

04-020

METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINE THE ENVIRONMENTAL HEALTH OF FRESHWATER ECOSYSTEMS AND THEIR RELATIONSHIP WITH HUMAN HEALTH - TEUSACA RIVER.

Gutiérrez Fernández, Luis Fernando ⁽¹⁾; Gómez Rendón, Claudia Patricia ⁽¹⁾; Gutiérrez López, Carolina ⁽¹⁾; Huertas Valero, Mónica Gabriela ⁽¹⁾; Reyes, Jinnethe ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad El Bosque

The health of ecosystems today is perhaps the main concern of conservationists, for lotic systems there is an ideal tool for their characterization, however, currently the need to protect "per se" is surpassed by urgent issues, such as the relationship that the environment has with the human health of those living near these natural systems. Therefore, a 5-step methodology was designed to determine the relationship between ecosystem health and human health:

1. Identify the state of the water ecosystem (by means of a physical-chemical and biological characterization based on macroinvertebrates and bacterial microbiota).
2. Socio-demographic characterization of the riparian population.
3. Describe the territorial variables that affect the health of the water ecosystem and its influence on human health (by means of landscape ecology).
4. Determine the health index of the water ecosystem and of the riparian population of the Teusaca river (through the participatory construction of the health index of the water ecosystem and of the riparian population of the Teusaca river and its subsequent calculation).
5. Correlating the health of the water ecosystem and the health of the riparian population of the Teusaca river.

Keywords: Ecosystem health; human health; ecohealth.

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA PARA DETERMINAR LA SALUD AMBIENTAL DE LOS ECOSISTEMAS DULCIACUÍCOLAS Y SU RELACIÓN CON LA SALUD HUMANA -RIO TEUSACÁ.

La salud de los ecosistemas en la actualidad es quizás la principal preocupación de los conservacionistas, para los sistemas loticos existe una herramienta ideal para su caracterización, sin embargo, en la actualidad se ve superado la necesidad de proteger "per se", por temas urgentes, como lo es la relación que tiene el entorno con la salud humana de aquellas personas que viven en cercanías de estos sistemas naturales. Por ello se diseñó una metodología de 5 pasos para poder determinar la relación entre la salud de los ecosistemas y la salud humana; que fue:

1. Identificar el estado del ecosistema hídrico (por medio de una caracterización físico-química y biológica a partir de macroinvertebrados y de la microbiota bacteriana)
2. Caracterizar socio demográficamente la población ribereña
3. Describir las variables territoriales que inciden en la salud del ecosistema hídrico y su influencia en la salud humana (mediante la ecología del paisaje)
4. Determinar el índice de salud del ecosistema hídrico y de la población ribereña del río Teusacá (mediante la construcción participativa del índice de salud del ecosistema hídrico y de la población ribereña del río Teusaca y su posterior calculo)
5. Correlacionar la salud del ecosistema hídrico y la salud de la población ribereña del río Teusacá.

Palabras claves: Salud de los ecosistemas; salud humana; ecosalud.

Correspondencia: Luis Fernando Gutiérrez Fernández
postgrados.ingenieria@unbosque.edu.co / gutierrezluis@unbosque.edu.co



©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. INTRODUCCIÓN

El abordaje metodológico que se presenta a continuación es el resultado de un proyecto de investigación financiado por la Universidad El Bosque y presentado a la undécima convocatoria interna para la financiación de proyectos de investigación e innovación tecnológica año 2019, en el que se pretende relacionar la salud del ecosistema en este caso de la subcuenca del río Teusacá que es un tributario del río que discurre por la capital colombiana, el Bogotá (uno de los ríos más contaminados a nivel mundial), con la salud humana y la relación existente entre salud-enfermedad.

Es indudable que cada día es más fuerte la intervención de la actividad humana sobre los ecosistemas, traduciéndose en conflictos ambientales (naturaleza- ser humano), lo que trae como consecuencia el detrimento de la calidad ambiental, representada en la destrucción de la estructura eco-sistémica y por ende su funcionamiento, acarreando la disminución de su valor intrínseco como fuente de vida. Presentándose pérdida del paisaje natural que trae como consecuencia, el surgimiento de impactos ambientales adversos con incidencia no solo para la salud del ecosistema sino de los servicios que éste proporciona para el ser humano, particularmente en lo que hace referencia al recurso hídrico, el cual está íntimamente relacionado con la salud humana y factores de exposición.

Esta relación ecosistema-salud humana aparece con fuerza en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, promovida a inicios de siglo XX por las Naciones Unidas, en donde el ecosistema se describe como el complejo de comunidades vivas (incluida la humana) y del ambiente no vivo, en interacción a través de procesos ecológicos, creando una unidad funcional, que proporciona beneficios a los seres humanos (Secretaría de la Convención de Ramsar. 2010).

En Colombia y el mundo, el conocimiento de la microbiología del agua es muy importante en la producción agrícola y la salud humana, de manera que se pueda dar un manejo excelente del mismo, partiendo del principio que su calidad es imprescindible y fundamental para prevenir la enfermedad.

Por ello el presente abordaje metodológico incluye la evaluación de los parámetros físico-químicos, los biológicos y los asociados a la microbiota del agua del río Teusacá, así como, un análisis de las condiciones de salud de la población que hace uso del recurso hídrico.

2. ANÁLISIS DEL CONTEXTO PARA DETERMINAR CALIDAD DE AGUA EN COLOMBIA

Para determinar la calidad del agua son conocidos diferentes parámetros entre los cuales son importantes los de naturaleza físico-química (conductividad eléctrica, pH), química (nutricionales y Fracciones de carbono) y microbiológica (carbono de biomasa microbiana, respiración microbiana y acción enzimática), los cuales deben ser consecuentes con lo exigido en Colombia por el Decreto 2115 de 2007 (expedido por los Ministerios de la Protección Social y el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial); dentro de estos, uno de los más importantes es el componente microbiológico que sirve como indicador del estado general del agua, debido a que una buena actividad microbiana es reflejo de condiciones físicoquímicas óptimas para los procesos metabólicos de los microorganismos incluyendo bacterias, hongos, algas, actinomicetos; los cuales actúan sobre los sustratos orgánicos y cultivos asociados, de manera que se convierten en un marcador útil para evaluar la calidad del agua, interviniendo en el establecimiento de ciclos biogeoquímicos y de salud del ecosistema en general.

