

Caracterización de la microcuenca del Río La Campana mediante parámetros morfométricos y de calidad del agua que revelan su estado actual

Ana Elizabeth Barrientos¹; Andrea Noemí Barrientos¹; Esteban Wyss²; Tatiana Lopera¹; Hellen Dahinten-Bailey³; Eduardo Arrivillaga-Cano³; Diegopáblo Pineda-Schwarz³ y María José Lazo-Hernández³

¹Consultoras independientes, ex alumnas Universidad del Valle de Guatemala, ²Consultor independiente, ex alumno Universidad del Valle de Guatemala,

³Departamento de Biología, Universidad del Valle de Guatemala

ana.19937@gmail.com, andreabarrientos94@gmail.com

RESUMEN: Guatemala presenta una elevada disponibilidad hídrica, no obstante, la calidad de los cuerpos de agua ha mermado debido al vertido de efluentes residuales. Este fenómeno se ha visto influenciado por el acelerado y desorganizado crecimiento urbano. Aunado a ello, el país cuenta con un Reglamento de Descargas deficiente, en el que no se estipula la periodicidad con la que se debe evaluar la calidad de las descargas. La falta de monitoreo, así como el uso desmedido del agua y su degradación hace necesaria la generación de información objetiva. Respondiendo a esta problemática, se decidió caracterizar la microcuenca del Río La Campana mediante parámetros morfométricos y de calidad. Quantum GIS fue empleado para delimitar las zonas capitalinas que atraviesan la cuenca, definir su parte alta, media y baja, y para determinar su morfometría; además, se determinó el caudal del río mediante el método de aforo aproximado de sección-velocidad con flotador. La calidad biótica de los diferentes puntos de muestreo fue determinada haciendo uso del índice biótico BMWP (*Biological Monitoring Working Party*). En base a los resultados obtenidos, se concluye que la microcuenca tiene pendientes suaves y alta cobertura vegetal con porciones accidentadas, no presenta una tendencia a concentrar escurrimiento ante una lluvia intensa, y el mayor caudal está en la parte baja. La existencia de macroinvertebrados pertenecientes a la familia de dípteros nematóceros revelan contaminación abundante de aguas residuales domésticas.

PALABRAS CLAVE: microcuenca, morfometría, calidad agua, indicador biológico, Río La Campana.

Characterization of La Campana River microshed through morphometrical and water quality parameters that expose its state of art

ABSTRACT: Guatemala presents a high hydric availability, even though, the quality of the water bodies has diminished due to direct municipal and industrial discharges, which is caused by the accelerated and disorganized urban development. The country has discharge regulations in place; however, is poorly managed, to the extent that there is no clause that establishes the periodicity of quality evaluations. The lack of supervision, the uncontrolled used of the resource and its degradation creates the necessity of unbiased data. To this end, this work seeks to characterize La Campana River micro-shed through morphometrical and quality parameters. Quantum GIS was used to delimit the metropolitan zones in which the river basin extends over, to define its high, middle and low areas, and to determine its morphometry. In addition, the river flow was calculated by the approximated gauge method of section-speed with a floater. The pollution level in La Campana River was determined by its biotic index according to the *Biological Monitoring Working Party*. Based on the results, it is concluded that the micro-shed has soft slopes and extensive vegetation areas, does not have a tendency to concentrate runoff in heavy rain, and the highest river flow is in the lower part. The existence of macroinvertebrates belonging to the family of diptera nematocera reveal abundant pollution caused by domestic wastewater.

KEYWORDS: microwatershed, morphometric data, water quality, biological indicator, *Biological Monitoring Working Party*, La Campana River

Introducción

Guatemala posee una disponibilidad hídrica anual promedio de 97,120 millones de metros cúbicos, equivalentes a 6,875 metros cúbicos por persona (MARN, 2015). Pese a su aparente abundancia, el deterioro de la calidad del agua por descarga directa de aguas residuales municipales y agroindustriales (Basterrechea *et al.*, 2019), así como mala administración del recurso, ha generado una paradoja de escasez, al igual que distintas problemáticas socioeconómicas y ambientales.

