



XV Seminario Iberoamericano de Redes de Agua y Drenaje, SEREA2017

APPROACH TO THE WATER SAFETY PLAN (WSP) FOR THE WATER SUPPLY SYSTEM OF THE PATH “EL TOBAL” TOWN OF SUBACHOQUE

APROXIMACIÓN AL PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA (PSA) DEL ACUEDUCTO DE LA VEREDA EL TOBAL MUNICIPIO DE SUBACHOQUE

Ángela María Jaramillo Londoño^a, Andrés Felipe Martínez Urrego^a, José Luis Díaz Arévalo^{b1}

^aUniversidad Santo Tomás/Facultad de Ingeniería Ambiental, Bogotá, Colombia

^bUniversidad Santo Tomás/Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá, Colombia

Abstract

As established by the World Health Organization WHO [1], the most effective way to systematically ensure the safety of a drinking water supply system is to apply a comprehensive approach to risk assessment and risk management covering all stages of the supply system, from catchment basin to distribution to the consumer. In this sense, the present work shows three studies that allow knowing the current state of the system operation. In the first one, the water quality of the source is evaluated using aquatic macroinvertebrates as bioindicators [2] and [3], for which it was necessary the taxonomic identification to family level of the individuals collected and the application of biological indexes BMWP / Col, ASPT, EPT, dipteran index and the application of diversity indices such as Shannon and Simpson to calculate the variety of families; it was determined that the El Salitre stream has moderately contaminated water. In the second study, an evaluation of the potential risks on the water quality of the supply source of the rural Tobal aqueduct was carried out, following a semi-quantitative method based on risk matrices [4]; it was possible to determine that the two hazardous events with the highest risk classification were livestock and agriculture, since they are the ones with the highest probability of occurrence and adverse effects on human health. A third study carried out the operational optimization plan for the water treatment plant, based on a methodology based on demand analysis, hydraulic conditions, critical aspects of operation and maintenance, and economic analysis, where key such as the aerator and the filter, with which an over-dimensioning of the plant was verified and the main changes that were required were evaluated, finally the proposed optimization plan was constructed with the economic analysis, which together with the Association of Users of the Aqueduct of the El Tobal Path is carried out to its later implementation.

Keywords: Water Safety Plan; Path “El Tobal”; Environmental indicators.

Resumen/Resumo

Tal como lo establece la Organización Mundial de la Salud OMS [1], la forma más eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo es aplicando un planteamiento integral de evaluación de los riesgos y gestión de los riesgos que abarque todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor. En este sentido, en el presente trabajo se presentan tres estudios que permiten conocer el estado actual del

* Autor de correspondencia: Tel.: +57-1-5878797 ext 1896
Correo electrónico: jluisdiaz@usantotomas.edu.co

funcionamiento del sistema. En el primero, se evalúa la calidad del agua de la fuente utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores [2] y [3], para lo cual fue necesario la identificación taxonómica hasta nivel de familia de los individuos recolectados y la aplicación de índices biológicos BMWP/Col, ASPT, EPT, índice de dípteros y la aplicación de índices de diversidad como Shannon y Simpson para calcular la variedad de familias; se determinó que la quebrada El Salitre presenta aguas moderadamente contaminadas. En el segundo estudio, se realiza una evaluación de los riesgos potenciales sobre la calidad del agua de la fuente de abastecimiento del acueducto rural El Tobal, siguiendo un método semicuantitativo basado en matrices de riesgo [4]; se pudo determinar que los dos eventos peligrosos con mayor clasificación de riesgo fueron ganadería y agricultura, al ser los que mayor probabilidad de ocurrencia y efectos adversos sobre la salud humana tienen. En un tercer estudio se efectúa el plan de optimización operativo de la planta de tratamiento de agua, a partir de una metodología basada en análisis de demanda, condiciones hidráulicas, aspectos críticos de operación y mantenimiento, y análisis económico, donde se encontraron puntos clave del proceso como el aireador y el filtro, con los cuales se verificó un sobredimensionamiento de la planta y se evaluaron los principales cambios que requiere, finalmente se construyó el plan de optimización propuesto con el análisis económico, que en conjunto con la Asociación de Usuarios del Acueducto de la Vereda El Tobal se lleva a su posterior implementación.