Adicional a lo anterior, en el mundo se ha empleado el uso de los macroinvertebrados acuáticos (y muy especialmente los insectos) como indicadores de la calidad de las aguas de

los ecosistemas (ríos, lagos o humedales) (Prat, et al. 2009; Roldán-Pérez, G. 2016), por ello, se propone realizar una caracterización de la subcuenca de estudio, con dos índices: BMWP (Biological Monitoring Working Party), y EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) que son los más utilizados para el seguimiento de los ecosistemas dulceacuícolas (Gamboa et. al., 2008), lo cual permitirá realizar un análisis integral con los valores fisicoquímicos y los resultados biológicos del agua para determinar la salud del ecosistema hídrico. La Unión Europea ha desde los años 50's ha sido líder en este proceso (Hynes, 1959; Illies, & Botosaneanu. 1963), permitiendo desarrollar una metodología robusta y que ha permitido un conocimiento del estado ecológico de los ríos y lagos europeos, lo cual sirvió de base para lograr una sorprendente recuperación de éstos ecosistemas en los últimos años (Roldán-Pérez, G. 2016).

Como se ha mencionado, el agua engloba diversas características físico-químicas, biológicas y bacteriológicas que permiten interpretar su calidad y que se traduce en efectos sobre la salud del geosistema que lo contiene y la población que lo sirve. En Colombia estableció el índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano como el que lee la confiabilidad del agua que surte a las poblaciones. Para los principales municipios del área de la subcuenca del Río Teusacá, el IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad de Agua) que realiza el Ministerio de Salud y Protección Social, se evidencia en el Anexo 1.

En el IRCA se evidencia que en los municipios de la Calera, Guasca y Ubaque en el área urbana a pesar de reportar in Índice bajo, se evidencia la necesidad de hacer gestión hídrica para al menos mantener sus resultados; convirtiéndose caso especial el municipio de Ubaque que a la luz de los resultados tipifica la necesidad inminente de la gestión sobre el agua en aras de favorecer su calidad.

Ahora bien, el IRCA que en su resultado sintetiza la calidad de diferentes parámetros físico químicos y bacteriológicos amerita el análisis exhaustivo de ellos en contexto geosistémico que posibilite valorar su salud en el marco de la complejidad como hallazgo profundo de su realidad, donde se interprete su incidencia en los suelos, el plancton, bentos y hasta su propia belleza escénica, dando cabida a la interpretación a la luz del pensamiento sistémico como contribución a una mejor comprensión de los límites del problema, su magnitud, y su dinámica.

“Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, es el sexto objetivo de desarrollo sostenible, y se establece en la agenda 2030 (CEPAL, 2016) que: “la escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria, las opciones de medios de subsistencia y las oportunidades de educación para las familias pobres en todo el mundo” (p.19).

Lo anterior demuestra que las dos categorías en el enfoque de la Ecosalud no pueden ser distantes la una de la otra: Salud y ecosistemas, lo que implica conocer la integralidad entre ellas toda vez que coexisten y, por tanto; la evaluación, análisis e interpretación de los resultados obedece a sustentarlos a través de un enfoque ecosistémico que “reconoce la presencia de subsistemas que difieren fundamentalmente por los grados de complejidad” (Betancourt, et al, 2016, p. 120) y que por tanto orienta su abordaje desde un enfoque más amplio obligando entonces a entender: i) el ecosistema (referencia de la biodiversidad) no como un concepto unívoco y biocéntrico sino en una dimensión amplia para lo cual acometerlo desde lo geosistémico (referencia de la geodiversidad), explicará entonces el funcionamiento modificado por la sociedad y considerando la variable espacio temporal, es decir; tal alcance admite la antropización de la naturaleza, ii) la dimensión socioeconómica y la salud humana.

Se busca con ello dar un enfoque en la salud del ecosistema, más que en la enfermedad en virtud al abordaje teórico, filosófico, epistemológico y metodológico a partir de una mirada

sobre los determinantes sociales y ambientales de la salud de las personas y de los ecosistemas (Betancourt, et al, 2016).

Con el propósito de conocer la relación de la salud humana con el componente hídrico, se definió como unidad de análisis la subcuenca del río Teusacá, conformada por diversas unidades y estructuras funcionales cada una con entidad reconocible o propia, delimitada naturalmente, habiéndose priorizado según unidades de cobertura y uso actual del suelo en ecosistemas de páramo, apropiando el Parque Nacional Natural Chingaza como su máximo exponente, el bosque alto andino representado en varias reservas y relictos, el embalse San Rafael (importante fuente de agua para la ciudad de Bogotá), el parque ecológico Matarredonda, así como humedales que integran este espacio, al igual que sabanas con pastizales y agroecosistemas (Planeación Ecológica Ltda. & Ecoforest Ltda, S.F.), todos ellos con un valor natural intrínseco, con un potencial socioambiental y cultural diverso que debe ser reconocido como elementos sustanciales para la vida, al entrañar servicios no cuantificados ni valorados como lo es la salud ambiental, de ahí que reconocer que los ecosistemas vivifican la salud para sí mismos y la humanidad significa reconocer el valor ambiental más allá de la propia frontera y dinámica ecológica.

El área total de la subcuenca es de 35.818 hectáreas y el cauce principal, tiene una longitud de 69 Km, a ella pertenecen los municipios de: La Calera, Sopó, Guasca, Bogotá, Tocancipá, Choachí, Chía y Ubaque. En cada una de estas unidades territoriales, se realiza la planificación de los recursos naturales, el uso del suelo y el ordenamiento de forma poco articulada intermunicipalmente, aunque en los instrumentos de ordenamiento, se reconozca a la subcuenca como la estructura ecológica principal, a partir de la cual es necesario pensar el territorio.

Lo anterior, conlleva a que no se garantice la protección y el uso sostenible del recurso hídrico, evidenciándose diferencias significativas entre el estado de conservación y preservación en la parte alta de la subcuenca, en donde se realizan principalmente actividades agropecuarias intensivas (como el cultivo de papa), mientras que en la parte baja se concentran actividades agroindustriales como: ganadería lechera y cultivos de flores (Planeación Ecológica Ltda. y Ecoforest Ltda, S.F). A esto se aúna la expansión urbana de municipios dormitorio como La Calera que de un perímetro urbano de casi 48 hectáreas para el año de 1995, paso a 90 hectáreas en el 2005, casi duplicando su superficie antropizada, con un crecimiento desordenado (Poveda, R. 2015), originando un detrimento del ecosistema hídrico, de la cantidad y calidad del agua, altas cargas de sedimentos en las redes de drenaje natural, afectando el desarrollo natural de las especies y los procesos ecológicos (Muñoz, S & Beltrán D. 2010).

