



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSION	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

Neiva, 19 de Julio de 2014

Señores
CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Ciudad

El (Los) suscrito(s):
Jhonatan Cortez Garviz, con C.C. No. 7'31.004
_____, con C.C. No. _____
_____, con C.C. No. _____
_____, con C.C. No. _____

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____
titulado patrones de distribución espacial de macroinvertebrados
acuáticos en algunos ecosistemas lóticos del corredor Andino-Amazónico,
Departamento del Caquetá Colombia
presentado y aprobado en el año 2014 como requisito para optar al título de
Especialista en Estadística

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

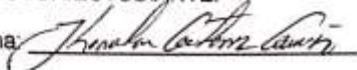


CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:



Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA					
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA 1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: PATRONES DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN ALGUNOS ECOSISTEMAS LÓTICOS DEL CORREDOR ANDINO-AMAZÓNICO, DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ, COLOMBIA

AUTOR O AUTORES: JHONATAN GUTIÉRREZ GARAVIZ

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
GUTIERREZ GARAVIZ	JHONATAN

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
BERNAL CASTRO	EDGAR ANDRES

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
BERNAL CASTRO	EDGAR ANDRES

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: ESPECIALISTA EN ESTADÍSTICA

FACULTAD: FACULTAD DE CIENCIAS EXÁCTAS Y NATURALES

PROGRAMA O POSGRADO: ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA

CIUDAD: NEIVA **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 47

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas ___ Fotografías ___ Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general ___ Grabados ___
 Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas
 o Cuadros ___

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Paisaje fluvial	River Landscape	6. _____	_____
2. Composición	Composition	7. _____	_____
3. Diversidad	Diversity	8. _____	_____
4. Correlación	Correlation	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Introducción: los macroinvertebrados acuáticos son organismo que cumplen un papel fundamental dentro del metabolismo del río, caracterizándose por ser productores secundarios y consumidores primarios dentro de la red trófica, definiendo su distribución las diferentes variables de estructura y dinámica del paisaje fluvial. **Objetivo:** con la presente investigación, se analizó información biológica (macroinvertebrados acuáticos) y física (cobertura vegetal, heterogeneidad de sustrato, hidrodinámica, actividad antrópica y altura) del paisaje fluvial de 60 puntos de muestreo entre los años 2013 y 2015. **Análisis de datos:** para buscar el mejor modelo estadístico, se aplicó un PCA contrastando las variables físicas con las estaciones de muestreo, un NMDS correlacionando a través de los rangos, las variables biológicas con las estaciones, un CCA relacionando el conjunto de



variables biológicas, físicas del paisaje, teniendo en cuenta las estaciones, y por último un gráfico de burbujas, ordenando los valores de riqueza y abundancia geográficamente.

Resultados: De acuerdo a los resultados de los análisis multivariados aplicados, el PCA se ajusta como modelo, cumpliendo con los diferentes supuestos, el NMDS sirve para explicar el componente biológico con las variables ambientales, el CCA como modelo no se ajusta a los datos analizados, y el gráfico de burbujas muestra la distribución de riquezas y abundancias en el corredor andino-amazónico. **Conclusión:** los valores biológicos y físico-químicos por separado se relacionan con las estaciones de muestreo; la comparación entre ellos muestra una ordenación espacial no lineal en el NMDS y una respuesta de influencia baja de algunas variables física sobre la distribución de taxones en el CCA, dejando a la incertidumbre la influencia de otras variables como respuesta unimodal; en cuanto al componente geográfico, se identifican variabilidad de riqueza y abundancias en corredor.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Introduction: aquatic macroinvertebrates are an organism that plays a fundamental role in the river's metabolism, being characterized as secondary producers and primary consumers within the trophic network, defining its distribution the different variables of structure and dynamics of the river landscape. **Objective:** with the present investigation, biological information (aquatic macroinvertebrates) and physical (vegetation cover, substrate heterogeneity, hydrodynamics, anthropic activity and height) of the fluvial landscape of 60 sampling points between 2013 and 2015 were analyzed. **Data analysis:** to look for the best statistical model, a PCA was applied, contrasting the physical variables with the sampling stations, an NMDS correlating through the ranges, the biological variables with the stations, a CCA relating the set of biological variables, Physical aspects of the landscape, taking into account the seasons, and finally a bubble chart, ordering the values of wealth and abundance geographically. **Results:** According to the results of the applied multivariate analyzes, the PCA is adjusted as a model, fulfilling the different assumptions, the NMDS serves to explain the biological component with the environmental variables, the CCA as a model does not fit the analyzed data, and the bubble chart shows the distribution of wealth and abundance in the Andean-Amazonian corridor. **Conclusion:** the biological and physical-chemical values separately are related to the sampling stations; the comparison between them shows a nonlinear spatial ordering in the NMDS and a low influence response of some physical variables on the distribution of taxa in the CCA, leaving the uncertainty of the influence of other variables as unimodal response; As for the



geographic component, wealth variability and abundances in the corridor are identified.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado:

Firma:

Nombre Jurado:

Firma:

[Handwritten signatures and names of the thesis committee members]
Name Polanía P.
Cecilia J. López A.
Carolina M. Muñoz A.

**PATRONES DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS EN ALGUNOS ECOSISTEMAS LÓTICOS DEL CORREDOR
ANDINO-AMAZÓNICO, DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ, COLOMBIA**

***MSc.* JHONATAN GUTIERREZ GARAVIZ**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
NEIVA-HUILA
2019**

**PATRONES DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS EN ALGUNOS ECOSISTEMAS LÓTICOS DEL CORREDOR
ANDINO-AMAZÓNICO, DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ, COLOMBIA**

MSc. JHONATAN GUTIERREZ GARAVIZ

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Estadística

MSc. HERNANDO OVALLE

ASESOR

MSc. EDGAR ANDRES BERNAL CASTRO

ASESOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

NEIVA-HUILA

2019

DEDICATORIA

*“A mis hijos Juan Esteban y Martha Helena, quienes son la inspiración de mi
trabajo...”*

AGRADECIMIENTOS

“A todas aquellas personas que han sido parte de mi vida, aportándome en lo humano, social y científico, y a las instituciones por brindarme espacios de formación y adquisición de conocimiento”

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN.....	9
1 INTRODUCCIÓN.....	10
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
3 JUSTIFICACIÓN.....	12
4 OBJETIVOS.....	13
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
5 MARCO TEÓRICO.....	14
6 ANTECEDENTES.....	17
7 METODOLOGÍA.....	17
8 RESULTADOS.....	20
9 DISCUSIÓN.....	35
10 CONCLUSIONES.....	37
11 BIBLIOGRAFÍAS.....	38
12 ANEXOS.....	45

NUMERACIÓN DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Puntos de muestreo distribuidos en los diferentes ecosistemas lóticos del corredor Andino-Amazónico del departamento del Caquetá. Municipios: A (Florencia), B (Morelia), C (Belén de los Andaquies), D (San José del Fragua), E (Montañita), F (El Paujil), G (Doncello) y H (Puerto Rico).....	19
Figura 2. Gráfico de colinealidad entre variables ambientales.....	24
Figura 3. Pruebas de Kaiser-Guttman y Broken Stick	26
Figura 4. PCA y correlación con cluster de distancia euclidiana.....	27
Figura 5. Pruebas de bondad de ajuste.....	28
Figura 6. Plot NMDS, con y sin ajuste.....	29
Figura 7. Biplot NMDS con y sin ajuste.....	30
Figura 8. Análisis de correspondencia canónica sin ajuste.....	32
Figura 9 Análisis de correlación canónica ajustado	34
Figura 10. Gráfico de burbujas avanzado.....	35

NUMERACIÓN DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Estadística descriptiva, variables ambientales.....	21
Tabla 2. Estimativos de diversidad alfa.....	22
Tabla 3. Prueba multivariada de Shapiro-Wilk.	23
Tabla 4. Test de esfericidad de Bartlett.....	24
Tabla 5. Prueba KMO.....	25

RESUMEN

Introducción: los macroinvertebrados acuáticos son organismo que cumplen un papel fundamental dentro del metabolismo del río, caracterizándose por ser productores secundarios y consumidores primarios dentro de la red trófica, definiendo su distribución las diferentes variables de estructura y dinámica del paisaje fluvial. **Objetivo:** con la presente investigación, se analizó información biológica (macroinvertebrados acuáticos) y física (cobertura vegetal, heterogeneidad de sustrato, hidrodinámica, actividad antrópica y altura) del paisaje fluvial de 60 puntos de muestreo entre los años 2013 y 2015. **Análisis de datos:** para buscar el mejor modelo estadístico, se aplicó un PCA contrastando las variables físicas con las estaciones de muestreo, un NMDS correlacionando a través de los rangos, las variables biológicas con las estaciones, un CCA relacionando el conjunto de variables biológicas, físicas del paisaje, teniendo en cuenta las estaciones, y por último un gráfico de burbujas, ordenando los valores de riqueza y abundancia geográficamente. **Resultados:** De acuerdo a los resultados de los análisis multivariados aplicados, el PCA se ajusta como modelo, cumpliendo con los diferentes supuestos, el NMDS sirve para explicar el componente biológico con las variables ambientales, el CCA como modelo no se ajusta a los datos analizados, y el gráfico de burbujas muestra la distribución de riquezas y abundancias en el corredor andino-amazónico. **Conclusión:** los valores biológicos y físico-químicos por separado se relacionan con las estaciones de muestreo; la comparación entre ellos muestra una ordenación espacial no lineal en el NMDS y una respuesta de influencia baja de algunas variables física sobre la distribución de taxones en el CCA, dejando a la incertidumbre la influencia de otras variables como respuesta unimodal; en cuanto al componente geográfico, se identifican variabilidad de riqueza y abundancias en corredor.

