



Universidad de Carabobo
Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología
Departamento de Biología



**COMPARACIÓN FISICOQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE
ALGUNOS TRAMOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
GUÁQUIRA, ESTADO YARACUY, VENEZUELA**

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo
Como requisito obligatorio para optar al título de Licenciada en Biología

Presentado por:
Br. Silvia Cristina Ramos Torres

Bajo la tutoría de:
MSc. Belkys Pérez
Lic. Liliana Nieto

Valencia, Julio de 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



ACTA

Mediante la presente se deja constancia que el (la) **Br. Silvia Cristina Ramos Torres**, Cédula de Identidad N° **19.034.477**, presentó ante el Jurado aprobado por el Consejo de Departamento de Biología de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología (FACYT), de la Universidad de Carabobo, su Trabajo Especial de Grado (T.E.G.), titulado: ***“Comparación físico-química y bacteriológica de algunos tramos de la microcuenca del río Guáquira, Estado Yaracuy, Venezuela”***, en concordancia con los artículos 16, 17, 18 y 19 de las Normas de Interés Estudiantil. El jurado evaluador consideró que, luego de haber aprobado dicho trabajo el (la) bachiller cumple con los méritos académicos necesarios para obtener el Título de Licenciado en Biología.

En Valencia, a los trece días del mes de julio del año dos mil dieciseis.

Prof. BelKys Pérez
Tutora



Lcda. Liliana Nieto
Tutora

Lcda. Virginia Leal
Jurado Principal

MSc. Vincenzo Storaci
Jurado Principal

DEDICATORIA

A DIOS, MIS PADRES Y FAMILIA.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Carabobo, la Facultad de Ciencias y Tecnología (FACyT) y al Departamento de biología y al laboratorio de biotecnología por todo el apoyo y la facilitación de los equipos, reactivos y transporte requeridos para la realización de este trabajo.

A mis tutoras, la profesora Belkys Pérez, quien con gran profesionalismo, constantes orientaciones y dedicación fue posible culminar esta investigación, además del apoyo con el transporte. Y la Licenciada Liliana Nieto por presentarme este proyecto junto a la profesora Belkys Pérez, además de su paciencia, palabras de aliento y evaluación de mi trabajo de grado.

A Vincenzo Storaci por su ayuda en el laboratorio, su experiencia y conocimientos en el área para aclarar las dudas que se presentaron en la investigación así como la evaluación de esta investigación.

Al profesor Rafael Fernández por su gran aporte académico para culminar esta investigación.

A la Reserva Ecológica La Hacienda Guáquira por permitirme realizar este trabajo de investigación y a Delvis Romero por su ayuda en el muestreo.

A Cesar Rivero y Sandra Gabriela Ródenas de Rivero por brindarme su apoyo con el transporte cuando las condiciones en el departamento de biología no eran las más favorables para realizar las salidas de campo.

A Franger García por apoyo en las salidas de campo, a Yudetzy Marcano y Valeria Montilla por su ayuda, supervisión en el laboratorio y consejos en el procesamiento de muestras.

A Wilfredo Yeguéz por su ánimo y palabras de aliento cuando más lo necesitaba y su participación en el proyecto a nivel personal.

A mi madre Nancy Torres de Ramos por estar en cada etapa de mi vida aminándome para no desfallecer en los momentos más difíciles que se me han presentado.

A Simón Colomine por creer en mí y darme palabras de aliento para crecer a nivel personal.

Finalmente, a todas esas personas que faltan por nombrar y que tantas palabras de aliento me brindaron para culminar la carrera, ya que sin su apoyo y cariño, no hubiese podido lograr mis metas y sueños.

Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	6
1.2 Hipótesis.....	7
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
2. Materiales y Métodos.....	9
2.1 Área de estudio.....	9
2.2 Periodo de muestreo.....	11
2.3 Selección de puntos de muestreo.....	11
2.4 Diseño de muestreo.....	11
2.5 Variables fisicoquímicas del tramo.....	12
2.5.1 Variables abióticas del tramo.....	12
2.5.2 Variables bióticas del tramo.....	13
2.6 Análisis estadísticos.....	14
2.6.1 Análisis multivariado.....	14
2.6.2 Análisis de varianza no paramétrica.....	14
2.6.3 Análisis correlacionales.....	14
3. Resultados	15
3.1 Tipos de tramos identificados en la microcuenca del río Guáquira.....	15

3.2. Descripción general de las variables hidrogeomorfológicas, físicoquímicas y bacteriológicas evaluadas en los tramos.....	20
3.3 Caracterización hidrogeomorfológica y bacteriana de los tramos.....	26
3.4 Caracterización físicoquímica, hidromorfométrica y bacteriana de los tramos.....	28
3.5 La densidad bacteriana a nivel de los cauces.....	31
3.6 La densidad bacteriana a nivel de los tramos.....	32
4. Discusión.....	34
5. Conclusiones.....	40
6. Recomendaciones.....	41
7. Bibliografía.....	42
8. Apéndice.....	48
9. Anexos.....	51

Índice de Figuras

1. Organización jerárquica de un sistema lótico (Tomado y modificado de Frissell y col., 1986).....2
2. a. Ubicación geográfica del estado Yaracuy. b. Tributarios que conforman el cerro Zapatero y puntos de muestreo (★10
3. Promedio de precipitaciones por meses registrados en el sector La Marroquina, desde 1970 hasta 2004.....11
4. Diferentes tramos cascada observados en el tributario La Herrera 1 (A y B) y tributario La Herrera 2 (C) del cerro Zapatero.....16
5. Tres tramos escalón-pozo con diferente ubicación, tributario La ecológica (A), tributario La Herrera 1 (B), y tributario La Herrera 2 (C).....18
6. Tramo lecho-plano ubicado en el río Guáquira (A).....19
7. Tramo Rápidos-Remansos ubicado en el río Guáquira (A y B).....20
8. Tramo Dunas-Rizos ubicado en el río Guáquira (A, B y C).....22

9. Crecimiento bacteriano en placas con agar MacConkey: A) crecimiento a 37°C (para evidenciar coliformes totales, B) crecimiento a 44°C (para evidenciar coliformes fecales).....25
10. Análisis de Componentes Principales. Ordenamiento de los 8 tramos muestreados en la microcuenca del río Guáquira en abril 2016 basado en las variables hidrogeomorfológicas, el índice del hábitat y los coliformes totales (Barbour y col, 1999 modificado por Segnini y col. 2009). Varianza acumulada en los tres primeros ejes: 94,028%. C: Cascada (■); EP: Escalón-Pozo (◆); LP: Lecho-Plano (▲); RR: Rápidos-Remansos (●) y DR: Dunas-Rizos (+). Leyenda de variables y tramos (apéndice 2 y 3).....27
11. Análisis de Componentes Principales. Ordenamiento de los 8 tramos muestreados en la microcuenca del río Guáquira en abril 2016 basado en las variables hidromorfométricas, fisicoquímicas y bacteriológicas. Varianza acumulada en los

tres primeros ejes: 75,494%. C: Cascada (■); EP: Escalón-Pozo (◆); LP: Lecho-Plano (▲); RR: Rápidos-Remansos (●) y DR: Dunas-Rizos (×). Leyenda de variables y tramos (apéndice 2 y 3).....30

12. Densidad de bacterias coliformes totales entre los tributarios, el río Guáquira y el río Yaracuy. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....32

13. Densidad de bacterias coliformes totales en los diferentes tipos de tramos del cerro Zapatero y el río Guáquira. Kruskal-Wallis, $p = 0,000387$. Cascada (C), Escalón-Pozo (EP), Lecho-Plano (LP), Rápidos-Remansos (RR) y Dunas-Rizos (DR). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....33

Índice de Tablas

1. Valores promedio, mínimos y máximos de variables fisicoquímicas, hidrogeomorfológicas y biológicas de los tramos de la microcuenca del río Guáquira.....25

2. Valores de correlación de Pearson de las variables hidrogeomorfológicas, el índice del hábitat y la densidad de bacterias coliformes totales con los tres primeros componentes principales ($R_{\text{crítico}}: 0,338$; $p: 0,01$).....28

3. Valores de correlación de Pearson, de las variables físicas, químicas y biológicas con los tres primeros componentes principales ($R_{\text{crítico}}: 0,338$; $p: 0,01$) ($p = 0,01$; $r = 0,338$).....29

Resumen

Para verificar si la densidad bacteriana es regulada por las variables hidrogeomorfológicas que caracterizan a los cauces o por la interacción entre estas y las variables fisicoquímicas del agua, se propuso comparar a las densidades de bacterias coliformes entre diferentes tipos de tramos y asociar las posibles variaciones con los parámetros fisicoquímicos e hidrogeomorfométricos que definen a los tramos de algunas quebradas y del cauce principal que conforman la microcuenca del río Guáquira, estado Yaracuy, Venezuela. Se identificaron cinco tipos de tramos: Cascada (C), Escalón-Pozo (EP), Lecho-Plano (LP), Rápidos-Remansos (RR) y Dunas-Rizos (DR). En las áreas de remansos de cada tramo se tomaron muestras de agua para determinar la densidad de bacterias planctónicas y conjuntamente se midieron variables hidrogeomorfométricas (ancho, velocidad, profundidad, y caudal), variables fisicoquímicas (temperatura ambiental y del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad, nutrientes y turbidez), la calidad del hábitat ribereño y del cauce a través de la planilla de la calidad del hábitat (EPA) y la pendiente. El muestreo se llevó a cabo entre la época seca e inicio de lluvias (abril, mayo y junio 2016). Un análisis de componentes principales evidenció que los tramos definidos a priori de manera visual podían ser discriminados en función de las variables hidrogeomorfométricas principalmente y aun de las variables fisicoquímicas del agua. Un Análisis de Similitud (ANOSIM) confirmó esta discriminación entre la mayoría de los tramos a excepción de EP versus LP, es decir, la densidad de coliformes totales difirió significativamente ($p < 0,05$) entre la mayoría de los tramos siendo el tramo cascada el más disímil ($C \neq (EP=LP) \neq (RR=DR)$). La densidad de coliformes totales fue significativamente mayor en los tramos RR y DR del río Guáquira. Estos resultados parecen indicar que la hidrogeomorfología regula la densidad bacteriana y en tal sentido la evaluación bacteriológica de la calidad del agua de esta red hidrológica.

Palabras clave: bacterias planctónicas, coliformes, hidrogeomorfología, tributarios.

1. Introducción

El agua es la fuente de vida que todo ser vivo necesita para sobrevivir, es por ello, que la forma más inmediata para obtener agua dulce, es gracias a la formación de ríos y arroyos que se producen luego de que se inician las precipitaciones en el ciclo hidrológico. Es por esto que, los ríos suelen encontrarse intervenidos para uso doméstico, agrícola, ganadería, industrias y recreación por parte de acciones antrópicas. Actualmente se conoce que la superficie total de la Tierra, se encuentra ocupada por aproximadamente 70% de agua en forma de mares con 96,5% glaciares con 1,74% lagos con 0,007% y ríos con 0,0002%. Esto impulsa a estudiar cada día como se encuentran los cuerpos de agua dulce para evitar su contaminación y mantener las necesidades de todos los seres vivos que tanto dependen de este recurso (Auge, 2007; Elozegi y Sabater, 2009; Fernández, 2012; UNESCO, 2014).

Los ríos se originan en la cúspide de las montañas con gran o mediana altitud, es decir, con pendiente alta, hasta su destino final conocido como desembocadura que suelen ser lagos u océanos con baja altura o pendiente. En su recorrido, no solo se transporta agua, sino también rocas de gran tamaño que se desprenden generalmente en la naciente del cauce, fauna, materia orgánica y sedimentos. Las rocas de gran tamaño, tienden a desprenderse por la corriente que posee el agua, dando como resultado la erosión de la tierra y provocando cambios morfológicos del cauce. Es por esto, que los ríos están sujetos a cambios permanentes en su morfología y en los parámetros fisicoquímicos que lo componen (Gómez, 2003; Elozegi y Sabater, 2009).

Para llevar a cabo estudios ecológicos en los ecosistemas lóticos es necesario tomar en consideración la estructura física del cuerpo de agua. Esto es, evaluar la forma, las dimensiones del cauce, la diversidad de los hábitats, entre otros. También es importante considerar, el transporte de sedimentos, nutrientes y materia orgánica, así como la calidad química del agua y el componente biótico (Elozegi y Sabater, 2009; Rojas, 2011).

Actualmente existen diversas técnicas para clasificar y describir correctamente los sistemas lóticos. Pero para esta investigación, la clasificación de interés, se refiere a la organización jerárquica basada en la hidrogeomorfología de los ríos, la cual es la ciencia encargada de estudiar los procesos hidráulicos que afectan espacial y temporalmente el desarrollo físico, químico y biológico en las diferentes escalas de clasificación desde la cuenca hasta los hábitats (Montgomery y Buffington, 1997; Bisson y col., 2006). En este sentido, la clasificación jerárquica permite categorizar una cuenca en diferentes niveles desde los superiores a escala regional como lo es la cuenca *per se* hasta niveles más inferiores o específicos a escala local como lo son los tramos y los hábitats. Frissell y col. (1986) propusieron un sistema de clasificación jerárquica que engloba los diferentes niveles (Figura 1).

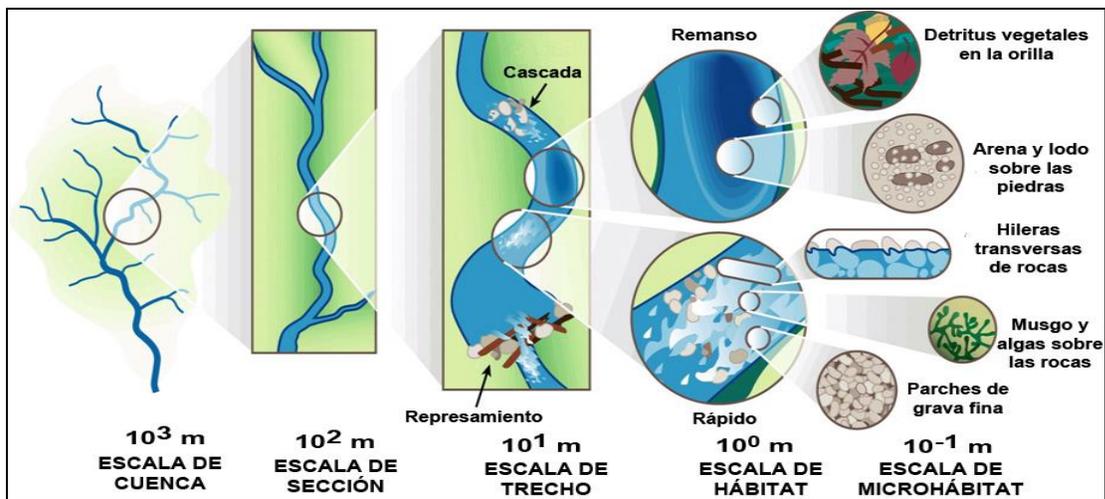


Figura 1. Organización jerárquica de un sistema lótico (Tomado y modificado de Frissell y col., 1986).