Guatemala es un país en vías de desarrollo donde se observa una tendencia migratoria de la población rural hacia zonas urbanas. El censo de 2002 reveló que la población residente en área urbana aumentó en un 46.1%, un incremento del 13.4% desde 1981. El Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar y The Nature Conservancy (2013) establecieron que este éxodo genera una creciente demanda del recurso hídrico, provocando su extracción intensiva y contaminación, debido al vertido de aguas residuales.

Aunque el abordaje debe ser en el ámbito nacional, esta migración genera alerta sobre la pronta atención que debe darse a los cuerpos de agua en el área metropolitana del país. El tema del agua en esta región es controversial, por lo que una gestión adecuada, cimentada en análisis cuantitativos sólidos, es urgente. Es decir, que la generación de datos objetivos y confiables son claves en la formulación de iniciativas, propuestas, programas, leyes y demás herramientas que promuevan el uso del agua basado en el respeto a los límites que determina la naturaleza (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, 2011).

A pesar que Guatemala cuenta con un Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No.236-2006), en el mismo existen varias deficiencias. El no definir la periodicidad con la que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) debe evaluar la calidad de los vertidos residuales que llegan a los cuerpos receptores es una de ellas (Basterrechea *et al.* 2019). La falta de monitoreo, aunado al uso desmedido del agua y su degradación hace imperioso el mejorar los procesos de generación de información.

Recientemente el concepto de calidad del agua ha evolucionado de un enfoque puramente físico y químico a uno que integre todos los componentes del ecosistema. La Directiva Marco COM-97 del Parlamento Europeo establece que para la determinación de la calidad del recurso hídrico es necesario el uso de organismos vivos como indicadores, además de las mediciones físicas y químicas correspondientes (Roldán y Ramírez, 2008).

Soria y Quevedo (2019) definen a los macroinvertebrados como animales pequeños que habitan en los ríos. La presencia de

estos organismos en los sistemas acuáticos es relevante por el papel fundamental que desempeñan en la dinámica y balance de nutrientes. Además, su variada tolerancia a la contaminación los convierte en perfectos indicadores biológicos de la calidad del agua, ya que evidencian alteraciones a mediano y largo plazo, al igual que los efectos acumulados en el tiempo.

El presente estudio busca trascender la esfera académica, alcanzando a los tomadores de decisiones, los que deberían priorizar la restauración de la calidad del agua, la que de acuerdo a Basterrechea *et al.* (2019) se logra protegiendo las cuencas hidrográficas a todos los niveles y mejorando las leyes ambientales.

Materiales y métodos

Ubicación de la microcuenca y puntos de muestreo

La localización de la cuenca del Río La Campana se hizo mediante el uso de sistemas de información geográfica, usando el programa Quantum GIS. Además, con este se determinó el área y algunos factores morfométricos. Para los análisis correspondientes fueron necesarias las siguientes capas: cuencas de la Ciudad de Guatemala, zonas y manzanas de la capital, curvas de nivel, ortofoto 2006, hoja cartográfica y modelo de elevación digital.

Adicionalmente, con Quantum GIS se localizó la parte alta, media y baja de la cuenca y se definieron los puntos de muestreo. Estos se fijaron de la siguiente forma: la parte alta se ubicó debajo de la Cámara Guatemalteca de la Construcción, en el kilómetro 8 Carretera a Muxbal; parte media en Parque Jungla Urbana de la zona 15 capitalina y parte baja en la Reserva Militar, zona 5. En la figura 1, se muestra cada uno de los puntos.

Morfometría

Se utilizó el programa Quantum GIS y GRASS, para delimitar la microcuenca y el parte aguas de la misma. Fue necesario emplear el modelo de elevación digital del Instituto Geográfico Nacional. Con la herramienta de análisis hidrológico se conocieron los cauces y quebradas por donde escurre toda el agua de lluvia. Teniendo los resultados de geometría y elevación, se calcularon los coeficientes y los parámetros morfométricos.

