

# La microcuenca de la quebrada San Cristóbal.

UN SISTEMA SOCIOECOLÓGICO EN CRISIS

THE WATERSHED OF THE CREEK SAN CRISTOBAL.

A socio-ecological system in crisis

A MICROBACIA DO RIACHO SAN CRISTÓBAL.

Um sistema sócio-ecológico em crise

**Viviana Osorno-Acosta**

Estudiante de Doctorado en Bioética  
Universidad del Bosque  
vivianaosorno@gmail.com

**Elcy Corrales-Roa**

Doctora en Geografía  
Universidad Javeriana  
ecorrales@gmail.com

**Recibido:** 06 de julio de 2017

**Aprobado:** 14 de junio de 2018

<https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n3.66158>

## Resumen

El sistema socioecológico (SSE) de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal está en medio de un área protegida en el límite urbano-rural de Bogotá, donde se genera una constante degradación del ecosistema, y se encuentra rodeado por barrios que han sido construidos hacia los cerros orientales. A partir de fuentes primarias y secundarias se hace una aproximación a la caracterización del SSE mediante elementos del método PARDI (Problema, Actores, Recursos, Dinámicas, Interacciones), incorporando la visión de diferentes actores sobre el estado del sistema. La comprensión de las dinámicas socioecológicas que tienen lugar en la SSE proporciona elementos para entender su estado actual, abordar la gestión de servicios ecosistémicos (SE) de aprovisionamiento de agua, y destacar la importancia de considerar el papel de las decisiones que toman los actores en diferentes escalas relacionadas con la prestación de este servicio cuando el SSE microlocal entra en crisis.

**Palabras clave:** sistema socioecológico, PARDI, microcuenca, límite urbano-rural, área protegida.

## Abstract

The socio-ecological system (SSE) of the micro basin of the San Cristobal creek is located at the urban-rural boundary of Bogotá capital district of Colombia. It is surrounded by neighbourhoods that have been built towards the Eastern hills of the city, and it is placed within a protected area where permanent ecosystem degradation is taking place. Based in both primary and secondary sources, a characterization of the socio ecological system is undertaken by applying the elements of the PARDI method (Problem, Resources, Dynamics and Interactions) which incorporates the visions of different actors at different scales. The understanding of the socioecological dynamics that take place in SSE provides elements to address the management of ES of water supply, and the importance of considering the role of the decisions taken by the actors in different scales related to the provision of this ES when the SSE at the micro local scale is in crisis.

**Keywords:** socio-ecological system, PARDI, micro basin, urban-rural boundary, protected area.

## Resumo

O sistema socioeconómico (SSE) da microcuenca de San Cristóbal se encontra em uma área protegida no passo urbano-rural de Bogotá, a capital de Colômbia, por isso é uma constante degradação do ecossistema e está rodeado de barrios que han sido construidos hacia los cerros orientales. A partir de áreas secundárias e primárias pode-se obter uma caracterización da SSE por elementos da modalidade PARDI (Problema, Actores, Recursos, Dinâmicas, Interacciones), incorporando a visão dos actores sobre o estado do sistema, que são ubican en distintas. escalas. A compreensão das condições sociológicas que mostram o lugar na SSE depende de seu estado e também é importante para a gestão do SE de aprovisionamento de água, e a importância de considerar o papel das decisões que afetam os atores em diferentes escalas relacionadas com a prestação de este ES, tendo o SSE micro crise local hace.

**Palavras-chave:** sistema socioecológico, PARDI, microcuenca, límite urbano-rural, área protegida.

## Introducción

Los servicios ecosistémicos (SE) son los beneficios que obtienen los humanos de los ecosistemas que soportan directa o indirectamente su supervivencia y calidad de vida (Díaz, y otros, 2011). La relación entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano se debe considerar como un sistema integrado y unitario, que vincula a los ecosistemas con los sistemas sociales, convirtiendo a las especies y a los humanos en entidades dependientes, inmersos en lo que se denominan sistemas socioecológicos (SSE) (Martín-López, Gómez-Baggethun y Montes, 2009). De acuerdo con Díaz, et al. (2011), los actores sociales de un SSE determinado son los individuos, grupos, entidades, organizaciones, o instituciones con derecho directo o indirecto sobre los SE. Por eso, los actores desarrollan diferentes estrategias para mantener o mejorar su posición social y bienestar, incluyendo el acceso a los diferentes SE, los cuales son valorados y percibidos de distintas maneras dependiendo del actor. El acceso y el control de la tierra pueden generar conflictos sociales, luchas de poder y alianzas estratégicas entre múltiples actores sociales (Díaz, et al., 2011) que suelen tener visiones diversas sobre el estado ideal en el que deben estar dichos sistemas. Esto puede generar dificultades a la hora de tomar decisiones sobre la gestión de los SE que afectan la estructura y función del SSE al que pertenecen (Martín-López y Montes, 2011).

### Viviana Osorno-Acosta

Bióloga de la Universidad de Los Andes, con énfasis en ecología y organismos, Especialista en Docencia Universitaria de la Universidad El Bosque, Magister en Conservación y Uso de la Biodiversidad de la Pontificia Universidad Javeriana y estudiante de Doctorado en Bioética en la Universidad El Bosque. Tiene experiencia en investigación en el área de medio ambiente con bioindicadores de contaminación y se desempeña actualmente como investigadora y docente universitaria.

### Elcy Corrales-Roa

Doctora en Geografía, MSc Sociología, MPhil Diseño Urbano y Planificación Regional, y pregrado en Sociología. Docente e investigadora de la Pontificia Universidad Javeriana durante más de 27 años, donde actualmente es profesora emérita. Sus temas de investigación y docencia se relacionan con la aplicación de perspectivas de análisis inter y transdisciplinarias para el estudio de sistemas de producción y conservación, y su sostenibilidad en diversos contextos.

La microcuenca de la quebrada San Cristóbal en Bogotá es un ecosistema de alta montaña que ha prestado un servicio ecosistémico importante a los habitantes de su zona de influencia: la provisión de un flujo hídrico continuo y de calidad (Albán, 2007, citado en Osorno Acosta y Bohórquez, 2014). Sin embargo, con el tiempo, este ha disminuido su cantidad y calidad (Universidad El Bosque, 2013) por diversas causas, entre otras, por los cambios en el uso del suelo producto de una expansión urbana constante hacia los cerros y el uso que las personas le dan a la quebrada (Corrales Roa y Osorno Acosta, 2018).