Palabras clave: Plan de seguridad del agua; vereda el Tobal; Indicadores ambientales.

1. Introducción

La microcuenca de la quebrada El Salitre, ubicada en el municipio de Subachoque (Cundinamarca), es considerada un ecosistema estratégico de alta montaña y una zona de recarga hídrica de gran importancia para el municipio, especialmente para las veredas Pantano de Arce, Guamal y El Tobal por donde transita su cauce. La quebrada es considerada un importante afluente del río Subachoque, debido al volumen de agua que transporta, razón por la cual el acueducto veredal de El Tobal hace captación y aprovechamiento de sus aguas [5].

A partir del 2015, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios viene haciendo una serie de modificaciones, atendiendo a la “Política para el Suministro de Agua Potable y Saneamiento Básico en la Zona Rural” [6], que busca enfocarse en las particularidades de los diferentes esquemas de las empresas prestadoras de los servicios de agua y alcantarillado, especialmente en los sistemas rurales. Las modificaciones contempladas en esta política, si bien buscan reducir costos de operación de estos sistemas, obligan a los prestadores a ser más cuidadosos en la calidad del servicio que ofrecen.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evalúa la calidad del agua de la quebrada, utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores para la gestión integral del recurso hídrico, pues se conoce que, los macroinvertebrados acuáticos, así como otros componentes de la biota acuática, han sido utilizados en forma extensiva para evaluar el grado de contaminación en ecosistemas lóticos y lénticos, debido a que poseen características definidas, diferentes tipos de alimentación, ciclos de vida y una escasa capacidad de desplazamiento que permite el análisis temporal de perturbaciones [2] [3]. Lo que la convierte en una herramienta de determinación de calidad del agua que se ha fortalecido a lo largo de los años, generando índices mejor adaptados a condiciones y regiones específicas, como el índice BMWP y el BMWP/Col adaptado por Gabriel Roldan, que funciona como una guía de evaluación para cuerpos de agua en Colombia [7].

Por otra parte, se realiza una evaluación de los riesgos potenciales sobre la calidad del agua de la fuente de abastecimiento del acueducto rural El Tobal, bajo los lineamientos propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la elaboración de Planes de Seguridad del Agua. Para realizar esta evaluación se sigue un método semicuantitativo basado en matrices de riesgo adoptado por la OMS, para el cual se determinan primero todos los peligros de tipo biológico, físico y microbiológico asociados con la captación que están afectando a la seguridad del agua; luego se determinan todos los eventos peligrosos que pueden contaminar el agua, comprometer su seguridad o interrumpir el abastecimiento; y posteriormente se evalúan los riesgos asociados a dichos eventos.

Para la estimación de la calidad del agua de la Quebrada El Salitre se tomaron tres puntos de muestreo, a lo largo de su cauce, con el fin de realizar un análisis de las características físico-químicas y microbiológicas. Como herramienta para la toma de decisiones por parte de la entidad prestadora del servicio se diseñó un mapa por cada evento peligroso en donde, se localizaron los predios con su respectiva clasificación de riesgo de acuerdo a lo encontrado en la implementación de las fichas prediales y visitas de inspección.

Para finalizar se elabora el plan de optimización operativo y estructural de la planta de tratamiento de agua potable, a partir de una metodología basada principalmente en un análisis de las proyecciones de caudales, condiciones hidráulicas, aspectos críticos y análisis económico, donde se encontraron puntos clave del proceso como el aireador y el filtro, con los cuales se determinó un sobredimensionamiento de la planta y los principales cambios que requiere, finalmente se construyó el plan de optimización propuesto con el análisis económico, que se presentará a la junta de la asociación de usuarios del acueducto de la vereda para su posterior implementación.