Palabras Claves: paisaje fluvial, composición, diversidad, correlación.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países reconocido a nivel mundial por su megadiversidad, favorecida por las condiciones orográficas, que permiten crear variedad de ecosistemas, moldeando evolutivamente las formas de vida existente. Los ecosistemas acuáticos son un ejemplo de esa alta diversidad de comunidades biológicas; y en especial si se enfoca en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos, cuya composición en su mayoría son los insectos, organismos representativos dentro de la fauna por su riqueza.

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos importantes dentro del metabolismo de los ríos, siendo participes en el transporte energético a través de los diferentes eslabones de la cadena trófica, además, son claves en la depuración y transformación de la materia orgánica gruesa de origen alóctono.

Estos organismos son un insumo importante para conocer la salud de un ecosistema acuático, teniendo en cuenta su capacidad de respuesta ante un tensor externo que altere las condiciones normales de la columna del agua, considerándolos bioindicadores.

Para poder entender la importancia de estos organismos bioindicadores como ejemplo de utilidad, se debe explorar la influencia que tienen las diferentes variables ambientales, que moldean en el tiempo los hábitats, estableciendo condiciones para su colonización; y definir exactamente que variables pueden estar determinando la presencia de un taxón, es una de las metas de cualquier limnólogo en el mundo, teniendo en cuenta que los resultados son locales, y se convierten en información guía para investigaciones futuras.

Si focalizamos el interés por conocer las variables ambientales que moldean estos organismos en Colombia, resultan mucho más complejo que en cualquier país europeo, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, por la variedad de condiciones que existen en el país. Es por eso que con la presente investigación se explora diferentes estaciones ubicadas en el corredor andino-amazónico del departamento del Caquetá, en busca de un acercamiento descriptivo sobre los patrones que pueden influir en la distribución de macroinvertebrados acuáticos en diferentes ecosistemas lóticos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia existen estudios sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, relacionados con la calidad del agua (Roldán, 2003), biodiversidad (Alonso et al., 2014), redes tróficas (Zamora et al., 2003) y ecología (Zúñiga, 1985) entre otros, indicando algunos elementos de distribución, relacionado con ubicaciones geográficas, pero a nivel de investigaciones que indiquen el establecimiento de patrones geográficos o altitudinales son escasos.

En la región Andino-Amazónica se puede contar con trabajos de Rosas y Mesa (2002), Saldaña y Ome (2005), Ruales (2007), Orozco (2009) y Cuellar (2010), quienes estudiaron la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y su importancia en lo relacionado con la calidad biológica del agua; García y Peláez (2011), y Peláez Rodríguez (2008), donde definen los indicadores ambientales e impactos antrópicos; Gutiérrez et al. (2016) donde indican la importancia de este grupo dentro de las dietas alimenticias de algunas especies ícticas; y Chaux et al. (2018) quienes establecen la diversidad de este grupo en ecosistemas lóticos de importancia. En todos los trabajos, se pueden ubicar las coordenadas geográficas para conocer su distribución, pero la información relacionada con la estructura del paisaje fluvial puede estar ausente o su significancia tiene un grado de interés

menor al objetivo de estudio. Por lo tanto, es necesario profundizar en el conocimiento de la distribución de taxones referentes a la comunidad estudio, para así conocer la influencia de patrones del paisaje fluvial que definen la presencia de un organismo, en especial en el corredor andino-amazónico del departamento del Caquetá. Para esto se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué patrones del paisaje fluvial influyen sobre la distribución espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en algunos ecosistemas lóticos del corredor andino-amazónico del departamento del Caquetá?

Hipótesis: La distribución de macroinvertebrados acuáticos estará definida por la heterogeneidad del sustrato, cobertura vegetal, gradiente altitudinal, hidrodinámica del río y tensores antrópicos, estableciendo su composición y diversidad en los diferentes ecosistemas lóticos del corredor andino-amazónico del departamento del Caquetá.

3. JUSTIFICACIÓN

Al conocer los patrones de diversidad que influyen sobre la distribución de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, fundamentado en un estudio de ecología aplicada, sus resultados serían un referente importante para la toma de decisiones dentro de los planes de ordenamiento y manejo de cuenca de cualquier fuente hídrica, teniendo en cuenta que estos organismos son utilizados como bioindicadores de tensores antrópicos, y su presencia está dada por procesos evolutivos de adaptación a diferentes condiciones dentro del paisaje fluvial; además, estos organismos cumplen un rol importante dentro de los ecosistemas lóticos y lénticos, tanto en la estructuración de redes tróficas, como la funcionabilidad en términos de metabolismo.

El análisis de las bases de datos acumulados entre los años 2013 y 2015, permiten establecer un patrón de comparación para muestreos espacio-temporales con diferentes objetivos de estudio, y la manera cómo pueden influir patrones como la heterogeneidad del sustrato, altitud, cobertura vegetal e hidrodinámica del río entre otros aspectos, sobre la composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos en conectividades longitudinales geográficas; además, dentro de la evaluación de estado ecológico, se puede utilizar para la construcción de herramientas de bioindicación local, entendiendo que dentro de esta comunidad existen diferentes grados de sensibilidad a diferentes tensores antrópicos.

Y por último, este estudio contrastaría los conceptos de río continuo, río discontinuo y teoría de parche, elaborados para zonas templadas, analizando y comprendiendo su adaptabilidad a ríos neo-tropicales, y en especial cuando se abordan zonas de transición como es el corredor andino-amazónico del departamento del Caquetá, donde se pueden identificar procesos de sucesión longitudinal en diferentes ecosistemas lóticos.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Estimar los patrones de distribución espacial de macroinvertebrados acuáticos en algunos ecosistemas lóticos del corredor Andino-Amazónico, departamento del Caquetá, Colombia.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en algunos ecosistemas lóticos.
- Caracterizar las variables de paisaje fluvial como patrones de distribución presentes en los diferentes ecosistemas lóticos de estudio.
- Estimar la influencia de los patrones sobre la distribución espacial de macroinvertebrados acuáticos.

5. MARCO TEÓRICO

De acuerdo al IDEAM (2015), los ecosistemas acuáticos continentales en Colombia ocupan 19.710.972 hectáreas, con un 65,6% relacionado con ecosistemas transicionales y el 15,2% asociado a ecosistemas lóticos y lénticos. La región amazónica representa el 37% de la oferta hídrica por área hidrogeográfica (oferta hídrica en Colombia, 2'011.655 Mm³), y el departamento del Caquetá con una zona hidrogeográfica de 99.974 Km², presenta 218.285 Mm³ en año medio y 153.976 Mm³ en año seco, ocupando el puesto 44 en el país (IDEAM, 2014).

En estos ecosistemas colombianos se puede encontrar una gran diversidad de comunidades acuáticas, ocupando diferentes hábitats, cuya disponibilidad está definida por las diferentes zonas de vida que se pueden encontrar en el país, moldeadas por las tres cordilleras andinas, los valles interandinos del Cauca y magdalena, la Orinoquía y la Amazonía. Un ejemplo de estas comunidades son los macroinvertebrados acuáticos que de acuerdo a Roldán y Ramírez (2008) se identifican como aquellos organismos con un tamaño de 0,5 mm de longitud, o se

pueden ver a simple vista. Estos organismos son importante en la dinámica del ecosistema, como productores secundarios o consumidores primarios (Allan and Castillo, 2007; Tamaris, 2018) dentro del metabolismo, siendo un grupo bastante abundante (Tamaris, 2018). La mayoría de taxones pertenecen a la clase insecta, cuyo ciclo de vida en el agua se representa en estados inmaduros, con excepción de algunos phylum (Mollusca, Annelida, Nematomorpha y Plathyhelminthes) o géneros (*Macrelmis* spp., *Heterelmis* spp. del orden Coleoptera) que pasan toda su vida en el ecosistema.

Ocupan diferentes microhábitats como arenas, hojarasca, piedras, ramas, musgo, macrófitas acuáticas o cualquier sustrato blando o duro disponible en el ambiente (Gutiérrez et al., 2018). Su establecimiento se puede sustentar con el concepto de la dinámica de parches (Townsend, 1989) que se relaciona con los patrones de distribución de las especies, definido a partir de las interacción intra e interespecíficas, la temporalidad y los eventos estocásticos. Cuando hay una creciente, esta puede arrastrar organismos, limpiando el sustrato, dejándolo disponible para que nuevamente sea colonizado por las mismas especies que ya existían u ocupado por otras especies; en este fenómeno se puede identificar procesos de sucesión, como lo explica Hemphill and Cooper (1983) donde demuestran como una especie 1 (*Simulium virgatum*) coloniza el parche rápidamente, pero es reemplazada gradualmente por una especie 2 (*Hidropsycge* spp.) más competitiva por el espacio. La depredación es un ejemplo de interacción interespecíficas, que puede controlar poblaciones dentro del proceso de asentamiento, y las altas y bajas precipitaciones pueden generar procesos de deriva o refugio, como variable temporal.