En Sopo se dio un proceso similar de urbanización continuo afectando zonas naturales de importancia hídrica, hasta que el 2007, año en el que se realizó la revisión del Plan Básico de Ordenamiento Territorial, fueron reguladas con mayor fuerza las construcciones sobre la cota de 2.800 msnm (Rodríguez, A. 2013) y posteriormente se expide la Resolución 1766 de 27 de octubre de 2016 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), en donde se adopta el Plan de Manejo de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, donde se encuentra el nacimiento del río bajo estudio.

Los procesos señalados anteriormente, tienen unos efectos sobre el estado de la salud humana, por ejemplo, para la Calera se encuentra en el Plan de Desarrollo Municipal 2008 - 2011 adoptado mediante acuerdo No. 003 de 2008, que existe un “alto Índice de patologías respiratorias, gastrointestinales y de la piel, las cuales podrían atribuirse a las condiciones climáticas y a la calidad del agua” (p.21), concordando con las cifras a nivel mundial, que de acuerdo con Omarova et al, 2018, quienes mencionan que los parásitos protozoarios se identifican como el segundo etiológico más frecuente de mortalidad en niños menores de cinco

años y son responsables de 1.7 mil millones de casos de diarrea, lo que lleva a 842,000 muertes por año (p. 1).

La necesidad de un enfoque ecosistémico para la gestión del agua, es actualmente una necesidad, encauzándose en el ambiente como proveedor de bienes y servicios, que garanticen el bienestar humano, incorporando el funcionamiento de la cuenca y haciendo un reconocimiento explícitamente de la necesidad de mantener la salud del ecosistema hídrico, por ejemplo, a través de la protección de la cobertura vegetal en las partes altas, el mantenimiento del flujo de los ríos para las personas río abajo o la reducción de la contaminación para obtener una buena calidad del agua (Bergkamp, G. et al, 2003); “la relación entre los bosques y el agua es, por consiguiente, un asunto crítico que debe ser objeto de atención prioritaria” (Calder, et al, 2007. P. 3).

3. TIPO DE ESTUDIO.

Lineal, correlacional, exploratorio

Población y muestra.

Se escogieron 5 puntos de muestreo a lo largo de la subcuenca del río Teusaca, por lo tanto, la población ribereña que se caracterizará, estará vinculada con los sitios seleccionados.

Para la selección de los lugares de trabajo en campo y muestreo se subdividió la cuenca en: parte alta, transición, media, transición y baja, de forma que se tengan 5 áreas de muestreo, siendo seleccionado 1 punto en cada una, para un total de 5 estaciones de monitoreo, realizando mediciones en época de lluvias y en período seco, de acuerdo a la climatología bimodal que se presenta.

Para garantizar la calidad y usabilidad de los análisis en publicaciones científicas, los físico-químicos se efectúan en laboratorio acreditado por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM), los microbiológicos (comunidad bacteriana mediante 16SrRNA) y los biológicos se realizarán por triplicado.

4. APROXIMACIÓN METODOLÓGICA PARA DETERMINAR LA SALUD AMBIENTAL DE LOS ECOSISTEMAS DULCIACUÍCOLAS Y SU RELACIÓN CON LA SALUD HUMANA –CASO DE ESTUDIO CUENCA DEL RIO TEUSACÁ

Objetivo 1. Caracterizar el estado del ecosistema hídrico y de la población ribereña del río Teusaca

Para realizar este objetivo, usarán los 5 puntos de muestreo seleccionados a lo largo de la subcuenca del río Teusaca, que abarcan desde el nacimiento del río hasta su tributo en el río Bogotá en el municipio de Sopó, con el fin de construir la base cartográfica digital de la investigación, en donde se determinarán las diferentes unidades de paisaje, con el fin de caracterizar el ecosistema y definir con base en la ecología actual de la zona de los lugares

donde se realizará el muestro (físico-químico, biológico y de la microbiota bacteriana), mismos que servirán para guiar la caracterización sociodemográfica de la población ribereña.

- Caracterización físico-química

Se recogerán datos en campo y se procesarán las muestras en laboratorio certificado, para lo cual se asegurará la cadena de custodia.

Aforo de caudal: se emplearán dos métodos uno manual que consiste en lanzar esferas de velocidad y registrar el tiempo en el que dura atravesar una esfera el tramo seleccionado en la fuente; y el digital que es mediante el uso de micromolinetes: registra datos de velocidad de la corriente de agua en los distintos sectores a lo ancho del río, la hélice de equipo produce movimiento y registra la velocidad en metros/seg.

Conductividad: equipo digital de lectura directa dentro de la fuente.

Salinidad: Equipo digital de lectura directa dentro de la fuente, arroja resultado en %

Sólidos Totales Disueltos STD: Equipo digital de lectura directa dentro de la fuente, arroja resultado en mg/l

pH: se utilizarán dos métodos digital y kit de campo marca Merck. En el digital el electrodo arroja resultados del pH en la fuente y se realiza lectura directa; con el Kit se realiza una lectura cualitativa.

Nitrato: Kit de campo marca Merck. Se obtienen medidas cuantitativas aproximadas en mg/l.

Nitrito: Kit de campo marca Merck. Se obtienen medidas cuantitativas aproximadas en mg/l.

Amonio: Kit de campo marca Merck. Se obtienen medidas cuantitativas aproximadas en mg/l.

Oxígeno disuelto: Se utilizarán dos métodos, digital (oxidímetro) y kit de campo marca Merck. El oxidímetro permite lectura directa en la fuente y la concentración es en mg/l. En el kit se realiza fijación de muestra, titulación y arroja la concentración en mg/l.

Se realizarán las mediciones anteriores en los 5 puntos de muestreo seleccionados y como se mencionó se recolectarán muestras para procesar en laboratorio certificado.