Así la descripción de cada nivel de la organización jerárquica según Frissell y col. (1986) es la siguiente:

- Escala de la cuenca: está conformada por todas las aguas superficiales que conforman la red hidrológica. Se encuentra afectado por la geología, el drenaje y el clima.

- Escala de la sección: se refiere a una porción de un curso de agua que fluye a través de un tipo de roca y se encuentra limitado por uniones de tributarios o grandes cascadas.
- Escala del trecho o tramo: se define como la longitud de un tramo delimitada por cambios en la pendiente, vegetación ribereña, material del cauce, entre otros. Normalmente su longitud se mide en metros hasta decenas de metros en pequeños arroyos o tal vez cientos de metros o más en arroyos más grandes.
- Escala del hábitat: se refiere a las unidades de hábitat que conforman el lecho de un cuerpo de agua. Está definido por la velocidad de la corriente del agua, la profundidad y la heterogeneidad del material inorgánico y orgánico.
- Escala del microhábitat: está conformado por parches dentro de los diferentes hábitats. Al igual que los hábitats, son unidades útiles para la investigación de la ecología del comportamiento de organismos, debido a que el estudio de una pequeña escala debe proporcionar información a escalas más grandes.

Clasificación hidrogeomorfológica

De acuerdo con este tipo de clasificación, la hidrogeomorfología se encarga del estudio de las interacciones entre los procesos hidrológicos y geomorfológicos, que se encuentran conformados por los diferentes tipos de tramos, siendo de interés para este estudio, los cuales conforman los cauces de los ríos. En este sentido, Montgomery y Buffington (1997), establecieron una clasificación hidrogeomorfológica de diferentes tipos de tramos que puede poseer un cauce desde aguas arriba hasta aguas abajo, la cual se describe a continuación:

El tramo cascada se ubica en zonas estrechas con pendiente abrupta y longitudinalmente se observan rocas de gran tamaño sin arreglos definidos. Posee remansos que se ubican en pequeñas áreas dentro del cauce. Como característica de este tipo de tramo, es común encontrar pozos pequeños y parcialmente separados por una distancia menor al ancho del cauce. Otro tipo de tramo es el escalón-pozo, que se

distingue por presentar cantos rodados de tamaño medio en las áreas de rápidos. La pendiente es menor que la del tramo anterior y mayor que la de los tramos que se encuentran aguas abajo. Los remansos retienen el sedimento fino que se acumula de forma extendida en el cauce. Se observa un espaciamiento de remansos entre 1 a 4 veces el ancho del caudal. En este tipo de tramo, el cauce es generalmente definido por una mayor profundidad y un menor ancho. Por su parte, el tramo lecho-plano representa a cauces relativamente rectos y largos con profundidad uniforme y con pendiente entre 1-4%. Se suele ubicar entre los tramos cascadas y los tramos escalón-pozo o rápidos-remansos. La corriente del cauce se caracteriza por tener una velocidad de moderada a lenta y el lecho por contener rocas de mediano a gran tamaño. Se suelen observar la deposición de sedimento en áreas con combinación de arena y grava y en parches de arena. Mientras que, el tramo descrito como rápidos-remansos se observa en tributarios de mediano tamaño con pendientes de 1 a 2%. El espacio entre el rápido y el remanso, equivale entre 5 a 7 veces el ancho del caudal. Se suele formar una ondulación en el cauce con la formación de rápidos y remansos, acompañados de barras de gravas. Los rápidos se ubican entre los remansos y las barras. Por último, se evidencia el tramo dunas-rizos que se asocia a trechos con muy baja pendiente y una gran acumulación de arena. La formación de este tramo está influenciada por la profundidad del cauce, la velocidad, el tamaño y la tasa del transporte del sedimento.

Por su parte, el agua de los ríos alberga diversas formas de vida, desde microorganismos (protozoos, hongos, bacterias) hasta vertebrados. La mayoría de estas comunidades han sido consideradas como objeto de estudio para entender la dinámica ecológica de las aguas corrientes. Mientras que, para este estudio es de interés la densidad de bacterias coliformes, que tienen forma de bastón o varilla y son llamados bacilos, no son esporulados, pertenecientes al grupo de bacterias Gram negativas y pueden ser aerobios (desarrollarse en presencia de oxígeno) o anaerobios facultativos (desarrollarse en presencia o ausencia de oxígeno); pueden fermentar

lactosa mediante la producción de gas cuando son incubados a una temperatura de 37 o 44°C por un periodo de 48 horas. Este grupo de bacterias está conformada por una gran variedad de microorganismos, que pueden pertenecer al grupo de las enterobacterias denominado coliformes fecales, entre las más comunes se encuentran representados por *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae*, los cuales se suelen alojar en el tracto intestinal animal y poseen una temperatura óptima de crecimiento de 44°C; la presencia de este tipo de organismos en los cuerpos de agua indica la existencia de una contaminación fecal. Mientras que, el otro grupo de microorganismos no asociados al tracto intestinal como *Enterobacter aerogenes*, se ubican dentro de los coliformes totales que tiene un crecimiento óptimo de 37°C; no suelen ser patógenos puesto que se encuentran generalmente en el medio ambiente (Arcos y col., 2005; Madigan y col., 2006; OMS, 2006; Storaci y col., 2013).

En los ecosistemas lóticos y particularmente en los ríos de primer a cuarto orden, la comunidad bacteriana es la principal responsable de procesar la materia orgánica alóctona que entra a los ecosistemas, la cual luego queda disponible o acondicionada para el consumo de los macroinvertebrados; las bacterias en los cuerpos de aguas corrientes pueden ser planctónicas ocupando la columna de agua o pueden colonizar el sustrato inorgánico, especialmente las rocas, cantos rodados y sedimentos finos generando un biofilm; su diversidad y densidad es afectada por múltiples factores fisicoquímicos y biológicos, entre los primeros destacan la disponibilidad del sustrato orgánico, la temperatura, el tamaño del sustrato inorgánico, el oxígeno, entre otros, mientras que, entre los segundos destacan el desarrollo de la comunidad algal y la actividad bacterívora de los protistas zooides (Nazar, 2007; Romani, 2009).

El conocimiento sobre las comunidades bacterianas ha generado un valor aplicado, ya que desde 1914 las mismas son utilizadas como bioindicadores para evaluar la calidad microbiológica de las aguas (Mugnai y col., 2015); especialmente las bacterias coliformes que son los bioindicadores más utilizados por su detección rápida y sencilla, en este sentido este grupo bacteriano es aplicado como indicador de

contaminación debido a que son comunes en el tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales homeotermos (sangre caliente), por lo que al ser vertidas a los cuerpos de agua tienden a permanecer por más tiempo que otro tipo de bacterias patógenas (Arcos y col., 2005).

Actualmente, se suele encontrar abundante literatura referente a la evaluación ecológica de los sistemas lóticos, tomando en consideración el uso de macroinvertebrados acuáticos (Zamora y col., 2012; Gil, 2014). Adicionalmente, otros estudios de evaluación ecológica aportan enfoques multifactoriales que permiten caracterizar a los cuerpos de agua en función de parámetros fisicoquímicos pero siempre vinculados a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Segnini y Chacón, 2005). No obstante, recientemente algunos estudios han tomado en consideración el uso de microorganismos como los hifomicetos para evaluar la calidad ambiental de los cauces (Storaci y col., 2013; Obispo, 2014). Encontrándose entonces, pocos estudios como los de Fuentes y col. (2008), Illarramendi (2008) y Mugnai y col. (2015), los cuales se enfocaron en la densidad bacteriológica de los cuerpos de agua, vinculando el uso de bacterias del grupo coliformes, los procesos hidrogeomorfológicos y los parámetros fisicoquímicos.

1.1 Planteamiento del problema

Por muchos años se ha estudiado la calidad ecológica de los ríos mediante el uso de macroinvertebrados, y estos han confirmado una disminución de la calidad del agua en función de la afectación generada por actividades humanas (Oscoz y col., 2006; Mosquera y col., 2008). No obstante, otras investigaciones han puesto en relevancia el efecto de los procesos hidrogeomorfológicos de los diferentes tipos de tramos que conforman el cauce de un río, sobre las organizaciones de las comunidades acuáticas, en especial sobre los macroinvertebrados bentónicos (Roldán, 1999; Walteros y Daza, 2009). En tal sentido, en el presente trabajo, se plantea la siguiente interrogante ¿ocurriría lo propio con las poblaciones bacterianas, es decir, las mismas estarán

afectadas por los procesos hidrogeomorfológicos de los tramos que conforman el cauce de un río o será relevante para su organización solo la calidad fisicoquímica de las aguas? Para responder este cuestionamiento, se propone comparar a las densidades de bacterias coliformes entre diferentes tipos de tramos y asociar las posibles variaciones observadas con los parámetros fisicoquímicos e hidrogeomorfométricos que definen a los tramos de algunas quebradas del cerro Zapatero, estado Yaracuy, Venezuela.

De acuerdo a esto, se plantea evaluar si los arreglos físicos generados por los procesos hidrogeomorfológicos de los tramos de las quebradas o tributarios que conforman la microcuenca del río Guáquira, afectan la dinámica de los parámetros fisicoquímicos y la densidad poblacional bacteriológica presentes en el cauce.

Los tributarios que forman parte del cerro Zapatero son: La Sonadora, Corregidor, Colorado, La Ecológica y La Herrera, que desembocan en el río Guáquira. Estos son quebradas con poca intervención antrópica y con características apropiadas para evaluar el efecto de su morfología sobre la densidad bacteriana.

1.2 Hipótesis

1.- Si los procesos hidrogeomorfológicos definen la fisicoquímica del agua y afectan a la densidad poblacional bacteriológica, se espera que cada tipo de tramo evaluado presente una fisicoquímica y biota bacteriana (coliformes) propia y diferente de los tramos restantes.

2.- Si los procesos hidrogeomorfológicos no afectan la dinámica de la fisicoquímica del agua y la densidad bacteriana (coliformes), entonces entre los tramos no deberían existir diferencias al ser comparados en función de estos parámetros.

3.- Los tributarios que drenan a través del cerro Zapatero (la zona de reserva hidrológica con mayor protección de la hacienda y por ende con menor impacto antrópico), deberían mostrar una calidad fisicoquímica y biológica del agua superior a

la observada en el río Guáquira, ya que este cauce principal está siendo impactado por las actividades agrícolas y pecuarias de la zona. En tal sentido deberían observarse diferencias al comparar la calidad del agua del río Guáquira versus sus tributarios.

1.3 Objetivos

Con el propósito de comprobar las hipótesis planteadas, se plantearon los siguientes objetivos:

1.3.1 General:

Comparar las variables fisicoquímicas y bacteriológicas en algunos tramos de la microcuenca del río Guáquira, estado Yaracuy, Venezuela.

1.3.2 Específicos:

1. Definir los arreglos hidrogeomorfológicos de algunos tributarios del cerro Zapatero.
2. Estimar las variables fisicoquímicas y bacteriológicas en los diferentes arreglos hidrogeomorfológicos.
3. Relacionar las densidades poblacionales de coliformes con las variables fisicoquímicas.
4. Comparar si los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos son afectados por los arreglos hidrogeomorfológicos de los tributarios.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El área de estudio se ubicó dentro de la Reserva Ecológica La Hacienda Guáquira, que cuenta con una extensión de 2500 Has. en el sector La Marroquina del municipio San Felipe, estado Yaracuy, Venezuela (Figura 2.a), se trabajó en algunos tributarios (río Guáquira, La Herrera 1, La Herrera 2 y La Ecológica) del cerro Zapatero, cuyo gradiente altitudinal va de los 100 a los 1.400m.s.n.m definido por las coordenadas geográficas: 10°16'59''N y 68°39'33''O. La Hacienda está delimitada por la ribera del río Yaracuy hasta la cumbre del cerro Zapatero (Figura 2.b) (Riera y col., 2010).

La Reserva Ecológica La Hacienda Guáquira, dentro del marco legal, es un área que presta servicios para realizar diversas actividades como: ganadería, agricultura, recreación y conservación. Actualmente, posee 500 Has. para la actividad agrícola, que se centra en el cultivo de plátano, batata, sorgo, caña de azúcar, cacao y auyama, así como también la siembra de flores ornamentales. Uno de los ingresos principales de la Hacienda, es la ganadería y para el sustento del ganado vacuno, es necesario que cuenten con valores de calidad del agua descritos en el Decreto N°2181 (1998). Además del suministro de agua para la ganadería, también se usa el agua para el riego agrícola, visitantes recreacionales y académicos (Riera y col., 2010).

De acuerdo a las precipitaciones que se registran en el sector La Marroquina, los meses más húmedos del año se corresponde desde mayo a noviembre, siendo el mes de julio el de mayor precipitación, el cual supera los 250mm. Mientras que, los meses desde diciembre hasta abril presentan los valores más bajos de precipitación (Figura 3). Las precipitaciones anuales en el estado se promedian en 1.021mm de lluvia al año, mientras que, la temperatura media anual oscila entre 20 y 26°C (Riera y col., 2010; INAMEH, 2015).

