

Influencia de la restauración ecológica sobre la calidad fisicoquímica y biológica del agua, caso quebrada La Colorada^δ

Ecological restoration influence on the physicochemical and biological the water quality, the case quebrada La Colorada

Zulma Edelmira Rocha Gil*
Estefanía Suárez Ramírez**
Luz Ángela Cuellar Rodríguez***



Tipo de artículo: artículo de investigación

Recibido: 3 de enero de 2017
Aceptado: 20 de febrero de 2017

Resumen

El presente estudio evaluó la calidad fisicoquímica y biológica de la quebrada La Colorada en diferentes períodos pluviométricos de los años 2011, 2014 y 2016, en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá - Colombia, a través de seguimiento de características fisicoquímicas y la comunidad biológica de macroinvertebrados. Se seleccionaron 2 estaciones de muestreo en el sistema, una en áreas de bosque tropical restauradas luego de presentar episodios de incendios forestales, y la otra en zonas no restauradas aledañas. Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron: Oxígeno disuelto, pH, temperatura, nitritos, nitratos, fosfatos y conductividad. De igual manera se realizó el análisis de la comunidad de macroinvertebrados por medio de índices bióticos de diversidad, dominancia y similitud. Para las dos zonas de estudio se registraron 4 clases (Gastropoda, Arachnida, Malacostraca, Clitellata e Insecta); 8 órdenes, 26 familias y 25 morfotipos de macroinvertebrados. A partir del análisis de calidad físico-química y biológica en la quebrada La Colorada para los períodos de estudio, se obtuvo como resultado un mejoramiento en la calidad del agua logrando concluir que el proceso de restauración si tiene influencia sobre el sistema hídrico, puesto que con estos resultados se demuestra un impacto positivo en algunas acciones como la diversidad biológica, cambio en la estructura fisicoquímica del sistema, variación de microhábitats, cambios en los históricos pluviométricos de las épocas de muestreo, aporte de nutrientes y la capacidad productiva del ecosistema.

Palabras clave: Restauración ecológica, calidad del agua, parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados.

Abstract

The present study evaluated the physicochemical and biological quality of the Quebrada La Colorada in different pluviometric periods of the years 2011, 2014 and 2016, in the municipality of Villa de Leyva, Boyacá - Colombia, through monitoring physicochemical characteristics and the biological community of macroinvertebrates. Two sampling stations were selected in the system, one in tropical forest areas restored after forest fires, and the other in unrestricted areas adjacent. The physicochemical parameters evaluated were dissolved oxygen, pH, temperature, nitrites, nitrates, phosphates and conductivity, and the analysis of the community of macroinvertebrates was performed through biotic indexes of diversity, dominance and similarity. For the two study areas four classes were recorded (Gastropoda, Arachnida, Malacostraca, Clitellata and Insecta); 8 orders, 26 families and 25 macroinvertebrate morphotypes. As a result of the physical-chemical and biological quality

^δ Este artículo es resultado del proyecto “Evaluación ambiental en procesos de restauración ecológica, caso quebrada La Colorada, Villa de Leyva”. Tunja

* Bióloga, Magíster en Ciencias Ambientales, Grupo de Investigación Gestión Ambiental, Universidad de Boyacá, Colombia. Email: zerocha@uniboyaca.edu.co.

** Ingeniería Ambiental, Grupo de Investigación Gestión Ambiental, Universidad de Boyacá, Colombia. Email: esuarez@uniboyaca.edu.co.

*** Lic. Biología y Educación Ambiental, PhD. en Ciencias Biológicas, Grupo de Investigación ACBI, Universidad Santo Tomás, Tunja. Email: Luz.cuellar@usantoto.edu.co

analysis in the La Colorada quebrada for the study periods, an improvement was obtained in the water quality, where it is concluded that the restoration process has influence on the water system, Since this study showed a positive impact on some actions such as biological diversity, change in the physicochemical structure of the system, variation of microhabitats, changes in rainfall history of sampling times, nutrient contribution and productive capacity of the ecosystem.

Keywords: Ecological restoration, water quality, physicochemical parameters and macroinvertebrates.

Introducción

La mayoría de los ecosistemas del mundo están impactados en un alto o bajo grado por los seres humanos (Vitousek, Mooney, Lubchenco, & Melillo, (1997); Sanderson *et al.*, 2002), donde juegan un papel importante en la modificación o regulación de los tipos y tasas de cambio de los ecosistemas. En este sentido, muchos ecosistemas están manejados directamente por el hombre permitiendo evidenciar que alrededor de un tercio de los hábitats naturales del planeta han sido severamente degradados (Primack & Massardo, 2001). Por lo tanto surge la preocupación ante esta problemática, puesto que los ecosistemas brindan importantes servicios al ser humano, como por ejemplo el abastecimiento de agua; sin embargo la constante presión antrópica sobre los hábitats naturales ha provocado que éstos sean incapaces de suministrar los servicios al mismo nivel que en el pasado, poniendo en riesgo actividades económicas y la salud, repercutiendo negativamente en el bienestar humano. Por lo tanto a principios del siglo xx, en Estados Unidos; Aldo Leopold comenta que a pesar de que ya existían esfuerzos de reforestación, los cuales aún continúan, era indispensable que por primera vez la ciencia se ocupara de la tierra (Bradshaw, 1987).

Uno de los eventos que más genera modificación de paisaje y pérdida de cobertura natural son los incendios forestales, afectando la diversidad biológica, la sostenibilidad de los recursos agua y suelo, Colombia se afecta en gran manera de incendios forestales sobre todo en temporada seca prolongada, donde se ven afectadas de forma notoria gran parte del país, en dichas temporadas los ecosistemas tropicales húmedos pierden su contenido de humedad

superficial e interior aumentando la susceptibilidad a la combustión de la biomasa vegetal de los cuales están compuestos. Durante las últimas décadas, el municipio de Villa de Leyva, más concretamente el sector de la quebrada La Colorada ha presentado una sucesión de eventos expresada en incendios forestales de origen desconocido que le han permitido experimentar muchas transformaciones del paisaje, estos cambios drásticos permitieron el surgimiento de múltiples proyectos de restauración ecológica, donde inicialmente una parte de este territorio afectado por el incendio forestal fue restaurado con plantas nativas y propias de la región, mientras otra parte de este territorio fue dejada con el efecto del incendio y no se realizó ningún trabajo antrópico de restauración, en este contexto se llevan a cabo diferentes trabajos de evaluación de los sistemas de restauración y la calidad de agua en los afluentes cercanos al sitio intervenido (Rocha *et al.*, 2015).