- Caracterización biológica

Identificación de la calidad biológica, mediante el uso de dos índices: BMWP (Biological Monitoring Working Party) y el EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). Se escogieron estos índices que emplean organismos (macroinvertebrados) para realizar la evaluación de la calidad de agua, ya que han sido ampliamente utilizados para este fin, con demostrados resultados (Alba-Tercedor, 1996; Figueroa et al, 1996; Rosenberg et al, 1997; Leiva, 2003; Alba-Tercedor, et al., 2004; Rosas et al, 2014; Roldán-Pérez, G. 2016)

El muestreo se realizará utilizando la metodología empleada por Marjorie Sánchez Herrera (2005) y que se describe a continuación: para la captura de los macroinvertebrados se utilizarán redes D'Net, en las muestras se incluirán sedimentos pedregosos, arenosos, y elementos de la vegetación circundante. Una vez recolectadas las muestras, se preservarán usando solución FAGA (1:1 Formol, alcohol, glicerina y agua); se marcarán con las coordenadas y elementos climatológicos del momento de la captura, para posteriormente ser analizadas en condiciones de laboratorio donde se emplearán cajas Petri, y mediante uso de estereoscopio y claves taxonómicas se identificarán los especímenes hasta género o especie de ser posible

Para cada uno de los taxones identificados se anotarán elementos ecológicos identificados en campo como: frecuencia de aparición, número de individuos por familia; posteriormente se

realizará el ajuste del puntaje de las familias dando como resultado el BMWP (Sánchez Herrera, M., 2005), para el índice EPT se usarán las mismas muestras, utilizando las ninfas de Ephemeroptera y Plecoptera y las larcas de Trichoptera (Zuñiga & Cardona, 2009).

Para el análisis de datos adicionales a los índices citados, se evaluarán el índice de diversidad propuesto por Shannon & Weiner (índice de biodiversidad alfa), el índice de similitud de Sorens (índice de biodiversidad beta), y el índice de similitud de Jacard para poder realizar una comparación entre las diferentes estaciones de muestreo. Para comparar la relación existente entre los resultados físico-químicos con los biológicos, se realizará un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC), de acuerdo a lo propuesto por Ter-Braak en 1986.

En cuanto a permisos para realizar esta colecta se anota que el investigador principal del proyecto se encuentra dentro de los investigadores relacionados en la Resolución 01470 de 17 de noviembre de 2017, por la cual se modifica el numeral 1 del Artículo Segundo de la Resolución 198 del 29 de febrero de 2016, que otorga un Permiso Marco de Recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial, en todo el territorio colombiano, a la Universidad El Bosque.

En cuanto al transporte de las muestras biológicas recolectadas, es de anotar como lo señala (Martín, y otros, 2010), que los macroinvertebrados presentan una gran facilidad de muestreo, transporte y almacenamiento. En todo caso, se seguirán las condiciones establecidas en el Protocolo de Monitoreo del agua, establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, en 2018, y el estudio preliminar del uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada Mamarramos y en un sector del río Cane en el Santuario de Fauna y Flora Iguaque, desarrollado por Luna-Berbesí en 2009.

Todas las muestras serán registradas, con fecha, en el cuaderno o formato del laboratorio. La información de la etiqueta del recipiente que contiene la muestra debe ser incluida en el cuaderno, si se usó más de un recipiente se anotará el número de ellos.

- Caracterización de la microbiota bacteriana:

i) Extracción de DNA, librerías genómicas y secuenciación

Una vez las muestras lleguen al laboratorio serán procesadas a la mayor brevedad posible. Inicialmente las muestras de agua serán sometidas a un proceso de filtración utilizando una membrana de celulosa 0,45 µm (PALL) y luego una membrana de acetato de celulosa de 0,2 µm (Sartorius) mediante un sistema de filtración al vacío. (Bohorquez L, et al 2012, Fresia P, et al 2019)

El ADN metagenómico de las muestras será extraído haciendo uso del kit DNeasy (Qiagen) o el kit de MoBio Powersoil DNA isolation (MOBIO Laboratories, Carlsbad, CA; USA). De acuerdo a los resultados obtenidos en la estandarización del método de extracción. Posteriormente, todas las extracciones de ADN serán cuantificadas haciendo uso del fluorómetro Qubit® 2.0 (Life Technologies Corporation, Carlsbad, CA; USA) y se almacenarán a -80° C.

El análisis de las comunidades bacterianas se realizará mediante el estudio de la región hipervariable V3 y V4 del gen del 16S rRNA y se usarán primers universales para el estudio de Arqueas, la secuenciación se realizará mediante tecnología Illumina con el secuenciador MiSeq

El DNA extraído previamente se amplificará mediante PCR haciendo el uso del iniciador 341F (5'CCTACGGGNGGCWGCAG3') y 805R (5' GACTACHVGGGTATCTAATCC3'), para bacterias y ARCH 109F (5'ACKGCTCAGTAACACGT3') y ARCH915R (

5'GTGCTCCCCGCCAATTCCT3') para arqueas. Todas las muestras se secuenciarán haciendo uso de "barcodes" o etiquetas para cada muestra y una estrategia Paired End de 300 pb (PE300) (Bohorquez L, et al 2012, Fresia P, et al 2019).

ii) Perfil taxonómico de la comunidad bacteriana mediante 16SrRNA

El primer lugar se realizan análisis de alfa diversidad, con los cuales se determinará que especies teóricas o linajes existen y así mismo, poder determinar y describir la diversidad y riqueza presente en los sitios muestreados. En un segundo análisis se identificará la diversidad beta, en donde se comparará la diversidad presente en los diferentes sitios muestreados, identificando los taxa o linajes que se comparten entre muestras y entre las distintas condiciones del agua ("the core microbiome") así como la determinación de una posible comunidad dada una condición.

- Caracterización sociodemográfica de la población ribereña:

Se realizará un estudio cualitativo, exploratorio descriptivo, desde una perspectiva holística e integradora, con el cual se caracterice la relación, la conexión y la dinámica de la familia, con el medio ambiente y su ecosistema, partiendo de la evidencia social y el proceso hacia el diagnóstico de salud, que permita identificar las necesidades y recursos con que cuenta la población ribereña del Teusacá y de esta forma proponer soluciones viables a sus problemáticas ambientales y de salud.

- Diseño de la ruta: A partir de la información cartográfica, se diseñará la ruta o recorrido para el abordaje del componente social contemplando los puntos de monitoreo, el que podrá ser ajustado en campo.