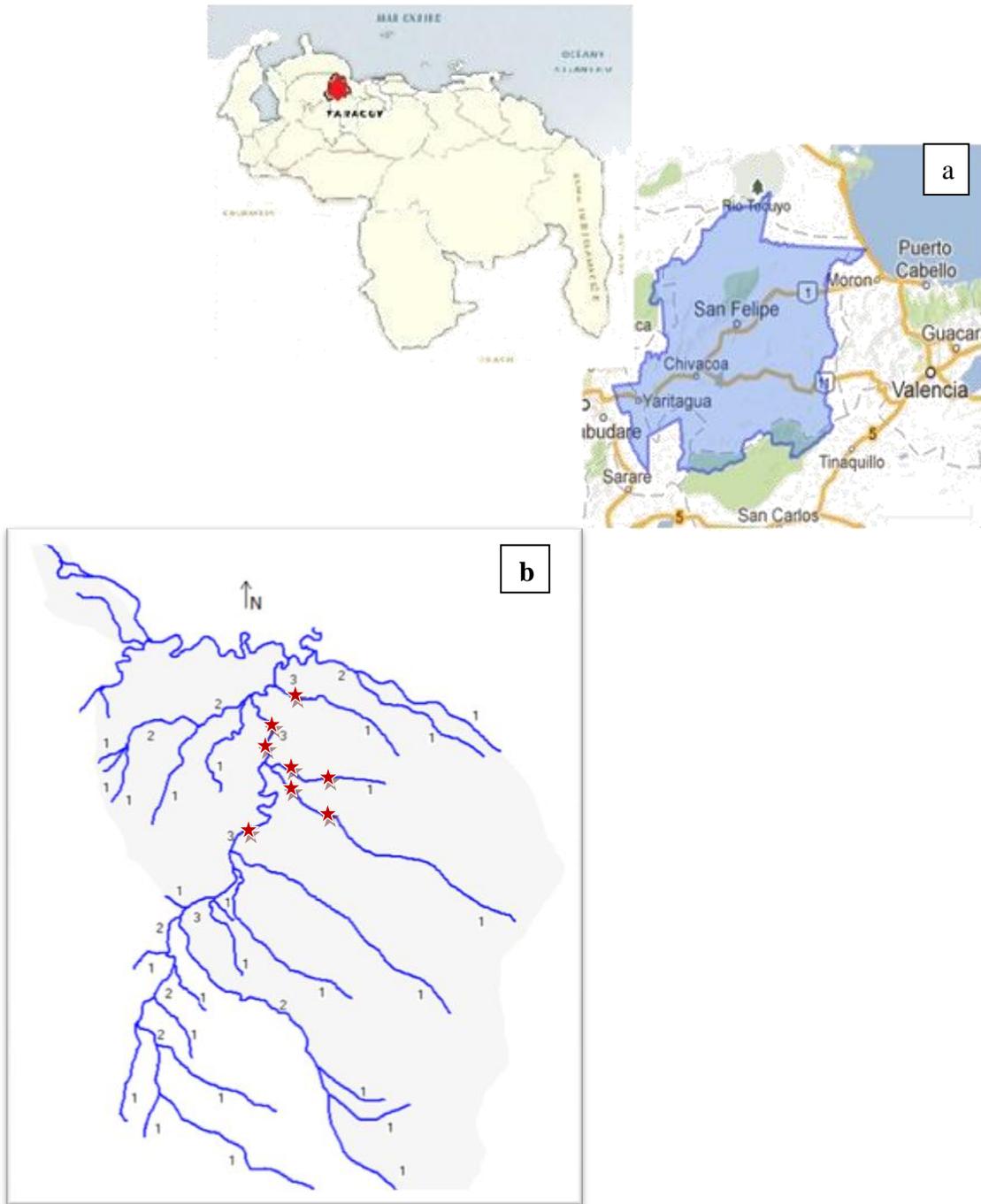


Figura 2. a. Ubicación geográfica del estado Yaracuy. b. Tributarios que conforman el cerro Zapatero y puntos de muestreo (estrella). a. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Yaracuy> y http://occidenzuela.blogspot.com/2015_02_01_archive.html b. <http://www.mucubaji.com/guaquira/EEGGeografia.html>)

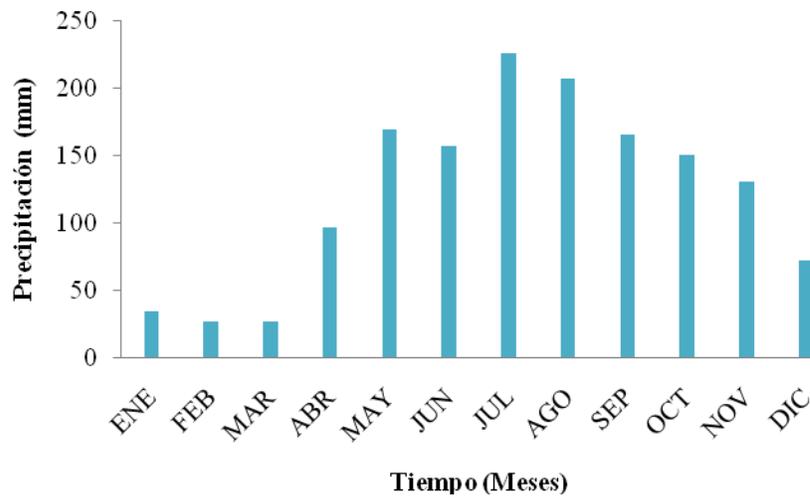


Figura 3. Promedio de precipitaciones por meses registrados en el sector La Marroquina, desde 1970 hasta 2004. Datos disponibles en:

http://www.inameh.gob.ve/datos_precipitacion/yaracuy/La%20Marroquina.pdf

2.2 Periodo de muestreo

Se efectuaron tres salidas de muestreo, en el mes de abril (periodo de sequía), el mes de mayo y el mes de junio (principios de lluvia) del año 2016.

2.3 Selección de puntos de muestreo

Para la caracterización de los tributarios del cerro Zapatero, se ubicaron, reconocieron y describieron los diferentes tramos de interés (cascada, escalón-pozo, lecho-plano, rápidos-remansos y dunas-rizos) de acuerdo a la clasificación propuesta por Montgomery y Buffington (1997). En dichos tramos se tomaron muestras de agua y se determinaron los parámetros fisicoquímicos *in situ*.

2.4 Diseño de muestreo

Dentro de cada tramo identificado y seleccionado, se delimitó una sección que correspondió a una transecta dentro del curso de agua con 75m de longitud.

Seguidamente, en la sección escogida de cada tramo se dividió en tres subsecciones de 15m cada una.

2.5 Variables fisicoquímicas del tramo

Una vez ubicados los tramos de interés, se realizó la caracterización de los mismos de acuerdo a las siguientes variables ambientales:

2.5.1 Variables abióticas del tramo

De acuerdo a las variables morfométricas o evaluación del hábitat, se realizaron tres subdivisiones del tramo y se tomaron en cuenta la profundidad (m), el ancho (m), la velocidad de la corriente (m/s), la descarga (m^3/s) y la pendiente (%). El ancho y profundidad del río se midieron con una cinta métrica, mientras que, la velocidad de la corriente se registró con un flotador, una regla extensible y un cronómetro. Estas tres variables fueron combinadas para obtener la descarga o caudal del río.

En cada subtramo, se registraron las siguientes variables ambientales y fisicoquímicas del agua: la temperatura del aire y del agua ($^{\circ}C$) con un termómetro ambiental, la turbidez (NTU) se midió con un turbidímetro marca Orbeco-Hellige, el pH y la conductividad (mS/cm) con un medidor multiparamétrico portátil marca Lovibond modelo Senso Direct 150, el oxígeno disuelto se midió con un oxímetro portátil marca Sper Scientific. En cada punto se tomaron las coordenadas de muestreo con un GPS portátil marca Magellan modelo Triton X-500. Para la cuantificación de los miligramos por litro (mg/l) de los nutrientes que se encuentran disueltos en el agua (nitratos, nitritos y fosfatos) se tomó en cada tramo una muestra de 1000ml de agua en envases de plásticos limpios, de acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 2709-2002. Estas muestras de agua fueron transportadas en frío a una temperatura de $4^{\circ}C$ (cava con hielo), hasta el laboratorio de Biotecnología del Departamento de Biología de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo. Para determinar estos nutrientes se usó un espectrofotómetro marca

Thermo Spectronic modelo Genesys 10 a diferentes longitudes de onda nitratos (220nm), nitritos (540nm) y fosfatos (660nm) (Storaci y col, 2013).

2.5.2 Variables bióticas del tramo

En cada tramo evaluado se colectó una muestra de agua de 100ml, almacenada en un recipiente de vidrio previamente esterilizado y rotulado; la muestra se tomó específicamente donde la corriente del agua era lenta, es decir, en los remansos, ya que en estas zonas el agua suele encontrarse estancada, garantizando así la presencia de bacterias planctónicas, ya que en el área de los rápidos, la velocidad produce un “lavado” de las mismas. Cada muestra representó a la comunidad bacteriana planctónica (no bentónica), de la cual se procedió a estimar la densidad de los coliformes presentes; cuya abundancia en la columna de agua se estima tiende a ser mayor en las áreas de remansos (Mugnai y col., 2015).

La toma de las muestras se realizó en contracorriente, como lo establece la Norma Venezolana COVENIN 2709-2002. Posteriormente se transportaron en frío (4°C) hasta el laboratorio de Biotecnología del Departamento de Biología de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo para determinar la densidad poblacional de bacterias presentes.

Para evidenciar un crecimiento óptimo bacteriano, es necesario que el cultivo o muestra donde se sospeche de la presencia bacteriana, cuente con los nutrientes fundamentales. Por esta razón, en el área de la microbiología, existen diversos medios de cultivos (sólidos, semi-sólidos o líquidos) con diferentes tipos de nutrientes, para garantizar un crecimiento óptimo de las bacterias de interés; en este sentido, existen medios básicos, medios enriquecidos, medios selectivos y medios especiales (Bailón y col., 2003). Para esta investigación es de interés el agar MacConkey el cual es un medio de cultivo selectivo sólido, que aporta los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano, está compuesto por peptonas, lactosa como hidrato de carbono,

una mezcla de sales biliares y cristal violeta que inhiben el desarrollo de bacterias Gram positivas (Laboratorios Britania, 2015).

En el orden de ideas del párrafo anterior, para la realización de la estimación de la densidad de coliformes totales y fecales, se aplicó el método de extensión en placas con agar MacConkey. Se obtuvieron 16 muestras de agua correspondientes a los 8 tramos evaluados en la microcuenca del río Guáquira. De cada muestra se tomaron por triplicado 100µl, para un total de 48 unidades muestrales. Cada unidad muestral se inoculó y extendió sobre la superficie de las placas con agar MacConkey, con ayuda de una varilla de vidrio en forma de L previamente esterilizada. Seguidamente, las placas se colocaron en incubadoras, durante 24 horas a las temperaturas correspondientes para observar el crecimiento de coliformes totales (37°C) y fecales (44°C) (Storaci y col., 2013). Finalmente, en cada replica, se contabilizaron las unidades formadoras de colonias (UFC) en 100ml de agua (UFC/ml).

2.6 Análisis estadísticos

2.6.1. Se realizó un análisis de componentes principales para comparar de manera exploratoria los tramos evaluados en función de los parámetros hidrogeomorfológicos, fisicoquímicos y biológicos. Seguidamente se empleó un análisis multivariado no paramétrico confirmatorio, el ANOSIM o Análisis de Similitud a fin de verificar si las diferencias entre los tramos eran significativas.

2.6.2 Se utilizó el análisis de varianza no paramétrico mediante la prueba Kruskal-Wallis para comparar la densidad poblacional bacteriana entre tramos de los tributarios y entre el cauce del río Guáquira.

2.6.3. Se empleó el valor de correlación de Spearman para evaluar la asociación entre la densidad bacteriana y las variables hidrogeomorfológicas y fisicoquímicas relevantes.

Estos análisis se llevaron a cabo mediante el programa PAST versión 2.1c (Hammer y col., 2001).

3. Resultados

3.1 Tipos de tramos identificados en la microcuenca del río Guáquira

En el presente estudio fue posible identificar 5 tipos de tramos, según la clasificación de Montgomery y Buffington (1997), tanto en los tributarios que drenan al río Guáquira desde el cerro Zapatero como en el propio cauce del río Guáquira. En este sentido, en los tributarios que drenan al río Guáquira, La Herrera 1, La Herrera 2 y La Ecológica se lograron identificar dos tipos de tramos: 1) Cascada (C) y 2) Escalón-Pozo (EP) y en el río Guáquira se lograron identificar los tramos: 3) Lecho-Plano (LP), 4) Rápidos-Remansos (RR) y 5) Dunas-Rizos (DR).

A continuación se describen dichos tramos en función de la información recabada mediante la evaluación de las variables determinantes según Montgomery y Buffington (1997), las cuales están principalmente relacionadas a la morfometría, al confinamiento, al arreglo del sustrato inorgánico y la pendiente, en conjunto con la planilla de evaluación del hábitat (Barbour y col., 1999 modificado por Segnini y col., 2009).

1) El tramo cascada (C), se caracterizó por presentar un flujo de agua rápido y representado un arreglo del perfil longitudinal por rocas grandes en áreas de caídas de agua, conocidas como clastos, generando pendientes abruptas (6-10%), seguidas por pozos profundos con una velocidad de la corriente menos turbulenta, debido a una disminución de la pendiente, en donde se observó la acumulación de sedimento fino. Además, presentó un confinamiento por valles con laderas escarpadas y un espaciamiento típico del remanso de una vez el ancho del cauce.

De acuerdo con el índice de calidad del hábitat (Barbour y col., 1999 modificado por Segnini y col., 2009), se identificaron 2 tramos C, obteniendo el mayor índice con 182 para el tributario La Herrera 1 y 178 para La Herrera 2. El sitio de estudio para este primer tramo se encuentra ubicado a $10^{\circ}17'0,33''N$ y $68^{\circ}39'05,7''O$ con una

altitud de 170m.s.n.m. mientras que, el segundo tramo cascada se encuentra ubicado en $10^{\circ}16'51,9''\text{N}$ y $68^{\circ}39'09,6''\text{O}$ con una altitud de 135m.s.n.m. Estos tramos estuvieron definidos por una variedad de combinaciones referentes a la relación profundidad-velocidad del agua, esto es: a) lento/profundo, b) lento/bajo y c) rápido/profundo; adicionalmente los hábitats de rápidos fueron relativamente frecuentes. Los márgenes mostraban cierto grados de erosión producto del confinamiento, no obstante, predominaba en las laderas la exposición de la rocamadre altamente estable; por último la amplitud de la vegetación ribereña boscosa se extendía por encima de los 18 metros y no se observó ningún impacto antrópico evidente (ver Figura 4).

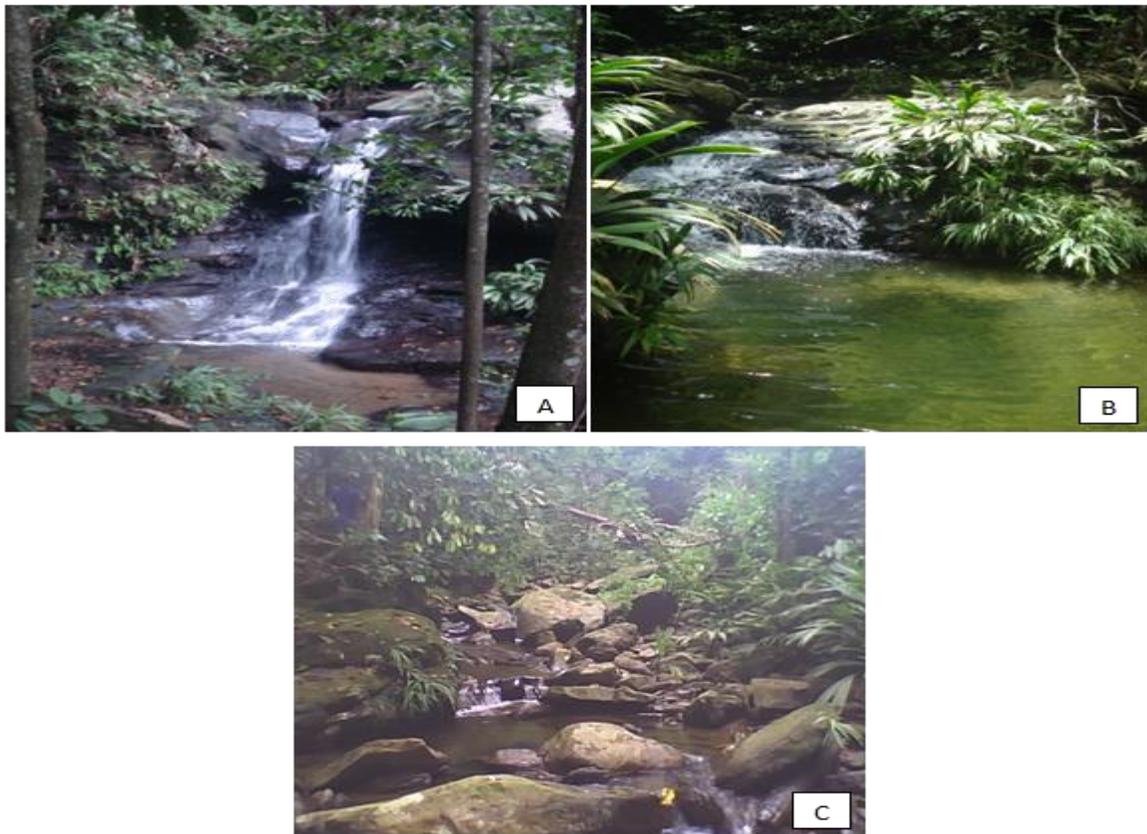


Figura 4. Diferentes tramos cascada observados en el tributario La Herrera 1 (A y B) y tributario La Herrera 2 (C) del cerro Zapatero.