Estos sistemas de restauración ocupan un rol importante en el desarrollo ecológico de ecosistemas emergentes permitiendo las nuevas combinaciones de especies, cambios potenciales en las dinámicas del ecosistemas y en la provisión de agua en cuencas forestales (Lara *et al.*, 2009). En este contexto, desde mediados de la década de los 80, se formaliza una disciplina en torno a la restauración ecológica la cual según varios autores se define como “el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que ha sido dañado o destruido” (Society for ecological restoration International Science and Policy Working Group, (SER, 2006). Martínez, (1996), declara que la restauración ecológica se basa principalmente en la sucesión ecológica, siendo este su marco teórico fundamental. Lara, Urrutia, Little, y Martínez, (2010), postulan que

el concepto de restauración se debería relacionar con “bonificar” las acciones tendientes a recuperar atributos de estructura y funcionamiento de los ecosistemas que se han deteriorado y perdido. Los ecosistemas restaurados pueden mejorar la provisión de servicios ecosistémicos y ayudar en la conservación de la biodiversidad, siendo necesario observar que dichas acciones de restauración se ajusten a la composición y estructura original de la cubierta vegetal, incluyendo las dinámicas de estos sistemas (Holl y Aide, 2011). La restauración de los ecosistemas depende fuertemente del nivel de degradación de la vegetación y el suelo, de la vegetación remanente y de los objetivos de la intervención, los cuales deben incorporar los procesos físicos y biológicos que influyen en estos ecosistemas, y los tipos de perturbaciones que los afectan (Goodwin, 1997), además de los modos culturales y las necesidades de las comunidades locales (Holl y Aide, 2011).

En los procesos de restauración ecológica es fundamental realizar el monitoreo, según (Vargas, 2011), este es el punto más importante a tener en cuenta en la recuperación de ecosistemas, debido a que de los resultados obtenidos se pueden extrapolar, para buscar estrategias para recuperar sistemas con iguales condiciones o promover el manteniendo de áreas de ecotono. De esta manera es importante realizar estudios que estén orientados al seguimiento de procesos de restauración ecológica, los cuales como mínimo deben implicar diferentes aspectos como recuperar la funcionalidad y estructura del sistema natural, integración de flujos bióticos y abióticos, entre otros (Vargas, 2007a). En los últimos años en Colombia ha venido creciendo el interés por la restauración ecológica luego de diferentes procesos de afectación ambiental, entre ellos los incendios forestales, esto ha permitido la generación de proyectos desarrollados en ecosistemas terrestres y acuáticos (Vargas, 2007b). Estos procesos han sido asociados recientemente a la oferta de servicios ambientales en ecosistemas acuáticos, de acuerdo con Little y Lara (2010) para conservar

o mantener cuencas en estados naturales o intervenidos, mejorando aspectos como prácticas de manejo de suelo, composición, densidad y tamaño de bosques.

En este sentido es importante considerar en el seguimiento de la restauración ecológica todos los elementos funcionales del ecosistema analizando elementos sucesionales tempranos y tardíos, además de la integración apropiada en una matriz ecológica de paisaje.

Este último factor refleja la importancia de evaluar efectos de borde o impactos generados en ecosistemas aledaños a zonas restauradas (Lozano, 2005). Por lo tanto se dice que para el éxito de una restauración se debe tener en cuenta que recuperar un ecosistema depende del estado inicial del mismo, antes de la restauración, además de las condiciones ambientales cambiantes y las estrategias empleadas. Estos procesos son considerados como un continuo, que va desde los tratamientos iniciales planteados para la superación de las barreras a la restauración, hasta la recuperación de la dinámica y los atributos funcionales del ecosistema, así como de su capacidad de resistencia, resiliencia y estabilidad, de modo que sea autosostenible (Barrera, 2002). Un ecosistema puede considerarse restaurado cuando contiene suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar su desarrollo, sin posterior asistencia o subsidio, sosteniéndose a sí mismo tanto estructural como funcionalmente.

Por lo tanto, para la determinación e identificación de la calidad de los sistemas hídricos es importante tener en cuenta las características fisicoquímicas y biológicas que se presentan en dichos cuerpos de agua, dentro de las características físicas es importante tener en cuenta la temperatura y la densidad del agua, siendo estos parte de unos de los factores ambientales con gran importancia para el análisis y descripción de los cuerpos de agua, esto se demuestra principalmente en el despeño que realizan estos parámetros en los numerosos procesos de regulación que se llevan a cabo en los ecosistemas acuáticos (Esteves, 1988).

En este mismo sentido (Roldán, 1999) indica que no todos los organismos acuáticos podrán ser tomados como bioindicadores, debido a que presentan diferentes adaptaciones evolutivas en condiciones ambientales variadas y a límites de tolerancia en determinadas alteraciones, generando cambios en las características de los diferentes grupos que podrán ser considerados como organismos sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), por no soportar variaciones en la calidad del agua, mientras que organismos tolerantes (Chironómidae, Oligoquetos), son característicos de agua contaminada por materia orgánica (Roldán, 1999). Cuando los cambios en los parámetros físico-químicos son críticos, los organismos sensibles mueren y su lugar es ocupado por los organismos tolerantes (Alba, 1996), de tal forma que los cambios de la estructura y composición de las comunidades bióticas puede ser utilizada para identificar y evaluar los grados de contaminación de un ecosistema acuático.

En el departamento de Boyacá se han adelantado algunos estudios para la determinación de bioindicadores desde el punto de vista biológico y ecológico, por ejemplo en el año 2005 se adelantó un estudio en la cuenca alta del río Chicamocha, en el cual se determinaron los índices de calidad según las relaciones reportadas en la Limnología Colombiana de Ramírez *et al.*, (1998). A partir de la determinación de estos índices se realizó un análisis sencillo en el que se clasificó la calidad del agua en buena, mala y regular y de los resultados físicoquímicos, se relacionaron los usos que se le deben dar a la corriente en los diferentes tramos analizados, según lo establecido en el Decreto 1594 del año 1984 sobre usos del agua y vertimientos (Rocha, 2007). A nivel regional en la quebrada La Colorada del municipio de Villa de Leyva, las actividades antrópicas desarrolladas, como captaciones de suministro de agua, adecuación de terrenos para la ganadería, agricultura y los distintos incendios que han afectado la Quebrada, traen como consecuencia el deterioro de la oferta ambiental, debido a que alteran la composición y funcionamiento ecológico de

los organismos que viven en el sistema acuático, en donde varios de estos organismos tienen adaptaciones únicas a microhábitats específicos, fuentes de alimentación, entre otras, mientras que otras son cosmopolitas y aptas para sobrevivir a una amplia gama de condiciones (Ramírez *et al.*, 2008). En base a lo anterior se hace supremamente necesario realizar trabajos que vinculen los parámetros físicoquímicos con los bioindicadores para demostrar cuál es el real efecto de los procesos de restauración ecológica en el municipio de Villa de Leyva y más específicamente en la quebrada La Colorada.