Aforo (medición de caudal)

El aforo del Río La Campana se realizó por el método de sección velocidad con flotador. Este método es fácil de efectuar; sin embargo, no presenta tanta precisión en sus resultados. El muestreo se efectuó en los tres puntos definidos en la sección anterior: debajo de la Cámara Guatemalteca de la Construcción, Parque Jungla Urbana y Reserva Militar, durante la época lluviosa

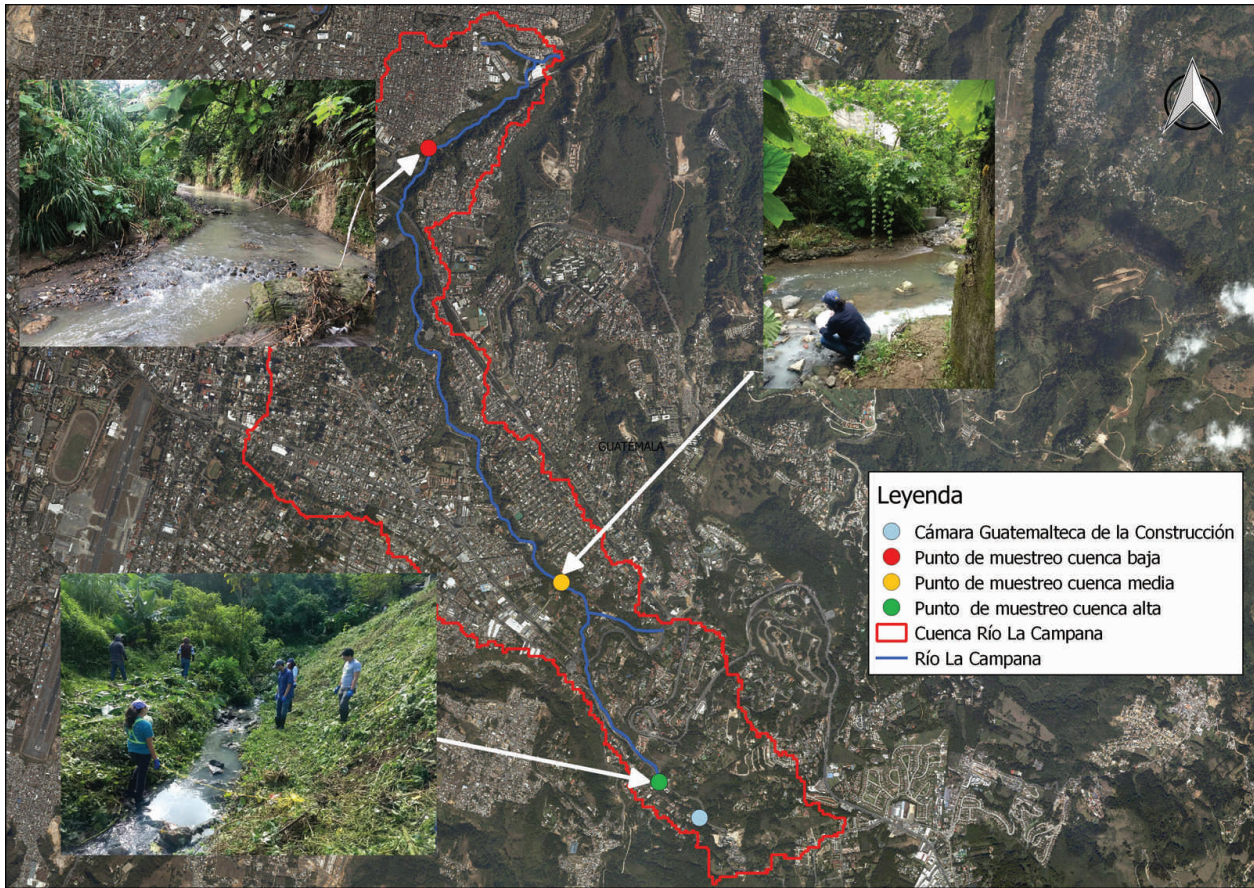


Figura 1. Mapa de ortofoto con la ubicación de los tres puntos de muestreo en el cauce principal de la microcuenca del Río La Campana