2) El tramo escalón-pozo (EP), presentó un patrón morfológico definido por escalones conformados por rocas y guijarros, los cuales generan caídas de agua rápida. Este patrón se encontró asociado a un cauce con una pendiente variable y menor al tramo cascada (4-6%), con un sustrato predominante de rocas y guijarros, acompañados de poca arena y grava. El perfil longitudinal del sustrato inorgánico mostró un arreglo granular, en el cual los granos gruesos de las áreas de los rápidos eran seguidos por barras de arena y grava expuesta o sumergida y acompañadas de detritus en área de los remansos. Se evidenció un confinamiento leve de las laderas y un espaciamiento típico del remanso entre 1 a 4 veces el ancho del cauce.

De acuerdo con el índice de la calidad del hábitat, se identificaron 3 tramos (EP) obteniendo un índice de 153 en el tributario La Ecológica, 169 en el tributario La Herrera 1 y 169 en el tributario La Herrera 2. El sitio de estudio para el primer tramo EP se encuentra ubicado a $10^{\circ}17'41''\text{N}$ y $68^{\circ}39'12''\text{O}$ con una altitud de 132m.s.n.m. el segundo tramo EP se encuentra en $10^{\circ}17'09,7''\text{N}$ y $68^{\circ}39'19,9''\text{O}$ con una altitud de 124m.s.n.m. y el tercer tramo EP se encuentra ubicado en $10^{\circ}17'01,8''\text{N}$ y $68^{\circ}39'18,9''\text{O}$ con una altitud de 122m.s.n.m. La disminución de los valores del índice en comparación con el tramo cascada pudo deberse a: un mayor empotramiento del sustrato ya que entre un 25 y 50% de la superficie de las guijarros y gravas estuvo rodeada de sedimento fino; una menor número de combinaciones entre la velocidad y la profundidad del agua, esto es, a) lento/profundo, b) lento/bajo y c) rápido/profundo; una mayor deposición de sedimentos finos en los remansos; mayor exposición del cauce por el bajo caudal, ya que el agua sólo cubrió el 75% del cauce o menos del 25% del sustrato de fondo quedaba expuesto y los rápidos fueron menos frecuente. No obstante estos tramos estuvieron rodeados por vegetación ribereña boscosa que se extendía por encima de los 18 metros y no se evidenciaba un impacto antrópico (Figura 5).



Figura 5. Tres tramos escalón-pozo con diferente ubicación, tributario La ecológica (A), tributario La Herrera 1 (B), y tributario La Herrera 2 (C).

3) El tramo lecho-plano (LP), la morfología de este tramo es diferenciable de los restantes por el arreglo estocástico del sustrato inorgánico, el cual no permite evidenciar un patrón de espaciamento de las áreas de remansos o pozos. Este tramo es ampliamente recto aguas abajo y su pendiente varió entre 1 y 4%. Debido al arreglo estocástico, la composición del sustrato inorgánico fue variable con una mezcla de grava, arena acompañando a cantos rodados de tamaño variable, incluyendo rocas grandes. En cuanto al confinamiento por las laderas este fue variable ya que la ribera izquierda estaba confinada por el cerro Marimón, mientras que, en la ribera derecha no estaba confinada.

El índice de calidad del hábitat, arrojó para este tramo un valor de 133 en el río Guáquira, más bajo que los tramos anteriormente descritos. Este tramo, se encuentra ubicado a $10^{\circ}16'07''\text{N}$ y $68^{\circ}39'56''\text{O}$ con una altitud de 196m.s.n.m. Este tipo de

tramo, parece ser principalmente afectado por el empotramiento del sustrato ya que entre el 25 y 50% de la superficie del lecho estaba rodeada de sedimento fino. Conjuntamente, aguas arribas se observó la presencia de una batea construida para el paso de vehículos a través del lecho, además de cierta inestabilidad en las márgenes ribereñas por la alteración de la vegetación boscosa original y la evidencia de cierta erosión de las riberas. La estabilidad de los márgenes fue moderada, con pequeñas áreas de erosión. No obstante, no hay una total pérdida de la vegetación arbórea ya que entre los 6 y 12m de extensión de las riberas se observan árboles nativos de la zona (Figura 6).



Figura 6. Tramo lecho-plano ubicado en el río Guáquira (A).

4) El tramo rápidos-remansos (RR), se caracterizó por presentar un cauce levemente sinuoso, con una pendiente de 1 a 3%; con un sustrato inorgánico predominante de grava y arena en la zona de los remansos y cantos rodados de mediano tamaño en la zona de los rápidos, en este sentido el arreglo del sustrato en el perfil longitudinal mostró un patrón de granos gruesos en rápidos y amplios pozos con sedimento fino en remansos. En cuanto al confinamiento, aunque la tierra circundante era característica de planicies, las riberas estaban fuertemente erosionadas formando una especie de embaulamiento con alta erosión. En cuanto al

espaciamiento de los remansos este evidenció un patrón repetitivo equivalente 5 a 7 veces el ancho del cauce.

El valor del índice de la calidad del hábitat para este tramo, fue de 48 en el río Guáquira, que se encuentra ubicado a $10^{\circ}17'31''\text{N}$ y $68^{\circ}39'31''\text{O}$ con una altitud de 113m.s.n.m. Este tramo es afectado por la inestabilidad del sustrato en el cual se evidenciaba una remoción frecuente; por un mayor empotramiento del sustrato con más del 75% de las superficies de rocas, piedras y grava rodeadas de sedimento fino; por un bajo caudal, ya que el agua no alcanzaba a cubrir 75% del cauce, dejando expuesto la mayor parte del sustrato de los rápidos. Por otro lado los rápidos, dado el patrón de espaciamiento de los remansos, eran poco frecuentes, y en tal sentido la longitud de un remanso era equivalente a 7 veces el ancho del cauce. Igualmente las márgenes de las riberas presentaron una inestabilidad entre 30 y 60% de las mismas erosionadas, lo cual presume una fuerte remoción del sustrato del cauce y de las riberas durante las crecidas. Por último, la vegetación de ribereña estaba fuertemente intervenida siendo principalmente vegetación herbácea secundaria con pocos árboles nativos, por lo que el cauce no presentaba cobertura vegetal; la exigua vegetación ribereña nativa se extendía a no más de 12 m del cauce y mostraba un moderado impacto antrópico (Figura 7).



Figura 7. Tramo Rápidos-Remansos ubicado en el río Guáquira (A y B).

5) El tramo dunas-rizos (DR), se caracterizó por presentar un cauce con una pendiente que fluctuó entre 1 y 2% y con un sustrato inorgánico predominantemente de arena y arcilla, con poca grava. El arreglo del sustrato en el perfil longitudinal mostró un patrón acumulación de sedimentos de arena que generaban dunas en bucles. Por otra parte, se evidenció cierto confinamiento por las riberas, producto de la intensa erosión de las mismas por las crecidas, evidenciando el cauce más bien un encajonamiento a la largo de la planicie. El patrón de espaciamiento de las áreas de remanso, igual que en el tramo RR era equivalente de 5 a 7 veces el ancho del cauce.

El valor del índice de la calidad del hábitat para DR fue de 38 en el río Guáquira, que se encuentra ubicado a 10°17'68"N y 68°39'35"O con una altitud de 111m.s.n.m. Este tramo obtuvo el valor más bajo de todos los tramos evaluados. Las características que identificaron esta mayor afectación fueron: Un sustrato inorgánico inestable y no diverso u homogéneo, predominado por arena y arcilla, dejando apenas un 20% de todo el sustrato del cauce disponible para hábitats adecuados para la epifauna. En las áreas donde persistían cantos rodados de pequeño tamaño, estos evidenciaban estar empotrados por sedimentos finos; la única combinación de profundidad y velocidad existente era el lento/profundo, es decir, predomios de áreas de pozos o remansos; esta condición del sustrato evidenciaba una alta tasa de recambio de sedimentos, producto de la erosión; en la primera visita (abril 2016) el cauce mostraba muy poco caudal ya que la mayor parte del sustrato estaba expuesto; no se evidenciaron modificaciones artificiales del cauce, por lo que el impacto antrópico se reflejó principalmente en la alteración de la vegetación ribereña nativa, la cual era predominantemente abierta; las márgenes de las riberas estaban fuertemente erosionadas y por último la amplitud de la vegetación ribereña nativa no sobrepasó los 12m (Figura 8).



Figura 8. Tramo Dunas-Rizos ubicado en el río Guáquira (A, B y C).

3.2. Descripción general de las variables hidrogeomorfológicas, fisicoquímicas y bacteriológicas evaluadas en los tramos

La Tabla 1 muestra los valores promedios, máximos y mínimos de las variables abióticas y bióticas medidas en los tramos evaluados en la microcuenca del río Guáquira. La tendencia general observada para las variables hidrogeomorfológicas, fue el aumento de los valores aguas abajo, tal es el caso de velocidad de la corriente; igualmente para las variables fisicoquímicas se observó tendencia similar, tal es caso de la temperatura del agua, la temperatura ambiental, la turbidez, entre otras que tendieron a mostrar valores altos aguas abajo. Por su parte, solo se detectó la presencia de coliformes totales, cuyas densidades también tendieron a aumentar aguas abajo.

Tabla 1. Valores promedio, mínimos y máximos de variables fisicoquímicas, hidrogeomorfológicas y biológicas de los tramos de la microcuenca del río Guáquira.

Variables	LP: Lecho-Plano (Guáquira)			EP: Escalón-Pozo (La Ecológica)			DR: Dunas-Rizos (Guáquira)			RR: Rápidos-Remansos (Guáquira)		
	Prom.	Min	Max	Prom.	Min	Max	Prom.	Min	Max	Prom.	Min	Max
Caudal Q (m ³ /s)	0,170	0,101	0,298	0,015	0	0,030	0,074	0,020	0,147	0,087	0,032	0,163
Ancho (m)	11,066	9,9	13,5	4,183	3,35	5,5	3,19	2,43	3,9	5,375	4,05	6,5
Profundidad (m)	0,090	0,076	0,113	0,078	0,03	0,123	0,156	0,055	0,270	0,140	0,060	0,293
Velocidad (m/s)	0,140	0,073	0,183	0,053	0	0,151	0,144	0,113	0,211	0,136	0,100	0,165
Pendiente (%)	1,16	0	2	2,66	1	4	0,83	0	2	1,16	0	3
Temperatura del Ambiente (°C)	28,50	28	29	30	28	32	29,5	28	31	30	30	30
Temperatura del Agua (°C)	25,60	25,3	26,1	26,5	25,6	27,4	28,6	26,8	30,6	28,3	26,8	29,8
pH	7,74	7,5	7,98	8,13	7,7	9,03	7,82	7,72	7,94	8,15	7,96	8,43
Concentración de Oxígeno Disuelto (ppm)	4,68	4,13	5,16	4,56	3,82	5,2	4,72	4,00	5,5	5,08	4,44	5,86
Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto (%)	58,70	50,4	64	56,9	47,5	65	62,9	49,8	73,2	66,4	58,4	76
Conductividad (mS/cm)	0,918	0,272	0,277	0,261	0,225	0,297	0,240	0,230	0,246	0,247	0,228	0,248
Turbidez (NTU)	0,986	0,62	1,18	0,488	0,38	0,66	4,275	3,35	5,85	1,076	0,63	1,27
Índice del hábitat (EPA)	133	133	133	153	153	153	38	38	38	98	98	98
Coliformes totales (UFC/ml)	55,00	50	70	95	60	110	198,3	80	230	211,6	170	250
Nitratos (ppm)	3,252	3,252	3,252	3,178	3,178	3,178	2,658	2,658	2,658	1,988	1,988	1,988
Nitritos (ppm)	0,0007	0,0007	0,0007	0,0144	0,0144	0,0144	0,0014	0,0014	0,0014	0,0092	0,0092	0,0092
Fosfatos (ppm)	1,2174	1,2174	1,2174	1,0725	1,0725	1,0725	1,2657	1,2657	1,2657	1,1691	1,1691	1,1691

Tabla 1. Continuación

Variables	Tramos	C: Cascada (Herrera 1)			EP: Escalón-Pozo (Herrera 1)			EP: Escalón-Pozo (Herrera 2)			C: Cascada (Herrera 2)		
		Prom.	Min	Max	Prom.	Min	Max	Prom.	Min	Max	Prom.	Min	Max
Caudal Q (m ³ /s)		0,388	0	2,109	0,019	0,006	0,034	0,031	0,005	0,066	0,034	0,004	0,100
Ancho (m)		6,5	5,2	7,5	5,233	3,3	6,4	3,066	1,6	4,3	4,7	1,5	8,3
Profundidad(m)		0,298	0,088	0,723	0,078	0,027	0,146	0,120	0,040	0,167	0,277	0,132	0,433
Velocidad (m/s)		0,112	0	0,544	0,040	0,014	0,063	0,079	0,033	0,150	0,026	0,008	0,067
Pendiente (%)		11,5	5	19	2,33	2	4	3,5	1	6	7,33	4	14
Temperatura del Ambiente (°C)		26,5	26	27	27	26	28	27,5	27	28	28,5	28	29
Temperatura del Agua (°C)		25	24,7	25,3	26	25,6	26,3	25,4	25	26	25,2	24,6	25,9
pH		8,30	7,97	8,88	8,10	7,87	8,8	7,85	7,74	8,08	7,87	7,8	7,95
Concentración de Oxígeno Disuelto (ppm)		5,23	4,45	5,53	4,95	4,76	5,16	4,67	4,16	5,34	4,80	4,59	4,93
Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto (%)		62,1	56,8	66,5	60,8	56,7	64	57,3	53	62	58,8	55,9	60,6
Conductividad (mS/cm)		0,276	0,227	0,318	0,280	0,229	0,317	0,286	0,255	0,286	0,256	0,219	0,286
Turbidez (NTU)		0,9	0,34	1,8	0,791	0,42	1,1	3,218	1,2	5,98	0,743	0,4	1,05
Índice del hábitat (EPA)		178	178	178	169	169	169	169	169	169	182	182	182
Coliformes totales (UFC/ml)		13,3	10	30	35	10	60	76,6	20	120	50	20	70
Nitratos (ppm)		1,431	1,431	1,431	1,691	1,691	1,691	3,327	3,327	3,327	4,516	4,516	4,516
Nitritos (ppm)		0,0063	0,0063	0,0063	0,0072	0,0072	0,0072	0,0069	0,0069	0,0069	0,0053	0,0053	0,0053
Fosfatos (ppm)		3,1498	3,1498	3,1498	2,9082	2,9082	2,9082	6,5314	6,5314	6,5314	3,8744	3,8744	3,8744

Tal como lo evidencia la tabla 1, los resultados de la evaluación de la densidad bacteriana en todos los tramos solo arrojaron la presencia de coliformes totales y en tal sentido esta fue la única variable biológica considerada en el análisis. La descripción del crecimiento bacteriano en las placas de agar MacConkey a 37°C (coliformes totales) se reflejaron de la siguiente manera para todos los tramos evaluados: colonias incoloras con halos de coloración amarillo y colonias rojas de tamaños variables; mientras que, en las placas a 44°C (coliformes fecales) no se evidenció crecimiento de bacteriano característico, no obstante en algunas placas se apreció la presencia de pequeños puntos de coloración negra en el interior del gel, más no en la superficie donde se realizó la extensión de la muestra, por lo que se presume que esto sea un precipitado del medio (Figura 9).