2. Zona de estudio

El municipio de Subachoque se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca (Colombia), al noroccidente de Bogotá, específicamente a los 4 grados, 56 minutos de latitud norte y 74 grados, 11 minutos de longitud sobre el meridiano de Greenwich [8]. El municipio cuenta con 18 veredas, dentro de las cuales se encuentra El Tobal, Pantano de Arce y Guamal (ilustración 1), con una topografía que va desde los 2600msnm hasta 3749 msnm [9].

El nacimiento de la quebrada El Salitre se halla a unos 3417 msnm aproximadamente [10]. La quebrada nace bajo ese nombre y luego pasa a llamarse quebrada Rosa Larga, cuando corre cerca de la Laguna del Vejerón, posteriormente, luego de juntarse con las quebradas San Carlos y El Choque la quebrada es llamada quebrada de Las Juntas, desembocando en el Río Subachoque a una altura aproximada de 2690 msnm [40]; así, la quebrada tiene una elevación ganada de 727 metros, una longitud aproximada de 6,65 kilómetros, una inclinación máxima del 44,8% y una inclinación promedio del 11,6% , según se evidencia en la ilustración 2 [11].

El área de la microcuenca El Salitre ocupa 4260 kilómetros cuadrados (km²) [12] y la mayor parte del recorrido que tiene el cuerpo de agua, marca una trayectoria que inicia en Pantano de Arce y termina diferenciando los límites entre las veredas de El Tobal y Guamal.

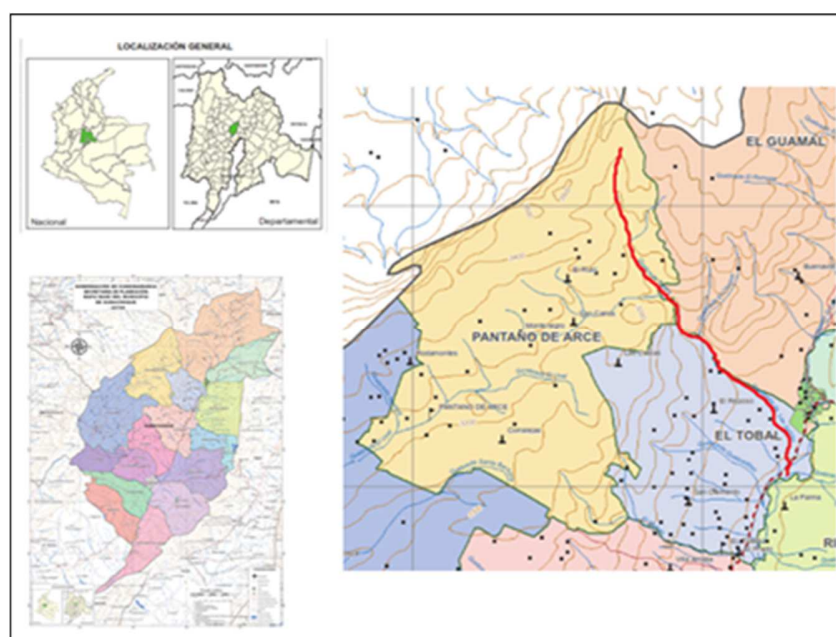


Figura. 1. Delimitación geográfica de la zona de estudio

3. Metodología

La metodología utilizada para el uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad de la fuente comprendió una primera fase de preparación, donde se efectuó una revisión exhaustiva del estado del arte de la temática, luego se tuvo una segunda fase de reconocimiento para la definición de las unidades muestrales, teniendo en cuenta las características físicas del lugar y las necesidades del proyecto. Se inspeccionó la condición aparente del agua (color y olor), se observó si había presencia de residuos, vegetación acuática, actividades humanas, presencia de animales y otros factores que pudieran definir las condiciones de hábitat de los macroinvertebrados; se identificó la posibilidad de acceso a algunas zonas; se estimó el ancho de la quebrada y la profundidad de algunos puntos; se evidenció la dominancia de los hábitats rocosos y se tomaron las coordenadas geográficas, de igual forma se establecieron profundidades promedio para determinar el tipo de red a usar y gracias a esto se pudo realizar un muestro con tipo de recolección cuantitativo utilizando la red Surber de 0.09 m² de área superficial, con malla de 250 Micras de diámetro, usada para profundidades por debajo de los 30 cms, especial para fondos rocosos o de grava que son los micro hábitats representativos de ecosistemas de alta montaña [13] [14].