(octubre y noviembre). Se utilizó un flotador, cronómetro y metro para llevar a cabo el aforo. Primero, se estableció el tramo de análisis, el que debe cumplir varios principios: tener entre 15.00 a 20.00 metros de longitud, ser recto, estable y libre de obstáculos. Posteriormente, se midió el ancho de la sección para determinar las separaciones verticales. Debido a que el Río La Campana posee secciones menores a los 2.00 metros, la distancia entre verticales fue de 0.20 metros. A lo largo del tramo se midió la profundidad a cada 0.20 metros para obtener un perfil del cauce. Seguidamente, se colocó el flotador simple en cada marca vertical y se inició la corrida, permitiendo que el mismo llegara al final del tramo seleccionado mientras se medía el tiempo que le tomaba hacerlo. En caso se presentaban piedras, ramas o helechos que obstaculizaran y detuvieran considerablemente el movimiento del flotador, la corrida se repetía. Luego de haber efectuado las corridas por tramo de la sección del cauce, se prosiguió a obtener la velocidad de este. Teniendo la velocidad y el área fue posible determinar el caudal en ese tramo del río. Los cálculos realizados para hallar el caudal del tramo objeto de estudio, consistieron en la obtención de la velocidad promedio y área de cada sección. A los resultados del caudal se les aplicó un factor que consideró la profundidad

de la corriente. Para el Río La Campana el factor es de 0.75 dado que la corriente es poco profunda. Otro factor usado fue el de rugosidad del material en el fondo del cauce, siendo este de 0.75, ya que el tramo seleccionado está conformado predominantemente, según lo observado, por arena y arcilla.

Bioindicadores (macroinvertebrados)

Para el análisis de los parámetros biológicos se colectaron macro invertebrados en los tres puntos de muestreo. La recopilación de organismos se hizo con una red tipo D con un haz de malla de 1 mm; esta se situó a contracorriente y agitando el sustrato aproximadamente a 30 cm de la red con un palo durante un minuto, de modo que lo que se desprendía quedara en la red. Las muestras fueron lavadas y preservadas en frascos de vidrio con alcohol al 70% v/v. Estas fueron transportadas al Laboratorio de Entomología Sistemática de la Colección de Artrópodos de la Universidad del Valle de Guatemala para su posterior identificación a nivel de familia. La calidad biótica de los diferentes puntos de muestreo fue determinada haciendo uso del índice biótico BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) modificado por Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega (1988).

Prat et al. (2009) establecieron que el BMWP consiste en el análisis de la tolerancia a la contaminación orgánica de familias de macro invertebrados, donde existen puntuaciones entre 1 y 10, siguiendo un gradiente de mayor a menor tolerancia a la contaminación. Combina el número de taxa

totales (familias) con un valor de tolerancia/intolerancia. El valor final de este índice se obtuvo con la sumatoria de los valores de intolerancia de cada una de las familias identificada, basadas en la información contenida en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Puntuaciones correspondientes a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice BMWP (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988)

Familias	Puntuación
Siphonuridae, Heptageniidae, Lptophlebiidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Caniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae, Aphelocheiridae, Phyganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Athericidae, Blephariceridae	10
Astacida, Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Phylopotamidae, Glossosmatidae	8
Ephemerllidae, Prosopistomatidae, Neumouridae, Phycophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Ecnomidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancylidae, Thiaridae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Atyidae, Platycnemididae, Coenagrionidae	6
Oligoneuriidae, Polymitarcidae, Dryopidae, Elamidae, Helophoridae, Hydrochidae, Hydraenidae, Clambidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesidae	5
Baetidae, Caenidae, Haliplidar, Curculionidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae, Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae, Sciomyzidae, Rhagionidae, Piscicolidae, Hidracarina	4
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Neucoridae, Plelidae, Veliidae, Notonectidae, Corixidae, Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Valvaridae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Bythinellidae, Sphaeridae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae, Asellidae, Ostracoda	3
Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae, Thaumaleidae	2
Oligochaeta, Syrphidae	1

Cuadro 2. Clases de calidad, significancia de los valores del índice BMWP, y colores a utilizar para la representación cartográfica de los sitios muestreados (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988)