Metodología

Área de estudio

La cuenca de la quebrada La Colorada pertenece al municipio de Villa de Leyva, departamento de Boyacá y está ubicada en el área de amortiguación de bosque andino del Macizo de Iguaque, perteneciente a la cadena montañosa plegada en rocas sedimentarias (areniscas). Presenta una longitud aproximada de 750 m desde su nacimiento hasta la desembocadura. El nacimiento atmosféricamente se encuentra en una zona húmeda, está ubicado a los 05°38'45.9" N y 0.73°30'30" W a 2 850 m.s.n.m. y desemboca en el río Leyva a una altitud de 2 600 m.s.n.m. La región presenta un ciclo hidrológico bimodal, con una precipitación media anual de 953 mm, con dos períodos de baja precipitación que comprende los meses de diciembre a marzo, y dos períodos de alta precipitación comprendidos entre (abril y noviembre) (Plan de manejo santuario de fauna y flora de Iguaque, 2006).

Muestreo y análisis

Para la realización del estudio se llevó a cabo una visita de inspección al área de influencia identificando y seleccionando las 2 estaciones, para que el muestreo fuese representativo en el periodo pluviométrico, se realizaron 2 eventos muestrales cada año; 1 en época de sequía y 1 en época de lluvias para los años 2011, 2014 y 2016 en la cuenca media de la quebrada La Colorada, como se representa en la siguiente tabla:

Tabla 1. Relación de épocas de muestreos a partir de los registros históricos de estacionalidad pluviométrica.

Meses muestreados	Muestreos año 2011		Muestreos año 2014		Muestreo año 2016	
	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia
Enero	X		X			
Febrero						
Marzo						
Abril						
Mayo		X		X		
Junio						
Julio						
Agosto					X	
Septiembre						
Octubre						X
Noviembre						
Diciembre						

Fuente: Autores, 2016.

Las estaciones que se definieron fueron: La primera estación se caracteriza porque es un área de bosque tropical restaurada luego de presentar episodios de incendios forestales (E1) y la segunda estación es una zona no restaurada aledaña al sistema hídrico (E2).

La E1, se caracteriza por poseer una coloración parda en el agua esto puede deberse a la actividad ganadera desarrollada alrededor del sitio de muestreo, donde probablemente al presentarse lluvias, aumenta así el arrastre de sedimentos a la Quebrada. Se presenta un sustrato compuesto principalmente de rocas medianas y un flujo de corriente lenta, el ancho del cauce es mayor que en la E2; hay más entrada de luz al sistema; también se caracteriza por presentar una vegetación riparia sobre el cauce por lo cual a simple vista se percibe aporte de material alóctono desde los ecosistemas terrestres hacia el sistema; también se presenta establecimiento de macrófitas acuáticas. En cuanto a la E2, el agua presenta una coloración parda, un sustrato compuesto principalmente de rocas gruesas y un flujo de corriente mayor comparado con el punto anterior, el ancho del cauce es menor; también se caracteriza por presentar vegetación riparia pero en menor proporción; se puede observar la presencia de musgos alrededor de las paredes del río y en rocas que están parcialmente sumergidas

debido a que el sistema recibe poca entrada de luz. Por último, no hay presencia de actividad ganadera cerca, ni pisoteo de vacas, lo que ayuda a que los animales no deterioren la calidad del agua.

En cada punto de muestreo se midieron los parámetros fisicoquímicos *in situ*: temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, fosfatos, nitritos, nitratos; dichas mediciones fueron efectuadas con la ayuda de una sonda multi-parámetro marca SCHOTT de la serie L1281022 y el kit rápido de aguas marca Aqua Merck. De acuerdo con la metodología descrita para este tipo de sistemas loticos interandinos (Roldán, 1992).

En cuanto al muestreo de comunidad de macroinvertebrados en cada estación de muestreo se capturaron macroinvertebrados con una red Surber de 30*30 cm y 250 µm de diámetro de poro a lo largo de 100 m, abarcando 1m² por estación. De acuerdo con la metodología y técnicas de recolección de macroinvertebrados para este tipo de sistema lotico interandino (Merritt, & Cummins, 1996). Luego, los individuos colectados fueron depositados en frascos plásticos debidamente rotulados, con alcohol al 70% para su preservación, los muestreos se realizaron en los periodos de transición de lluvias y sequía, teniendo en cuenta los

registros pluviométricos históricos, en los respectivos meses para los años 2011, 2014 y 2016.

En el laboratorio se procedió a la limpieza y separación de los organismos mediante un estereoscopio Olympus SZ40 y un microscopio Olympus CH30. Los organismos recolectados se determinaron hasta el mínimo nivel de resolución taxonómico posible mediante claves y descripciones de Roldán (1996), Roldán (2003), Manzo (2005), Domínguez *et al.*, (2006), Merrit & Cummins (2008), Domínguez & Fernández (2009).

Para analizar la comunidad de macroinvertebrados en las 2 estaciones de muestreo se emplearon los parámetros biológicos de riqueza de especies de Margalef (R), diversidad biológica de Shannon - Wiener (H') y dominancia de Simpson (λ). Finalmente, con el objetivo de comparar el grado de similitud entre las estaciones se realizó un dendrograma de disimilitud como método de represen-

tación gráfica, empleando el programa estadístico SPSS versión 19.

Análisis de la información

Para el análisis de los datos, se aplicaron los índices ecológicos de riqueza de Margalef, diversidad de Shannon, equidad de Pielou y análisis de agrupamiento. El cálculo de estos atributos de la comunidad se hizo utilizando el paquete estadístico Excel. También, se aplicaron los índices de contaminación propuestos por Viña y Ramírez (1997), puesto que estos son una herramienta de juicio que tienen como objeto establecer el estado de un cuerpo de agua y qué factores o actividades pueden estar afectando el recurso.

Con los resultados de estos análisis se pudo establecer cuáles fueron las principales variables que afectan a la comunidad de macroinvertebrados, y cuales familias son potenciales indicadores de la calidad del agua en la quebrada La Colorada.