En una tercera fase se llevó a cabo el diseño experimental, se identificaron las áreas significativas de muestreo, siguiendo la metodología para muestreos en ríos, descrita en el convenio Ramsar y en el instituto de ingeniería UNAM [15] [16], donde se establece como longitud óptima de muestreo 30 veces el ancho del río, teniendo como referente un mínimo de 100 metros, sin

embargo, al realizarse el muestreo en un cuerpo de agua más pequeño, su ancho no es comparable directamente al de un gran río, por lo cual se decidió implementar la metodología descrita por el IDEAM en su manual para el Conteo de Macroinvertebrados Acuáticos donde se propone una longitud de 100m para ríos [13]; sin dejar a un lado lo que dicen autores como Alba Tercedor y Narcís Prat, 2005, sobre esta longitud aproximada, que debe ser más bien un valor orientativo, que puede variar según el procedimiento de toma de muestras y la aparición de nuevos taxones [17]. Para la identificación de transectos se realizó la inspección a lo largo de la zona de interés y se tomaron dos transectos, que fueron elegidos según criterios de relevancia del acueducto, con el fin de determinar la calidad del agua que está siendo captada y para determinar si existe algún cambio representativo; los respectivos puntos donde se hicieron los muestreos fueron desarenador (Latitud: 05°46'14,1" N. Longitud: 72°56'26,2" O) y bocatoma (Latitud: 05°01'03,0" N. Longitud: 75°09'06,5" O.).

A cada uno de estos transectos le fue identificada su morfometría, para facilitar la distinción de los hábitats y establecer perfiles de la quebrada en la zona de los transectos se llevó a cabo un ejercicio de batimetría, con el objeto de identificar las profundidades y un cálculo del caudal para determinar las llamadas zonas corrientosas o piscinas. Una vez considerado el transecto, se identificaron hábitats relevantes o dominantes que correspondieron a roca y raíz para el transecto uno (T1) y roca para el transecto dos (T2), en cada transecto se tomaron tres muestras compuestas de cada hábitat (M1, M2 y M3), a manera de ejemplo: T1M1 Roca se creó a partir de tres sub-muestras integradas; es decir, se hizo raspado en tres puntos cercanos de hábitats rocosos para crear una muestra, teniendo para cada hábitat relevante por transecto un área muestreada de 0.81m².

Los macroinvertebrados recolectados fueron llevados al laboratorio para identificarlos hasta el nivel de familia y realizar su conteo, el cual permitió la posterior aplicación de diferentes índices de diversidad, riqueza y dominancia. Así mismo se utilizó el índice de calidad biológica BMWP/Col para establecer la calidad del agua de la quebrada el Salitre.

Para la evaluación de riesgos se hizo una caracterización de actividades en la zona, se identificaron los peligros y eventos peligrosos y se efectuó la evaluación de riesgos en la fuente de abastecimiento. Se seleccionaron los puntos de muestreo y se hizo la evaluación de riesgos a partir de una matriz de valoración semicuantitativa. Para la optimización de la planta se llevó a cabo el análisis de población futura y la estimación de caudales y se efectuó la evaluación del sistema de tratamiento.

4. Resultados

Se recolectaron 34 familias de macroinvertebrados acuático pertenecientes a 16 órdenes, de los cuales se obtuvieron un total de 6808 individuos en un área total muestreada de 7,29m². El orden con mayor riqueza de familias en todos los muestreos siempre fue el orden Díptera, representado en el primer muestreo por 7 familias y en los otros dos muestreos por 6, estas familias fueron: Ceratopogonidae, Cecidomyiidae, Culicidae, Psychodidae, Simuliidae, Tipulidae y Chironomidae. El orden dominante en la quebrada el Salitre fue Trichoptera con un 49,46% sobre el total de individuos muestreados, al tiempo que la familia con mayor abundancia fue Hydropsychidae, con un total de 3357 individuos, ocupando un 49,31% del total, seguido de la familia Chironomidae con un total de 2105 individuos y un 30,92% sobre el total.