El concepto del río discontinuo (Poole, 2002) complementa la teoría de parches, cuyo enfoque de investigación se centra en la interacción entre la estructura y función de los paisajes fluviales, que a lo largo del río definen heterogeneidad,

jerarquía, dirección y escalas espaciales y temporales. Los cambios transicionales en los hábitats se pueden dar longitudinal, lateral y verticalmente, cuya geología establece el sustrato e iones disponibles, el suelo y el clima moldean la vegetación y esta suministra alimento, definiendo las condiciones de microhábitat para colonización (Poole, 2002). Por lo anterior, los macroinvertebrados acuáticos dependen de estos componentes, sumando los tensores antrópicos (Roldán, 1988; Peláez, 2008; Ramírez, 2010) como variable que puede modificar su composición y diversidad.

De acuerdo al concepto del río continuo (Vannote et al., 1980) longitudinalmente el ecosistema acuático va cambiando su estructura vegetativa y dominio de sustrato, definiendo diferentes grupos funcionales de macroinvertebrados acuáticos, identificando una transición de 4 grupos en la parte alta-media (raspadores, predadores, trituradores y colectores) y 2 en la parte baja (colectores-depredadores); además, el orden del río también se puede relacionar con los cambios progresivos en la estructura y función de las comunidades lólicas.

Estos cambios se pueden identificar a partir de la composición y diversidad de una comunidad acuática. La composición se relaciona con las especies que existen en una comunidad, y la diversidad es su expresión numérica. Estas dos variables pueden ser influenciadas por el gradiente altitudinal (Jacobsen, 2004), definiendo su distribución geográfica.

Por lo expuesto anteriormente, la distribución de macroinvertebrados acuáticos puede estar influenciada por la composición del sustrato, cobertura vegetal, gradiente altitudinal, hidrodinámica del río y tensores antrópicos. De esta forma, la presente investigación brinda elementos para el entendimiento de esta comunidad en el corredor andino-amazónico del departamento del Caquetá.

6. ANTECEDENTES

Los ecosistemas acuáticos presentan una alta diversidad de organismos, definiendo su distribución factores a diferentes escalas, que van desde aspectos climáticos, geológicos, biogeográficos, hasta procesos de especiación influenciada por las condiciones de hábitat.

Faith and Norris (1989) estudian la correlación de las variables ambientales con la distribución y abundancia de macroinvertebrados acuáticos. Kay *et al.* (2001) analizan la distribución y tolerancia ambiental de familias de macroinvertebrados acuáticos en zonas agrícolas. Park *et al.* (2003) establecen un modelo de predicción de riqueza y diversidad de Shannon con diferentes variables ambientales. Malmquist (2002) realiza una recopilación de todos los factores que pueden influir sobre la distribución de invertebrados acuáticos, analizando heterogeneidad física del paisaje fluvial, procesos de dispersión y migración y componentes paisajísticos;

Para el departamento del Caquetá los trabajos de Rosas y Mesa (2002), Ome (2005), Ruales (2007), Peláez (2008), Orozco (2009), Cuellar (2010), Gutiérrez et al. (2016), Cortes et al. (2016) y Chaux et al. (2018), son un referente importante a tener en cuenta para la presente investigación, indicando aspectos importantes sobre el estudio de macroinvertebrados acuáticos.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

Área de estudio: el proyecto se desarrolló en el corredor andino-amazónico del departamento del Caquetá, entre los años 2013 a 2015.

Fase de campo: se evaluaron 60 puntos de muestreo (tamaño de muestra $n > 30$), distribuidos dentro de un diseño experimental aleatorio en la parte alta, media y baja del corredor andino amazónico, abarcando diferentes condiciones del paisaje fluvial, desde sitios bien conservados, hasta sitios altamente afectados por tenses antrópicos (**Figura 1**). Los macroinvertebrados acuáticos fueron colectados utilizando una red surber con poro de 250 μm , sobre diferentes microhábitats identificados en cada lugar. Las muestras se preservaron en frascos plásticos de 500 cm^3 con alcohol a los 95%, debidamente rotulados.

Además, se registraron variables de paisaje como porcentaje de cobertura vegetal ribereña, composición del sustrato, hidrodinámica del río y tenses antrópicos (**Anexo 1**).

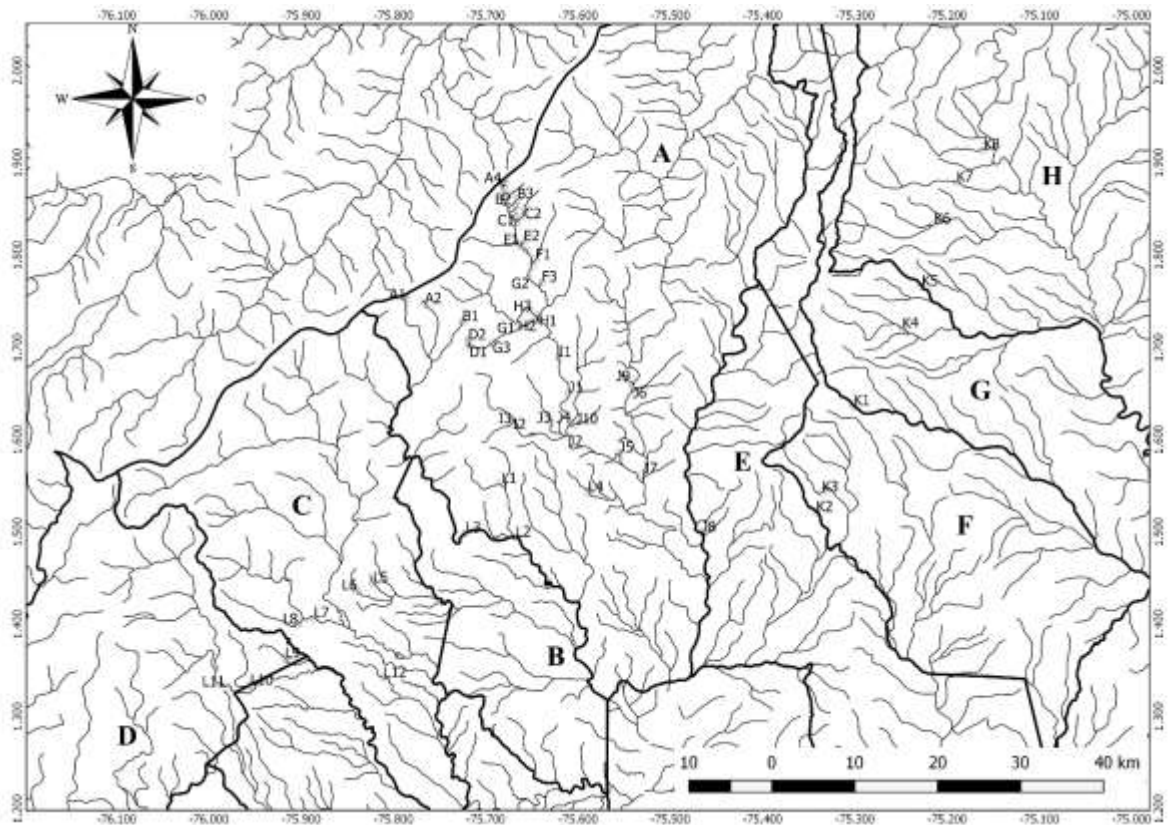


Figura 1. Puntos de muestreo distribuidos en los diferentes ecosistemas lóticos del corredor Andino-Amazónico del departamento del Caquetá. Municipios: A (Florencia), B (Morelia), C (Belén de los Andaquies), D (San José del Fragua), E (Montañita), F (El Paujil), G (Doncello) y H (Puerto Rico).

Fase de laboratorio: las muestras fueron separadas para conteo e identificación, utilizando un estereomicroscopio AMSCOPE. Se utilizaron las guías y claves taxonómicas de McCafferty (1981), Roldán (1988), Klemm (1995), Eppler (1995), Epler (1996), Voshell (2002), Pescador et al. (2002), Heckman (2008), Domínguez y Fernández (2009), Merritt et al. (2008), Springer et al (2010), se identificaran los especímenes llegando en su mayoría a la categoría de género

Análisis de datos: para el análisis de información, se utilizó el software estadístico R-Project V 3.6.1, y la extensión R-Studio V 1.2.1335, aplicando los siguientes análisis:

- a. Diversidad alfa: se calcularon los índices de Shanon-Wiener, equidad de Pielou, dominancia de Simpson, riqueza específica y abundancia. Se utilizó “vegan” como librería de análisis.
- b. Estructura:
 - Análisis de componentes principales (PCA) y cluster: permitió contrastar las variables ambientales con los sitios de muestreo; los resultados en este análisis son de respuesta lineal. Este análisis multivariado contrasta varias variables dependientes e independientes, transformándolas de un conjunto de variables originales a un conjunto de variables conocidas como componentes principales. Las librerías utilizadas para este análisis fueron “vegan”, “ade4”, “gclus”, “ape”, “PerformanceAnalytics”, “readxl”, “dplyr”, “ggplot2”, “GGally”, “Hmisc”, “corrplot” y “psych”. Además se aplicó

un cluster de Bray para contrastar el mismo conjunto de variables del PCA. También se utilizaron las funciones “estadistico.R” y “evplot”.

- Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS): consiste en ubicar objetos en un mapa, a partir de una tabla de distancia, maximizando la correlación a partir de rangos establecidos entre las distancias reales observadas; este análisis sirve tanto para variables cualitativas como cuantitativas. Para el proyecto, se analizaron los sitios con las variables biológicas y los sitios con las variables ambientales. Las librerías utilizadas para este análisis fueron la mayoría citadas en el PCA. Para el NMDS se utilizó la función “estadistico.R”
- Análisis de correlación canónica (CCA): análisis multivariado que permitió contrastar los las variables ambientales, con las biológicas, teniendo en cuenta los sitios de muestreo; los resultados de este análisis son de respuesta unimodal. Las librerías para este análisis fueron la mayoría citadas en el PCA y “goeveg”.
- Gráfico de burbuja avanzada: permitió contrastar los valores de riqueza y abundancia en cada punto, respecto a las coordenadas geográficas. Se utilizó la librería “GGally”.

8. RESULTADOS

8.1 Variables ambientales y diversidad de macroinvertebrados acuáticos

Variables ambientales

En la **Tabla 1** se resume los valores explorativos para cada variable ambiental registrada en campo.

Tabla 1. Estadística descriptiva, variables ambientales.

DESCRIPTIVO	ALTURA	COBERTURA	SOMBRA	RAPIDO	REMANSO	CORRIENTE
Min.	216.0	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.1000
1stQu	281.0	0.4000	0.3000	0.3500	0.0000	0.3000
Median	396.0	0.7000	0.6000	0.5000	0.1500	0.3000
Mean	807.8	0.6283	0.5917	0.4783	0.1475	0.3675
3rdQu	1306	0.9000	0.8000	0.7000	0.2250	0.4000
Max.	2337	10.000	10.000	0.8000	0.7000	0.8000

DESCRIPTIVO	MOPG	ARBOLES	ARBUSTOS	PASTOS	HERBACEAS	BLOQUE
Min.	0.00	.000	0.00	0.000	0.00000	0.0000
1stQu	0.00	0.300	0.00	0.175	0.00000	0.1750
Median	0.00	0.400	0.00	0.300	0.00000	0.3000
Mean	0.07	1.765	0.14	0.350	0.06333	0.3275
3rdQu	0.10	0.700	0.30	0.700	0.10000	0.6000
Max.	0.80	80.000	0.70	0.800	0.30000	0.6000

BOSQUE	AGRICULTURA	ASENTAMIENTO	PASTOREO	CANTOS	GRAVA	ARENA
0.00	0.000	0.00000	0.0000	0.000	0.00	0.1000
0.30	0.000	0.00000	0.0000	0.100	0.00	0.1000
0.35	0.000	0.00000	0.4000	0.200	0.10	0.2000
0.48	0.045	0.08167	0.3983	0.235	0.11	0.2558
0.70	0.000	0.00000	0.7000	0.400	0.20	0.3000
1.00	0.700	100.000	10.000	0.500	0.50	0.8000

Composición

Se identificaron en total 5 phylum, 11 clases, 20 órdenes, 64 familias, 119 géneros en su mayoría, con un tamaño total de 7410 individuos revisados (**Anexo 2**). Estos resultados demuestran una alta variabilidad de taxones en el corredor andino-amazónico, definido por las condiciones de cada microambiente, moldeado por la transición de zonas de vida.

Diversidad

En la **Tabla 2** se indica los 6 estimativos de diversidad alfa calculados para cada estación de muestreo. Se puede observar una variabilidad en los estimativos calculados y distribuidos en los diferentes puntos de estudio.

Tabla 2. Estimativos de diversidad alfa.

ALFA	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	D1	D2	D3
Riqueza	7,0	9,0	22,0	5,0	29,0	10,0	1,0	11,0	30,0	19,0	9,0	5,0	5,0	12,0	23,0
Abundancia	49,0	38,0	52,0	40,0	348,0	158,0	33,0	155,0	260,0	49,0	85,0	22,0	21,0	112,0	136,0
Dominance_D	0,5	0,2	0,1	0,4	0,2	0,3	1,0	0,5	0,2	0,1	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1
Shannon_H	1,1	1,8	2,8	1,3	2,3	1,5	0,0	1,2	2,5	2,4	1,1	1,0	1,1	1,8	2,7
Equitability_J	0,6	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,0	0,5	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9
ALFA	E1	E2	E3	F1	F2	F3	G1	G2	G3	H1	H2	H3	I1	I2	I3
Riqueza	22,0	28,0	23,0	19,0	30,0	7,0	18,0	24,0	21,0	20,0	15,0	26,0	29,0	2,0	36,0
Abundancia	143,0	109,0	95,0	45,0	171,0	55,0	54,0	77,0	70,0	100,0	233,0	73,0	149,0	6,0	140,0
Dominance_D	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,5	0,0
Shannon_H	2,2	2,7	2,4	2,6	2,9	1,6	2,4	2,7	2,8	2,5	1,3	2,7	2,7	0,7	3,3
Equitability_J	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,5	0,8	0,8	1,0	0,9
ALFA	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	K1	K2	K3	K4	K5
Riqueza	38,0	14,0	10,0	11,0	13,0	16,0	4,0	8,0	15,0	6,0	25,0	24,0	21,0	23,0	10,0
Abundancia	207,0	213,0	78,0	###	112,0	70,0	19,0	97,0	37,0	482,0	123,0	104,0	87,0	61,0	12,0
Dominance_D	0,1	0,4	0,2	0,4	0,3	0,1	0,6	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Shannon_H	3,0	1,4	1,8	1,3	1,6	2,5	0,7	1,0	2,3	0,8	2,9	2,7	2,6	2,5	2,2
Equitability_J	0,8	0,5	0,8	0,5	0,6	0,9	0,5	0,5	0,9	0,5	0,9	0,9	0,9	0,8	1,0
ALFA	K6	K7	K8	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
Riqueza	24,0	30,0	24,0	13,0	24,0	12,0	11,0	8,0	11,0	5,0	16,0	14,0	8,0	19,0	19,0
Abundancia	118,0	345,0	58,0	25,0	293,0	114,0	38,0	22,0	26,0	106,0	47,0	47,0	81,0	44,0	81,0
Dominance_D	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1
Shannon_H	2,8	2,7	2,8	2,3	2,5	2,2	2,2	1,9	2,1	0,5	2,4	2,4	1,0	2,7	2,4
Equitability_J	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,3	0,9	0,9	0,5	0,9	0,8

8.2 Estructura y variables ambientales

Análisis de Correspondencia Canónica (PCA)

Para el desarrollo del modelo multivariado basado en el PCA, se analizan los siguientes supuestos, contrastando las variables ambientales con los sitios de muestreo:

- a. Prueba de normalidad multivariada: En la **Tabla 3** se muestra los resultados de la prueba de normalidad multivariada basada en Shapiro-Wilk, indicando que los datos se ajustan a la normal. Cabe mencionar que los datos se estandarizaron previamente, teniendo en cuenta que existen diferencia en las escala de medición de las variables ambientales observadas.

Tabla 3. Prueba multivariada de Shapiro-Wilk.

Asimetría	Kurtosis	Shapiro-Wilk
343,66	509,11	0.86

- b. Supuesto de colinealidad: se analiza las correlaciones de cada variable. En la **Figura 2** se puede observar altos, medios y bajos valores de colinealidad, teniendo en cuenta la escala indicada por Zamora R. y J. Esnaola (2015).

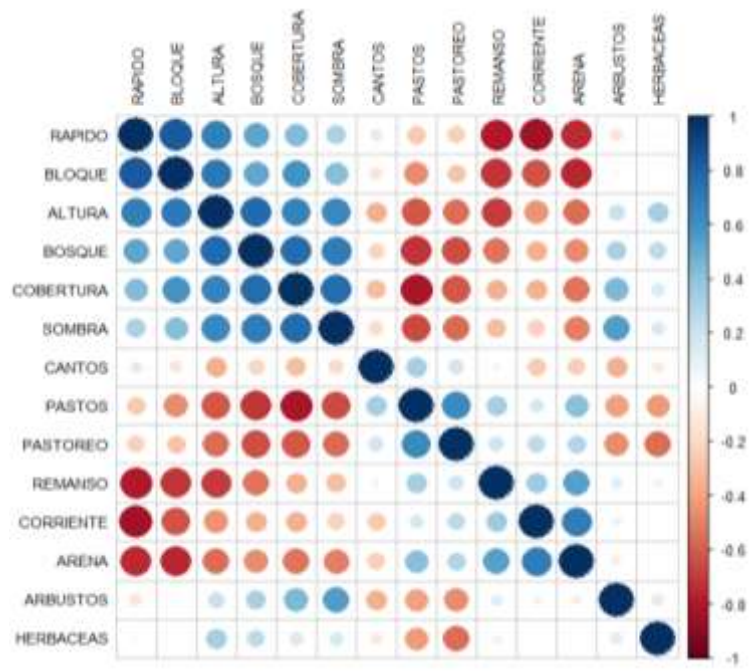


Figura 2. Gráfico de colinealidad entre variables ambientales.