- Recolección de datos: Se iniciará con el diagnóstico de salud poblacional, utilizando propuesta en la Estrategia de Entorno Saludable, herramienta útil en la salud pública porque permite identificar las necesidades de la población y los recursos con que cuenta la comunidad para proponer soluciones viables a sus propias problemáticas. Para este diagnóstico se incluyen los siguientes elementos:

- a. necesidades de la población, problemas sociales y de salud-enfermedad (riesgos, morbilidad y mortalidad),

- b. determinantes sociales

- c. recursos y servicios

- d. fortalezas de la población. (Arenas-Monreal, Cortez-Lugo, Parada-Toro, Pacheco-Magaña, & Magaña-Valladares. 2015)

- e. determinantes ambientales: Calidad del agua, estado de los bioindicadores, análisis territorial

Para desarrollar el diagnóstico se realizará de acuerdo con lo que denomina la Estrategia de Entornos Saludables –EVS. Para ello se hará una reunión comunitaria, en la cual “se inicia el proceso de participación social, se identifica la problemática del saneamiento básico en la comunidad, se identifican riesgos a la salud” (Comité Técnico Nacional de entornos saludables, SENA & OPS, 2010); adicionalmente se incluirán todos aquellos elementos que esta investigación identifique como necesarios, de forma que se puedan establecer a nivel general los 5 puntos señalados al comienzo (El documento 2010, es una revisión y actualización del Manual Hacia una Vivienda Saludable “Que viva mi hogar 1ª edición: OPS, 2003 Bogotá, Colombia).

El enfoque anterior, va a permitir promover la participación activa de la población asentada en la subcuenca del río Teusaca, e identificará los problemas, desde las perspectivas de la

comunidad y del equipo investigador, asumiendo el diálogo de saberes como enfoque y acción, de forma que sea un punto de encuentro entre la ciencia y el sentido común, en torno a las cuales puedan construirse formas de entendimiento compartidas y prácticas social y científicamente aceptables. (Restrepo-Ochoa, D. 2012)

“El proceso para realizar un diálogo de saberes parte de los principios de la investigación cualitativa, ya que no se busca la significancia estadística de un fenómeno, sino la comprensión del mismo” (Hernández-Rincón, Lamus-Lemus, Carratalá-Munuera, & Orozco-Beltrán, 2017, p.244)

El diálogo de saberes hace parte de la metodología de Investigación Acción – Participativa (IAP); la cual se basa en la interacción entre los distintos actores para el reconocimiento de los problemas de su territorio, a través del intercambio de ideas, sentires, imágenes, creencias, nociones, conceptos, prácticas, historias, deseos, vivencias y emociones para alcanzar la comprensión común y la plenitud de la vida. (Jácome & Bayona, 201; Salas, 2012; Merçon, Camou, Núñez, 2014)

Lo anterior, va a permitir reconocer el sentido histórico de las representaciones y las prácticas sociales acerca de la enfermedad y el tratamiento a nivel individual, colectivo y familiar que dan sentido al pensamiento comunitario – colectivo de las personas de esta zona (Bravo, Guarín, Pepinosa, & Guarín, 2012; Hernández-Rincón, Lamus-Lemus, Carratalá-Munuera, & Orozco-Beltrán, 2017).

Para realizar el dialogo de saberes se tendrá, como orientación los tres pilares metodológicos: transdisciplinariedad, participación y género / equidad, sugeridos por Lebel J (2005).

Población de estudio

A continuación, se describe el territorio donde se encuentra asentada la totalidad de la población que hace parte de la cuenca:

El área total de la subcuenca es de 35818,42 hectáreas y el cauce principal, tiene una longitud de 69 Km. Tiene como tributarios importantes las quebradas Encenilla – Pojocha, El Carrizal, San Cayetano, Piedra Parada, El Asilo, Aposentos, Aguas Claras y Los Laureles (CAR, 2006); hace parte de la cuenca alta del Río Bogotá, bordeando los cerros orientales de la ciudad de Bogotá.

Dentro de la subcuenca tienen territorio los siguientes municipios: Bogotá, La Calera, Sopó, Tocancipá, Chía, Choachí, Ubaque y Guasca, todos ellos de manera parcial. Sin embargo, para la presente investigación se va a trabajar únicamente en la parte rural (escoger la zona rural, radica en una mayor relación de sus habitantes con el río) de los municipios que tienen una mayor presencia en la cuenca como lo son: La Calera, Sopo, Guasca y Bogotá, lo que representa el 96.73% de la Cuenca.

Para la zona de Bogotá cabe señalar que, a pesar de ser el cuarto municipio en área sobre la cuenca con 2841 hectáreas sobre la cuenca, a nivel poblacional no es representativo el trabajo en esta zona a nivel poblacional, ya que de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial esta zona es de conservación, ya que hace parte de la declaratoria de Reserva Forestal Protectora de los Cerros Orientales, que se realizó desde 1977. (El Decreto 2811 de 1974 del Gobierno Nacional, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales, define en el Artículo 204, lo que se considera Área Forestal Protectora, entendida como una “zona que debe ser conservada permanentemente con bosques naturales o artificiales, para proteger estos mismos recursos u otros naturales renovables. En el área forestal protectora debe

prevalecer el efecto protector y sólo se permitirá la obtención de grupos secundarios del bosque”).

El mínimo de personas objeto de la investigación es de 484 personas y el máximo 1115 personas, con un nivel de confianza de 80% y del 95% respectivamente.

Criterios de inclusión de la población ribereña en estudio (se debe cumplir al menos dos criterios)

- que realice uso del agua del río Teusaca para consumo, higiene, manejo de alimentos
- que se ubiquen en el área rural
- que se encuentren cercano a los puntos de muestreo seleccionados (donde se monitoreará los parámetros físico-químicos, biológicos y de microbiota bacteriana)
- que se encuentren cercanos a puntos de vertimientos (legales e ilegales)
- que se encuentren en lugares donde existe presencia de olores ofensivos
- que se encuentre cercano a cultivos con un elevado uso de agroquímicos
- que se trate de familias con asentamiento permanente en la zona
- Que se trate de familias nucleares con vínculo sanguíneo, que dependan económicamente del jefe o cabeza de familia.