La familia Hydropsychidae parece ser capaz de tolerar cierta carga de materia orgánica, como dice Javier Oscoz[18], situación que también tiene relación con lo expresado en el BMWP/Col donde se le asigna un puntaje de 7 según Gabriel Roldán[7]; además se encuentran generalmente en aguas corrientes, debajo de sustratos rocosos, troncos y/o material vegetal, lo que resulta afín a la morfología de la quebrada; las larvas se alimentan raspando diatomeas de la superficie de las rocas o perforando algas filamentosas de las cuales extraen su contenido celular[20], por lo cual viven en zonas madícolas o higropélicas, que son sitios donde el agua fluye en una lámina delgada sobre rocas empujadas, como ya pudo ser visto en el trabajo de Monika Springer[19].

Por su parte, de la familia Chironomidae que es la segunda familia más abundante habita generalmente en fango, arena y lugares con abundante materia orgánica en descomposición [21].

En el caso de los Simuliidae; la tercera familia más abundante, está íntimamente ligada a ambientes lóticos, que constituyen un importante eslabón en la cadena trófica. Como lo describe John Davies, estos macroinvertebrados, generalmente escogen sitios con un flujo de agua continuo y rápido; las larvas permanecen normalmente cerca de la superficie del agua y por lo general se encuentran en profundidades menores a 300 mm, donde existe mayor tensión de oxígeno y donde hay mayor luminosidad, sobre hojas, ramas o bien en sustratos pedregosos que permiten su fijación, a excepción de algunas especies que pueden encontrarse a una profundidad de varios metros en aguas turbulentas[22][23]. Los Simuliidae tienen preferencias por aguas torrentosas que reciben luz directa, por lo cual en los lugares sombreados y de baja corriente difícilmente se encuentran larvas y pupas. La mayoría de sus especies se nutren de alimento suspendido en el medio y hacen uso del oxígeno disuelto en forma de micro burbujas[22]. Tienen cierta tolerancia a la contaminación orgánica[18].

Respecto a las familias indicadoras de alta calidad, se encontró en el orden Ephemeroptera una única familia, Baetidae, cuyas características indican una tolerancia baja a la contaminación, es decir, son indicadores de aguas limpias o ligeramente contaminadas; las ninfas de esta familia viven generalmente en aguas lóticas bien oxigenadas debajo de sustratos rocosos o adheridos a vegetación sumergida. Son herbívoras y se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas[21] y se encuentran en las áreas laterales de poca

corriente de los ríos, lo que explica la baja cantidad de individuos encontrados, ya que las zonas de muestreo no correspondieron a dichas características.

En cuanto a los índices de diversidad y dominancia el resultado para el índice de Shannon es 1,1 y el de Simpson es 0,45, lo que indica que la quebrada el Salitre tiene muy baja diversidad (índice de Shannon) y muy baja diversidad o muy alta dominancia (índice de Simpson).

De acuerdo con los resultados arrojados por el índice biológico BMWP/Col para los transectos, la calidad es aceptable en general, sin embargo, cabe resaltar que muchas familias halladas no se encontraban dentro del cálculo que Gabriel Roldán tiene establecido, ni en fuentes cercanas que se hallan adaptado a cauces de Colombia, aun así se utilizó este índice para hacer una aproximación de la calidad. En las siguientes tablas se evidencia un resumen de los valores arrojados en cada muestreo con el color correspondiente.

Tabla 1 Resumen valores BMWP/Col situación general

Muestra	Puntaje	Calidad
T1M1 Roca	16	Crítica
T1M1 Raíz	25	Crítica
T1M2 Roca	43	Dudosa
T1M2 Raíz	20	Crítica
T1M3 Roca	12	Muy crítica
T1M3 Raíz	47	Dudosa
T2M1	42	Dudosa
T2M2	44	Dudosa
T2M3	38	Dudosa
T2M-Extra	21	Crítica
Hábitat- Transecto 1	Puntaje	Calidad
Roca	49	Dudosa
Raíz	50	Dudosa
Transecto	Puntaje	Calidad
1	64	Aceptable
2	52	Dudosa
Muestreo	Puntaje	Calidad
General	72	Aceptable

Fuente: Autores.