Resultados y discusión

Tabla 2. Resultados parámetros físico-químicos para los respectivos años de muestreo.

Años	2011				2014				2016			
	Sequia (Enero)		Lluvias (mayo)		Sequia (Enero)		Lluvias (mayo)		sequia (agosto)		lluvias (octubre)	
Parámetro	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
Temperatura (°C)	18,2	18	16,8	17,1	18	19,3	17,2	16,9	15,3	15	16,9	14,6
Nitritos (mg/l NO ₂)	0,5	0	0,25	0	0,5	0	0,25	0	0	0	0	0
Nitratos (mg/l NO ₃)	0,7	0	0	0	0	0,5	5,25	10	0	0	0	0
OD (mg/l O ₂)	3,2	3,5	3,5	3,9	1,8	1,7	3,75	3,14	6,7	6,9	7,5	7
Fosfatos (mg/l PO ₄)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,125	0,25	0,5	0,25	0	0	0	0
pH	6,7	7	6,5	7	6,75	7	6,75	7	7	6,9	6,4	7
Conductividad (µS/cm)	55,3	69,3	61,1	65,8	58,4	58,2	65,2	66,1	26,2	26,82	9	11

Fuente: Autores, 2016.

Se evidenció que el comportamiento de la temperatura, es consecuencia de la época de muestreo, este es un parámetro vital para los organismos que habitan en el agua, puesto que la temperatura influye en la estacionalidad de las especies así como en el hábitat, viéndose perjudicado directamente el crecimiento y el desarrollo de los organismos, también se ve afectado las propiedades físicas y químicas del agua (Rivera, 2011). El valor de temperatura más alto para época de estiaje en los diferentes años evaluados reporto un valor de (19,3°C); esto posiblemente se deba a que

en los días en que se llevaron a cabo los muestreos se presentó temporada cálida, con cielo despejado y radiación solar alta. Por otro lado se observa que el valor más bajo fue de (14,6°C) para los meses de lluvias. A pesar de esto la temperatura no muestra grandes variaciones en ninguna de las dos épocas evaluadas. Aunque para los años 2011 y 2014 se presentó un pequeño aumento, debido a la presencia de descargas industriales y alta actividad agrícola que puede influenciar este parámetro de forma significativa; en comparación con los muestreos realizados

para el año 2016, que en esta parte de la cuenca no presenta descargas industriales ni actividad agrícola que pueda influenciar este parámetro.

En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, está en función de las posibles interacciones de la atmósfera y los procesos fotosintéticos que puedan producirse en el agua. Los valores presentan gran variabilidad en las estaciones para los diferentes años de muestreo (figura 3), se observa que la concentración de oxígeno del año 2016 en comparación del 2011 y 2014 aumenta drásticamente; puesto que las estaciones muestreadas para el 2016 no están intervenida por actividades antrópicas, por lo cual se infiere que al presentarse valores superiores a 4 mg/l indica que no presenta alta contaminación (Forero, Reinoso, y Gutiérrez, 2013), evidenciándose un buen estado de calidad de agua y asegurando un correcto desarrollo de las especies propias de la región. Por último cabe resaltar que los muestreos realizados para el año 2011 y 2014 reportaron valores de oxígeno inferiores a 4 mg/LO₂, esto puede deberse a que en estas zonas las condiciones del sistema han sido muy intervenidas por actividades antrópicas, ocasionando así que haya baja capacidad de purificación del recurso hídrico, además que el oxígeno disuelto no sea adecuado para el crecimiento y desarrollo de organismos acuáticos, aunque hay algunos tolerantes a estos niveles de oxígeno.

Para las 2 estaciones de la quebrada La Colorada en los años 2011, 2014 y 2016; los valores de pH fueron muy similares, presentándose relativamente más altos en época de sequía pero en general muy cerca de la neutralidad, conservándose dentro del rango admisible para aguas naturales y para la vida acuática. Por otro lado el pH más bajo se encontró en E1, año 2014, en el periodo de lluvias con un valor 6,4. Esto demuestra que la cuenca presenta normalmente valores promedio de 7 aprox. Los cuales tienden a disminuir de manera no significativa en época de lluvias por el fenómeno de dilución. Los datos encontrados clasifican las estaciones como aguas neutras, de acidez y alcalinidad débil y media ya que se encuentran en su mayoría en un rango de 6 a 9.

En relación con las diferentes formas disponibles de nitrógeno en el sistema, se observó que la concentración de nitritos, para las estaciones de muestreo en los años 2011 y 2014, son significativos. Los nitritos presentaron valores bajos en las muestras en periodo de sequía; en periodo de lluvias se encontraron valores significativos posiblemente a que estas estaciones están influenciadas por la ganadería intensiva rudimentaria y los cultivos agrícolas; actividades que en época de lluvias generan un mayor arrastre de materia orgánica rica en nitrógeno. Por otro lado para el año 2016, se reportan valores de 0 mg/NO₂, debido a la ausencia de actividades que aporten a este parámetro. De la misma forma, la concentración de nitratos en invierno es superior a los valores de verano (figura, 5). Se evidencia un importante aporte de este componente, la tendencia es explicable debido al aumento de vertimientos de materia orgánica nitrogenada en el transcurso de la cuenca media de la quebrada La colorada, o a una posible alteración momentánea ya que en las últimas estaciones para los años 2011 y 2014 no muestran este comportamiento a pesar de estar influenciadas por cultivos agrícolas y aguas residuales.

El registro de fosfatos presentó una concentración significativa en periodo de lluvias, al ser estas estaciones fuertemente influenciadas por los cultivos agrícolas y las descargas de tipo doméstico se genera arrastre de sedimentos y nutrientes aportantes a este parámetro en el recurso hídrico. Por otro lado para el año 2016 se reportan valores de 0 mg/l PO₄ debido a la ausencia de intervención humana.

Por otro lado, la caracterización físico-química de la quebrada La Colorada refleja un comportamiento típico de sistemas interandinos, con bajos niveles de conductividad. A pesar de ello los valores más altos de conductividad, se presentaron en época de sequía, posiblemente porque las estaciones muestreadas para el año 2011 y 2014 se encuentran influenciadas por el casco urbano del municipio de Villa de Leyva, quienes descargan sus aguas residuales en el afluente, lo cual podría indicar que estas conductividades se atribuyen a las descargas de aguas residuales. Adicionalmente, estos altos valores reportados pueden obedecer al fuerte

verano registrado en la época de sequía, el cual disminuyó el caudal y el material de arrastre. Por lo tanto se observa que en los periodo de lluvias hay alta dilución de la contaminación lo cual explica las bajas concentraciones en el periodo evaluado, especialmente en el año 2016 donde la parte alta de la cuenca media es normalmente buena; puesto no hay presencia de intervención antrópica que aporte significativamente a este parámetro.