## Metodología

Para entender la crisis de los SSE de la microcuenca San Cristóbal fue necesaria la participación de los actores principales que tienen intereses en la gestión del SE de aprovisionamiento del recurso hídrico. Con ellos se hizo la construcción de un modelo del sistema socioecológico de la microcuenca que facilitó el conocimiento, la comprensión y el análisis de las dinámicas socioecológicas que allí se presentan. En la gestión del recurso fueron consideradas, además, las interacciones entre diversas escalas espaciales y temporales. De esta manera, el SSE se analizó en tres escalas espaciales: microlocal, refiriéndose a la microcuenca de la quebrada San Cristóbal; local, que es la localidad de Usaqué; y regional, el Distrito Capital de la ciudad de Bogotá. Las escalas temporales se trabajaron para los años 1950, 1970, 2010 y 2030, a partir de las cuales fue posible establecer el proceso de cambio en el sistema socioecológico, y en la calidad y cantidad del servicio de aprovisionamiento y sus perspectivas de futuro.

### Descripción de la zona de estudio

La microcuenca de la quebrada San Cristóbal se ubica en la ciudad de Bogotá (Colombia) al norte de la localidad de Usaqué, dentro de la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) número 11, correspondiente a San Cristóbal Norte (Secretaría Distrital de Planeación, 2009). La principal vocación del suelo es forestal, por ser una gran zona montañosa con varias fuentes hídricas (Hospital de Usaqué, 2012). De acuerdo con la Secretaría Distrital de Planeación (2009), está clasificada como de uso residencial predominante y de urbanización incompleta, con deficiencias en su infraestructura, accesibilidad, equipamientos y espacio público. La UPZ 11 tiene alrededor de 74.001 habitantes en una extensión de 272,31 ha, cuenta con 18 barrios legalizados, cinco no legalizados, todos pertenecientes a los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3, siendo estos los más bajos (Hospital de Usaqué, 2012). Los barrios Soratama, La Perla, Villa Nidia, Santa Cecilia y Cerro Norte, con mayor contacto con la quebrada, cuentan con viviendas construidas en la ronda de quebrada o en el área declarada como Reserva Forestal, los cuales entran en la categoría de ilegales por invadir los espacios considerados públicos por la legislación colombiana (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1998). En consecuencia, los servicios de alcantarillado y de aseo llegan solamente hasta donde las vías de acceso lo permiten (Hospital de Usaqué, 2012; Universidad El Bosque, 2013).

La microcuenca de la quebrada San Cristóbal hace parte del área de drenado de la subcuenca del canal Torca y desemboca en el sistema humedal Torca-Guayamaral, que posteriormente alimenta la cuenca media del río Bogotá (CAR, 2009). Se encuentra dentro de la unidad de paisaje de los cerros orientales (Hospital de Usaqué, 2012), los cuales conforman un eje ambiental de vital importancia que garantiza la calidad ambiental, la conectividad ecológica y la disponibilidad de servicios ambientales, y hace parte de la estructura ecológica principal de la ciudad, que es clave como conector ecológico regional y fuente hídrica (Garzón Díaz, 2014). En la microcuenca aún existen parches de bosques nativos, rastrojos altos y bajos con especies colonizadoras, oportunistas y de rápido crecimiento (Hospital de Usaqué, 2012).

Para definir el SSE de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal se hizo una adaptación del método PARDI (Problema, Actores, Recursos, Dinámicas, Interacciones), denominado así por las iniciales que indican los pasos a seguir para la construcción participativa de los modelos del SSE. Este método, antes llamado ARDI, plantea el análisis de los SSE a través de la coordinación de acciones entre los actores sociales involucrados en la gestión de un recurso para alcanzar objetivos compartidos (Mathevet, Etienne y Lynam, 2011). El propósito de dicha metodología es modelar de forma participativa las dinámicas socioecológicas, atendiendo a la complejidad de los problemas de manejo de recursos naturales como el agua y a las visiones de los actores involucrados (Etienne, Du Toit y Pollard, 2011). Del mismo modo, "PARDI sirve para construir colectivamente con los actores, una representación común de cómo funciona el territorio, mirado como un sistema socio-ecológico, según una problemática de desarrollo específica" (Fallot, 2013: 9).

A partir de información secundaria, y de la que se origina en la experiencia de trabajo con los actores que habitan la microcuenca o que tienen relación con ella desde otras escalas fue posible identificar el problema (P) y los actores clave, con los cuales se llevaron a cabo diversas actividades. Primero, se realizó un grupo focal con la Comisión Ambiental Local (CAL) de Usaqué, conformada por representantes del sector público y de las comunidades (habitantes de los barrios de la misma localidad) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011). Segundo, se entrevistó a cuatro personas seleccionadas de acuerdo con dos criterios fundamentales: su saber experto sobre el recurso hídrico en torno a la calidad y cantidad de agua; y el saber local, originado por la cercanía física con la quebrada San Cristóbal como habitante del sector o por el interés académico sobre la situación ambiental de la UPZ San Cristóbal Norte. Por último, se desarrolló un taller al que asistieron alrededor de 33 personas, en su mayoría adultos mayores del Club Los Conquistadores y líderes comunitarios de la Fundación Manigua, así como del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER), en el cual se trabajaron temas relacionados con el recurso hídrico en la microcuenca.

Para desarrollar el método PARDI se utilizó la información recolectada hasta el año 2015 como se muestra a continuación: la caracterización de actores (A) se organizó por escala espacial el tipo y el grado de influencia-dependencia con respecto al recurso hídrico. El recurso (R) agua se estudió a partir de fuentes secundarias, entrevistas y talleres con la comunidad. Para establecer las dinámicas (D) del SSE se construyó un diagrama Estado-Transición social y del ecosistema para establecer los cambios que ha tenido en el tiempo, haciendo énfasis en cuatro estados principales (1950, 1970, 2010, 2030). Para las interacciones (I) entre los actores y los recursos (variables sociales y ecológicas) y su relación con la prestación del SE de aprovisionamiento hídrico (calidad y cantidad de agua) a través del tiempo, se elaboró un diagrama causal que relaciona las variables ecológicas y sociales, permitiendo la identificación de las relaciones entre las consecuencias y las causas de la variable problema, en este caso el SE de aprovisionamiento hídrico (calidad y cantidad de agua).