Las condiciones generales determinaron una calidad de agua aceptable, como se puede ver en la tabla 1, aún cuando la mayoría de muestras tomo un carácter dudoso y crítico, lo que permite deducir que, aunque la calidad de los micro hábitats no era muy buena, la suma de estas pequeñas variaciones si represento un gran cambio en la evaluación del ecosistema; aun así, dicha evaluación representa resultados incompletos, ya que no se está evaluando la totalidad de los macroinvertebrados muestreados, debido a que muchos de los hallazgos no se encontraron en la adaptación realizada para Colombia, lo que en consecuencia origina, que el resultado aquí presentado sea apenas una parte de cómo se encontraba el ecosistema.

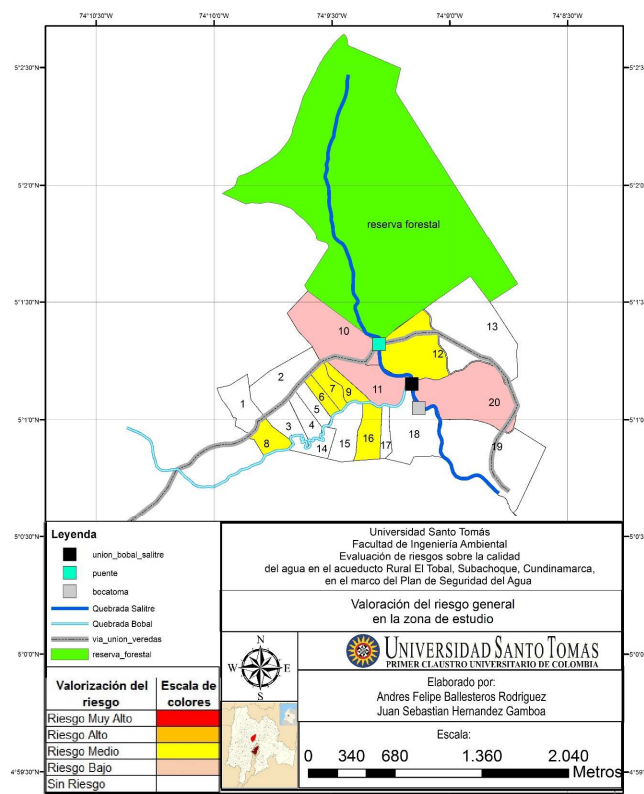


Figura 2. Mapa general de riesgos en la zona de estudio.

Para la elaboración del mapa se tuvo en cuenta el promedio ponderado para calcular el riesgo general para cada uno de los predios de la zona de estudio, dicho riesgo se estimó a partir de las fichas prediales aplicadas a los habitantes de los lotes cercanos a la quebrada y en otros por medio de visitas de inspección. Los predios identificados como 6,7,8,9,12 y 16 son los que en general tienen mayor porcentaje de riesgo (riesgo medio) sobre la calidad del agua de la Quebrada El Salitre, debido a que en los predios 6,7, 9 y 12 se desarrollan actividades agrícolas como lo son el cultivo de papa y arveja; mientras que en los predios 9 y 16 se desarrolla ganadería, cabe resaltar que tanto la agricultura (cultivos de papa y arveja) y la ganadería fueron los dos eventos que mayor valoración de peligro se obtuvieron en la zona de estudio.

En cuanto a la planta de tratamiento se identificaron como aspectos críticos la falta de información del diseño de la planta, así como el manejo de la base de datos sobre la población abastecida y las mediciones de suministro de agua a la población, ya que la base de datos presenta información que no es clara y carece de datos. Al realizar los cálculos sobre las unidades de la planta, se identificó que la planta está sobredimensionada. Esto se identifica como aspecto crítico, debido a que la planta está diseñada para una carga hidráulica muy superior a la necesidad real del sistema. La planta no cuenta actualmente con un sistema de medición de caudal ni a la entrada ni a la salida de la misma. En cuanto al control de la calidad del agua, en las instalaciones de la planta de tratamiento no se cuenta con un laboratorio ni con los equipos necesarios para realizar las mediciones de los parámetros básicos establecidos en la norma.