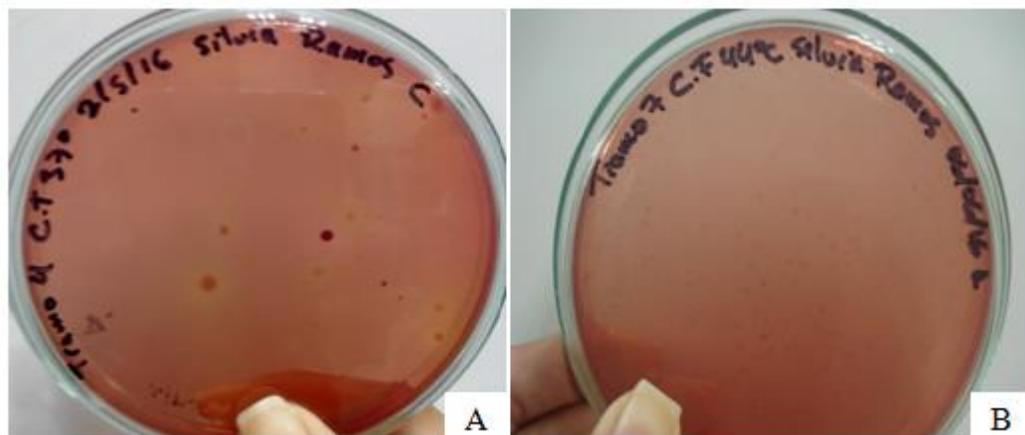


Figura 9. Crecimiento bacteriano en placas con agar MacConkey: A) crecimiento a 37°C (para evidenciar coliformes totales, B) crecimiento a 44°C (para evidenciar coliformes fecales).

3.3. Caracterización hidrogeomorfológica y bacteriana de los tramos

Con la finalidad de explorar si los tramos identificados visualmente (descritos en la sección anterior), podrían ser discriminados en función de las variables que definen la hidrogeomorfología del cauce y de la variable densidad de bacterias planctónicas, se

llevó a cabo un análisis multivariado de componentes principales. Para ello, se empleó una matriz de correlación y se obtuvieron las correlaciones entre las variables empleadas en el análisis y los componentes principales generados (Tabla 1).

Los resultados evidenciaron una separación entre los tipos tramos identificados visualmente a priori (Figura 10). En tal sentido, en el primer y segundo cuadrante, se observan los tramos que se ubicaron en el río Guáquira (LP: lecho-plano, RR: rápidos-remansos y DR: dunas-rizos), mientras que, en el cuadrante tres y cuatro, se ordenan los tramos que se encuentran en los tributarios que drenan al río Guáquira, es decir, los tributarios que nacen en el cerro Zapatero (C: cascada y EP: escalón-pozo). Los tramos del río Guáquira (LP, RR y DR) parecen diferenciarse entre sí más evidentemente que los tramos de los tributarios (C y EP), no obstante en estos últimos se observa una tendencia a la separación aunque con la persistencia de cierta sobreposición en las nubes de puntos correspondientes a cada tramo.

Se observó primeramente que para los tramos de los tributarios, las variables que los caracterizaron o definieron fueron: 1.- para Cascada (C): el índice del hábitat (EPA) y la pendiente; y 2.- para Escalón-Pozo (EP): la profundidad. De forma general, estas tres variables fueron igualmente relevantes para ambos tipos de tramos (C y EP), probablemente por encontrarse ambos en los tributarios del cerro Zapatero.

En cuanto al río Guáquira, las variables que definieron a los tramos fueron: 3.- para Lecho-Plano (LP): el caudal (Q) y el ancho; 4.- para Rápidos-Remansos (RR): los coliformes totales y la velocidad y para 5.- Dunas-Rizos (DR): los coliformes totales.

Las correlaciones entre las variables y los componentes principales, ratifican la relevancia de arriba descrito para el ordenamiento de los tramos (Tabla 1). En tal sentido, la diferenciación entre los tributarios y el cauce principal estuvo determinada por el caudal, la profundidad, la velocidad, la pendiente, el índice del hábitat y los coliformes totales.

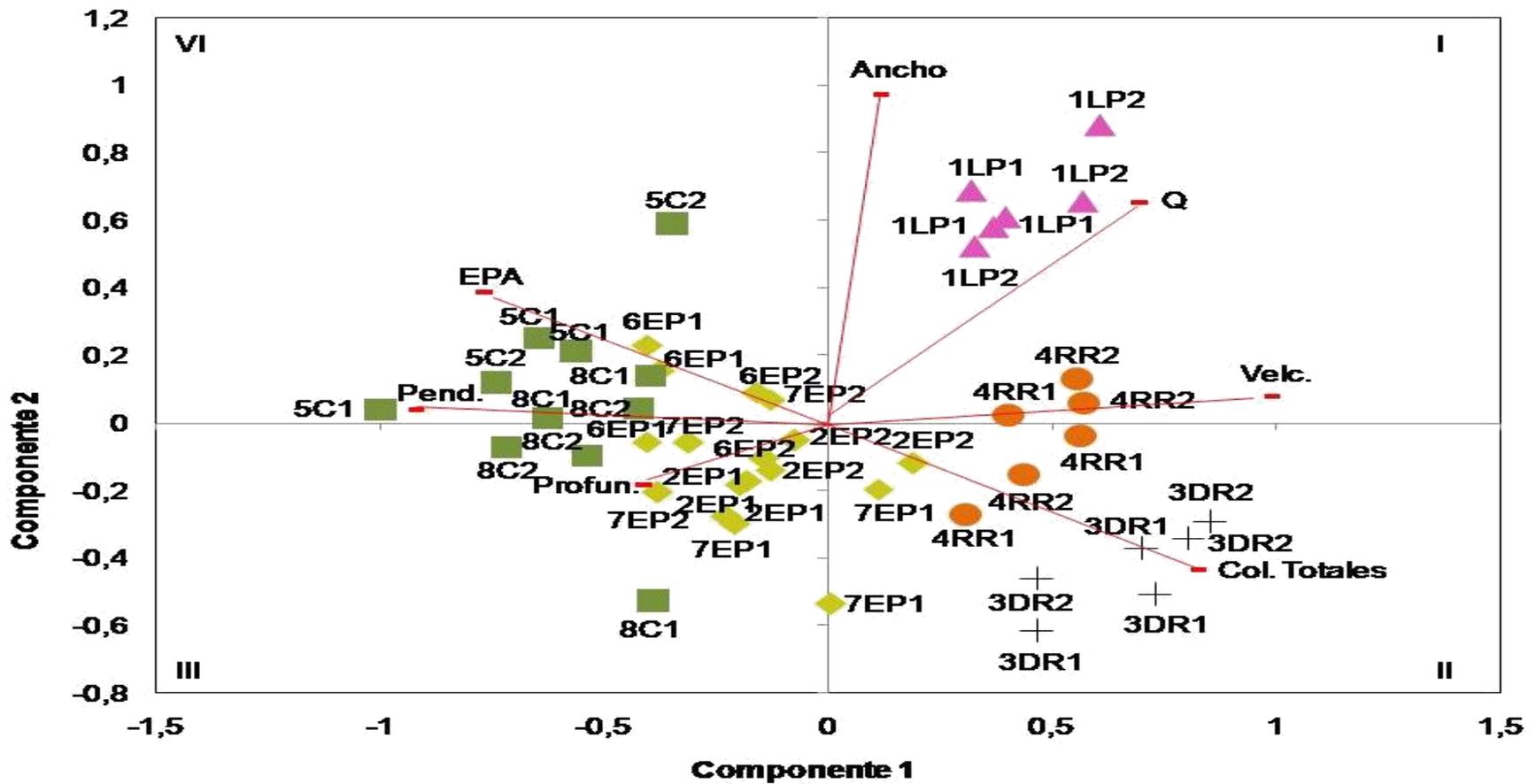


Figura 10. Análisis de Componentes Principales. Ordenamiento de los 8 tramos muestreados en la microcuenca del río Guáquira en abril 2016 basado en las variables hidrogeomorfológicas, el índice del hábitat y los coliformes totales (Barbour y col, 1999 modificado por Segnini y col. 2009). Varianza acumulada en los tres primeros ejes: 94,028%. C: Cascada (■); EP: Escalón-Pozo (◆); LP: Lecho-Plano (▲); RR: Rápidos-Remansos (●) y DR: Dunas-Rizos (+). Leyenda de variables y tramos (apéndice 2 y 3).

Tabla 2. Valores de correlación de Pearson de las variables hidrogeomorfológicas, el índice del hábitat y la densidad de bacterias coliformes totales con los tres primeros componentes principales ($R_{\text{crítico}}$: 0,338; p :0,01).

Variable	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Caudal (m ³ /s)	0,6758	0,6521	0,3537
Ancho (m)	0,09987	0,9739	0,1207
Profundidad (m)	-0,4297	-0,1822	0,8752
Velocidad (m/s)	0,9724	0,0788	0,0944
Pendiente (%)	-0,9374	0,03957	0,2512
Índice del hábitat (EPA)	-0,7856	0,3879	-0,2332
Coliformes totales (UFC/ml)	0,8087	-0,4341	0,07915

3.4. Caracterización fisicoquímica, hidrogeomorfométrica y bacteriana de los tramos

Con el propósito de verificar si las variables físicas y químicas que evalúan la calidad de las aguas también tenían un potencial efecto discriminatorio entre los tramos, se desarrolló nuevamente un análisis de componentes principales incluyendo dichas variables, además de las morfométricas y la densidad bacteriana. Los resultados evidencian que el ordenamiento obtenido en el análisis anterior se mantiene (Figura 11), es decir, se separa el río Guáquira con sus respectivos tramos (LP, RR y DR) de los tributarios del cerro Zapatero con sus respectivos tramos (C y EP), y dentro cada cuerpo de agua hay una tendencia a la separación entre tramos. No obstante, algunas variables fisicoquímicas también pasan a ser relevantes en la caracterización de cada tramo. En tal sentido se tiene:

Para los tramos de los tributarios, las variables fisicoquímicas que complementaron la caracterización con las variables hidrogeomorfométricas y bacteriológicas fueron: 1.- para Cascada (C): el oxígeno disuelto, la conductividad, el pH, fosfatos y los nitratos. 2.- para Escalón-Pozo (EP): la conductividad, el pH, los fosfatos, nitratos y nitritos.

Igualmente todas estas son relevantes para ambos tipos de tramos probablemente por encontrarse ambos tramos en los tributarios del cerro Zapatero.

Para los tramos del río Guáquira, las variables fisicoquímicas que complementaron la caracterización con las variables hidrogeomorfológicas y bacteriológicas fueron: para 3.- Lecho-Plano (LP): el oxígeno disuelto y la temperatura del agua. Para 4.- Rápidos-Remansos (RR): el oxígeno disuelto, la temperatura del agua, la temperatura ambiental y la turbidez. Y por último para 5.- Dunas-Rizos (DR): la turbidez, la temperatura ambiental y la temperatura del agua.

Las correlaciones entre las variables y los componentes principales, ratifican la relevancia de los arriba descrito para el ordenamiento de los tramos (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de correlación de Pearson, de las variables físicas, químicas y biológicas con los tres primeros componentes principales ($R_{\text{crítico}}$: 0,338; $p=0,01$) ($p=0,01$; $r=0,338$).