Clase	Calidad	Valor	Significado	Color
I	Buena	> 150 (101-120)	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	Azul
II	Aceptable	61-100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

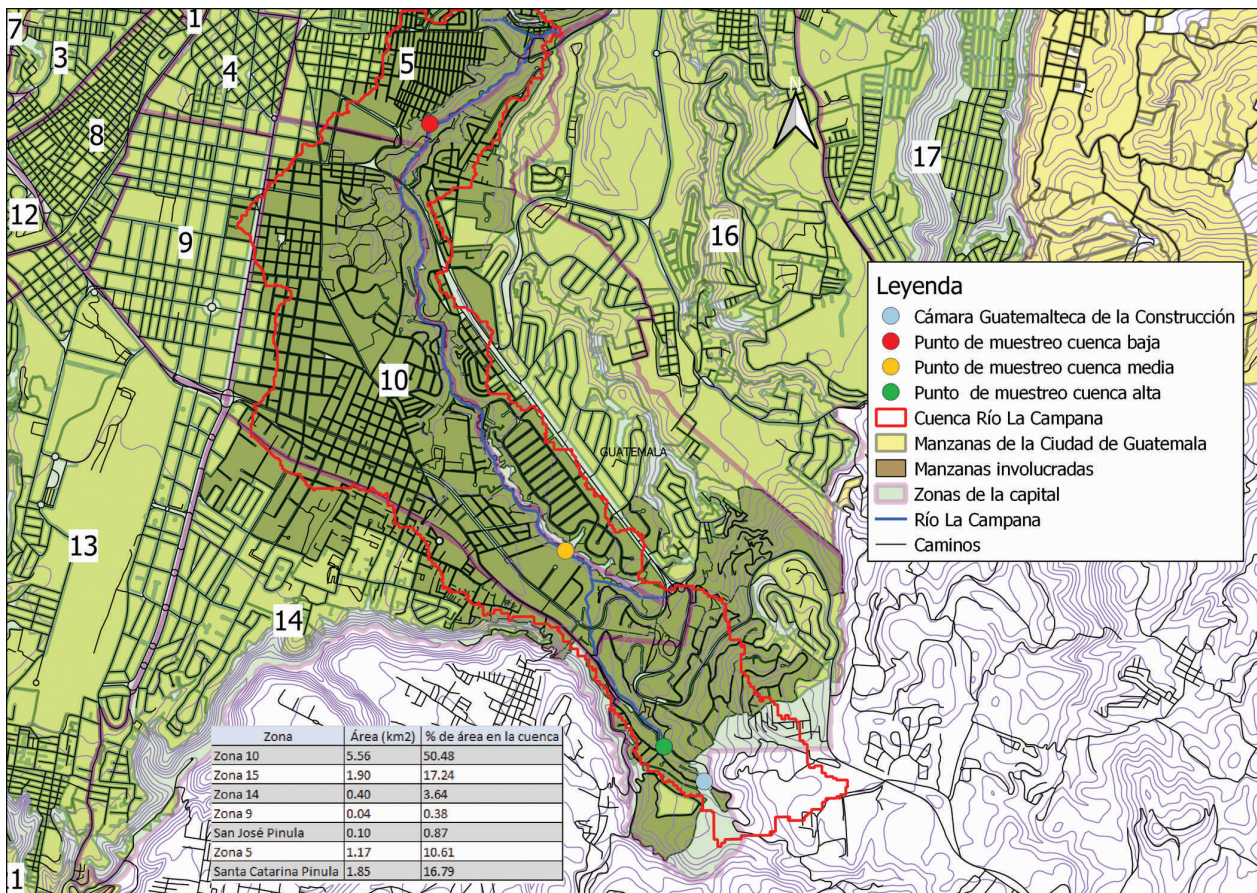


Figura 2. Mapa de zonas de la capital y manzanas dentro de la microcuenca del Río La Campana

Resultados y discusión

En la figura 2, se muestra las zonas de la ciudad de Guatemala que están involucradas en la microcuenca del Río La Campana y la extensión territorial que representa.