Criterios de exclusión

- Familias que tengan servicio de acueducto
- Que presente enfermedades crónicas no transmisibles (cáncer, diabetes etc)
- Enfermedades respiratorias de base crónicas (EPOC, asma, rinitis alérgicas etc)
- Pacientes en tratamiento por enfermedades de base
- Que sean familias que tengan menos de 1 año de residir en la zona
- Familias que reciban trabajadores temporales por cosechas o por trabajos agrarios

Objetivo 2. Describir las variables territoriales que inciden en la salud del ecosistema hídrico y su influencia en la salud humana.

En este objetivo se utilizará la ecología del paisaje ya que “aporta un marco de integración, que hace factible la visión de conjunto de los ecosistemas desde ángulos o disciplinas diversas” (Etter, 1991, p9). Entendiendo paisaje como “una porción de la superficie terrestre con patrones de homogeneidad, consistente en un sistema complejo conformado por la actividad/interacción de las rocas, el agua, el aire, las plantas, los animales y el hombre, que por su fisonomía es una entidad reconocible y diferenciable de otras vecinas” (Zonneveld 1979, tomado de Etter, 1991, p.15).

• Análisis cartográfico

El análisis cartográfico se realizará por medio del programa ArcGis 10.7 y sus módulos 3D Analyst y SpatialAnalyst, mediante esta herramienta se realizará un cálculo de pendientes con los módulos 3D Analyst y Spatial Analyst, y se seleccionarán las áreas que cumplen condiciones de pendiente y una superficie igual o superior a 0.5 ha; posteriormente se describirán los usos actuales del suelo y se realizará un análisis de las diferentes capas de información (Pucha-Cofrep, et al 2017).

• Cálculo de índices de diversidad paisajística

El cálculo de índices de diversidad paisajística se realizará utilizando la aplicación IndiFrag, que es una herramienta para ArcGis desarrollada a partir de la compilación de un conjunto exhaustivo de índices de fragmentación del paisaje, que permite automatizar su cálculo de

forma completa, para ejecutar la herramienta es necesario tener instalada la versión 10.1 de ArcGis (o posteriores) y la versión 2.7 de Python o superiores (Sapena & Ruiz, 2015).

Objetivo 3. Determinar el índice de salud del ecosistema hídrico y de la población ribereña del río Teusaca

Este objetivo se dividirá en dos actividades: construcción de los índices de forma participativa y cálculo de los mismo.

- Construcción participativa del índice de salud del ecosistema hídrico y de la población ribereña del río Teusaca

Con la información biológica, físico-química y microbiológica (bacterias), al igual que con la información sociodemográfica se construirán dos índices, uno para cuantificar la salud del ecosistema y otro para valorar la salud humana de la población ribereña del río Teusaca. Esto se realizará mediante herramientas de decisión multicriterio, la construcción de funciones de valor y la participación de expertos y comunidad local.

Cabe aclarar de acuerdo a lo anterior, que en la presente investigación se entiende por expertos, a aquellas personas que tienen formación universitaria y que están vinculados con el tema de investigación. Por lo tanto, los expertos que serán invitados hacen parte de las ciencias de la salud y de las ciencias ambientales; para su participación se realizará una convocatoria a través de la red de educación en salud (para vincular expertos de las ciencias médicas) y a través de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, para que los profesionales que trabajan en el componente hídrico participen como expertos de las ciencias ambientales (es pertinente señalar que si alguna persona cumple con los criterios para ser considerada como experto o comunidad local, quiere participar y no se le invito, podrá hacerlo).

En cuanto a comunidad local, se realizará una invitación a aquellas personas que fueron identificadas durante la Caracterización sociodemográfica de la población ribereña, y que resaltaron por ser personas proactivas y con un gran interés en los resultados del proyecto (es pertinente señalar que si alguna persona de la comunidad local, quiere participar y no se le invito, podrá hacerlo).

Existen varios modelos que pueden ser utilizados en un proceso de toma de decisiones, sin embargo, no hay un único mejor modelo, sino más utilizado; por lo que se propone utilizar dos técnicas inicialmente que son las de mayor reconocimiento en la Decisión con el Análisis Multicriterio (Multi-Criteria Decisión Análisis, MCDA), que son: el proceso analítico jerárquico (AHP en inglés) y el proceso analítico en red (ANP en inglés), propuestos ambos por Tomas Saaty en 1980 y 2001, respectivamente.

De igual forma para poder realizar un índice compuesto se utilizará la construcción de funciones de valor para homogeneizar valores heterogéneos, esta herramienta ha sido

utilizada por algunos autores en estudios de carácter ambiental, como lo son: Canter, 1996; Beinart, 1997; Cloquell, 2003; Sánchez, 2005; y Gutiérrez-Fernández, 2015.

Para la participación de expertos y comunidad local se utilizará, el método Delphi, que ha sido empleado para investigar en investigaciones con variados propósitos como: la defensa, la educación, la agricultura, la salud, el turismo y los negocios (Cruz, 2009; Iljaž, 2011)

- Cálculo de los índices

De acuerdo a los datos obtenidos durante el objetivo 1, se procederá a alimentar los índices construidos.

Objetivo 4. Correlacionar la salud del ecosistema hídrico y la salud de la población ribereña del río Teusaca

De acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo 3, se seleccionará el método estadístico adecuado para buscar la correlación entre el índice de salud del ecosistema hídrico y el de la salud de la población ribereña del río Teusaca, para lo cual se empleará el software IBM SPSS Statistics Versión 25.

REFERENCIAS

- Acuerdo No 03. (2008). Plan de desarrollo municipal la calera 2008 – 2011 - Construyendo Confianza. La Calera, Colombia.
- Armenteras, D., González, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N., & Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Revista Ecosistemas*, 25(1), 83-89.
- Aguilar González, B. (2009). El Índice Integral de Salud de Ecosistemas (IISE): un indicador multicriterio de sustentabilidad netamente latinoamericano. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 13, 057-77.
- Ballesteros, Y. V., Zúñiga, M. C., & Rojas de Hernández, A. M. (1997). Distribution and structure of the order Trichoptera in various drainages of the Cauca River basin, Colombia, and their relationship to water quality. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Trichoptera* (pp. 19-23). Ohio: Ohio Biological Survey.
- Beinat, E. (1997). *Value functions for environmental management*. Kluwer Academic Publishers. Boston, pp 163 – 167. I.S.B.N. 0-7923-4662-9.
- Betancourt, Ó., Mertens, F., & Parra, M. (2016). *Enfoques ecosistémicos en salud y ambiente: aportes teórico-metodológicos de una comunidad de práctica*. Ediciones Abya-Yala. Quito-Ecuador
- Bergkamp, G., Orlando, B. and Burton, I. (2003). *Change. Adaptation of Water Management to Climate Change*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. ix + 53 pp.
- Bohorquez, L. C., Delgado-Serrano, L., López, G., Osorio-Forero, C., Klepac-Ceraj, V., Kolter, R., ... & Zambrano, M. M. (2012). In-depth characterization via complementing culture-

independent approaches of the microbial community in an acidic hot spring of the Colombian Andes. *Microbial ecology*, 63(1), 103-115.