Variable	Eje1	Eje 2	Eje 3
Caudal (m ³ /s)	0,5245	0,5026	-0,5296
Ancho (m)	-0,1368	0,6774	-0,2994
Profundidad (m)	-0,2011	-0,06606	-0,1973
Velocidad (m/s)	0,9211	0,2098	-0,1516
Pendiente (%)	-0,8805	-0,1258	0,01712
Índice del hábitat (EPA)	-0,8668	-0,1459	-0,01851
pH	-0,3813	0,1667	0,9062
Turbidez (NTU)	0,5542	-0,1571	-0,342
Temperatura ambiental (°C)	0,8497	-0,2389	0,2342
Temperatura agua (°C)	0,8668	0,1731	0,3864
Oxígeno disuelto (ppm)	-0,4428	0,8036	0,1017
Oxígeno Disuelto (%)	0,2113	0,8416	0,1795
Conductividad (mS/cm)	-0,7714	0,2059	-0,3233
Coliformes totales (UFC/mL)	0,9192	-0,2302	0,2005
Nitritos (ppm)	0,2214	-0,7608	-0,4571
Nitratos (ppm)	-0,2572	-0,3662	0,8252
Fosfatos (ppm)	-0,6688	-0,3162	-0,3346

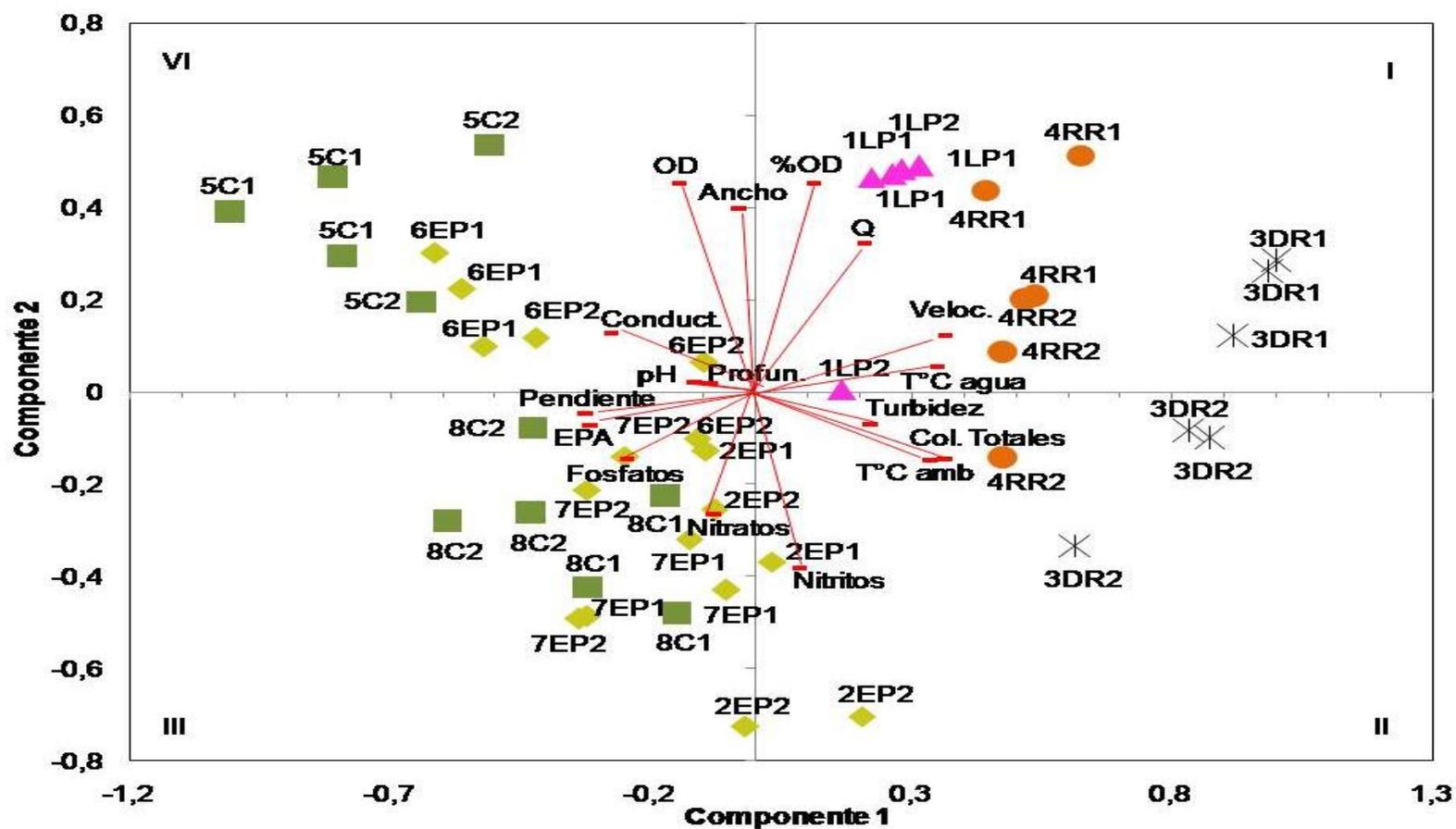


Figura 11. Análisis de Componentes Principales. Ordenamiento de los 8 tramos muestreados en la microcuenca del río Guáquirá en abril 2016 basado en las variables hidromorfométricas, fisicoquímicas y bacteriológicas. Varianza acumulada en los tres primeros ejes: 75,494%. C: Cascada (■); EP: Escalón-Pozo (◆); LP: Lecho-Plano (▲); RR: Rápidos-Remansos (●) y DR: Dunas-Rizos (×).

Leyenda de variables y tramos (apéndice 2 y 3).

Seguidamente se empleó el análisis de similitud (ANOSIM), el cual es un análisis multivariado no paramétrico confirmatorio, ya que cuenta con un estadístico (R) que permite evidenciar si existen o no diferencias significativas entre los grupos. En tal sentido, se compararon los cinco tipos de tramos, utilizando todas las variables hidrogeomorfológicas, fisicoquímicas, pendientes y calidad del hábitat en una matriz de distancia euclídea. Los resultados arrojaron diferencias significativas entre los cinco tramos ($p < 0,05$) con excepción de los tramos EP y LP que no difirieron entre sí, es decir, $C \neq (EP=LP) \neq RR \neq DR$ ($R=0,5195$; $p=0,0001$) (para los resultados de ANOSIM ver apéndice 4).

3.5. La densidad bacteriana a nivel de los cauces

Con el fin de determinar si la densidad de coliformes totales difería entre los tributarios (La Ecológica, La Herrera 1 y La Herrera 2), el cauce principal (río Guáquira) y el río Yaracuy, se compararon los tributarios versus el cauce principal y versus el río Yaracuy mediante la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, obteniéndose diferencias significativas ($p=0,00109$, ver apéndice 5) en la densidad de coliformes totales entre los tres grupos de cuerpos de agua. En este sentido, la densidad de coliformes totales fue significativamente mayor en el río Yaracuy seguido del río Guáquira. Los tramos de este último, como ya se expuso en la evaluación de la calidad de hábitat, mostraron una mayor impacto antrópico al compararlos con los tramos de los tributarios que nacen en el cerro zapatero que discurren a través de áreas boscosas y el río Yaracuy por ser el cauce principal de toda la cuenca, el río Yaracuy es el más afectado porque en él se vierten las aguas servidas del municipio San Felipe y demás áreas urbanas (Figura 12).

3.6. La densidad bacteriana a nivel de los tramos

Con el propósito de verificar si la densidad bacteriana difería entre los cinco tipos de tramos evaluados tanto en los tributarios como en el cauce principal (C, EP, LP, RR, DR), se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, obteniéndose diferencias significativas en la densidad de coliformes totales, entre algunos tramos ($p=0,000387$; ver apéndice 6). La Figura 11, muestra la tendencia reflejada en la evaluación de la densidad de coliformes totales a nivel de los cauces (sin discriminar por tramos), es decir, la mayor densidad de coliformes totales se evidenció en los tramos del río Guáquira al compararlos con los tributarios (Figura 13). No obstante, el tramo LP del río Guáquira difirió significativamente de los tramo RR y DR ($C \neq RR$, $p=0,007911$); ($C \neq DR$, $p=0,007911$), pero no difirió del tramo EP de los tributarios ($LP=EP$; $p>0,05$), comportándose así como un tramo intermedio entre los tramos más afectados por la perturbación antrópica (RR y DR) y los poco o nada afectados (EP y C). En cuanto a los tramos de los tributarios (EP y C), el tramo Cascada (C), fue el que presentó una densidad de coliformes totales significativamente menor, diferenciándose de todos los demás tramos, incluido EP ($C \neq EP$, $C \neq LP$, $C \neq RR$ y $C \neq DR$; $p<0,05$).

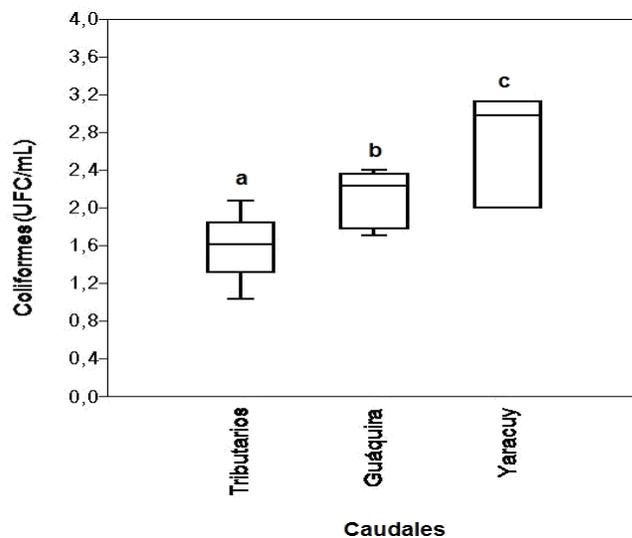


Figura 12. Densidad de bacterias coliformes totales entre los tributarios, el río Guáquira y el río Yaracuy. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).

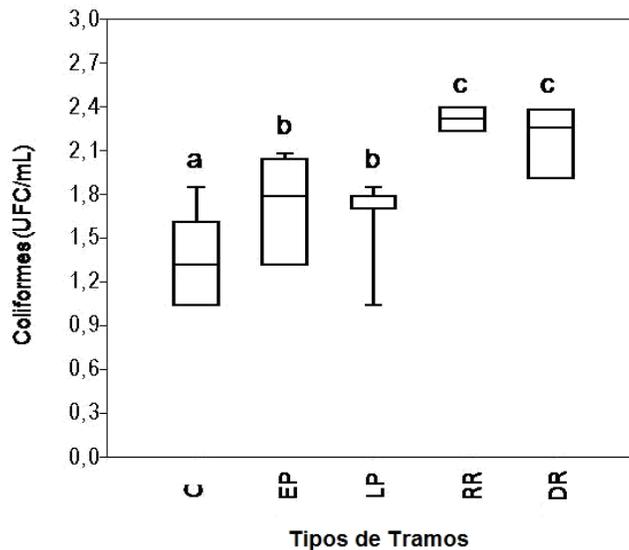


Figura 13. Densidad de bacterias coliformes totales en los diferentes tipos de tramos del cerro Zapatero y el río Guáquira. Kruskal-Wallis, $p=0,000387$. Cascada (C), Escalón-Pozo (EP), Lecho-Plano (LP), Rápidos-Remansos (RR) y Dunas-Rizos (DR). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Para finalizar, la densidad de coliformes totales se correlacionó significativa y directamente con las siguientes variables hidrogeomorfológicas: velocidad de la corriente ($p=0,0112$), ancho del cauce ($P=0,0652$) y pendiente ($p=2,00 E^{-06}$). También se correlacionó con el índice de calidad del hábitat ($p=4,65E^{-08}$) y con las siguientes variables fisicoquímicas: temperatura del agua y del ambiente ($p=8,49E^{-08}$ y $p=2,28E^{-07}$, respectivamente), la conductividad ($p=0,0064$) y la turbidez ($p=0,0037$) (ver apéndice 7 para observar los valores de correlación de Spearman).

4. Discusión

La Reserva hidrológica de La Hacienda Guáquira es definitivamente un área que merece mantener su estatus de protección de aguas, pues a pesar de estar recibiendo la presión antrópica por la transformación de los bosques naturales en áreas de ganadería y cultivos tanto en las planicies como en las laderas, sus aguas siguen manteniendo la calidad característica de no contaminadas, transparentes y bien oxigenadas, tal como parecen indicar los resultados de esta investigación. Igualmente los resultados ponen de manifiesto el valor de la hidrogeomorfología al momento de evaluar la calidad de las aguas, especialmente cuando se toman en consideración factores biológicos como la densidad de bacterias planctónicas.

La red hidrológica de La Reserva Ecológica La Hacienda Guáquira y en especial la microcuenca del río Guáquira incluyendo sus efluentes, los cuales nacen en su mayoría en el cerro Zapatero, ofrecen innegablemente una variedad morfológica de cauces que permiten responder preguntas relacionadas a estudios hidrogeomorfológicos y por consiguiente permite evaluar el efecto de estas variables sobre la estructura de las comunidades acuáticas, tal como lo ha revelado este estudio. En este sentido, la clasificación de tramos propuesta por Montgomery y Buffington (1997) para ríos templados ha resultado útil para la microcuenca del Guáquira, como río Neotropical, ya que en ella, se logró diferenciar, primeramente de forma visual y posteriormente de forma exploratoria mediante análisis multivariados, cinco tipos de tramos definidos por Montgomery y Buffington (1997). Las pruebas estadísticas exploratorias, evidenciaron que los tramos son caracterizados mediante la pendiente, la calidad del hábitat ribereño, la hidrogeomorfometría y aun la propia calidad fisicoquímica del agua.

En este orden de ideas en la microcuenca del río Guáquira es posible reconocer la progresión idealizada por Montgomery y Buffington (1997) según la cual, los tramos se despliegan o manifiestan aguas abajo en el siguiente orden: 1) cascada (C), 2)

escalón-pozo (EP), 3) lecho-plano (LP), 4) rápidos-remansos (RR) y 5) dunas rizos (DR). Siendo C versus DR los tramos más disimiles entre sí.

En esta progresión, los tramos ubicados en áreas montañosas, de mayor pendiente y confinamiento, con un predominio de sustrato inorgánico grueso y bordeado por vegetación ribereña boscosa difieren, en todos los aspectos tanto morfométricos como fisicoquímicos y biológicos, de aquellos ubicados aguas abajo y más cercanos a la desembocadura, los cuales contrastan por las bajas pendientes, el poco confinamiento de las laderas, la vegetación predominantemente herbácea y abierta y el mayor predominio de cantos rodados de pequeño a mediano tamaño, acompañados de grava, arena y arcilla. En tal sentido, estas diferencias manifiestas en la condición abiótica de los tramos deben afectar a las comunidades que en ellos habitan, es por ello que en este estudio, la variable biótica evaluada, es decir, la densidad de coliformes totales tendió a diferir significativamente entre los tipos de tramos observados. La densidad de coliformes totales tendió a aumentar aguas abajo siendo más disímil entre el tramo cascada y el tramo dunas-rizos, los más distantes en la progresión longitudinal, no conforme, la densidad bacteriana también tendió a diferir entre la mayoría de los tramos, especialmente entre los tramos ubicados en los tributarios versus los tramos ubicados en el cauce principal, a excepción del tramo lecho-plano.

El aumento en la densidad de coliformes observado en este estudio a través del gradiente aguas abajo, es el esperado para los ecosistemas de aguas corrientes (Vannote y col., 1980, McCarthur y Richardson, 2002), ya que, en el curso de un cuerpo de agua desde su nacimiento o cabecera hasta su desembocadura, los cambios en la vegetación y en las variables relacionadas al clima, en conjunto con otras variables igualmente relevantes como aquellas relacionadas a la hidráulica, promueven el aumento de las densidades de microorganismos descomponedores de materia orgánica en estos ecosistemas. En este orden de ideas, los tramos ubicados en las áreas montañosas (p. e. Cascada y Escalón-Pozo), bordeados por laderas escarpadas,

confinadas y cubiertas por una vegetación boscosa, se caracterizan por presentar las menores temperaturas del agua, la mayor cantidad de materia orgánica gruesa alóctona que debe ser acondicionada por los microorganismos para su uso como recurso alimentario por parte de los consumidores primarios, y en tal sentido, en estos tramos, el carbono orgánico apenas comienza a ser procesado y por ende está poco disponible tanto para los microorganismos como para otros grupos taxonómicos, como por ejemplo los animales detritívoros. Mientras que, en los tramos ubicados en las cercanías de la desembocadura (p. e. Duna-Rizos), donde predominan las planicies inundables con vegetación abierta, por ende una mayor incidencia de radiación solar, y una mayor acumulación de detritus orgánico o materia orgánica fina y ultrafina particulada en el cauce, la temperatura del agua tiende a ser mayor y el carbono orgánico es abundante y disponible; en este sentido todas estas condiciones tienden a favorecer una mayor abundancia de microorganismos aguas abajo.