El listado general de taxones registrados en las áreas con y sin restauración se presenta en las

tablas 3, 4, y 5 para los respectivos años, con un total de 573 individuos de macroinvertebrados acuáticos, pertenecientes a 25 morfoespecies, 26 familias y 8 órdenes.

Los valores de los índices de diversidad son presentados en la tabla 6. El orden más diverso fue Díptera con 9 morfoespecies, alcanzando una representatividad del 63% de los taxones para los tres años evaluados, también presentó la mayor abundancia con 360 individuos.

Tabla 3. Total de Individuos macroinvertebrados encontrados para el año 2011.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Enchytraeidae	<i>Enchytraeidae</i> ND
Arthropoda	Arachnida	Acari	Acari	<i>Acari</i> ND
	Insecta	Diptera	Blephariceridae	<i>Cf. paltostoma</i>
			Ceratopogonidae	<i>Allaudomyia</i> sp.
				<i>Atrichopogon</i>
			Chironomidae	<i>Chironominae</i>
				<i>Tanypodinae</i>
			Dolichipodidae	<i>Dolichipodidae</i> ND
			Empididae	<i>Hemerodromia</i> sp.
			Psychodidae	<i>Maurina</i> sp.
			Simuliidae	<i>Cf. simulium</i>
			Tabanidae	<i>Tabanus</i> sp.
			Tipulidae	<i>Tipula</i> sp.
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i> sp.
				<i>Americobaetis</i> sp.
			Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i> sp.
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i> sp.
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i> sp.
		Coleoptera	Emmidae	<i>Cf. Cylloepus</i>
			Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i> sp.
			Scirtidae	<i>Scirtidae</i> ND.

		Trichoptera	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i> sp.
			Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.
			Hydroptilidae	<i>Rhyacopsyche</i> sp.
			Leptoceridae	<i>Nectopsyche</i> sp.
			Limnephilidae	<i>Cf. Limnephilus</i>

Fuente: Autores, 2016.

De acuerdo con la tabla anterior, se registró un total de 312 morfotipos, pertenecientes a 7 órdenes. El orden más diverso fue Diptera con 9 familias y 11 géneros, alcanzando una representatividad del 56% de los taxones.

Tabla 4. Total de Individuos macroinvertebrados encontrados para el año 2014.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Enchytraeidae	<i>Enchytraeidae</i> ND
Arthropoda	Arachnida	Acari	Acari	<i>Acari</i> ND
	Insecta	Diptera	Blephariceridae	<i>Cf. paltostoma</i>
			Ceratopogonidae	<i>Allaudomyia</i> sp.
				<i>Atrichopogon</i>
			Chironomidae	<i>Chironominae</i>
				<i>Tanypodinae</i>
			Dolichopodidae	<i>Dolichopodidae</i> ND
			Empididae	<i>Hemerodromia</i> sp.
			Psychodidae	<i>Maurina</i> sp.
			Simuliidae	<i>Cf. simulium</i>
		Tabanidae	<i>Tabanus</i> sp.	
		Tipulidae	<i>Tipula</i> sp.	
		Ephemeroptera	Baetidae	<i>Baetodes</i> sp.
				<i>Americobaetis</i> sp.
			Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i> sp.
			Oligoneuridae	<i>Lachlania</i>
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i> sp.
		Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i> sp.
		Coleoptera	Emmidae	<i>Cf. Cylloepus</i>
			Gyrinidar	<i>Andogyrus</i>
Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i> sp.			
Scirtidae	<i>Scirtidae</i> ND			

		Trichoptera	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i> sp.
			Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.
			Hydroptilidae	<i>Rhyacopsyche</i> sp.
			Leptoceridae	<i>Nectopsyche</i> sp.
			Limnephilidae	<i>Cf. Limnephilus</i>

Fuente: Autores, 2016.

De acuerdo con la Tabla anterior, se registró un total de 188 morfotipos, pertenecientes a 7 órdenes. El orden más diverso fue Diptera con 9 familias y 11 géneros, alcanzando una representatividad del 78% de los taxones.

Tabla 5. Total de Individuos macroinvertebrados encontrados para el año 2016

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO
Anthropoda	INSECTA	Diptera	Tipulidae	Tipula
			Simuliidae	Simulium
		Trichoptera	Hydropsychidae	Smicridea
	Malacostraca	Decapoda	Pseudothelphusidae	Neostrengeria

Fuente: Autores, 2016

De acuerdo con la Tabla anterior, se registró un total de 73 morfotipos, pertenecientes a 3 órdenes. El orden más diverso fue Diptera con 2 familias y 2 géneros, alcanzando una representatividad del 52% de los taxones.

Abundancia (s), individuos (n), diversidad (H'), riqueza (R) y dominancia (λ) de macroinvertebrados acuáticos en los eventos muestrales de la cuenca media de la quebrada La Colorada.

La estación, que reportó mayor número de individuos fue el área restaurada (E1); con un total de 328 para los tres años evaluados y el menor número en la zona no restaurada (E2); con 245 especímenes, probablemente por la potencialidad de hábitats asociados a la vegetación establecida en las áreas restauradas.

La mayor diversidad alfa se observó para el año 2014 en la E1, con un valor de 3,14; como se registra en la tabla 6, por ende se infiere que con el proceso de restauración se generan nuevos hábitats y nutrientes para la adaptación de muchos individuos por especie; además se encontró la diversidad más baja en la E2 para el año 2016, debido a posibles estados de perturbación que limitan el desarrollo de la comunidad bentónica y a partir de

Tabla 6. Resultados aplicación de índices biológicos para los años 2011, 2014 y 2016.

Año	Variable	Estación	
		E1	E2
2011	n	108	204
	S	0.57	0.66
	H'	2.67	3.04
	λ	0.11	0.15
	R	0.67	1.28
2014	n	79	109
	S	0.72	0.39
	H'	3.14	1.86
	λ	0.12	0.23
	R	0.41	0.61
2016	n	58	15
	S	0.51	0.42
	H'	2.08	1.15
	λ	0.43	0.58
	R	9.63	1.01

Fuente: Autores, 2016.

los resultados obtenidos para el año 2016 en la E2, se deduce que una comunidad bajo la presión de algún grado de contaminación, se caracteriza por poseer un bajo número de especies, pero muchos individuos por especie (Roldán, 1999).