## Resultados y discusión

### Actores (A) sociales presentes en el sistema socioecológico de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal

Con base en la información obtenida a partir de fuentes secundarias, entrevistas a diversos actores sociales e institucionales, y el grupo focal de la CAL se identificaron los actores claves del SSE. Existen numerosos actores distribuidos en diferentes escalas espaciales, categorizados en los siguientes tipos: instituciones públicas y privadas, organizaciones comunales, empresas privadas, instituciones educativas, instituciones no gubernamentales y usuarios. A nivel microlocal se destaca que existen varias organizaciones comunales como la Junta de Acción Comunal (JAC), La Escuela Popular Infantil (EPI), La Corporación Servicio de Defensa de la Niñez (SEDEN) y la Fundación Manigua. Los habitantes de los distintos barrios se diferencian entre los primeros pobladores del territorio y los llamados pobladores flotantes, es decir las personas que viven en arriendo, lo que representa una fuente importante de ingresos económicos para sus propietarios.

#### Caracterización semicuantitativa de actores sociales

Se partió de identificar el grado de influencia y de dependencia de los actores sociales sobre el recurso hídrico. El primero hace referencia al control, acceso o manejo que el grupo tiene sobre el servicio de aprovisionamiento hídrico, mientras que el segundo se relaciona con el efecto que tienen el SE sobre el bienestar de cada actor social, expresado en su buena condición de salud, felicidad y tranquilidad con respecto a vivir en el territorio. Para ello, a cada

actor se le asignó un puntaje (véase Tabla 1) de acuerdo con la percepción que tiene sobre el nivel de dependencia o influencia frente al uso, afectación y acceso al recurso (ESPA, 2012). Con base en lo anterior, se construyó una gráfica (Figura 1) para determinar cuáles eran los actores sociales más importantes en función de su nivel de influencia o del grado de dependencia del SE de aprovisionamiento hídrico (Martín-López, González y Vilardy, 2012).

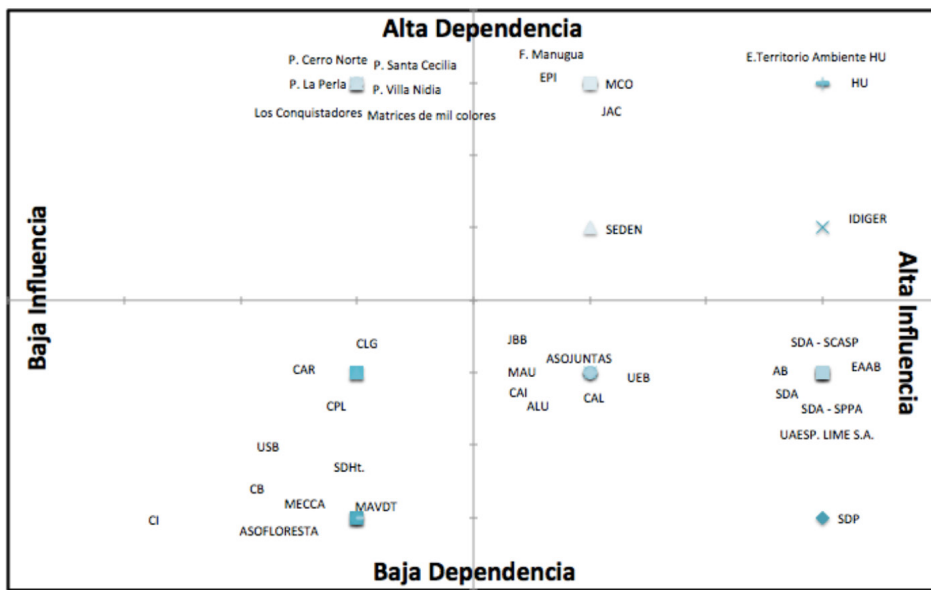
Tabla 1. Valoración de los niveles de dependencia e influencia sobre el recurso hídrico

Nivel	Dependencia	Influencia
0	Insignificante	Sin influencia
1	Menor	Menor o indirecta
2	Significativa	Significativa
3	Bienestar directamente dependiente	Directa

Fuente: elaboración propia.

Como se ve en la Figura 1, los actores sociales que tienen un mayor grado de influencia y dependencia son: el Hospital de Usaquén, el Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (IDIGER), la Fundación Manigua, Las Escuelas Populares Infantiles (EPI), la Junta de Acción Comunal (JAC) y la Corporación Servicio de Defensa de la Niñez (SEDEN). Esto coincide con su función institucional, la cual les da poder de acción y decisión en el territorio. Los habitantes de los barrios tienen una dependencia alta debido al uso o cercanía con la quebrada, pero, posiblemente, las acciones y decisiones que se hagan en el territorio para conservar el SE de aprovisionamiento hídrico no dependen solamente de ellos. Contrario a este grupo se encuentran, en su mayoría, instituciones públicas que, aunque tienen una alta influencia sobre el SE, no necesariamente serán afectadas por la disminución del SE. De este grupo se destaca la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) que, por ser la encargada de la gestión integral del agua y el alcantarillado de la ciudad, podría contribuir a la solución de la problemática, sin embargo, sus

Figura 1. Clasificación de los actores sociales según su grado de dependencia e influencia sobre el recurso hídrico de la microcuenca San Cristóbal



Fuente: elaboración propia.



acciones están limitadas por la normatividad. Por último, están todos los actores que no dependen, ni influyen en la prestación del SE y, en consecuencia, son distantes a las problemáticas del territorio. Adicionalmente, si estos actores habitan en la microcuenca, su bienestar depende, de una u otra forma, del mantenimiento del SE de aprovisionamiento hídrico, tanto en términos de calidad como de cantidad.

### Recursos (R)

Aunque para este SSE son varios los recursos involucrados, el central es el hídrico. Es el más afectado por las diferentes actividades y usos que hacen de él los habitantes de la microcuenca San Cristóbal, quienes generan procesos que terminan cambiando el SE de aprovisionamiento hídrico, expresado en la calidad y cantidad de agua disponible. Estas relaciones se representan en la Figura 2 por medio de flechas que vinculan a los actores principales con los procesos y acciones que ejercen sobre los recursos relacionados con el SE de aprovisionamiento hídrico. Algunos residentes, al hacer uso de la quebrada, generan procesos de contaminación y de extracción de agua. Sin embargo, existen acciones positivas cuando los habitantes que hacen parte de organizaciones comunales solicitan a las instituciones públicas acciones como la limpieza de la quebrada. Además, existe interés por parte de algunas instituciones educativas, instituciones no gubernamentales e, incluso, de empresas privadas por mejorar las condiciones del ecosistema, incluyendo la conservación de la calidad y cantidad de agua en la quebrada.