- c. Supuesto de multicolinealidad (test de esfericidad Bartlett, KMO): Teniendo en cuenta el resultado anterior de normalidad multivariada y el test de la **Tabla 4**, se cumple con el supuesto de esfericidad de Barlett, siendo el valor **<0.05**, indicando multicolinealidad. El resultado del KMO arroja un valor de MSA **0.73**, estadístico aceptable de acuerdo a Zamora R. y J. Esnaola (2015).

Tabla 4. Test de esfericidad de Bartlett.

Test	Resultado
Chisq	870,8238
p.Value	1,35E-121
df	91

Tabla 5. Prueba KMO.

Kaiser-Meyer-Olkin factor adequacy
Call: KMO(r = varabi2)
Overall MSA = 0.73
MSA for each item =

ALTURA	COBERTURA	SOMBRA	RAPIDO	REMANSO	CORRIENTE	BLOQUE
0.85	0.84	0.85	0.64	0.58	0.54	0.83
CANTOS	ARENA	ARBUSTOS	PASTOS	HERBACEAS	BOSQUE	PASTOREO
0.41	0.83	0.71	0.76	0.41	0.87	0.77

Respecto al determinante, nos da un valor cercano a 0 (**3.108703e-06**), indicando colinealidad.

Con el cumplimiento de los supuestos, se calcula el PCA, arrojando los siguientes resultados:

- a. Matriz PCA: De acuerdo a los resultados, los primeros dos componentes están explicando el **0.6644** de la varianza, en el modelo.

Call:
rda(X = varabi2, scale = T)

Partitioning of correlations:

	Inertia	Proportion
Total	14	1
Unconstrained	14	1

Eigenvalues, and their contribution to the correlations

Importance of components:

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Eigenvalue	6.609	2.7012	1.14809	1.11836	0.58915	0.48309
Proportion Explained	0.472	0.1929	0.08201	0.07988	0.04208	0.03451

Cumulative Proportion	0.472	0.6650	0.74699	0.82687	0.86895	0.90346							
			PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12					
Eigenvalue			0.43351	0.28756	0.22500	0.14265	0.105995	0.079256					
Proportion Explained			0.03096	0.02054	0.01607	0.01019	0.007571	0.005661					
Cumulative Proportion			0.93443	0.95497	0.97104	0.98123	0.988798	0.994459					
			PC13	PC14									
Eigenvalue			0.070675	0.0069041									
Proportion Explained			0.005048	0.0004931									
Cumulative Proportion			0.999507	1.000000									

Scaling 2 for species and site scores

* species are scaled proportional to eigenvalues

* Sites are unscaled: weighted dispersion equal on all dimensions

* General scaling constant of scores:

b. Selección de ejes: Teniendo en cuenta las pruebas de Kaiser-Guttman y Broken Stick, se seleccionan los primeros dos ejes. Para la primera, los valores propios deben de ser superior a la media; en el caso de la segunda, los valores propios, deben de ser mayores que los Stick calculados (**Figura 3**).

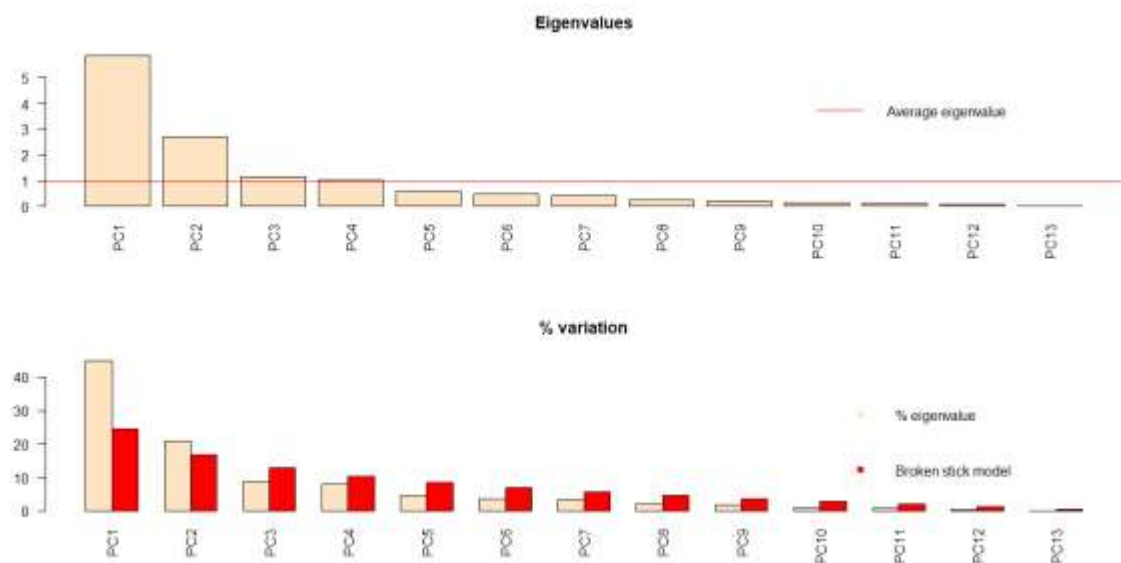


Figura 3. Pruebas de Kaiser-Guttman y Broken Stick.

c. Resultado PCA y CLuster: a partir del análisis de correlaciones, se seleccionan las variables ambientales con alta y media colinealidad (**Anexo 2**)

De acuerdo a la **Figura 4** se puede detallar la conformación de 3 grupos, con un porcentaje explicativo de varianza del 64% para el PCA, y cluster con distancia euclidiana. La altura, cobertura, bosque y % de sombra se agrupan las estaciones 1 a 13; cantos, pastoreo y pastos con las estaciones 42, 45, 48, 49,51; y el tercer grupo, corriente, remanso y arenas, agrupando las estaciones 40, 35, 37, 38, 50 y 52.

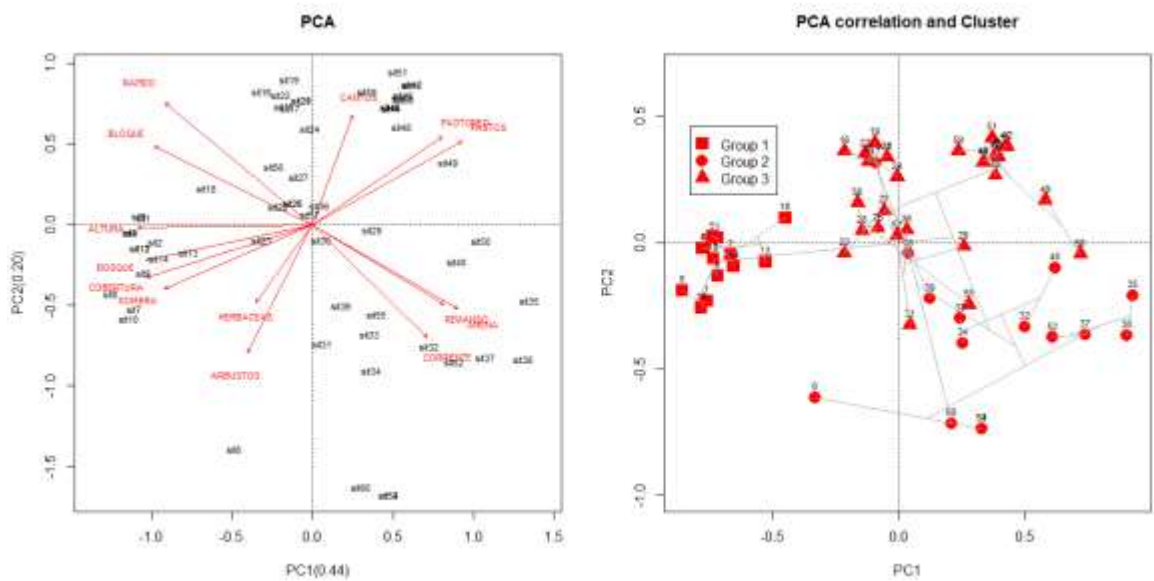


Figura 4. PCA y correlación con cluster de distancia euclidiana.

Análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS)

El valor de Kruskal stress calculado para el análisis es de 0,21 (<0.05), con 20 interacciones, indicando una ordenación ajustada para el análisis.

global Multidimensional Scaling using monoMDS

abundantes, ajustándose a un 60% de los sitios. Los géneros seleccionados son los siguientes:

"He1o" "Lacc" "Pha" "Macr" "Hu1e" "Het" "Hex" "Pseu" "Psep" "Anchy" "Hexato" "Para" "Farro" "Terpi" "Lach1a" "Lepto" "Smic" "Grumi" "Duge"

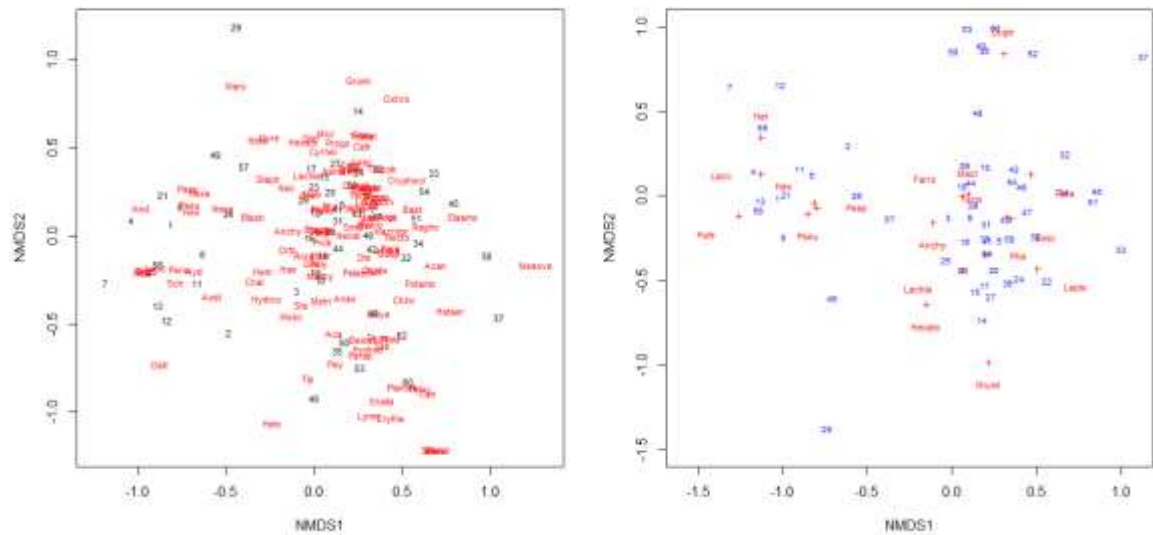


Figura 6. Plot NMDS, con y sin ajuste.

Para incluir las variables ambientales en el análisis, se calcularon las dimensiones NMDS1, encontrando los siguientes resultados.

	NMDS1	NMDS2	r2	Pr(>r)
ALTURA	-1.00000	0.00182	0.3065	0.001 ***
COBERTURA	-0.99925	0.03878	0.1600	0.010 **
SOMBRA	-0.93853	-0.34519	0.1560	0.014 *
RAPIDO	-0.68982	0.72398	0.3530	0.001 ***
REMANSO	0.73823	-0.67454	0.2747	0.001 ***
CORRIENTE	0.64661	-0.76282	0.2072	0.002 **
BLOQUE	-0.74841	0.66324	0.2294	0.001 ***
CANTOS	-0.02955	0.99956	0.1140	0.035 *
GRAVA	-0.99112	0.13299	0.0039	0.886

ARENA	0.74426	-0.66789	0.2559	0.001	***
MOPG	0.18049	-0.98358	0.2020	0.002	**
ARBOLES	-0.67546	0.73740	0.0800	0.099	.
ARBUSTOS	-0.55739	-0.83025	0.0624	0.160	
PASTOS	0.96067	-0.27770	0.1383	0.016	*
HERBACEAS	-0.83773	0.54608	0.0295	0.414	
BOSQUE	-0.99943	0.03366	0.2920	0.001	***
AGRICULTURA	0.89772	-0.44056	0.0177	0.615	
ASENTAMIENTO	0.72185	-0.69205	0.1007	0.048	*
PASTOREO	0.82054	0.57160	0.1281	0.026	*

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Permutation: free

Number of permutations: 999

Con las variables significativas se construye un biplot (**Figura 7**) para relacionar las variables ambientales significativas con los sitios. En la gráfica izquierda se muestra los taxones representativos en los sitios de muestreo, y en la gráfica derecha las variables físicas con los lugares trabajados.

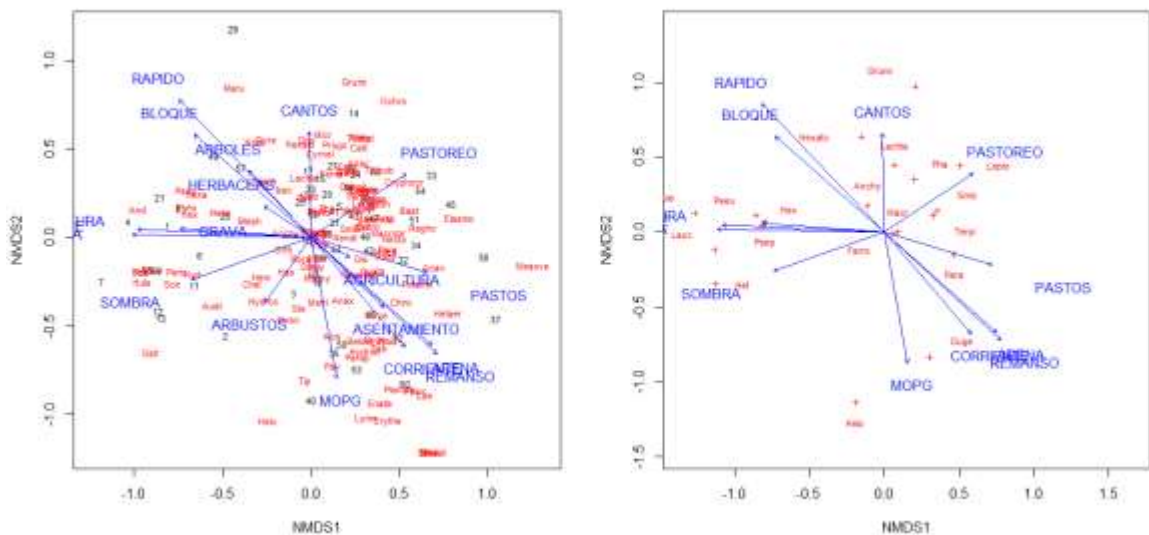


Figura 7. Biplot NMDS con y sin ajuste.

ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA (CCA)

Con el CCA se busca una respuesta unimodal que sustente mejor la relación existente entre las variables biológicas y las ambientales. De acuerdo a los resultados, la prueba de Chi-Cuadrado indica unos valores de proporción explicativa baja (CC1 (0,084), CC2 (0,051)), dejando un 0.58 (58%) a la incertidumbre (influencia de otras variables en la agrupación).

call:

cca(X = varbio, Y = varabi, scale = T)

Partitioning of scaled Chi-square:

	Inertia	Proportion
Total	6.716	1.0000
Constrained	2.804	0.4175
Unconstrained	3.912	0.5825

Eigenvalues, and their contribution to the scaled Chi-square

Importance of components:

	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6	CCA7	CCA8
Eigenvalue	0.57004	0.34464	0.3089	0.27126	0.20637	0.19078	0.1552	0.1366
Proportion Explained	0.08488	0.05131	0.0460	0.04039	0.03073	0.02841	0.0231	0.02035
Cumulative Proportion	0.08488	0.13619	0.1822	0.22257	0.25330	0.28171	0.3048	0.32516

Se aplica un test de permutación para identificar las variables ambientales significativas en el modelo; los resultados siguientes muestran que ninguna de las variables ambientales en su conjuntos son significativas:

	Df	AIC	F	Pr(>F)
<none>		402.16		
ALTURA	1	401.61	0.9754	0.425

COBERTURA	1	401.27	0.7471	0.875
SOMBRA	1	401.80	1.1050	0.295
RAPIDO	1	401.09	0.6212	0.925
REMANSO	1	401.10	0.6319	0.905
CORRIENTE	1	401.27	0.7424	0.735
BLOQUE	1	401.74	1.0669	0.315
CANTOS	1	401.80	1.1042	0.300
GRAVA	1	401.78	1.0896	0.295
ARENA	1	401.84	1.1312	0.265
MOPG	1	401.78	1.0917	0.300
ARBOLES	1	401.84	1.1322	0.270
ARBUSTOS	1	401.74	1.0668	0.385
PASTOS	1	402.02	1.2536	0.185
HERBACEAS	1	402.05	1.2768	0.165
BOSQUE	1	400.91	0.5038	0.960
AGRICULTURA	1	400.98	0.5500	0.895
ASENTAMIENTO	1	400.91	0.5016	0.935
PASTOREO	1	400.91	0.4975	0.935

En la **Figura 8** se construye el biplot CCA, indicando el comportamiento de las variables contrastadas en los sitios de muestreo. Aparentemente se identifican 3 agrupaciones.