Resultados similares obtuvieron Pérez y Segnini (2013 a,b,c) al evaluar a las comunidades de Ephemeroptera y Coleoptera en cuatro tipos de tramos de la microcuenca del río Guáquira (C, EP, LP y RR), las comunidades más dispares se observaron entre el tramo Cascada que drena a través de las áreas boscosas del cerro Zapatero y el tramo Rápido-Remanso, caracterizado por ser un cauce de menor pendiente, vegetación herbácea y abierta. En este sentido, en esta investigación la densidad de coliformes totales de las cascadas fue significativamente diferente a los tipos de tramos restantes (EP, LP, RR y DR). Adicionalmente en los estudios de Montaner (2010), Pérez y Segnini (2013 a,b,c), evaluando las comunidades bentónicas en la microcuenca del río Guáquira, las variables hidrogeomorfológicas parecieron ser las determinantes en la estructuración de dichas comunidades.

En este análisis, las variables hidrogeomorfológicas además de definir a los tramos, también se asociaron significativamente con la densidad de coliformes totales, evidenciando así su relevancia para la organización de estas comunidades bacterianas. En este sentido, Madigan y col. (2006) e Illarramendi (2008) indicaron que la

velocidad de la corriente como variable hidráulica tiende a remover el sedimento que aporta los nutrientes necesarios para que aumente la densidad bacteriana en el cauce, ya que el agua presenta un mayor contenido de nutrientes junto a un pH y temperatura óptima, en tal sentido, en este estudio la velocidad del agua tendió a aumentar aguas abajo hacia los tramos ubicados en el cauce principal del río Guáquira y precisamente en estos tramos se detectaron las mayores densidades de coliformes totales.

En cuanto a las variables fisicoquímicas, las que mejor describen el sistema según los resultados del análisis de componentes principales y del análisis de correlación de Spearman fueron:

La conductividad, aun cuando esta no fue relevante para la discriminación de los tramos, se asoció significativamente con la densidad de coliformes totales, es decir, cuando la conductividad disminuye la densidad bacteriana aumenta. Un resultado diferente observó Pérez (comunicación personal) en la evaluación fisicoquímica de varios tipos de tramos de la microcuenca del río Guáquira, según la cual, la conductividad fue una variable discriminatoria para los tramos.

La turbidez tendió a aumentar aguas abajo, presentando los mayores valores en los tramos del río Guáquira, en donde la densidad de bacterias coliformes era más alta (zona con mayor impacto antrópico). En la escala temporal, se ha observado que la turbidez es afectada por las precipitaciones, en este sentido, los mayores valores se observan en época de lluvias (Rios, 2004), en este estudio, el muestreo se llevo a cabo tanto en época seca como en época de lluvia, evidenciándose variaciones estacionales en la turbidez, aunque estas no fueron evaluadas estadísticamente.

Según Fuentes y col. (2008) las temperaturas del agua y del ambiente, están controladas por las condiciones climáticas, el tipo de vegetación y la dinámica del caudal. En este estudio la temperatura de los tramos de los tributarios que drenan a través del cerro Zapatero fueron menores a los tramos del río Guáquira. Debido a que

los tributarios discurren a través de zonas boscosas y por ende la radiación solar que llega al cauce es menor, mientras que, en los tramos del río Guáquira la vegetación ribereña es más abierta con un predominio de vegetación herbácea y árboles dispersos, lo que permite una mayor radiación sobre el cauce. A mayor temperatura del agua se evidencia que el consumo de oxígeno por parte de la comunidad bacteriana tiende a aumentar y con ello aumentando el metabolismo bacteriano (Fuentes y col., 2008; Madigan y col., 2006).

Además de la importancia de la mayoría de las variables hidrogeomorfológicas y fisicoquímicas en la caracterización de los tramos y la diferenciación de la densidad de coliformes totales entre tramos, no se descarta la relevancia del área de protección que ofrece el cerro Zapatero en el mantenimiento de la calidad de las aguas de la microcuenca de río Guáquira y sus tributarios, ya que el cerro Zapatero es un complejo montañoso perteneciente al Macizo de Nirgua, el cual está dominado en sus cumbres por una vegetación boscosa protectora tipo bosque nublado muy diverso con especies vegetales endémicas (Riera y col., 2010), esta condición prístina se refleja en la calidad microbiológica y química de los tributarios.

Como complemento para esta investigación, se realizó un muestreo en el río Yaracuy con el propósito de comparar los nutrientes y la densidad bacteriana contra los valores medidos en su efluente el río Guáquira, esperando hallar los valores más altos en el primero, dado el deterioro de la calidad del agua de este importante río del estado Yaracuy. En este sentido, se evidenció que el río Yaracuy contenía los niveles más altos de nutrientes (nitritos, nitratos y fosfatos), no obstante, los mismos al igual que los valores de la microcuenca del río Guáquira estuvieron dentro del rango permitido por el Decreto N° 2181 y el Decreto N° 833, al igual que la densidad de coliformes totales.

Es importante destacar que, ni para la microcuenca del río Guáquira en los diferentes tramos evaluados y ni para el propio río Yaracuy, se observó crecimiento bacteriano a

una temperatura de 44°C (coliformes fecales). Entre las posibles explicaciones a estos resultados, se presume que por un lado, el caudal del río Yaracuy pudo presentar altos valores de temperatura y/o pH que pudieron alterar el metabolismo bacteriano y así afectar la proliferación de los coliformes fecales o por otro lado, pudo deberse al método empleado en el laboratorio, es decir, un potencial cambio brusco de la temperatura al momento de incubar a 44°C, las bacterias produjeron una inhibición de su crecimiento o pudo deberse a que posiblemente el medio de cultivo no aportó los nutrientes necesarios a una temperatura de 44°C para que se manifestara el crecimiento tanto en las muestras del río Yaracuy como de los tramos restantes (Madigan y col, 2006). Además, Arcos y col. (2005) también han indicado que las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático por mucho tiempo, ya que el estrés fisiológico les hace perder gradualmente la capacidad de reproducirse en medios diferenciales y selectivos; en este sentido la velocidad de mortalidad estaría por afectada la temperatura del agua, la luz solar, la composición química del agua u otras poblaciones bacterianas presentes.

5. Conclusiones

En la red hidrológica que compone la microcuenca del río Guáquira fue posible identificar y discriminar a través de métodos estadísticos multivariados, cinco diferentes tipos de tramos propuestos en la clasificación de Montgomery y Buffington (1997) para cauces templados. En tal sentido, esta clasificación resulta útil como herramienta para la evaluación de las comunidades acuáticas, tanto a nivel de estudios de ecología de poblaciones, comunidades y ecosistemas como en estudios aplicados de evaluación de la calidad biológica de las aguas.

Las principales variables que definen y discriminan a los tramos son las hidrogeomorfológicas (hidráulica y morfología del cauce) en conjunto con la calidad de hábitat del cauce y las riberas; y en menor medida las fisicoquímicas, predominando la conductividad, el oxígeno disuelto y los nutrientes.

El estudio evidenció que las características hidrogeomorfológicas de los diferentes tipos de tramos encontrados, parecen tener efectos significativos sobre la densidad de coliformes totales a lo largo del gradiente longitudinal, desde aguas arriba hasta tramos que se encuentran aguas debajo de la microcuenca. En tal sentido, la densidad de coliformes totales tendió a aumentar aguas abajo precisamente hacia los tramos o cauces más afectados por la intervención antrópica. En otras palabras, se puede presumir que, mientras más protegidos se encuentren los tributarios, la densidad de coliformes debe tender a disminuir. De allí viene la importancia de que los tributarios del cerro Zapatero mantengan el estado de conservación óptimo característico, de esta red hidrológica.

Los parámetros fisicoquímicos y nutrientes evaluados en los distintos tramos, evidencian lo expresado en el párrafo anterior. Sus valores se ubicaron dentro del intervalo establecido en Decreto N° 2181 y al Decreto N° 883, indicando así que la calidad del agua en los tributarios evaluados en la Reserva (La Herrera 1, La Herrera y La Ecológica) es apta para el uso humano, siempre y cuando, por salubridad, se realice un proceso de potabilización del agua antes de su consumo.

6. Recomendaciones

Debido a que no se observó crecimiento de coliformes fecales en ninguno de los cuerpos de agua evaluados, incluido el río Yaracuy, se recomienda realizar además de la prueba por extensión en placa con agar MacConkey realizada en esta investigación, la prueba de técnica de fermentación por tubos múltiples a fin de verificar si realmente no están presentes los coliformes fecales o es un problema de la aplicación del método. Paralelamente permitiría comparar la eficiencia de ambas técnicas. Para futuras investigaciones se recomienda aclimatar las muestras antes de inocular e incubar, a fin de evitar que un potencial cambio brusco de temperatura inhiba el crecimiento bacteriano.

En vista de que la variable de densidad de coliformes arrojó diferencias entre los tipos de tramos, estos resultados abren nuevas interrogantes para futuras investigaciones: ¿las comunidades bacterias tendrán una estructura particular de acuerdo con el tipo de tramo? Para ello se requiere emplear métodos microbiológicos adicionales para aislar y caracterizar las comunidades de bacterias coliformes a un nivel taxonómico más específico.

Considerando que la materia orgánica es la fuente principal de consumo para los microorganismos, esta debería ser evaluada en futuras investigaciones relacionadas al efecto de los procesos hidrogeomorfológicos sobre la estructura de las comunidades bacterianas.

Esta investigación reflejó que la red hidrológica de la reserva Guáquira cuentan con una calidad óptima del agua. En tal sentido, se insta a mantener las políticas de conservación para resguardar y garantizar un manejo sustentable de dicha red.

7. Bibliografía

- Auge, M. 2007. Agua fuente de vida. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias Geológicas. La Plata, Argentina. 29p
- Arcos, M., Ávila de Navia, S., Estupiñán, S. y Gómez, A. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova – Publicación Científica*. 3(4):69-79.
- Bailón, L., Cruz, R. y Cervantes, A. 2003. Atlas de pruebas bioquímicas para identificar bacterias. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. Artículo consultado y descargado el día: 08/07/2016 <http://www.innocua.net/web/article-1228/atlas-de-pruebas-bioquimicas-para-identificar-bacterias>
- Barbour, M., Gerritsen, J., Snyder, B. y Stribling, Y. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Bisson, P., Buffington, J. y Montgomery, D. 2006. Valley segments, stream reaches, and channel units, in methods in stream ecology, 2th Edition, F. R. Hauer, and G. A. Lamberti, Academic Press. (1)23-49.
- Decreto N° 883 del 18 de Diciembre de 1995. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.021. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Caracas, Venezuela.
- Decreto N° 2181 del 29 de octubre de 1998. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.344 del 28 de noviembre de 1998. Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del río

Yaracuy. Caracas, Venezuela.

Elosegi, A. y Sabater, S. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Primera edición. Fundación BBVA 2009. Bilbao, España.

Fernández, C. 2012. Hidrogeología Aplicada con aspectos ambientales. Editorial Digital Universitaria Moa. Holguín, Cuba. 384p.

Fuentes, M., Senior, W., Fermín, I. y Troccoli, L. 2008. Estudio físicoquímico y bacteriológico del río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*. 47(2):149-158.

Frissell, C., Liss, W., Warren, C. y Hurley, M. 1986. A hierarchical framework from habitat classification: viewing stream in a watershed context. *Environmental Management*. 10(2):199-214.

Gil, J. 2014. Determinación de la calidad del agua mediante variables físico-químicas y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. Tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Medellín, Colombia.

Gómez, R. 2003. Modelos conceptuales de funcionamiento de ríos y arroyos. Versión electrónica, consultada: 22/05/2015. <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/gomez-03.pdf>

Hammer, Ó., Harper, D. y Ryan P. 2001. Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontological Electronica*. 4(1):9.

Illarramendi, M. 2008. Calidad del agua en la cuenca del río Guare. Tesis de Maestría en Desarrollo y Ambiente. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Laboratorios Britania (2015). MacConkey agar. Laboratorios britani S.A Caba, Argentina. Pag web consultada: 08/07/2016
<http://www.britanialab.com/productos/B23114%20REV%2001-MAC%20CONKEY%20AGAR.pdf>

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). 2015. Datos mensuales de precipitación del municipio La Marroquina, estado Yaracuy, Venezuela. Página web consultada: 20/06/2015
http://www.inameh.gob.ve/datos_precipitacion/yaracuy/La%20Marroquina.pdf
- Madigan, M., Martinko, J. y Parker, J. 2006. Biología de los microorganismos. Décima Edición. Editorial Pearson Prentice Hall. Madrid, España. 1011p.
- McArthur, M. y Richardson, J. 2002. Microbial utilization of dissolved organic carbon leached from riparian litterfall. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 59:1668–1676.
- Montaner, D. 2010. Comparación de las comunidades de Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera entre rápidos y remansos de un río, Hacienda Guáquira, estado Yaracuy. Tesis de Grado en Licenciatura en Biología. Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo. Naguanagua, Venezuela.
- Montgomery, D. y Buffington, J. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*. 109(5):596-611.
- Mosquera, D., Palacios M. y Soto, A. 2008. Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, Valle del Cauca, Colombia; usando macroinvertebrados acuáticos. *Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 20:130-143.
- Mugnai, R., Sattamini, A., Albuquerque, J. y Hamond, A. 2015. A survey of *Escherichia coli* and *Salmonella* in the hyporheic zone of a subtropical stream: their bacteriological, physicochemical and environmental relationships. *Plos one*. 10(6):1-16.
- Nazar, J. 2007. Biofilms bacterianos. *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello* 67:61-72.
- Norma Venezolana COVENIN 2709-2002. 2002. Aguas naturales, industriales y

- residuales. Guía para las técnicas de muestreo. Primera revisión. Fondonorma. Caracas, Venezuela.
- Obispo, A. 2009. Caracterización de la calidad de agua del río Vigirima (municipio Guacara, edo. Carabobo) a través de la diversidad de hifomicetos acuáticos. Tesis de grado para optar a la Licenciatura en Biología, Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Naguanagua, Venezuela.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2006. Guías para la calidad del agua potable recurso electrónico. Primer apéndice. Vol. 1: recomendaciones. Tercera Edición. Génève, Suiza. Artículo consultado y descargado el día 20/05/2015: http://apps.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
- Oscos, J., Campos, F. y Escala, M. 2006. Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnetica*. 25(3):683-692.
- Pérez, B. y Segnini, S. 2013^a. Composición de la comunidad de coleópteros acuáticos en dos tramos de cauce con diferentes arreglos hidrogeomorfológicos en un río neotropical. Libro de Resúmenes de XXIII Congreso Venezolano de Entomología. P-p 48. Julio 2013, Maracaibo, Venezuela.
- Pérez, B. y Segnini, S. 2013^b. Composición de la comunidad de efemerópteros (Insecta, Ephemeroptera) en distintos tipos de arreglos hidrogeomorfológicos del cauce de un río neotropical. XI Congreso de Ecología. Septiembre 2013, Puerto Seguro, Brasil.
- Pérez, B. y Segnini, S. 2013^c. Composición de la comunidad de efemerópteros (Insecta, Ephemeroptera) en dos niveles jerárquicos de arreglos hidrogeomorfológicos del cauce de un río neotropical. Libro de resúmenes del X Congreso Venezolano de Ecología, P-p 361. Noviembre 2013, Mérida,

Venezuela.