### Dinámicas (D)

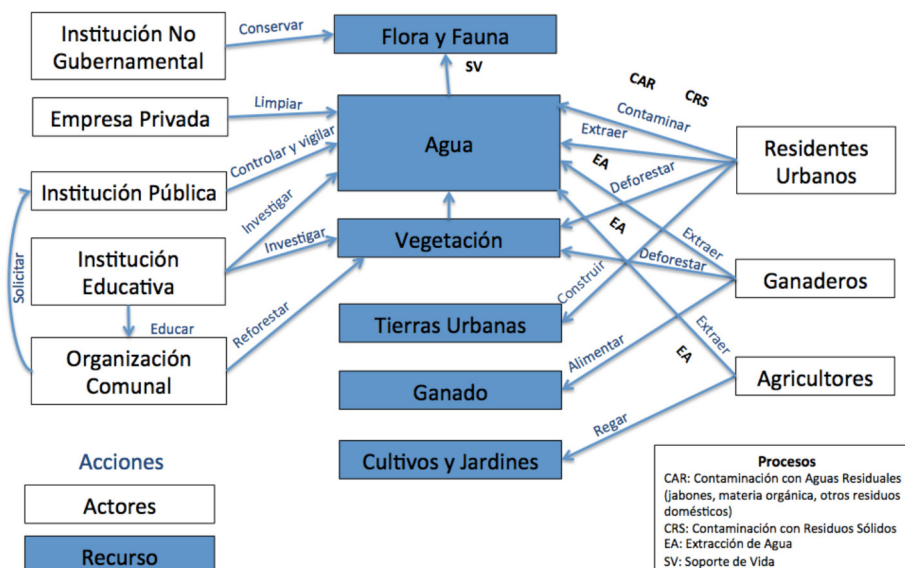
Con base en la información recolectada sobre los cambios, estados y permanencias del SSE se construyeron dos diagramas Estado-Transición (ET): uno enfocado en el sistema ecológico (Figura 3) y otro en el social (Figura 4). Los estados principales

permanentes se representan con cajones de borde continuo y, discontinuo, si su estado es transitorio. Cada cajón representa un momento o año particular en la historia del SSE. Las flechas dan cuenta de las transiciones entre un estado y otro, es decir de los procesos que ocurrieron en un periodo determinado de tiempo. Estas transiciones se pueden dar en ambos sentidos y se describen en la Caja 1 y en la Caja 2, respectivamente (Westoby, Walker y Noy-Meir, 1989).

A partir de los dos diagramas ET se explica cómo la expansión urbana en la microcuenca de la quebrada San Cristóbal conduce al agotamiento de los SE. Hoy en día la microcuenca sigue prestando el SE, sin embargo, algunos usos sociales de la misma causan impactos negativos sobre el SSE, como la contaminación del agua, lo que podría llevar al fin del sistema y a su inhabitabilidad.

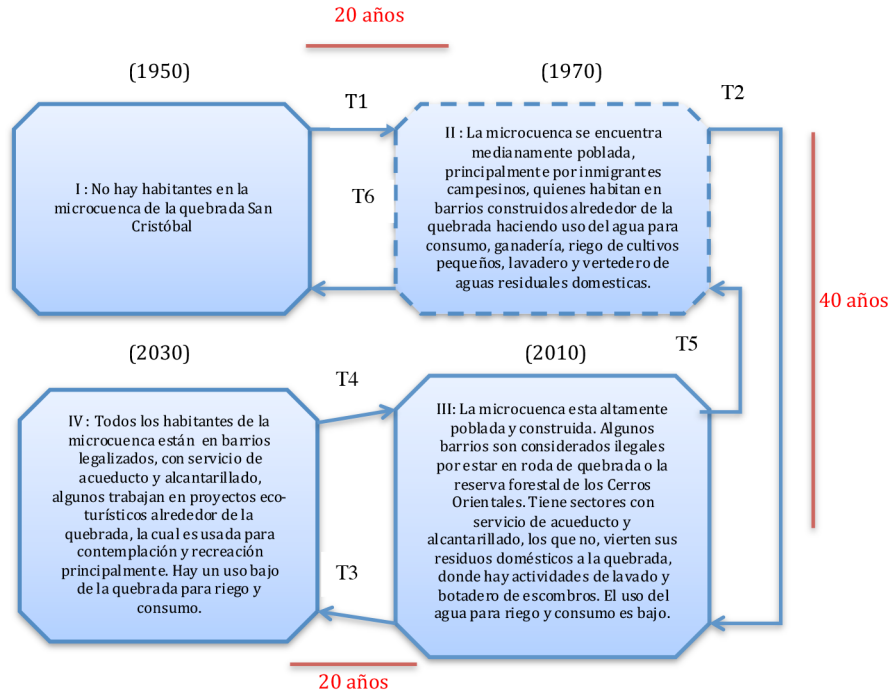
Parte de la normativa que respalda este SSE se encuentra en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá, el cual reglamenta el uso del suelo en materia de crecimiento urbano, renovación o conservación de infraestructuras, provisión de aires libres, espacio público, equipamientos, programas de vivienda de interés social y proporciona los lineamientos para el manejo ambiental del territorio (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000). Por su parte, los Decretos 1729 de 2002 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2002) y 1640 de 2012 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012) tienen como objetivo mantener el equilibrio entre el aprovechamiento económico y la conservación físico-biótica de la cuenca y, particularmente, de sus recursos hídricos (Ruiz Agudelo, et al, 2013). Mientras que la Política para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad del Distrito Capital establece “la gestión eficiente en la conservación de la biodiversidad urbano-rural del territorio, reconociendo que estos esfuerzos aportan al mantenimiento de bienes y servicios ecosistémicos” (Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010: 30).

Figura 2. Microcuenca San Cristóbal: uso y modificación de los recursos por acciones y procesos de los actores sociales



Fuente: elaboración propia a partir de Corrales Roa y Osorno Acosta (2018).