Morfometría

El comportamiento del caudal de un río y de crecidas puede ser modificado por un conjunto de propiedades morfométricas de la cuenca del río. Estas propiedades se pueden agrupar de acuerdo al tamaño, la forma y la pendiente de la cuenca. El conjunto de estas determina la respuesta del caudal, ya sea atenuando o intensificando las crecidas (González, 2004). Las variables morfométricas de la cuenca pueden ser independientes y dependientes. Las independientes o directas son aquellas que no requieren ecuaciones matemáticas para definir las tales como área, perímetro y longitud. Por otro lado, las variables dependientes sí requieren expresiones matemáticas para ser definidas, tales como razón de elongación, factor de forma, coeficiente de compacidad, entre otras (Jardí, 1985). En el cuadro 3 se listan las variables que describen la morfometría de la microcuenca del río y luego se explican los resultados anotados.

Cuadro 3. Resultados de los parámetros morfométricos de la microcuenca del Río La Campana

Parámetros	Valor
Área (km ²)	11.02
Perímetro (km)	31.00
Longitud (km)	6.76
Ancho (km)	1.63
Factor de forma de Horton	0.24
Coficiente de compacidad	2.63
Relación de elongación	0.55
Relación de bifurcación	0.50
Densidad de drenaje	0.52
Tiempo de concentración	1.15
Cota mayor (msnm)	1895
Cota menor (msnm)	1415
Elevación promedio de la cuenca (msnm)	1577
Pendiente media del cauce (%)	2.92

La cuenca del Río La Campana tiene una extensión de 11.02 km², abarcando el municipio de Santa Catarina Barahona (carretera Muxbal) y la ciudad de Guatemala (zona 5, 9, 10, 14 y 15). La cuenca es catalogada como una microcuenca ya que su área es menor a 100 km², esta conforma la parte alta de la cuenca del Río Las Vacas. Cabe mencionar que la ventaja de determinar el área de la cuenca por medio de QGIS es que este programa sí considera las diferencias de nivel (los relieves) en comparación con la representación a escala de un mapa topográfico, siendo únicamente la proyección en el plano horizontal (Jardí, 1985).

El perímetro de la microcuenca es de 31 km, pasando en las cercanías de la antigua carretera al Salvador - Muxbal, y el resto del parte aguas está ubicado dentro de las zonas de la ciudad de Guatemala mencionadas anteriormente, finalizando en el punto de control donde se une con el Río Contreras (ubicado en la Calzada la Paz en la zona 5 de la ciudad).

La longitud de la cuenca es la única medición directa que provee una aproximación de la elongación de la cuenca (Jardí, 1985). La longitud máxima de la cuenca es de 6.76 km, desde el punto bajo en la Calzada de la Paz hasta la antigua carretera al Salvador.

El ancho de la cuenca es la relación entre el área y la longitud, representando un ancho promedio de 1.63 km. La orientación de la cuenca tiene sentido de sur a noroeste, y cambia de dirección al noreste (este cambio de dirección se ubica por la Universidad Francisco Marroquín y el río pasa por debajo del Columpio de Vista Hermosa, atravesando el área militar hasta llegar a la Calzada la Paz).

Para la determinación del factor de forma se utilizó la relación del área de la microcuenca y la longitud de la misma al cuadrado, obteniendo un valor de 0.24, que representa una forma ensanchada. Lo cual indica que el cauce contiene un caudal pico moderado durante menos tiempo en el transcurso del río.

Por otro lado, el coeficiente de compacidad compara la forma de la cuenca con el perímetro de un círculo que posee igual área en la cuenca. El coeficiente de compacidad hallado para la microcuenca es de 2.63, indicando que posee una forma rectangular oblonga. Cuanto más redonda es una cuenca, más tarda en llegar la crecida a la desembocadura y a su vez, más abrupto es el caudal máximo (González, 2004). De lo anterior se puede deducir que la microcuenca no es propensa a crecidas ya que, al precipitar habrá poca área de captación, además la escorrentía drenará de manera rápida al cauce principal.

La relación de elongación (Re) de la microcuenca es de 0.55, lo que significa que la cuenca es plana con porciones accidentadas. El resultado de Re indica que la microcuenca del Río La Campana posee crecidas de caudal más graduales, y, por ende, menor riesgo de inundaciones.