- Prieto, R. 2006. Caracterización físico-química y microbiológica de las aguas de la quebrada de Guaranao, Punto Fijo, Estado Falcón. Tesis de Grado en Ingeniería Química. Universidad Rafael Urdaneta. Punto fijo, Venezuela.
- Riera, A., Millán, A., Zamora, J., Ramírez, R., Changó, V., Frontado, Y. y Ramírez Y. 2010. Aplicación del protocolo de “planificación para la conservación de áreas” en la Hacienda Guáquira en el cerro Zapatero, estado Yaracuy. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. Artículo consultado y descargado el día 20/05/2015: <http://www.mucubaji.com/guaquira/ArchivosAnexos/GuaquiraInformeFinalPCA.pdf>
- Rios, S. 2004. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la quebrada Cuchicute en los municipios de San Gil y Cutiti. Trabajo de grado para optar por el título de especialización en química ambiental. Universidad industrial de Santander. Facultad de ciencias. Escuela de química. Bucaramanga, Colombia.
- Rojas, A. 2011. Lineamientos para el manejo paisajista de bordes fluviales urbanos. Tesis de Maestría en Arquitectura Paisajista. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Académica Colombiana de Ciencias*. 23(88):375-387.
- Romani, A., Artigas, J., Camacho, A., Graça, M. y Pascoal, C. 2009. La biota de los ríos: los microorganismos heterotróficos. Capítulo 11. Pp 169-218. En: Elosgi, A. y Sabater, S. (Eds.): Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Primera edición. Fundación BBVA 2009. Bilbao, España.
- Segnini, S., Correa, I. y Chacón, M. 2009. Evaluación de la calidad del agua de ríos en los Andes venezolanos usando el índice biótico BMWP. Pp. 217-254. En:

- Arrivillaga J, El Souki M. & B. Herrera (Eds.): Enfoques y temáticas en Entomología. Ediciones Astro-Data, S.A., Maracaibo, Venezuela.
- Segnini, S. y Chacón, M. 2005. Caracterización físico-química del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotrópicos*. 18(1):38-61.
- Storaci, V., Fernández, R. y Smits, G. 2013. Evaluación de la calidad del agua del río Cúpira, (La Cumaca, estado Carabobo, Venezuela) mediante bioindicadores microbiológicos y parámetros físicoquímicos. *Interciencia*. 38(07):480-487.
- UNESCO. 2014. Programa hidrológico internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa agua y educación para las Américas y el servicio geológico de los Estados Unidos. Página web consultada el día 16/06/2015. <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- Vannote, R., Minshall, G., Cummins, K., Sedell, J. y Cushing, C. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37:130-137.
- Walteros, J. y Daza, J. 2009. Caracterización hidrobiológica y evaluación ecológica de la calidad del agua del río Guariano, Departamento de Caldas, Colombia. *Revista de ciencias*. 2:31-44.
- Zamora, H., Sandoval, J., Vásquez, G., Naundorf, G., Zambrano, L., y González, J. 2012. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados y caracterización de la calidad del agua mediante bioindicadores en la cuenca baja del río Ovejas. *Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 24:81-89.

8. Apéndice

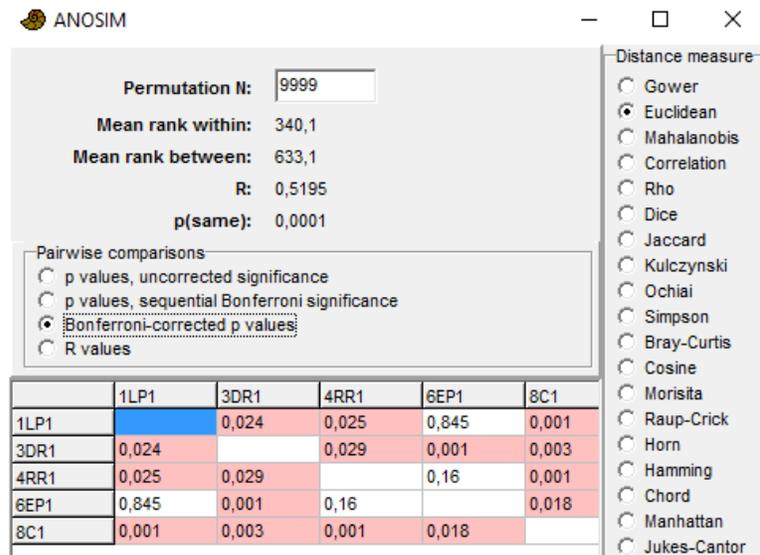
Apéndice 1. Leyenda de variables fisicoquímicas, morfométricas y biológicas.

VARIABLES	ABREVIATURAS EN LOS GRÁFICOS DE ACP
Caudal Q (m ³ /s)	Q
Ancho (m)	Ancho
Profundidad (m)	Profun.
Velocidad (m/seg)	Veloc.
Pendiente (%)	Pendiente
Temperatura ambiental (°C)	T °C amb.
Temperatura del agua (°C)	T °C agua
pH	pH
Concentración del Oxígeno disuelto (ppm)	OD
Porcentaje de Saturación del Oxígeno disuelto (%)	% OD
Conductividad (mS/cm)	Conduc.
Turbidez (NTU)	Turbidez
Índice de calidad del hábitat	EPA
Nitritos (ppm)	nitratos
Nitratos (ppm)	nitritos
Fosfatos (ppm)	fosfatos
Coliformes totales (UFC/ml)	Col. Totales

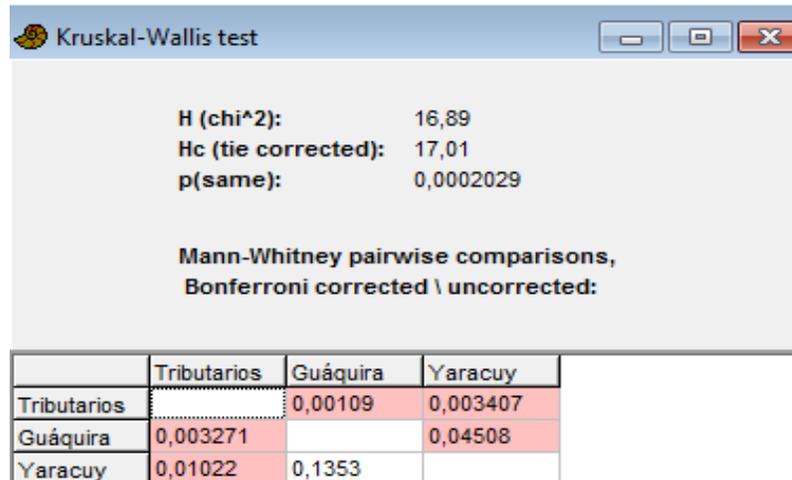
Apéndice 2: leyenda de los tramos evaluados

Abreviatura	N° de tramo	Tipo de tramo
1 LP	Tramo 1	lecho-plano
2 EP	Tramo 2	escalón-pozo
3 DR	Tramo 3	dunas-rizos
4 RR	Tramo 4	rápidos-remansos
5 C	Tramo 5	cascada
6 EP	Tramo 6	escalón-pozo
7 EP	Tramo 7	escalón-pozo
8 C	Tramo 8	cascada

Apéndice 3. Resultados de prueba estadística análisis de similitud (ANOSIM) por análisis de Bonferroni entre los tipos de tramos.



Apéndice 4. Resultados de prueba estadística Kruskal-Wallis entre tributarios, río Guáquira y río Yaracuy.



Apéndice 5. Resultados de la prueba estadística Kruskal-Wallis entre los diferentes tipos de tramos (Cascada, Escalón-Pozo, Lecho-Plano, Rápidos-Remanso y Dunas-Rizos)

Kruskal-Wallis test

H (chi²): 20,36
Hc (tie corrected): 20,56
p(same): 0,000387

Mann-Whitney pairwise comparisons,
Bonferroni corrected \ uncorrected:

	C	E-P	R-R	L-P	D-R
C		0,02996	0,007911	0,04809	0,007911
E-P	0,2996		0,008134	0,2139	0,04959
R-R	0,07911	0,08134		0,00726	0,8852
L-P	0,4809	1	0,0726		0,00726
D-R	0,07911	0,4959	1	0,0726	

Apéndice 6. Resultados de valores de correlación de Spearman y valores de probabilidades (p).

Variables	Valor de correlación de Spearman	p
Caudal (m ³ /s)	0,10018	0,4981
Ancho (m)	-0,32018	0,0265
Profundidad (m)	-0,12049	0,4146
Velocidad (m/seg)	0,363	0,0112
Pendiente (%)	-0,62553	2,00E-06
Temperatura ambiental (°C)	0,68374	8,49E-08
Temperatura del agua (°C)	0,66681	2,28E-07
pH	-0,093032	0,5294
Oxígeno disuelto (ppm)	-0,11948	0,4185
Oxígeno disuelto (%)	0,060669	0,6820
Conductividad (mS/cm)	-0,38806	0,0064
Turbidez (NTU)	0,41083	0,0037
Índice del hábitat (EPA)	-0,69352	4,65E-08
Nitritos (ppm)	0,14569	0,1456
Nitrato (ppm)	0,1592	0,1592
Fosfato (ppm)	-0,43278	-0,4327

9. ANEXOS

Planilla de evaluación de la calidad de hábitat ribereño “EPA” (Barbour y col. Modificado por Segnini y col. 2009)

Parámetro	Óptimo	Subóptimo	Marginal	Pobre
1. Heterogeneidad del sustrato disponible para la epifauna	Más de 70% del sustrato es estable y puede ser colonizado por la epifauna (el trecho presenta una mezcla de piedras, troncos sumergidos o superficiales o cualquier otro sustrato estable)	Entre 40 y 70% del sustrato es estable. Además, existe un sustrato nuevo aun sin condiciones para ser habitado	Entre 20 y 40% del sustrato es estable. Frecuentemente perturbado o removido	Más de un 20% del sustrato es estable. Ausencia de hábitats adecuados.
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
2. Empotramiento del sustrato	Entre 0 y 25% de la superficie de rocas, piedras y grava está rodeada de sedimento fino	Entre 25 y 50% de la superficie de rocas y piedras y grava rodeadas de sedimento fino	Entre 50 y 75% de la superficie de rocas, piedras y grava rodeadas de sedimento fino	Más de 75% de la superficie de rocas, piedras y grava rodeadas de sedimento fino
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
3. Relación profundidad y velocidad	El trecho del río presenta las cuatro combinaciones siguientes: a)lento/profundo b)lento/bajo c)rápido/profundo d)rápido/bajo	Solo tres combinaciones. La ausencia de rápido/bajo determina el menor puntaje	Solo dos combinaciones. La ausencia de rápido/bajo determina el menor puntaje	Una sola combinación presente. Usualmente lento/profundo
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
4. Deposición de sedimentos	Ausencia de islas o bancos de arena. Menos del 5% del fondo afectado por la deposición de sedimentos	Reciente y escasa formación bancos de piedras, arena o sedimento fino. Entre el 5 y el 30% del fondo afectado por la deposición de sedimentos; ligera deposición en los pozos	Deposición moderada de grava, arena o sedimento fino sobre bancos viejos y nuevos. Entre 30 y 50% del fondo afectado. Sedimento sobre obstrucciones, constricciones y recodos. Moderada deposición en pozos	Grandes depósitos de material fino. Muchos bancos. Más del 50% del fondo cambia con frecuencia. Pozos casi ausentes debido a la gran deposición de sedimentos
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
5. Estado del cauce de flujo	El nivel de agua alcanza la base de los márgenes y la exposición del sustrato de fondo es mínima	El agua sólo cubre el 75% del cauce o menos del 25% del sustrato de fondo queda expuesto	El nivel del agua cubre entre 25 y 75% del cauce y queda expuesta la mayor parte del sustrato de los rápidos	Muy poco agua sobre el cauce y la mayoría como pozos
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
6. Alteración del cauce	Ausencia o mínima presencia de canalización o dragado. Corriente con cauce normal	Cierta canalización presente por puentes. Evidencia de canalización actual o pasada	Canalización extensiva. Diques u otras estructuras presentes en ambos márgenes. Entre 40 y 80% del trecho del río canalizado y alterado	Márgenes protegidos con gaviones o cemento. Más del 80% del trecho del río canalizado y alterado. Los hábitats internos eliminados totalmente
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
7. Frecuencia de rápidos	Ocurrencia de rápidos relativamente frecuente. La relación distancia entre rápidos y el ancho del río es < 7 (generalmente 5 o 7)	Ocurrencia de rápidos poco frecuente. La relación distancia entre rápidos y el ancho del río se encuentra entre 7 y 15	Ocurrencia ocasional de rápidos. La relación distancia entre rápidos y el ancho del río se encuentra entre 15 y 25	Por lo general, el agua corre sin interrupción o rápidos muy bajos. La relación distancia entre rápidos y el ancho del río es mayor a 25
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
8. Estabilidad de los márgenes	Márgenes estables. Ausencia de erosión o desprendimiento. Poca posibilidad de problemas futuros. Menos del 5% del margen está afectado	Estabilidad moderada. Pequeñas áreas de erosión. Entre 5 y 30% de los márgenes del trecho tiene áreas de erosión	Inestabilidad moderada. Entre 30 y 60% de los márgenes del trecho tiene áreas de erosión. Posibilidad de fuerte erosión durante las crecidas	Inestabilidad completa. Áreas muy erosionadas. Frecuencia de áreas despejadas en trechos rectos y recodos. Entre 60 y 100% de los márgenes del trecho erosionado
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
9. Vegetación protectora de las riberas	Más de 90% de los márgenes y la zona ribereña está cubierto por vegetación nativa incluyendo árboles, arbustos, macrófitas. Vegetación tupida natural	Entre el 70 y 90% de los márgenes cubiertos por vegetación nativa. Vegetación algo abierta	Entre el 50 y 70% de los márgenes cubiertos por vegetación nativa. Vegetación abierta	Menos del 50% de los márgenes cubiertos por vegetación nativa
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
10. Amplitud de la vegetación ribereña	Extensión de la vegetación ribereña mayor a 18m y sin impacto antrópico	Extensión de la vegetación ribereña entre 12 y 18m y un mínimo impacto antrópico	Extensión de la vegetación ribereña entre 6 y 12m y un impacto antrópico moderado	Extensión de la vegetación ribereña menor a 6m. poca o ninguna vegetación debido a un fuerte impacto antrópico
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
Puntos	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0