Figura 3. Diagrama Estado-Transición para el ecosistema de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal



Caja 1. Catálogo de transiciones para el diagrama ET del ecosistema

**Transición 1.** La microcuenca empieza a sufrir una transformación rápida entre 1960 y 1970 cuando los primeros pobladores llegan a colonizar y a deforestar la zona para establecer sus viviendas junto a la quebrada, de donde toman agua para consumo directo, la cual es captada en tanques que ellos mismos construyeron en 1970. Lo anterior genera pérdida en la cobertura vegetal que es la encargada de retener agua y humedad para mantener el caudal del agua. Adicionalmente, la quebrada es usada como lavadero de ropa y vertedero de residuos domésticos que contaminan el agua con jabones y materia orgánica en descomposición.

**Transición 2.** Entre 1970 y 2015 las condiciones del ecosistema continúan cambiando, el crecimiento urbano es tan rápido que sólo quedan algunos relictos de bosque y unos árboles nativos. La cantidad de agua que baja por la quebrada es cada vez menor y su calidad sigue disminuyendo al aumentarse el número de conexiones directas de aguas residuales domésticas, que también recibe la carga de detergentes usados por los habitantes en la parte alta de la quebrada.

**Transición 3.** Con los planes y propuestas para mejorar la quebrada, y evitar que la población se siga expandiendo hacia los cerros se recupera la ronda de quebrada, se reforesta, y se detiene la llegada de vertimientos y otros usos negativos como el vertimiento de detergentes y el botadero de escombros.

**Transición 4.** Si no se cumplen las normas y acuerdos para mantener la quebrada limpia y rodeada de árboles, en 20 años se retomarán las actividades negativas sobre la quebrada, volviendo al Estado II (año 2010), donde la cantidad y calidad del agua es deficiente.

**Transición 5.** Si se hacen cambios drásticos como la reubicación de la población, en un periodo de 40 años sería posible recuperar parte de la cobertura vegetal y las funciones que presta en la retención de agua y humedad, manteniendo el caudal del agua. Así mismo, con un menor número de personas habitando en la microcuenca, los efectos negativos en la calidad del agua serán menores, sin embargo, la probabilidad de que esto ocurra es muy baja. Se puede considerar una transición irreversible. Por otro lado, si esto sucede podría subir el nivel socioeconómico del sector, aumentando el valor de los impuestos a pagar, lo que generaría malestar en la población.

**Transición 6.** Si la población fuera casi nula en la zona, sería posible recuperar totalmente la cobertura vegetal de la microcuenca y, con ella, el mantenimiento de la calidad y cantidad de agua en la quebrada. Esta transición también es irreversible, ya que, aunque el ecosistema mejore, no volverá a ser como en 1950.

Caja 2. Catálogo de transiciones para el diagrama ET del sistema social

**Transición 1.** Aunque para 1950 ya se dan diferentes intervenciones sobre los cerros, la microcuenca de la quebrada San Cristóbal todavía no ha sido habitada. A principios de la década de 1960 llegan los primeros pobladores provenientes de la inmigración de campesinos de Boyacá, Cundinamarca y Tolima, y se ubican junto a la quebrada, conformando el barrio Cerro Norte. Entre 1960 y 1970 la población crea los barrios Cerro Sur, Villa Nidia, la Perla y Santa Cecilia. Desde el inicio hacen uso de la quebrada para consumo directo, lavadero de ropa, bebedero para ganado y riego de algunos cultivos que se siembran allí mismo. Lo anterior genera la necesidad de buscar otras fuentes de agua limpia, la cual se solicita a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá sin éxito. Para dar solución a la necesidad, construyen una represa para separar el agua limpia que viene de la quebrada y sus afluentes (Universidad El Bosque, 2013).

**Transición 2.** Entre 1975 y 1990 la población se expande rápidamente y termina de conformar los barrios junto a la quebrada. La represa ya no funciona como tal, así que los habitantes solicitan y obtienen el servicio de acueducto y alcantarillado en la mayoría de los barrios, situación que persiste hasta 2015, donde muchos habitantes no tienen el servicio por estar en conflicto con las normas que categorizan a dichos barrios como ilegales (Universidad El Bosque, 2013). Debido a esto, el mayor uso de la quebrada es para verter residuos domésticos a través de conexiones directas a ella. En algunas zonas se usa para depositar escombros y, en menor medida, como lavadero de ropa y de carros.

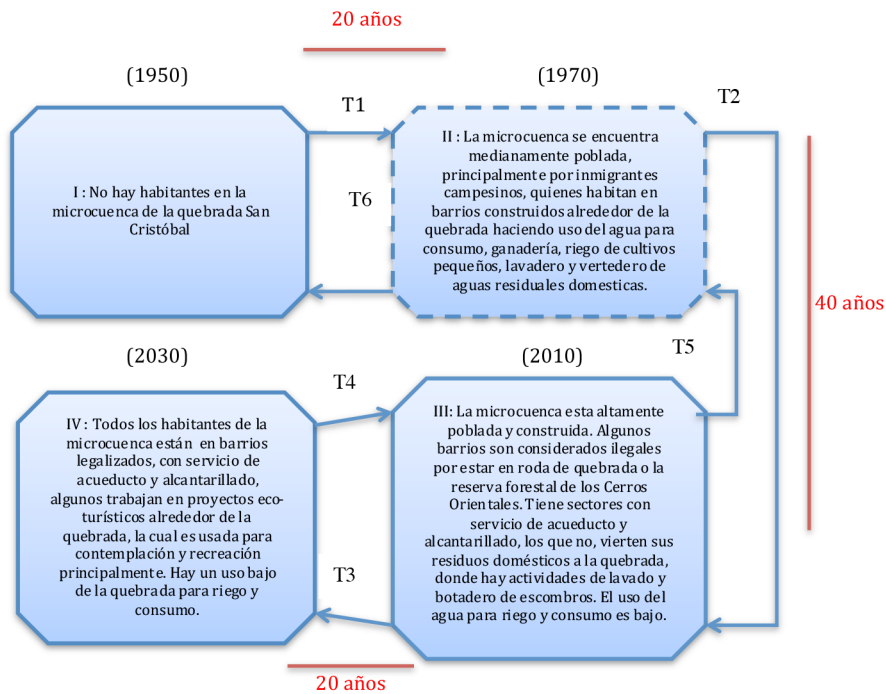
**Transición 3.** Con los planes y propuestas por mejorar la quebrada y la calidad de vida de los habitantes de la microcuenca se hace un mayor control por parte de las instituciones para evitar que la población se siga expandiendo hacia los cerros. Se legalizan los barrios y se les instala el servicio de alcantarillado para evitar los vertimientos de aguas domésticas a la quebrada. Adicionalmente, se incluye a los habitantes en los procesos de reforestación y nuevos usos de la quebrada como sitio de contemplación y de recreación, generando nuevas actividades en torno al ecoturismo. Al liberar el agua de contaminantes, se puede volver a hacer uso de esta para riego de cultivos o huertas pequeñas.

