., & Fulford, R. (2019a). Flood protection ecosystem services in the coast of Puerto Rico: Associations between extreme weather, flood hazard mitigation and gastrointestinal illness. *Science of The Total Environment*, 676, 343–355. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.287>
- De Jesus Crespo, R., Wu, J., Myer, M., Yee, S., & Fulford, R. (2019b). Prevenirse con los servicios del ecosistema de protección contra inundaciones. Los servicios del ecosistema de protección contra inundaciones. *Science of the Total Environment*, 676, 343–355. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.287>
- De Pietri, D., Dietrich, P., Mayo, P., Carcagno, A., Pietri, D. D., Evaluación multicriterio, C. A., & de citar, F. (2011). Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina. In *Rev Panam Salud Publica* (Vol. 30).

- de Souza, M., Veloso, F. T., Santos, L. B. Dos, & de Caeiro, R. B. S. (2014). Governança de recursos comuns: Bacias hidrográficas transfronteiriças. *Revista Brasileira de Política Internacional*, 57(2), 152–175. <https://doi.org/10.1590/0034-7329201400309>
- Delgado, M. I. (2010). Modelización de la pérdida de suelo en sierras del sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. *Rev FCA UNcuyo*, 1–14.
- Díez, J. (2008). Evaluación de requerimientos ecológicos para el diseño de regímenes ambientales de caudales fluviales Assessment of Ecological Requirements for the Environmental Fluvial Flows Setting. *Revista de Ingeniería Universidad de Los Andes*, 28, 15–23.
- Díez, J., & Burbano, L. (2007). *Tecnología ecológica para la planificación de cuencas hidrográficas: regímenes caudales ambientales*. España.
- Duan, K., Caldwell, P. V., Sun, G., McNulty, S. G., Zhang, Y., Shuster, E., ... Bolstad, P. V. (2019). Understanding the role of regional water connectivity in mitigating climate change impacts on surface water supply stress in the United States. *Journal of Hydrology*, 570(September 2018), 80–95. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.011>
- Espejel, I., Hernández, A., Riemann, H., & Hernández, L. (2005). Propuesta para un nuevo municipio con base en las cuencas hidrográficas. *Gestión y Política Pública*, 40–41.
- Forestales, I. de I. (2016). ContentServer Papel de los sistemas agroforestales en el escenario agrario de las cuencas hidrográficas de Cuba. *Pastos y Forrajes*, 29, 351.
- Gómez, M., Florez, L., Cárdena, R., Isaza, C., Villa, D., & Rendón, A. (2006). Producción más limpia en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia). *Producción + Limpia*, 34.
- González, J. E., & Monotoya, L. J. (2010). Propuesta metodológica para el estudio sedimentogeomorfológico para cuencas altamente urbanizadas. Quebrada Doña María. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 258.
- Hoornweg, D., & Pope, K. (2014). Socioeconomic pathways and Regional distribution of the world's 101 largest cities. *Global Cities Institute Working Paper*, (04).
- Laćan, I., & Resh, V. H. (2016). A case study in integrated management: Sacramento–San Joaquin Rivers and Delta of California, USA. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 16(4), 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.09.004>
- León, Y. (2019). Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco , Costa Rica : conectando el bosque para proteger el agua Analysis of Forest Fragmentation and Connectivity in the Sub-Basin of the Tapezco River , Costa Rica :

- Lima da Fonseca, E., & Pereira da Silva, E. (2017). *Análise fisiográfica como subsídio ao estudo da suscetibilidade erosiva em bacias hidrográficas* *physiographic analysis as a subsidy to the study of erosive*. Brazil.
- Martínez, M., & Suárez, A. M. (2016). Diagnóstico integral y plan De acciones De la subcuenca río pontezuelo, Mayarí, cuba. *Revista Investigaciones Marinas*, 42–61. Retrieved from <http://www.cim.uh.cu/rim/>
- MINAMBIENTE, E. técnico. (2014). *Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas* (Ministerio). Colombia-Bogotá: MINAMBIENTE.
- Morejón Yilian, Vega Marina, Escarré Antonio, Peralta José, Quintero Arely, G. J. (2015). Análisis de balance hídrico en cuencas hidrográficas de la Sierra de los Órganos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, VOL. XXXVI, 94–108.
- Nguyen, T. T., Ngo, H. H., Guo, W., Wang, X. C., Ren, N., Li, G., ... Liang, H. (2019). Implementation of a specific urban water management - Sponge City. *Science of the Total Environment*, 652, 147–162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.168>
- OECD. (2015). *Principios de Go b ernanza del Agua de la OCDE*. España.
- Oswaldo, A., Paiba, A., Fabian, E., & Avila, M. (2015). Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad del agua en el río Botello , Facatativá , Cundinamarca , Colombia Hydrodynamic modeling and determination of the water quality in the river Botello , Facatativá ,. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 169–184.
- Párraga, R., & Díaz, S. (2012). *Estrategias enerales para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca del Río Portoviejo* (Vol. 66). Ecuador.
- Pulgarín, J., & Mejía, J. (2017). Política pública para la gestión integral del recurso hídrico en Quindío-Risaralda 2008-2015. *Gestión y Ambiente*, 20(1), 38–49.
- Quesada, M. E. (2012). Dinámica territorial en el uso de la tierra y el régimen hidrológico: región central, Costa Rica. *Espacio y Desarrollo*, 24, 11.
- Ranjan, G. J., Redd, R., & CrokeRam, P. P. (2012). Confronting scale in watershed development in India. *Hydrogeology Journal*, 8.
- Restrepo, A., Arango, Á., & Garcés, L. (2006). *La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas*. Colombia.
- Rivera, J., & Penalba, O. (2018). Caudales mensuales en las regiones de Cuyo y Patagonia, probability distribution of monthly streamflows over cuyo and patagonia

- regions (argentina). Hydrological drought monitoring application. *Meteorologica*, 43, 25–46. Retrieved from <http://spi-support.blogspot.com>
- Ruiz Soto, J. P. (2007). Servicios ambientales, agua y economía. *Environmental Services, Water and Economy*, 93–99.
- Sanabria, S. E., & Hurtado, E. (2017). Emprendimiento verde en torno a la conservación y recuperación del agua y sus espacios en Bogotá y Medellín (Colombia). *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 26(1). <https://doi.org/10.18359/rfce.3141>
- Tobón, D. (2019). Proyectos Forestales Mitigación de Cambio Climático Contenido. *RIC GIRHB*.
- UNESCO. (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015: Agua para un Mundo Sostenible- datos y cifras. In *UN WATER, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization*. Retrieved from <http://www.unesco.org/water/wwap%0AWWDR>
- Vargas, N., Pinzón, H., Cuervo, M., Ojeada, D., Dunoyer, M., & Roux, S. (2004). Guía técnico científico para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia. *Crisis*.
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12>
- Villegas Rodríguez, E. (2015). La armonización territorial: su incorporación en la planificación y gestión administrativa mediante la gestión del riesgo. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 8(16), 148. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu8-16.atip>
- Xie, Y., & Zilberman, D. (2016). Theoretical implications of institutional, environmental, and technological changes for capacity choices of water projects. *Water Resources and Economics*, 13, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2015.08.004>