La microcuenca del Río La Campana posee segundo orden dado que tiene dos cauces de primer orden, indicando su grado de ramificación. La cuenca tiene dos corrientes de primer orden, estas son corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y no tienen afluentes. El número de orden del Río Negro pasa a ser de segundo orden cerca del trébol de Vista Hermosa en zona 15, uniéndose con el Río Sauce y otra quebrada, formando el Río La Campana. En base a lo anterior, la relación de bifurcación es de 0.50, lo que indica que existe una mayor dureza de material en la microcuenca y una cobertura vegetal más densa, ambos factores disminuyen la jerarquización de la red de drenajes (González, 2004). A medida que la relación de bifurcación es menor y la cuenca es más redondeada, existe un mayor riesgo de crecidas bruscas en la desembocadura (González, 2004); sin embargo, la forma de la microcuenca disminuye el riesgo de inundaciones en la desembocadura.

La densidad de drenaje es un indicador de la eficiencia de la cuenca para drenar y de su estado erosivo (González, 2004). La microcuenca del Río La Campana tiene una densidad de drenaje de 0.52 km/km². Este resultado indica un drenaje pobre en toda la microcuenca debido a la suavidad de la pendiente y a que no existe muchos afluentes dentro del área.

El tiempo de concentración de la microcuenca es de 1.15 horas, siendo una hora y nueve minutos que toma una gota en desplazarse desde la parte alta del cauce hasta el punto más bajo (punto de control). Esta variable puede fluctuar de acuerdo a las precipitaciones intensas que se dan en la época lluviosa. Finalmente, la pendiente media del cauce es de 2.92%. En la parte alta de la cuenca se encuentran mayores pendientes para las quebradas, pero al llegar entre zona 15 y zona 10, la pendiente se empieza a suavizar.

Aforo

En base a los resultados del aforo, mostrados en el cuadro 4, el caudal mayor se encuentra ubicado en la parte baja de la microcuenca del Río La Campana con un resultado de 99.06 l/s y el caudal menor en la parte alta de la microcuenca. El caudal del cauce principal puede estar afectado por las descargas de agua residual que drenan a este. Para determinar la medida en que es afectado el caudal se debe hacer un análisis más profundo, pues es necesario establecer la porción del caudal que proviene de la escorrentía superficial y la porción proveniente de aguas residuales no tratadas.

Cuadro 4. Resultados de aforo en Río La Campana

Parte de la microcuenca	Caudal	Punto de muestreo
Alta (l/s)	13.19	Debajo de la Cámara Guatemalteca de la Construcción, Muxbal.
Media (l/s)	49.44	Ubicación en Parque Jungla Urbana.
Baja (l/s)	99.06	Ubicación en Reserva Militar zona 10.

Cuadro 5. Familia de macroinvertebrados hallados en los tres puntos de muestreo e índice BMWP para el Río La Campana

Familia	Puntuación	Índice BMWP	Observaciones
Chironomidae	2	4	Calidad biótica "muy crítica" (< 15 puntos) Agua fuertemente contaminada. Representación cartográfica debe etiquetarse de color rojo.
Culicidae	2		

Cabe mencionar que para resultados de caudal más exactos y precisos se debe recurrir a otras metodologías de medición, como por ejemplo aforo por molinete. Sin embargo, se optó por el método de flotador simple por su facilidad de implementación y réplica. Por otro lado, para que los resultados del aforo sean más representativos del comportamiento hidrológico del Río La Campana se debe efectuar varias mediciones en época lluviosa y época seca.

Bioindicadores (macroinvertebrados)

En el cuadro 5 se observa la presencia de únicamente dos familias de macro invertebrados, Chironomidae y Culicidae, encontrados en los tres puntos de muestreo. Este hallazgo indica grave eutrofización en el río. Los quironómidos fueron la familia encontrada en mayor proporción, estos, en su gran mayoría, prefieren aguas cloacales o residuales; las que se caracterizan por ser anóxicas. Estos animales son capaces de vivir en estas condiciones gracias a la presencia de hemoglobina en su hemolinfa, permitiéndoles aprovechar al máximo el poco oxígeno disuelto en estas aguas. Esta familia tiene una valoración de 2 según el índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party).