**Transición 4.** Cumpliendo las normas y acuerdos para mantener la quebrada limpia y rodeada de árboles, en 20 años la población retoma las actividades negativas sobre la quebrada, volviendo al Estado II (año 2010).

**Transición 5.** Si se establecen cambios drásticos como la reubicación de la población, en un periodo de 40 años los efectos negativos sobre la cantidad y la calidad del agua serán menores.

**Transición 6.** Si la población se reduce fuertemente en la zona sería posible recuperar la cobertura vegetal de la microcuenca y, con esta, el mantenimiento de su caudal. Adicionalmente, no habría tanta contaminación sobre el agua de la quebrada.

Figura 4. Diagrama Estado-Transición del sistema social de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal

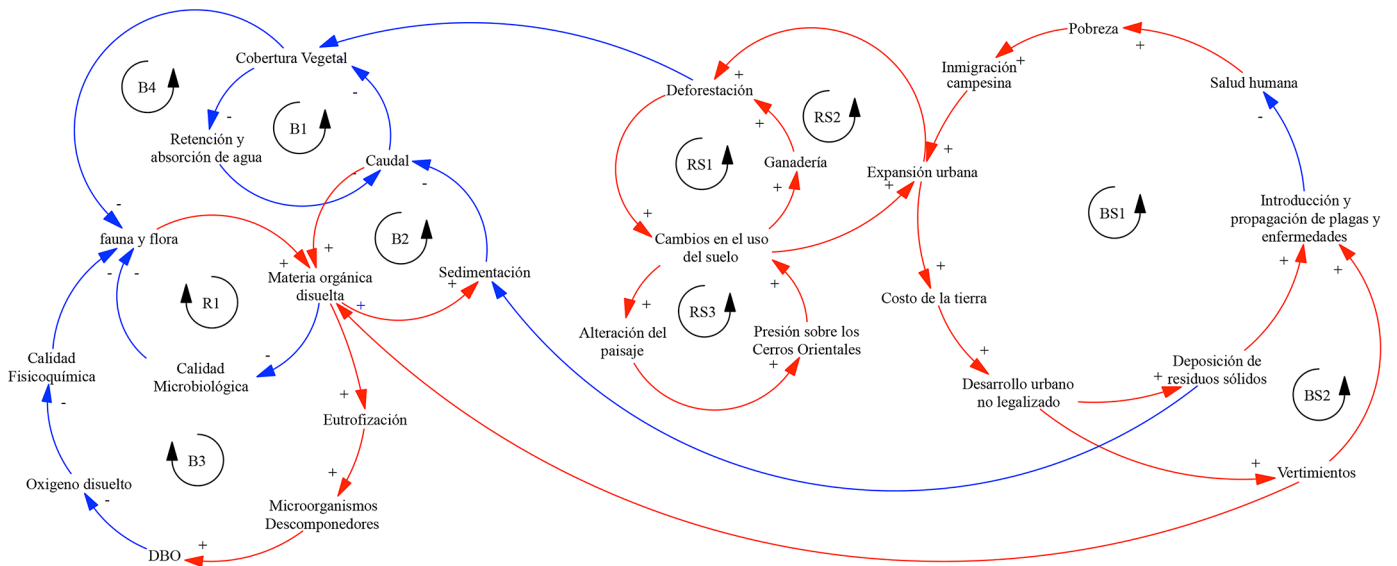


### Interacciones (I)

Para construir el Diagrama-Causal (DC) se estableció como punto de partida la contaminación y la reducción de la cantidad de agua, y surgieron las variables causales ecológicas y sociales, junto a sus consecuencias. El DC para el SSE de la microcuenca San Cristóbal fue elaborado con el *software Vensim® Personal Learning Edition*. Se construyó un DC para cada sistema (social y ecológico) por separado y luego uno relacionándolos entre sí (Figura 5). Este diagrama representa la relación causa-efecto entre

cada una de las variables, formando pequeños ciclos internos distribuidos en ciclos de refuerzo (R) y ciclos de balance (B). Para diferenciarlas, aquellas relativas al sistema social se les adiciona la letra S (ejemplo: RS1, o BS1). Las fechas indican la dirección del ciclo, y representan efectos negativos (-) o positivos (+) de una variable. El diagrama permite diferenciar las variables claves que pueden convertirse en prioridades de gestión para la solución de problemas dentro del SSE.

Figura 5. Diagrama causal del sistema socio ecológico de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal



**Caja 3.** Análisis del diagrama causal y definición del sistema socio ecológico de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal

La condición de pobreza en el campo dificulta la permanencia de sus habitantes en él, estimulando la migración campesina hacia las ciudades y haciendo que su expansión sea cada vez mayor. Esa misma situación aumenta la competencia por el espacio y el costo de la tierra, lo que obliga a los inmigrantes campesinos a buscar otras formas de vivienda, incrementando el desarrollo urbano no legalizado. Este es el caso de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal: una parte de su población se encuentra en viviendas consideradas ilegales que, en la mayoría de los casos, no cuentan con servicios básicos de acueducto, alcantarillado y recolección de basuras, por lo cual hacen vertimientos de aguas residuales en la quebrada y, en ocasiones, depositan residuos sólidos. Estos últimos también pueden ser depositados por habitantes de otras zonas, motivados por la falta de control (Universidad El Bosque, 2013). Adicionalmente, esos vertimientos y residuos sólidos sobre el cuerpo de agua propician un ambiente favorable para la introducción y propagación de plagas y enfermedades, afectando la salud humana.

Los vertimientos de aguas domésticas aumentan la materia orgánica disuelta en el agua, incrementando los nutrientes, lo que estimula la descomposición acelerada por parte de microorganismos y subiendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que, a su vez, disminuye el oxígeno disuelto, y empeora la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, lo que tiene un impacto negativo sobre la fauna y la flora tanto de la quebrada, como del ecosistema de la microcuenca. Por su parte, los residuos sólidos producen sedimentación, lo que disminuye el caudal o cantidad de agua, y hace que la concentración de materia orgánica aumente con respecto a la cantidad de agua existente.