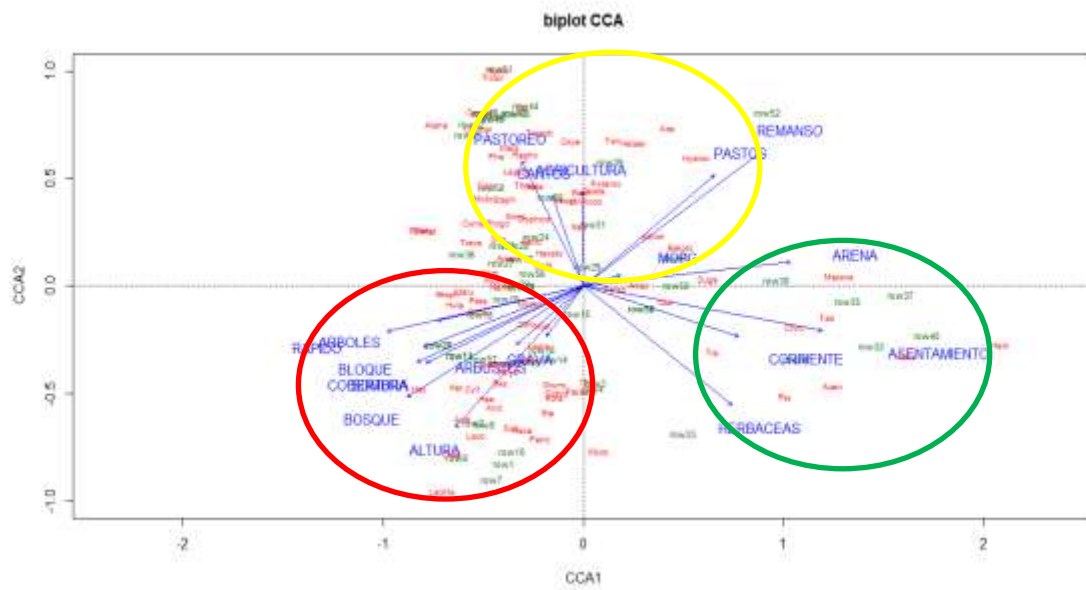


Figura 8. Análisis de correlación canónica sin ajuste.

En busca de un mejor modelo, se seleccionan algunas variables ambientales obteniendo valores de proporción explicada bajos en las dimensiones 1 y 2:

Call:

```
cca(formula = varbio[, -1] ~ CANTOS + BLOQUE + ARENA + REMANSO + COB  
ERTURA + PASTOS + PASTOREO, data = varabi)
```

Partitioning of scaled Chi-square:

	Inertia	Proportion
Total	6.743	1.0000
Constrained	1.513	0.2244
Unconstrained	5.230	0.7756

Eigenvalues, and their contribution to the scaled Chi-square

Importance of components:

	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6	CCA7
Eigenvalue	0.42729	0.27420	0.24624	0.22823	0.15112	0.12693	0.059079
Proportion Explained	0.06337	0.04066	0.03652	0.03385	0.02241	0.01882	0.008762
Cumulative Proportion	0.06337	0.10403	0.14055	0.17440	0.19681	0.21563	0.24392

Los resultados de las variables seleccionadas son significativas para contrastar con los datos biológicos, pero las correlaciones que se puedan establecer no son tan fuertes significativamente.

	Df	AIC	F	Pr(>F)
<none>		392.00		
CANTOS	1	391.76	1.5447	0.060 .
BLOQUE	1	392.44	2.1577	0.035 *
ARENA	1	392.58	2.2842	0.005 **
REMANSO	1	392.49	2.1990	0.010 **
COBERTURA	1	392.55	2.2509	0.005 **

PASTOS	1	391.82	1.6002	0.040	*
PASTOREO	1	392.19	1.9348	0.020	*

En la **Figura 9** se elabora un biplot seleccionando el 30% de los géneros más abundantes, con un 60% de mejor ajuste ambiental ("Lacc" "Het" "Hex" "Pseu" "Pse p" "Anchy" "Chiro" "Simu" "Hexato" "Para" "Lachla" "Cory" "Anac" "Grumi" "Duge").

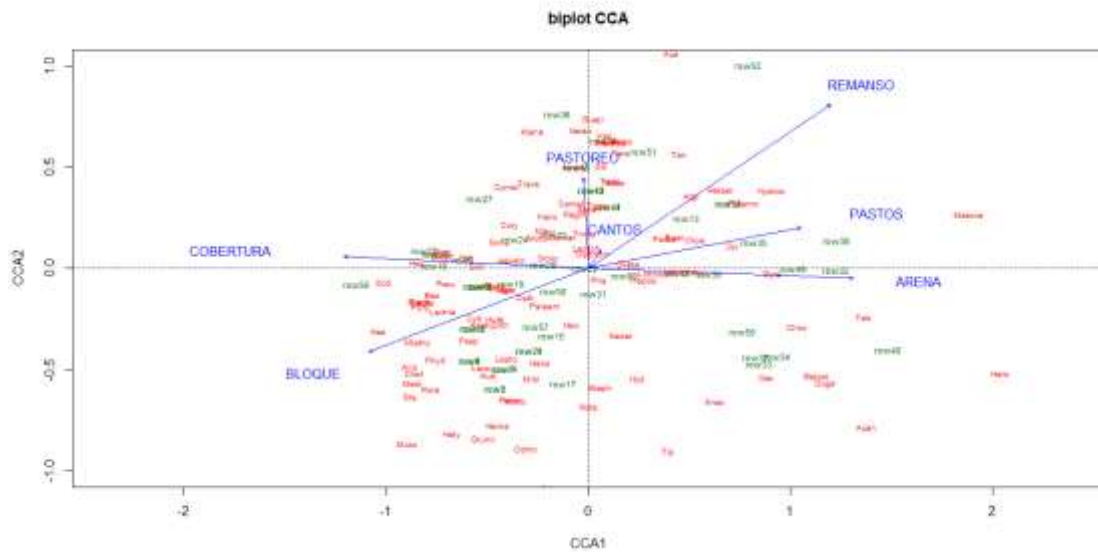


Figura 9. Análisis de correlación canónica ajustado.

GRÁFICO DE BURBUJAS, COORDENADAS GEOGRÁFICAS VS RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE MACROINVERTEBRADOS ACU

En la **Figura 10**, se puede observar valores altos y bajos de la riqueza y abundancia en las diferentes latitudes y longitudes trabajadas.

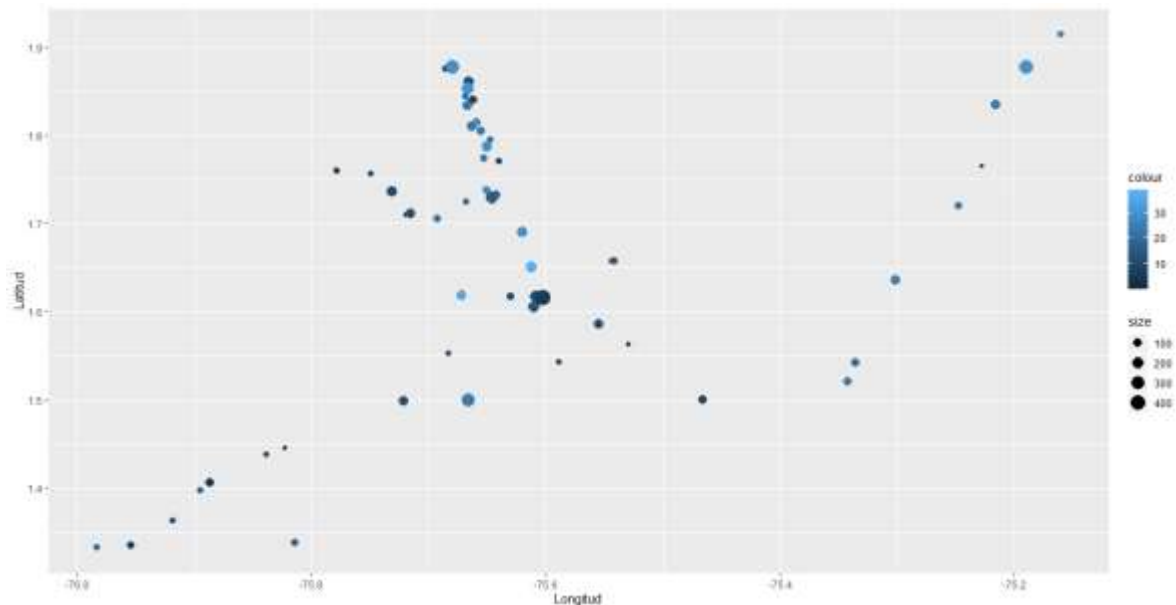


Figura 10. Gráfico de burbujas avanzado.

9. DISCUSIÓN

Variables ambientales y diversidad de macroinvertebrados acuáticos

Teniendo en cuenta que los puntos de muestreo se tomaron en diferentes gradientes altitudinales y ubicaciones geográficas en el corredor andino-amazónico, cada lugar puede tener una configuración de condiciones ambientales propias, que pueden ser determinantes en el establecimiento de las comunidades biológicas. Los ecosistemas acuáticos pueden presentar configuraciones espacio temporales variadas, en cuanto a los factores abióticos que pueden influir desde una escala macro a una micro sobre cualquier organismo (Tonn et al., 1990). En ecosistemas lóticos de las partes altas del corredor andino-amazónico, se pueden evidenciar condiciones ecológicas buenas, disminuyendo a medida que se acerca en la parte baja, evidenciando deterioro significativo (Peláez et al. 2006; Peláez 2008; García y Peláez, 2011).