El valor máximo de dominancia se evidenció en el año 2016; en la zona no restaurada con un valor de 0,58 y el valor más bajo en la estación 1 para el año 2011. En general y observando la tabla 6; para los años 2011 y 2014 no se presenta dominancia puesto que se encontraron diversidad de géneros de macroinvertebrados. Por otra parte en la cuenca media para el 2016 se presenta una dominancia significativa de géneros tales como: *Simulium* y *Smicridea* reportando una cantidad significativa de individuos por cada género.

El valor máximo de riqueza de especies entre las dos estaciones presentó mayor variabilidad en la E1, para el año 2016 con un valor de 9,63; debido probablemente a que se encontraron pocas especies de macroinvertebrados distribuidos proporcional-

mente generándose así hábitats adecuados y alimento para los pocos géneros que se establecen allí por las condiciones del sistema. En cuanto a la riqueza para los años 2011 y 2014 corresponde a baja riqueza de individuos en el sistema hídrico, puesto que hay mucha diversidad de géneros pero a su vez la distribución de individuos no es proporcional, encontrándose géneros con mayor número de individuos y otros hasta con un sólo individuo por especie.

Según los resultados obtenidos (tabla 6), y teniendo en cuenta el rango para índice de equidad que va de 0 a 1, donde 1 corresponde a situaciones en el que todas las especies son igualmente abundantes. Por ende se infiere que durante el estudio realizado en la cuenca media de la quebrada La Colorada en la estación 1 para los tres años evaluados; hay homogeneidad en los individuos encontrados a comparación de la E2 donde los valores reportados son aún más bajos; esto posiblemente se deba al aumento de nutrientes y poca disponibilidad de microhábitats en esta zona.

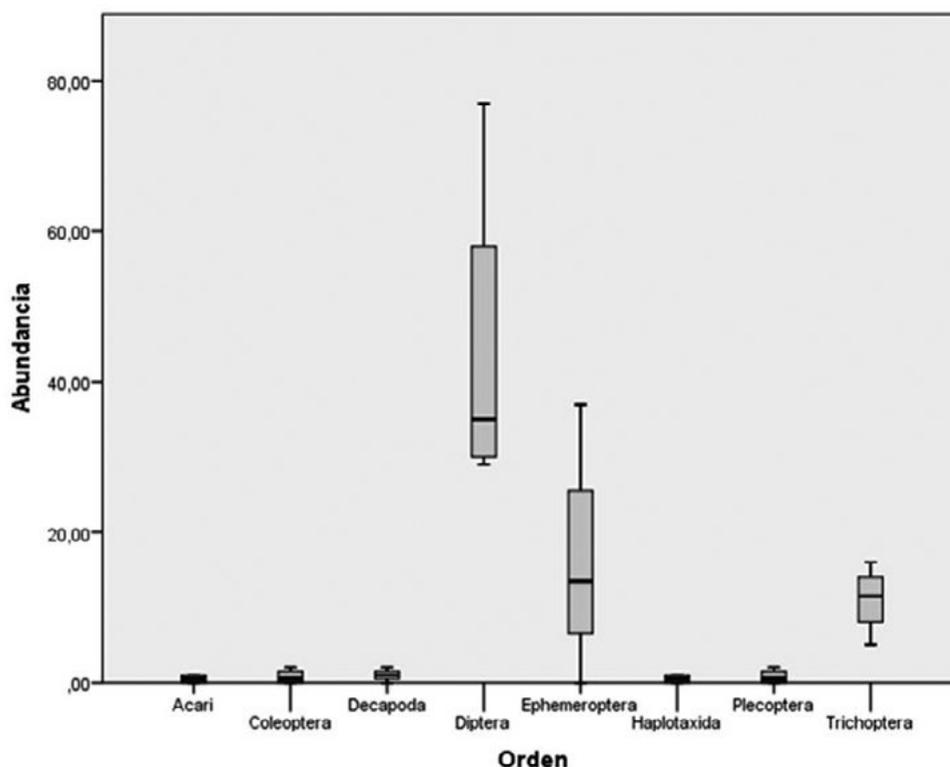


Figura 1. Total de órdenes de macroinvertebrados en los eventos muestrales en la quebrada La Colorada.

Fuente: Autores, 2016.

En la figura 1 se muestra la contribución porcentual de cada orden. El Orden Díptera presentó la mayor abundancia con 360 individuos y los órdenes Acari y Decapoda presentaron la menor abundancia, con 2 individuos.

Los valores de similitud son mostrados en la figura 2, indican una alta variabilidad en la composición de especies, mostrando que los sitios de muestreo de la Quebrada pueden presentar una composición taxonómica diversa de macroinvertebrados. Según Heino, Louhi, & Muotka, (2004) la composición de estos en diferentes hábitats, es más variable en las pequeñas cabeceras de ríos que en los de mayor orden. Esto puede obedecer a los cambios de sustrato y cobertura de bosque, los cuales son factores importantes para los macroinvertebrados acuáticos como lo menciona Hawkins *et al.*, (1982).

En consecuencia los resultados hallados reflejan que la quebrada La Colorada presenta cambios en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos entre las zonas restauradas y no restauradas y en los diferentes periodos pluviométricos

El dendograma de la figura 2, muestra una mayor similitud asociada a la frecuencia de los órdenes como Acari y Haplotaxida; y la mayor disimilitud en los órdenes Plecoptera y Díptera en las dos estaciones de muestreo. Los órdenes de similitud son característicos de zona contaminada, se desarrollan en hábitats acuáticos, son abundantes en los remansos y en aguas de flujo lento. Algunos se pueden encontrar nadando o reptando sobre piedras o entre y la vegetación sumergida, otros prefieren la materia orgánica muerta o los ambientes intersticiales semiacuáticos.