La deforestación causa cambios en el uso del suelo que incentivan la consolidación de nuevas construcciones o espacios de ganadería, incrementando la expansión urbana en las áreas urbano-rurales. Todo eso genera alteración en el paisaje y presión sobre los cerros. Por otro lado, al disminuir la cobertura vegetal que rodea la quebrada se afecta la retención y absorción de agua, disminuyendo la cantidad de agua en la quebrada. La pérdida de cobertura vegetal también elimina los hábitats para las especies de fauna asociadas a este ecosistema.

### La microcuenca de la quebrada San Cristóbal ¿Un SSE en crisis?

La microcuenca de la quebrada San Cristóbal está ubicada en la zona nororiental de Bogotá, la ciudad más poblada de Colombia (Galvis, 2013; Secretaría Distrital de Ambiente, 2009) y sus ecosistemas nativos sufren los problemas que causa la expansión urbana. Algunas están en la ronda de quebrada o en el área declarada como Reserva Forestal, lo que los categoriza como ilegales de acuerdo con el Decreto 1504 de 1998 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1998). Esta situación genera malestar y pérdida de calidad de vida, dado que las personas que habitan allí se sienten en riesgo de perder lo que consideran como su hogar (Corrales Roa y Osorno Acosta, 2018).

A escala regional, la microcuenca hace parte de los cerros orientales y de la subcuenca Torca-Guaymaral (Universidad El Bosque, 2013). Los conflictos por el uso y tenencia de la tierra contribuyen a la expansión urbana hacia los cerros, lo que ha involucrado procesos de deforestación y cambios en el uso del suelo (Bohórquez Alfonso, 2009) que, a su vez, afectan el servicio ecosistémico de aprovisionamiento de agua (Universidad El Bosque, 2014) porque disminuyen las corrientes hídricas que nutren la quebrada San Cristóbal y mantienen su caudal (Tobón, 2009; Van Der Hammen, 1998). La conservación de la biodiversidad de las zonas urbanas y de los servicios ecosistémicos asociados a ella dependen, en gran medida, de toda el área de influencia (Garzón Díaz, 2014; Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010), por eso, los cerros orientales fueron declarados en 1977 como Reserva Forestal Protectora por parte del Ministerio de Agricultura (Secretaría Distrital de Planeación, 2007).

A escala local, la subcuenca Torca-Guaymaral también se afecta al recibir las aguas contaminadas con vertimientos de las aguas residuales domésticas y de los residuos sólidos que vienen desde la parte alta de la quebrada San Cristóbal (Universidad El Bosque, 2013; Osorno Acosta y Mayorga León, 2014). Esto genera colmatación por sedimentación, aumentando los riesgos por inundación (van der Hammen, 1998) y causa pérdida de la biodiversidad asociada a la subcuenca, incluyendo, el humedal Torca-Guaymaral (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).

La mayor evidencia de la crisis del SSE se da en la escala microlocal por la baja calidad del agua, donde

la cantidad de agua de la quebrada se mantiene principalmente por la llegada de aguas lluvias y los vertimientos líquidos por parte de la población que habita en su ronda. Además, los pobladores que viven cerca a la quebrada pierden calidad de vida al enfrentarse a riesgos en su salud, causada por plagas, enfermedades y malos olores; pérdida de sus viviendas, por deslizamientos, inundaciones, o reubicación por ilegalidad en sus predios; así como se afecta su felicidad, asociada a la belleza del entorno (Corrales Roa y Osorno Acosta, 2018: 142).


En estas circunstancias, el empobrecimiento del SE de aprovisionamiento del agua afecta directamente el bienestar humano de los habitantes de la microcuenca.

Las condiciones actuales del SSE de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal, son el reflejo del inadecuado control e intervención por parte de las instituciones públicas, encargadas de hacer cumplir las normas, especialmente las establecidas para el manejo del recurso hídrico y la expansión urbana hacia los cerros orientales de Bogotá (Corrales Roa y Osorno Acosta, 2018: 142).

## Conclusiones

Después de analizar el SSE de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal teniendo en cuenta las visiones de sus principales actores sociales, es posible concluir que, si bien se encuentra en un estado crítico o de no retorno, existe la posibilidad de poner límite a algunas de las dinámicas sociales que han llevado al deterioro del SE de aprovisionamiento hídrico, como la degradación del ecosistema y la contaminación del agua causados por la expansión urbana constante. Este límite debe venir desde las escalas local y regional, donde se encuentran los actores con la capacidad para tomar decisiones con efectos definitivos sobre el SSE. Como se ha señalado, las acciones que pueden ejecutar los actores de la escala microlocal para dar solución a los problemas relacionados con la legalidad del territorio y el manejo del recurso hídrico, los cuales afectan la calidad y cantidad de agua, son, a todas luces, insuficientes. Sin embargo, ellos son los que pierden mayor calidad de vida por el deterioro del SE. Así mismo, desde el punto de vista ecológico, es claro que la posibilidad de garantizar el aprovisionamiento de agua para la microcuenca depende de decisiones que involucran escalas ecosistémicas más amplias.



Este análisis del SSE fue posible gracias a la aplicación del método PARDI que permitió el diálogo entre las fuentes técnicas y la visión de los actores sociales involucrados que, en algunas oportunidades, no son tenidos en cuenta a pesar de ser fundamentales para entender el sistema. Metodológicamente se destaca la posibilidad de incluir diversas herramientas de recolección de información como las entrevistas y los talleres para escuchar e identificar nuevos actores, el diagrama ET social y ecológico que facilita el análisis temporal, y el diagrama causal donde se reflejan los puntos de conexión entre el sistema social y ecológico de la quebrada San Cristóbal. Tanto el método PARDI, como las demás herramientas incluidas en este trabajo pueden ser contempladas en futuros estudios que requieran entender de manera profunda un SSE. 