Calder, I., Hofer, T., Vermont, S., & Warren, P. (2007). Hacia una nueva comprensión de los bosques y el agua. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, (229), 3-10.

Canter, L.W. (1996). Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. McGraw- Hill/ Interamericana de España, S.A.U. I.S.B.N. 84-481-1251-2.

Casallas, M., Condia, A., Medina, D., & Torres, L. (2007). Caracterización de la visita domiciliaria como técnica de intervención de Trabajo Social en instituciones de salud, empresas y comisarías de familia de Bogotá. *DC Revista Tendencia & Retos*, 12, 239-241.

Carvacho, C. (2012). Estudio de las comunidades de maroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari, Chile. Tesis de maestría. Universidad de Barcelona. Barcelona 70 pp

CEPAL. (2016). Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile – Chile.

Cloquell, V. (2003). Propuesta metodológica para la validación previa de indicadores y funciones de valor en el problema unificado de localización y evaluación del impacto ambiental de proyectos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia – España.

Comité Técnico Nacional de Entornos Saludables y OPS. Herramientas para caracterización y seguimiento de las condiciones socio-ambientales y sanitarias de los entornos. Bogotá D.C.: Nueva Ediciones Ltda.; 2009. En: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/herramientas-para-caracterizacion-y-seguimiento-de-las-condiciones-socio-ambientales-y-sanitarias-de-los-entornos.pdf>

Comité Técnico Nacional de entornos saludables, Servicio Nacional de Aprendizaje –SENA y OPS, 2010, hacia una vivienda saludable - que viva mi hogar. Bogotá – Colombia. Disponible

en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/manual-educativo-nacional-vivienda-saludable.pdf>

Comité Técnico Nacional de Entornos Saludables & OPS. (2009). Herramientas para caracterización y seguimiento de las condiciones socio-ambientales y sanitarias de los entornos. Bogotá D.C.: Nueva Ediciones Ltda.

Corvalán, C.; Hales, S. & McMichael, A. (2005). Ecosistemas y bienestar humano. Síntesis sobre Salud. Organización Mundial de la Salud. Ginebra –Suiza.

Cruz M. (2008). El procesamiento de la información en investigaciones educativas. La Habana: Education Cabana.

Death, R. G., & Collier, K. J. (2009). Measuring stream macroinvertebrate responses to gradients of vegetation cover: when is enough enough?. *Freshwater Biology*, 55(7), 1447-1464

Etter, A. (1991). Introducción a la ecología del paisaje. Un Marco de Integración para los Levantamientos Ecológicos. IGAC. Bogotá – Colombia.

Fresia, P., Antelo, V., Salazar, C., Giménez, M., D'Alessandro, B., Afshinnikoo, E., ... & Iraola, G. (2019). Urban metagenomics uncover antibiotic resistance reservoirs in coastal beach and sewage waters. *Microbiome*, 7(1), 35.

Gamboa, M., Reyes, R. & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2): 109-120.

González, E., & Roldán, G. (2019). Monitoreo biológico de la calidad del agua en las Américas. *Calidad del Agua en las Américas*, 39.

Guevara, G., Reinoso, G., & Villa, F. (2005). Estudio del orden Trichoptera en su estado larval en la cuenca del río Coello Departamento del Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 17, 59-70.

Gutiérrez-Fernández, L. F. (2015). Funciones de valor para construir un índice de sostenibilidad para la evaluación de áreas naturales con uso turístico. *Revista de Tecnología*, 12(1).

Hynes, H. B. N. (1959). The use of invertebrates as indicators of river pollution". *Proc. Linnean. Soc. London*, (2): 165-170. Hynes, H. B. N. 1963. The biology of polluted water. Liverpool University Press, 202 p.

Iljaž, R. J., Meglič, M., & Švab, I. (2011). Building consensus about eHealth in Slovene primary health care: Delphi study. *BMC medical informatics and decision making*, 11(1), 25.

Illies, J. & L. Botosaneanu. (1963). Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique, *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 12: 1-57.

Luna Berbesi, H. A. (2009). Estudio Preliminar Del Uso De Macroinvertebrados Acuáticos Como Bioindicadores De La Calidad Del Agua En La Quebrada Mamarramos Y En Un Sector

Del Rio Cane En El Santuario De Fauna Y Flora Iguaque. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Escuela De Química.

Martín, G., Toja, J., Sala, S., Fernández, M., Reyes, I., & Casco, M. A. (2010). Application of diatom biotic indices in the Guadalquivir River Basin, a Mediterranean basin. Which one is the most appropriated? *Environ Monit Assess*, 519-534.

Ministerio de Salud y Protección Social; Instituto Nacional de Salud; Dirección de Redes en Salud Pública. (2017). Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia. Bogotá: INS, 2018. 102 p. ISSN: 2322-9497

Ministerio de Salud y Protección Social y Organización Panamericana de Salud. (2014). Modelo de Fuerzas Motrices en el marco de la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. Convenio de cooperación técnica 310/13. Bogotá, Colombia

Ministerios de Salud y Protección Social. Ficha de Caracterización a nivel familiar. Diagnóstico de las Condiciones Sanitarias de la Vivienda a Nivel Familiar. En: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/ficha-de-caracterizacion-a-nivel-familiar.pdf>

Muñoz, S. S. (2016). Análisis de caudales en la confluencia del río Teusaca al río Bogotá. Tesis de pregrado. Universidad Militar Nueva Gradana. Bogotá – Colombia

Muñoz-Quesada, F. (2004). El orden Trichoptera (Insecta) en Colombia, II: inmaduros y adultos, consideraciones generales. In F. Fernández, M. Andrade & G. Amat (Eds.). *Insectos de Colombia*. Vol. III (pp. 319- 334).