Conclusiones

Los resultados de los parámetros morfométricos del Río La Campana indican que el cauce contiene un caudal pico moderado durante menos tiempo. La microcuenca no es propensa a crecidas que causen inundaciones, estas crecidas de caudal se comportan de forma gradual. Además, la microcuenca posee una densidad de drenaje pobre, dado a sus características de pendiente y la cantidad de arroyos que se encuentran en ella.

El caudal mayor se encuentra ubicado en la parte baja de la microcuenca del Río La Campana. Este puede estar afectado por las descargas de agua residual que drenan al río.

Se posee un ambiente altamente anóxico en las aguas del Río La Campana, lo que es apoyado por la alta densidad de quironómidos encontrados en todos los puntos de muestreo. La fuerte contaminación presente en la microcuenca ha mermado la diversidad de las pocas zonas de reservas naturales de la ciudad de Guatemala, evidenciado por el hallazgo de únicamente 2 familias de dípteros habitando las aguas de cuenca.

Agradecimientos

A la Licenciada Elena Reyes por brindar su valioso tiempo y conocimiento en el tema de calidad de agua. Se reconoce el apoyo clave del Ingeniero Roberto Godo, Gamaliel Zambrano y Cristian Rossi. También, es importante resaltar la participación de los estudiantes de ingeniería civil Katherin Cucul, José González-Campo, Rodrigo Guerrero, Sergio Hernández, María Fernanda Solís y Valeria Solís durante las actividades de toma y recolección de muestras. Se agradece la colaboración y apoyo de la Mesa de Barranqueros, la Asociación de Recuperación Integral de Ríos Negro, Contreras y Santa Rosita (ARICNECO) y el Ministerio de la Defensa Nacional quienes fueron aliados estratégicos para la elaboración del estudio.

Bibliografía

- Alba-Tercedor, J., Sánchez-Ortega, A. (1988) *Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell* (1978) *Limnética*, 4, 51-56.
- Basterrechea, M., Dix, M., Van Tuylen, S., Méndez, A., Díaz, L., Mayorga, P., Gil, N. (2019) *Calidad del agua en Guatemala* En: The Inter-American Network of Academies of Sciences (Ed.), *Calidad del Agua en las Américas: Riesgos y Oportunidades* pp. 374-392, Cuernavaca, México: IANAS.
- Castro, G., Medina, P., Peraza, C. (2009) *Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán* *Ingeniería* 13 (1): 49-58.
- González, A. I. (2004) *Análisis Morfométrico de la Cuenca y de la Red de Drenaje del Río Zadorra y sus Afluentes Aplicado a la Peligrosidad de Crecidas* A.G.E. (38): 311-329.

- Hincapié, M., Chaverra, G. (2015) *Diagnóstico de aguas Manual de laboratorio Medellín*, Colombia: Universidad del Medellín.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar (2011) *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada* (2ª ed.). Guatemala, Guatemala: IARNA-URL.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, The Nature Conservancy (Eds.) (2013) *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala* Guatemala, Guatemala: IARNA-URL y TNC.
- Jardí, M. (1985) *Forma de una cuenca de drenaje, Análisis de las variables morfométricas que nos la definen* Revista de Geografía XIX, 41-68.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN. (2015) *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Guatemala*. Guatemala, Guatemala: MARN.
- Ongley, E. D. (1997) *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos* Roma, Italia: Italia: FAO.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., Rieradevall, M. (2009) *Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas* En: Domínguez, E. Fernández, H.R. (Eds.) *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos* (Primera, pp. 1-24 Capítulo 20) Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Rigola-Lapeña, M. (1990) *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Marcombo.
- Roldán, G., Ramírez, J. (2008) *Fundamentos de limología neotropical* (2ª ed.). Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Soria, M., Quevedo, J. (2019) *Estado ecológico de franjas ribereñas e indicadores biológicos de calidad de agua en la subcuenca del río Hato*. Yu'am Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático, 3 (5), 4-20.