5. Conclusiones

A partir del análisis y la comparación de los índices biológicos utilizados, se puede determinar que la quebrada El Salitre presenta aguas moderadamente contaminadas. A manera detallada, el BMWP/Col presentó una calidad aceptable, mostrando efectos ligeros de contaminación; el ASPT dio como resultado una calidad dudosa, con aguas moderadamente contaminadas; el ETP presenta una calidad regular y el índice de dípteros una calidad buena que indica cierto grado de contaminación orgánica.

Dentro de la estructura, la composición de macroinvertebrados varió durante los muestreos ya que se identificaron 8 familias únicas para el periodo de lluvia, 4 familias únicas para el periodo de transición y solo 2 familias únicas para el periodo de estiaje;

mientras que la abundancia se mantuvo constante, debido a la dominancia de 3 familias, Hydroptilidae, Chironomidae y Simuliidae, cuyo número de individuos siempre fue mayor a 400.

Las variables que presentaron mayor relación con las familias más abundantes fueron temperatura, concentración de OD, conductividad y TDS, por lo cual se evidencia una clara afinidad entre el número de individuos y las condiciones fisicoquímicas del medio.

Como resultado de la identificación de los eventos peligrosos en la zona de estudio se encontró que son 8 los eventos que alteran la calidad del agua tanto de la Quebrada Salitre y Bobal, pero los que mayor valor de riesgo tiene sobre la calidad del agua de la Quebrada el Salitre son la agricultura y la ganadería debido a necesitan una serie de actividades complementarias en su desarrollo las estarían aumentando las concentraciones E.coli y Coliformes totales, también aumentando el valor de la turbiedad.

La mayoría de los predios presentan riesgo sobre la calidad del agua evidenciando que dos de ellos (predios más cercanos a la bocatoma y punto de mezcla de las quebradas.) se encuentran en un nivel alto, donde cada uno contiene dos eventos asociados. El cercano a la bocatoma cuenta con los eventos de actividad pecuaria (ganadería), el cual está muy ligado al segundo evento de acceso no restringido, ya que sin barreras perimetrales que puedan impedir el paso de los animales de levante, se contará con una alta probabilidad de contaminación por intromisión a las fuentes hídricas. El predio de mezcla cuenta con la actividad agrícola, que se encuentran muy ligado al transporte, debido a que se tienen varios tipos del mismo para ingresar a los diferentes predios, sacar los productos, llevar insumos, así como la movilidad de los trabajadores, teniendo un nivel de riesgo alto con alta probabilidad de contaminación por arrastre de sólidos suspendidos incrementando la turbiedad.

Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes Fabián Darío Daza Suarez, Catalina Mora Laserna, Andrés Felipe Ballesteros Rodríguez, Juan Sebastián Hernández Gamboa, David Camilo Quiñones Salcedo y Giselle Camila rojas Bernal que pertenecen al semillero Recurso Hídrico y Territorio de la universidad Santo Tomás por la consecución y análisis de la información, así como a la Asociación de Usuarios del Acueducto El Tobar por la disposición prestada para la realización del trabajo.