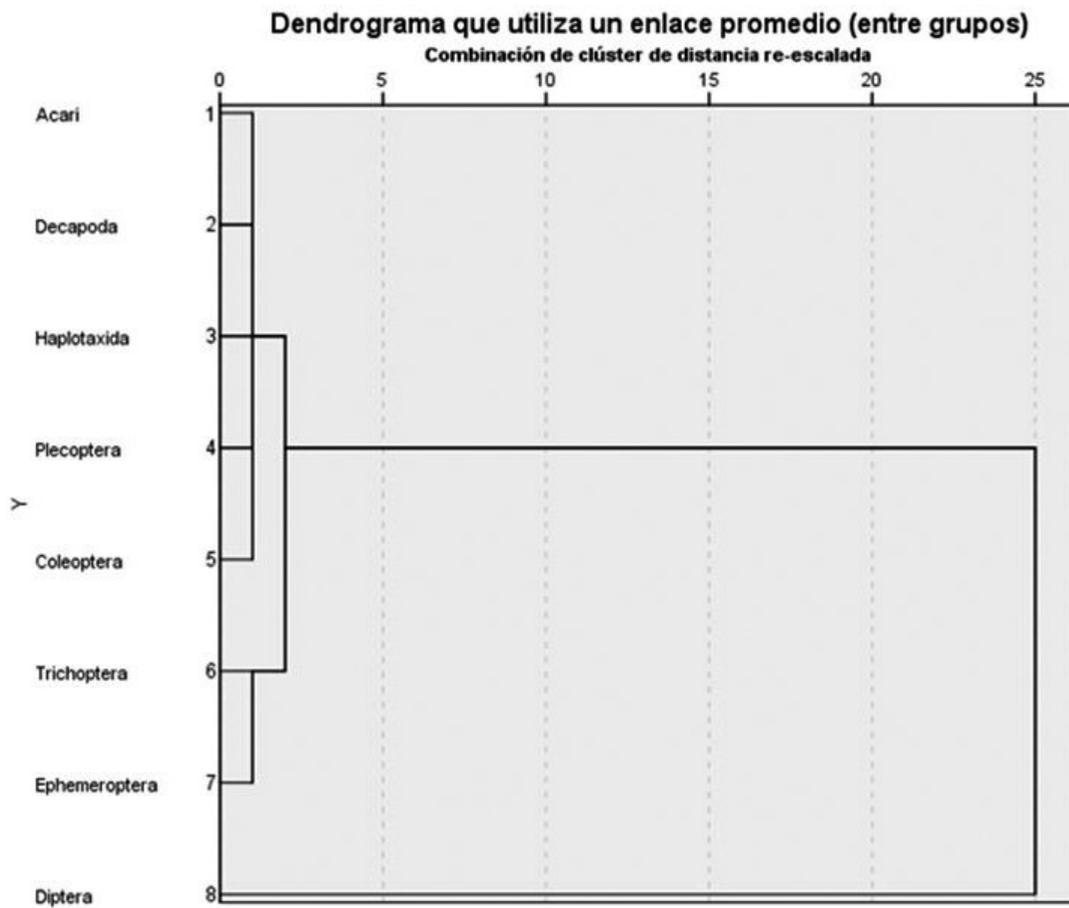


Figura 2. Dendrograma de similaridad basado en distancia Euclidiana entre las biomasas de macroinvertebrados reportadas para el año 2011, 2014 y 2016 presentes en dos estaciones en la quebrada La Colorada.

Fuente: Autores, 2016.

Los órdenes asociados a disimilitud son característicos de zonas lenticas, se encontraron en casi todas las zonas de muestreo, en área de rápidos y en sitios lénticos con diversos sustratos como arena, grava, rocas, cieno, barro y hojarasca; los cuales se presentaron con mayor frecuencia en los eventos muestrales de la zona no restaurada, esto probablemente a posibles fuentes de contaminación en el área de influencia; así como a su poca capacidad de resiliencia por los diferentes procesos de intervención antrópica y efectos residuales de los incendios forestales.

Conclusiones

El agua de la quebrada La Colorada mostró durante los tres años evaluados, cambios en la estructura fisicoquímica en el sistema hídrico; posiblemente se deba a que por medio del proceso de restauración haya poco arrastre de sedimentos al ecosistema, generando así la disminución de consumo de oxígeno por procesos de óxido-reducción. Por ende, se infiere que para los años 2011 y 2014 donde las condiciones del sistema eran desfavorables, cabe resaltar que ha habido notoriamente cambios en el año 2016, el sistema se caracteriza por estar saturado de oxígeno y por carecer de nitritos, nitratos y fosfatos, por lo cual se evidencia poca contaminación orgánica en la zona. Por tal razón se concluye que el proceso de restauración ecológica durante los tres años evaluados; promueve mejores condiciones ambientales en los llamados ecotonos del sistema acuático-terrestre, para la adaptación morfológica y fisiológica de algunos órdenes de macroinvertebrados; como el orden Díptera el cual para el presente estudio se convirtió en el mejor representante; con mayor adaptabilidad en aguas continentales neotropicales.

Los resultados reflejan que la quebrada La Colorada presenta cambios en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos entre las zonas restauradas y no restauradas en las diferentes épocas muestreadas, probablemente también por la variabilidad en parámetros meteorológicos, aporte de materia orgánica de origen autóctono y alóctono y condiciones locales predominantes de

zonas de rápidos en el área restaurada y algunas áreas de cubeta en la no restaurada.

En cuanto a los índices bióticos, el sistema hídrico presenta baja diversidad de especies, debido a que se encontraron 28 géneros durante las épocas evaluadas; esto probablemente asociado a que algunos organismos no encuentran condiciones propicias para su establecimiento en cada punto de muestreo. En cuanto a la dominancia se observó que para el período de estudio, la estructura de la comunidad no es estable, con relación a la falta de recurso hídrico, variación de los parámetros fisicoquímicos evaluados, variabilidad de microhábitats y demás condiciones ecológicas del sistema.

Para la equidad de Pielou la E1 en los tres años evaluados presentó mayor similitud, como consecuencia de la ausencia de especímenes en los períodos monitoreados. La riqueza de Margalef, mostró valores bajos para todas las zonas en el 2011 y 2014, lo cual confirma los bajos valores de diversidad estimados con el índice de Shannon Weiner, además de un bajo desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados y baja representatividad de individuos en este estudio.

Referencias

- Alba, J. (1996). Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos. *IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA)*. Almería, España.
- Arango, M., Álvarez, L., Arango, G., Torres, E., y Monsalve, A. (2008). Calidad del Agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Escuela de ingeniería de Antioquia*, 5(9), 121-141.
- Barrera, J., y Ríos, H. (2002). Acercamiento a la ecología de la restauración. *Pérez-Arbe-laezia*, (13), 33-46.
- Bernal, E., García, D., Novoa, A. y Pinzón, A. (2005). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 11(2), 1-15.
- Bradshaw, A. (1987). *Comparison – Its scope and limits*. doi:10.1111/j.1469-8137.1987.

tb04679.x.