## Bibliografía

- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (1998). *Decreto 1504 de 1998*. Consultado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1259>
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (2000). *Decreto 619 de 2000*. Consultado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=3769>
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (2002). *Decreto 1729 de 2002*. Consultado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5534>
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (2011). *Decreto 575 de 2011*. Consultado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45006>
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (2012). *Decreto 1640 de 2012*. Consultado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=49987>
- BOHÓRQUEZ ALFONSO, I. A. (2009). *La frontera rural de bogotá: un debate sobre sostenibilidad ambiental y crecimiento urbano*. Consultado en: [http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion\\_digital/Conformacion\\_Vereda\\_Chorrillos/Frontera\\_Rural\\_Bogota-Bohorquez\\_I.pdf](http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Conformacion_Vereda_Chorrillos/Frontera_Rural_Bogota-Bohorquez_I.pdf)
- CAR. (2009). *Adecuación hidráulica y recuperación ambiental río Bogotá*. Bogotá: CAR. Consultado en: <https://www.orarbo.gov.co/es/el-observatorio-y-los-municipios/adecuacion-hidraulica-y-recuperacion-ambiental-del-rio-bogota>
- CORRALES ROA, E. y OSORNO ACOSTA, V. (2018). "Análisis de trade-off en el borde de una reserva forestal en el gradiente urbano-rural de Bogotá". *Territorios*, 38: 137 - 165.
- DÍAZ, S., et al. (2011). "Linking functional diversity and social actor strategies in a framework for interdisciplinary analysis of nature's benefits to society". *Proceedings of the National Academy of Sciences*: 895-902.
- ESPA. (2012). *Participatory modelling of wellbeing trade-offs in coastal Kenya (P-Mowtick)*. Consultado en: <http://www.espa.ac.uk/projects/ne-100324x-1>
- ETIENNE, M., DU TOIT, D. y POLLARD, S. (2011). "ARDI: a co-construction method for participatory modeling in natural resources management". *Ecology and Society*, 16 (1): 1- 14.
- FALLOT, A. (2013). *Guía metodológica PARDI - Problemática - Actores - Recursos - Dinámicas - Interacciones para el análisis de las dinámicas socio-ecológicas*. Consultado en: [http://hal.cirad.fr/file/index/docid/933599/filename/2013\\_08\\_Fallot\\_Metodologia\\_PARDI.pdf](http://hal.cirad.fr/file/index/docid/933599/filename/2013_08_Fallot_Metodologia_PARDI.pdf)
- GALVIS, L. A. (2013). "¿El triunfo de Bogotá? Desempeño reciente de la ciudad capital". *Coyuntura Económica*, XLIII (1): 199-236.
- GARZÓN DÍAZ, F. A. (2014). "Educación ambiental y desarrollo sostenible. El caso de los cerros Orientales de Bogotá, Colombia". *Revista Latinoamericana de Bioética*, 14 (1): 82-97.
- HOSPITAL DE USAQUÉN. (2012). *Diagnóstico local con participación social 2010-2012. Localidad 01 de Usaquén*. Consultado en: [http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Diagnosticos%2oLocales/Locales%2oPreliminares/01\\_Usaquen%2oEgn.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Diagnosticos%2oLocales/Locales%2oPreliminares/01_Usaquen%2oEgn.pdf)
- MARTÍN-LÓPEZ, B. y MONTES, C. (2011). "Biodiversidad y servicios ecosistémicos ante el cambio global". *Biodiversidad en España: base de la sostenibilidad ante el cambio global*, 6 (1): 444-465.
- MARTÍN-LÓPEZ, B., GONZÁLEZ, J. A. y VILARDY, S. (2012). *Guía docente ciencias de la sostenibilidad*. Bogotá: EdiPrint.
- MARTÍN-LÓPEZ, B., GÓMEZ-BAGGETHUN, E. y MONTES, C. (2009). "Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante". *Cuides. Cuaderno Interdisciplinario de Desarrollo Sostenible*, 3: 229-258.
- MATHEVET, R., ETIENNE, M. y LYNAM, T. (2011). "Water management in the Camargue Biosphere Reserve: insights from comparative mental models analysis". *Ecology and Society*, 16 (1): 1- 20.
- OSORNO ACOSTA, V. y BOHÓRQUEZ, D.C. (2014). "Aproximación teórica sobre el uso de la herramienta para el pago por servicios ecosistémicos (PSE) del recurso agua en cuencas hidrográficas con el bosque nativo". *Revista de Tecnología. Journal of Technology*, 13 (2) : 110 - 112.
- OSORNO ACOSTA, V. y MAYORGA LEÓN, S. L. (2014). "Calidad biológica de la microcuenca de San Cristóbal en la localidad de Usaquén, a través de estudios de bioindicación con macroinvertebrados bentónicos". *Revista de Tecnología. Journal of Technology*, 14 (1) : 77 - 84.
- RUIZ AGUDELO, C. A., et al. (2013). *Hacia una economía verde en Colombia: diseño e implementación de un esquema de Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE) en el marco del ordenamiento territorial. Fases de diseño e implementación temprana. Caso cuenca del río Ranchería*. Bogotá: Conservación Internacional Colombia.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE y CONSERVACIÓN INTERNACIONAL. (2010). *Política para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital*. Bogotá: Panamericana. Consultado en: [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=257cf7d3-01d4-43ad-9d68-148767917c44&groupId=55886](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=257cf7d3-01d4-43ad-9d68-148767917c44&groupId=55886)
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. (2009). *Agenda Ambiental localidad 1. Usaquén*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. Consultado en: [http://riosalitre.files.wordpress.com/2009/04/1\\_aa\\_usaquen2.pdf](http://riosalitre.files.wordpress.com/2009/04/1_aa_usaquen2.pdf)
- SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN. (2007). *Los caminos de los cerros*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN. (2009). *Conociendo la localidad de Usaquén: diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- TOBÓN, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua*. Quito: Caracola.
- UNIVERSIDAD EL BOSQUE. (2013). *Aportes para la ordenación el planeamiento del uso y manejo sostenible de los recursos hídricos de agua dulce en las microcuencas de la Localidad de Usaquén, Distrito Capital*. Bogotá: Universidad El Bosque, documento inédito.
- UNIVERSIDAD EL BOSQUE. (2014). *Caracterización y evaluación de la calidad biológica y fisicoquímica del agua de la microcuenca de San Cristóbal*. Bogotá: Universidad El Bosque, documento inédito
- VAN DER HAMMEN, T. (1998). *Plan ambiental de la cuenca alta del río Bogotá. Análisis y orientaciones para el ordenamiento territorial*. Bogotá: CAR.
- WESTOBY, M., WALKER, B. y NOY-MEIR, I. (1989). "Opportunistic management for rangelands not at equilibrium". *Journal of Range Management*, 42 (4): 266-274.