Referencias

- [1] J. Bartram, L. Corrales, A. Davison, D. Deere, D. Drury, B. Gordon, G. Howard, A. Rinehold, y M. Stevens, "Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo". Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 2009.
- [2] G. Roldán Pérez, «Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,» 1999. [En línea]. Available: http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/88/375-387.pdf. [Último acceso: 22 01 2016].
- [3] A. Alonso, J.A. Camargo, «Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles,» 09 2005. [En línea]. Available: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/432>. [Último acceso: 26 01 2016].
- [4] D. Deere, M. Stevens, A. Davison, G. Helm, A. Dufour, "Management Strategies. En: Fewtrell L, Bartram J, eds. Water quality: guidelines, standards and health – assessment of risk and risk management for water-related infectious disease". Londres, Organización Mundial de la Salud, IWA Publishing, 2001:257-288.
- [5] Ecoforest Ltda. y Planeación Ecológica Ltda., «Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá, Subcuenca del Río Balsillas - 2120 -08,» CARC-0543, Bogotá D.C.
- [6] CONPES 3810, «Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural,» Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, 2014.
- [7] G. Roldán Pérez, Bioindicación de la calidad del agua en Colombia- Uso del método BMWP/Col., Medellín: Universidad de Antioquia, 2003.
- [8] Alcaldía Municipal de Subachoque, «Nuestro municipio - Información general,» 13 04 2015. [En línea]. Available: http://www.subachoque-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 07 02 2016].
- [9] J. L. F. Alonso y M. H. Schmidt, «Catálogo de la flora vascular de la cuenca alta del Río Subachoque (Cundinamarca, Colombia),» Caldasia, vol. 1, n° 29, pp. 73-104, 2007.
- [10] Oficina de Sistemas de Información, Análisis y Estadística, Gobernación de Cundinamarca - Secretaría de Planeación - Mapa base del municipio de Subachoque - 25769, Bogotá: IGAC - Secretaria de Obras Publicas de Cundinamarca - Base cartográfica grupo SIG.
- [11] Geocontext Profiler, «Create a topographic profile,» [En línea]. Available: <http://www.geocontext.org/publ/2010/04/profiler/en/>. [Último acceso: 27 03 2016].
- [12] Ecoforest Ltda. y Planeación Ecológica Ltda., «Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá, Subcuenca del Río Balsillas - 2120 -08,» CARC-0543, Bogotá D.C.
- [13] D. Sanabria Suarez, «Macroinvertebrados Acuáticos,» IDEAM, Bogotá, 2006.
- [14] G. Amat García y O. Vargas Ríos, «Caracterización de microhabitats de la artopofauna en páramos del parque nacional natural Chingaza Cundinamarca, Colombia,» Caldasia, vol. 16, n° <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/download/35673/36252>, pp. 539-550, 1991.
- [15] The Ramsar Convention Secretariat, «Ramsar COP9 Resolución IX.1 Anexo E i, Apéndice 2, página 1,» [En línea]. Available: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/res/key_res_ix_01_annexei_sx2.pdf. [Último acceso: 28 01 2016].
- [16] J. Gracia Sánchez y J. A. Maza Álvarez, «Morfología de los ríos-Capítulo 11- Manual de ingeniería de ríos,» Instituto de ingeniería UNAM, [En línea]. Available: http://eias.utalca.cl/isi/publicaciones/unam/morfologia_de_rios.pdf. [Último acceso: 28 01 2016].
- [17] J. Alba Tercedor, I. Pardo, N. Prat y A. Pujante, Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva MACRO del Agua - Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados acuáticos, Confederación hidrográfica del Ebro, 2005.
- [18] J. Oscoz Escudero, Guía de campo macroinvertebrados de la cuenca del Ebro, Zaragoza: Confederación hidrográfica del Ebro, 2009.

- [19] P. Hanson, M. Springer y A. Ramirez, «Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos,» *Biología Tropical*, vol. 58, n° ISSN 0034-7744, 2010.
- [20] R. Holzenthal, «Familia Hydroptilidae,» Department of Entomology, University of Minnesota, Twin Cities, 1980.
- [21] CORTOLIMA, «Macroinvertebrados acuáticos 2,» 2008. [En línea]. Available: https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/a06.pdf. [Último acceso: 10 07 2016].
- [22] Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) - Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile, «Familia Simuliidae,» [En línea]. Available: http://www.simulidos.cl/?page_id=40. [Último acceso: 08 07 2016].
- [23] J. B. Davies , «Blackfly Biology - Life Cycle,» 21 05 2016. [En línea]. Available: <http://www.blackfly.org.uk/simbiol2.htm>. [Último acceso: 10 07 2016].