Muñoz, S & Beltran D. (2010). Perfil ambiental de la subcuenca del Río Teusacá de la cuenca alta del Río Bogotá. Tesis de pregrado. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.

Lebel, J. (2005). *Health: an ecosystem approach*. Ottawa, Canadá. International Development Research Centre

Ochoa, M. (2017). Aproximación al estudio de las relaciones entre la salud de los ecosistemas y la salud humana: interdependencias y necesidad de aplicación de los principios de protección ambiental. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

Omarova, A., Tussupova, K., Berndtsson, R., Kalishev, M., & Sharapatova, K. (2018). Protozoan Parasites in Drinking Water: A System Approach for Improved Water, Sanitation and Hygiene in Developing Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph15030495>

OPS. (2017) Documento Normativo de Adhesión a La Red Interamericana de Hábitat Saludable 2017 – 2027. Documento virtual en: https://www.paho.org/cub/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=

documentos-organizativos-2&alias=1513-documento-normativo-de-adhesion-a-la-red-interamericana-de-habitat-saludable-2017-2020&Itemid=226;

Ortiz, L. N. C., & Figueredo, W. Y. T. (2018). Evaluación de la huella hídrica del río Teusacá, subcuenca de la cuenca alta del Río Bogotá DC-Colombia. *Boletín Semillas Ambientales*, 12(2), 82-86.

Planeación Ecológica Ltda y Ecoforest Ltda. (s.f). Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Teusaca. Bogotá, Colombia.

Posada-Garcia, J. A., & Roldán, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Noroccidente de Colombia. *Caldasia*, 25(1), 169-192

Poveda, R. (2015). Análisis multitemporal de la expansión urbanística del municipio de La Calera, Cundinamarca, Colombia. Tesis de especialización. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*, 631-654.

Pucha-Cofrep, F., Fries, A., Cánovas-García, F., Oñate-Valdivieso, F., González-Jaramillo, V., & Pucha-Cofrep, D. (2017). Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS. Franz Pucha Cofrep. ISBN Digital: 978-9942-28-901-8

Rincón, M. E. (1996). Aspectos bioecológicos de los tricópteros de la quebrada Carrizal (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 22(1), 53-60

Rodríguez, A. S. (2013). Análisis del impacto de la suburbanización dada por la presión de la vivienda de estratos altos en la sabana de Bogotá. estudio de caso: la alteración del paisaje rural del municipio de Sopó, Cundinamarca. Tesis de pregrado. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Bogotá – Colombia.

Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 40(155), 254-274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>

Rosas-Acevedo, J. L., Ávila-Pérez, H., Sánchez-Infante, A., Rosas-Acevedo, A. Y., García-Ibañez, S., Sampedro-Rosas, L., ... & Juárez-López, A. L. (2014). Índice BMWP, FBI y EPT

para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2), 82-88.

Sánchez I. (2005). Institutions for sustainable watershed management: reconciling physical and management ecology in the Asia-Pacific. AWRA summer specialty conference. Honolulu, Hawaii.

Sánchez Herrera, M. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3 (2), 54-67.

Sapena, M., & Ruiz, L. A. (2015). Descripción y cálculo de índices de fragmentación urbana: herramienta IndiFrag. *Revista de Teledetección*, 43, 77-90.

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). Uso racional de los humedales: Conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4^a edición, vol. 1. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

Spies, M. R., Froehlich, C. G., & Kotzian, C. B. (2006). Composition and diversity of Trichoptera (Insecta) larvae communities in the middle section of the Jacuí river and some tributaries, State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia Série Zoologia*, 96(4), 389-398.

Springer, M. (2006). Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 54(1), 273-286.

Ter-Braak, C. (1986), 'Canonical correspondence analysis: A new technique for multivariate direct gradient analysis', *Ecology* 67(5).

Yassi, A., Kjellström, T., Dekok, T., & Guidotti, T. (1998). Basic Environmental Health. Ginebra: WHO. UNEP/UNESCO/CRE.

Vásquez-Ramos, J. M., Ramírez-Díaz, F., Reinoso, G., & Guevara, G. (2010). Distribución espacial y temporal de los tricópteros inmaduros en la cuenca del río Totare (Tolima-Colombia). *Caldasia*, 32(1), 129-148

Vásquez-Ramos, Jesús M., Guevara-Cardona, Giovany, & Reinoso-Flórez, Gladys. (2014). Factores ambientales asociados con la preferencia de hábitat de larvas de tricópteros en

cuencas con bosque seco tropical (Tolima, Colombia). Revista de Biología Tropical, 62(Suppl. 2), 21-40.

Vincke , P. (1992) Exploitation of a crisp relation in a ranking problem. Theory and Decision. Vol. 32. N° 3. Pp. 221-240

World Health Organization (WHO) (2017). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. Ginebra: WHO. 541 pp

Zuñiga, M. del C., & Cardona, W. (2009). Bioindicadores de la calidad del agua y caudal ambiental. En: Cantera, J., Carvajal, J. y Castro, L. M. (Compiladores). Caudal ambiental_ conceptos, experiencias y desafíos. 167-198. Cali –Colombia.

Comunicación alineada con el siguiente Objetivo de Desarrollo Sostenible



Anexo 1. Resultados IRCA municipios subcuenca río Teusacá)

Municipio	Población total	Cabecera municipal (urbana)	Resto (rural)	Muestras totales	IRCA municipal	Nivel de riesgo	Promedio IRCA urbano	Nivel de riesgo urbano	Promedio IRCA rural	Nivel de riesgo rural
La Calera	27.878	12.051	15.827	32	4.7	Sin riesgo	5.8	Bajo	3.2	Sin riesgo
Guasca	15.003	5.316	9.687	36	7.7	Bajo	11.3	Bajo	7.0	Bajo
Sopó	27.339	17.564	9.775	51	5.2	Bajo	0.9	Sin riesgo	0.0	Sin riesgo
Tocancipá	32.821	14.032	18.789	53	0.0	Sin riesgo	0.0	Sin riesgo	0.0	Sin riesgo
Choachí	10.680	3.623	7.057	12	7.0	Bajo	3.4	Sin riesgo	SD	SD
Chía	129.652	101.724	27.928	73	0.0	Sin riesgo	0.0	Sin riesgo	0.1	Sin riesgo
Ubaque	6.106	879	5.227	22	22.8	Medio	11.5	Bajo	39.2	Alto

Fuente: (Ministerio de Salud y Protección Social, 2017)