- Cardona, A. y Vargas, O. (2004). El banco de semillas germinables de especies en dos bosques subandinos y su importancia para la restauración ecológica. *Reserva Biológica Cachalu Santander- Colombia*, 8(4), 350-360.
- Castellanos P. y Serrato, C. (2008). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el Páramo de Santurbán, Norte de Santander. *Academia colombiana de ciencias biológicas*, 32(122), 79-86.
- Domínguez, E., y Fernández, H. (Ed.). (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología*. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M., Hubbard, M., & Nieto, C. (2006). Aquatic biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America. *Pensoft*, 2, 646.
- Esteves, F. (Ed.). (1988). *Fundamentos de limnología*. Rio de Janeiro, Brasil: Interciencias (FINEP).
- Forero, A., Reinoso, G., y Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua río Opia (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. Recuperado de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/41208>
- Giacometti, J. (2006). Macroinvertebrados Acuáticos y su Importancia como Bioindicadores de Calidad del Agua en el Río Alambi. *Universidad Central*, 2, 17-32.
- González, V., Caicedo, O., y Aguirre, N. (2012). *Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá*, (Antioquia, Colombia). Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/33902/1/33863-170537-1-PB.pdf>
- Hawkins, C., Murphy, M., & Anderson, N. (1982). Effects of canopy, substrate composition, and gradient on the structure of macroinvertebrate communities in Cascade Range streams of Oregon. *Ecology*, 63(6), 1840-1856.
- Holl, K. & Aide, T. (2011). ¿When and where to actively restore ecosystems?. *Forest Ecology and Management*, (261), 1558–1563.
- Heino, J., Louhi, P., & Muotka, T. (2004). Identifying the scales of variability in stream macroinvertebrate abundance, functional composition and assemblage structure. *Freshw Biol*, 49(9), 1230- 1239.
- Lara, A., Urrutia, R., Little, C., & Martínez, A. (2010). Servicios ecosistémicos y ley del bosque nativo: No basta con definirlos. *Bosque Nativo*, 47(1), 3-9.
- Lara A, C Little, R Urrutia, J McPhee, C Álvarez-Garretón, C Oyarzún, D Soto, P Donoso, L Nahuelhual, M Pino, I Arismendi. 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management* 258: 415-424.
- Lozano, L. (2005). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, Cerros Orientales de Bogotá. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/304/30400702.pdf>
- Margalef, R. (1983). Los organismos como indicadores en la limnología. *Inst. Forestal Inv*, 300.
- Martínez-Garza C. and H.F. Howe. (1996) Restoring tropical diversity: beating the time tax on species loss. *Journal of Applied Ecology*, 40(3), 423-429.
- Merritt, R., & Cummins, K. (Ed.). (1996). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Iowa. EE.UU: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Motomura, O. (2002). Ética, Vida, Sustentabilidad. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe*, 5-331.
- Primack, R., Rozzi, R., Massardo, F., y Feinsinger, P. (2001). VI. Destrucción y degradación del hábitat. En: R, Primack., R, Rozzi., P, Feinsinger., R, Dirzo., y F, Massardo. (Ed.), *Fundamentos de conservación biológica*

- perspectivas latinoamericanas* (183-221). México DF: Fondo de Cultura Económica.
- Ramírez, C., S. Henk, W.M. Hilhorst y E. Hodson. 2008. Viability and seed germination of *Paspiflora mollissima* (H.B.K) Bailey according to provenance and fruit ripening stage. pp. 145-190. En: Memorias Red-Alfa Lagrotech, Unión Europea, Cartagena, Colombia.
- Rey, J., A Newton, Díaz, A., & Bullock, J. (2009). Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: A Meta-Analysis. *Science*, 325, 1121-1124.
- Rivera, J. (2011). Relación entre la composición y la biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y variables físicas y químicas en el humedal Jaboque, Bogotá – Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4206/1/01190382.2011.pdf>
- Rocha, B. (2007). Evaluación de la calidad del agua a partir de bioindicadores e índices de calidad “caso de estudio: cuenca alta del río Chicamocha” (Trabajo de grado Especialización en Ingeniería de Sistemas Hídricos Urbanos), Universidad de los Andes.
- Rocha, E., Cuellar, A., y Díaz, X. (2015). Bioindicadores de la calidad del agua en áreas con restauración ecológica de la quebrada La Colorada, Villa de Leyva, Boyacá. *Revista I3*, 10-27.
- Roldán, G. (1992). Fundamentos de limnología neotropical. *Editorial Universidad de Antioquia*, 153.
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias exactas, físicas, y naturales*, 23(88), 375-387.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- Romero, F., Cozano, M., Gangas, R., y Naulin, P. (2014). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque*, 3-12.
- Sanderson, E., Chetkiewicz, C., Medellín, R., Rabinowitz, A., Redford, K., Robinson, J. y Taber, A. (2002). Prioridades geográficas para la conservación del jaguar. En R. Medellín., C. Equihua., C. Chetkiewicz., P. Crawshaw., Jr., A. Rabinowitz., K. Redford., J. Robinson., E. Sanderson y A. Taber. (Eds.). *El jaguar en el nuevo milenio* (601-628). México, D. F.: Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Ediciones Científicas Universitarias.
- Society for Ecological Restoration International. (2004). Recuperado de <http://www.ser.org/>
- Sistema Nacional de Parques Naturales. (2006). *Plan de Manejo Santuario de Fauna y Flora Iguaque. Colombia*. Recuperado de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/Iguaque.pdf>
- Terneus, E., Hernández, K., y Racines, M. (2012). Evaluación Ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, (Pastaza, Ecuador). Recuperado de http://revistaciencias.univalle.edu.co/volumenes/vol_16/ETerneus.pdf
- Vannote, R., Minshall, G., Cummins, K., Sedell, J. & Cushing, C. (1980). The River Continuum Concept. *Aquat Sci*, (37), 130-137.
- Vargas, O. (2007). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Recuperado de http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_46/file/Guia%20Metodologica.pdf
- Vitousek, P., Mooney, H., Lubchenco, J., & Melillo, J. (1997). *Human Domination of Earth's Ecosystems Science*. doi: 10.1126/science.277.5325.494
- Walteros, J. y Paiba, J. (2008). Estudio Preliminar de la Comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos en la Reserva Forestal Torre Cuatro. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v14n1/v14n1a09.pdf>
- Zúñiga, M., Rojas, A. & Caicedo, G. (1993). Indicadores ambientales de calidad de agua en la Cuenca del río Cauca. *Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia Medellín, Colombia*, 2, 17-28.



Piedra del Peñol – Guatapé, Antioquia/ Autor: Walter Guisao