En cuanto a la composición de macroinvertebrados acuáticos, los resultados demuestran una alta variabilidad de taxones en el corredor andino-amazónico, definido por las condiciones de cada microambiente moldeado por la transición de zonas de vida.

Detallando los estimativos de diversidad alfa, los valores altos y bajos están distribuidos en todo el corredor andino-amazónico; este resultado se puede ver gráficamente (**Figura 11**), encontrando por ejemplo, altos valores de riqueza en las partes altas, pero igualmente se observa en las zonas bajas. Por lo tanto, el gradiente altitudinal o geográfico, no es una variable determinante hasta el momento, pero si puede tener influencia la teoría de parches (Townsend, 1989), de colonización y sucesión de organismos.

Estructura y variables ambientales

El análisis de componentes principales (CCA) se ajusta como modelo estadístico, indicando una diferenciación de las variables ambientales respecto a los puntos de muestreo, cuyas condiciones pueden definir la presencia de un organismo. De acuerdo a los grupos conformados, los puntos asociados al primer grupo están mejor conservados, cambiando sus valores a medida que se baja hacia las zonas de planicie amazónica. Gutiérrez *et al.* (2016), encuentran resultados similares en estaciones distribuidas sobre la cuenca del río Hacha, evidenciando el mayor impacto en zonas cercanas a la ciudad de Florencia.

Los resultados del análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) son indirectos, ordenando los puntos de muestreo en la mejor posición ajustada a los sitios y condiciones ambientales. Es posible evidenciar relaciones entre el conjunto de variables, definiendo la presencia o ausencia de un organismo, pero si se quiere tener desde lo estadístico un soporte confiable, el análisis de correlación

canónico aplicado a la base de datos, indica relaciones significativas bajas, con un porcentaje mayor al 50% de incertidumbre. Esta incertidumbre se puede asociar a otro tipo de variables no contempladas en el estudio como por ejemplo, parámetros físico-químicos o relaciones interespecíficas o intra-específicas. Al igual que el PCA, se puede mantener los tres grupos conformados, adicionando especies representativas. De acuerdo a Kratzer et al. (2006), condiciones físico-químicas, actividades antrópicas, de paisaje y sectores rurales o urbanos, pueden condicionar los macroinvertebrados acuáticos, por lo tanto, los resultados de la presente investigación son una aproximación a la identificación de posibles patrones que pueden influir sobre la distribución de diferentes taxones de macroinvertebrados acuáticos.

Además, es importante recordar que estos organismos pueden tener una influencia de incremento o disminución a nivel de riqueza en lo relacionado con el gradiente altitudinal (Jacobsen, 2003), su distribución está determinada por procesos de colonización y distribución (Townsend, 1989), incluso, desde el mismo paisaje y disponibilidad de recursos con sucesiones longitudinales continuas (Vannote et al., 1980) o discontinuas (Poole, 2002).

10. CONCLUSIONES

- Las variables ambientales se correlacionan con los sitios de muestreo, evidenciando mejores condiciones de hábitat en la parte alta, disminuyendo hacia la planicie amazónica.
- El corredor andino-amazónico presenta una alta composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos, cuyos valores se distribuyen en los diferentes gradientes altitudinales y ubicaciones geográficas.

- El resultado de contraste entre las variables ambientales y biológicas es un acercamiento de los posibles patrones que pueden influir sobre la distribución de macroinvertebrados acuáticos en el corredor andino-amazónico.

11. BIBLIOGRAFÍAS

Allan J. D. and M. M. Castillo 2007. Stream Ecology, Structure and Function of Running Water. Springer, Dordrecht, the Netherlands. 372 pp.

Alonso-EguíaLis, P. Mora, J.M. Campbell, B. y M. Springer (editores) 2014. Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, México. Universidad Autónoma de Querétaro; San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 440 p.

Chaux J. P., G. A. Pimentel-Parra, B. Murcia-Ordoñez, L. C. Chaves-Moreno, L. C. Acosta y L. Suárez. 2018. Biodiversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados al río Fragua Chorroso y su papel como bioindicadores de la calidad del agua. Revista Facultad de Ciencias Básicas. 14 (2): 1-8.

Cortes Cadena Y., Hernández Acosta L. y Peláez Rodríguez M. 2016. Calidad del agua de la quebrada la Yuca en el campus social de la Universidad de la Amazonia, Florencia (Caquetá) Colombia. Momentos de Ciencia. 13(1): 51-57.

Cuellar Torres B. M. 2010. Composición de macroinvertebrados derivantes en dos quebradas de montaña Andino Amazónica Caquetá-Colombia (Proyecto de grado). Universidad de la Amazonia, Colombia.

Domínguez E. y H. R. Fernández. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos, "Sistemática y biología". Fundación Miguel Lillo, Tucuman, Argentina. 654 pp.

Epler J. H. 1995. Identification Manual for the Larval Chironomidae (Diptera) of Florida. Department of Environmental Protection Division of Water Facilities, Tallahassee-Florida. 320 pp.

Epler J. H. 1996. Identification Manual of the Water Beetles of Florida (Coleoptera: Dryopidae, Dysticidae, Elmidae, Gyrinidae, Haliplidae, Hydraenidae, Hydrophilidae, Noteridae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Scirtidae). Department of Environmental Protection Division of Water Facilities, Tallahassee-Florida. 259 pp.

Faith D. P. and R. H. Norris. 1989. Correlation of environmental variables with patterns of distribution and abundance of common and rare freshwater macroinvertebrates. *Biological conservation*. 50: 77-98.

García López, H. y M. Peláez Rodríguez. 2011. Indicadores ambientales de las presiones, estado e impactos en la cuenca del río Hacha (región Andino Amazónica Colombia), desarrollo de metodologías, indicadores ambientales y programas para la evaluación ambiental integral y la restauración de ecosistemas degradados. *Colombia 1*: 177-188.

Gutiérrez Garaviz H. M. Peláez Rodríguez y Ovalle H. 2016. Macroinvertebrados acuáticos presentes en dietas de peces de la cuenca del río hacha. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*. 40: 420-432.

Hemphill, N., and S. D. Cooper. 1983. Differences in the community structure of stream pools containing or lacking trout. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 22:1858-1861

Heckman W.C. 2008. *Encyclopedia of South America aquatic insects: Odonata-Zigoptera. Illustrated keys to know families, genera and species in South America*. Olympia: Springer; 688 pp.

IDEAM. 2015. *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá D.C. 456 p.

IDEAM. 2014. Comunicado de prensa. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/inicio?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2Fweb%2Fguest%2Finicio%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_groupId%3D0&_101_assetEntryId=435864&_101_type=content&_101_groupId=24277&_101_urlTitle=nueva-herramienta-revela-estado-de-los-ecosistemas-en-colombia&redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Finicio%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Decosistemas%2BI%25C3%25B3ti-cos%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_redirect%3D%252Fweb%252Fguest%252Finicio%253Fp_p_id%253D3%2526p_p_lifecycle%253D0%2526p_p_state%253Dmaximized%2526p_p_mode%253Dview%2526_3_groupId%253D0&inheritRedirect=true

Jacobsen D. 2004. Contrasting patterns in local and zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biology*. 49: 1293-1305.

Kay W. R., S. T. Halse, M. D. Scanlon and M. J. Smith. 2001. Distribution and environmental tolerances of aquatic macroinvertebrate families in the agricultural zone of southwestern Australia. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 20(2): 182-199.

Klemm D. J. 1995. Identification Guide to the Freshwater Leeches (Annelida: Hirudinea) of Florida and Other Southern State. Department of Environmental Protection, Division of Water Facilities, Tallahassee – Florida. 88 pp.

Kratzer E. B., J. Jackson, D. B. Arscott, A. K. Aufdenkampe, C. L. Dow, L. A. Kaplan, J. D. Nexbold and B. Sweeney 2006. Macroinvertebrate distribution in relation to land use and water chemistry in New York City drinking-water-supply watersheds. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 24(4): 954-976.

Malmquist B. 2002. Aquatic invertebrates in riverine landscape. *Freshwater Biology*. 47: 679-694.

McCafferty W. P. 1983. Aquatic Entomology, "The Fishermen's and Ecologist's Illustrated Guide to Insect and their Relatives". Science Books international, Boston-Massachusetts. 448 pp.

Merritt R. W., K. W. Cummins and M. B. Berg (ed.). 2008. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 4th edition. Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, IA. 1158 pp.

Orozco Sotelo M. L. 2009. Determinación de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua de la quebrada la Yuca, Florencia (Caquetá), Colombia.

Park Y. S., P. F. M. Verdonschop, T. S. Chon and S. Lek. 2003. Patterning and predicting aquatic macroinvertebrate diversities using artificial neural network. *Water Research*. 37: 1749:1758.

Peláez Rodríguez, M., G. C. Méndez Parra y H. García López. 2006. Caracterización y cuantificación de la carga contaminante transportada por el Río Hacha (Florencia-Caquetá). *Neolimnos (Colombia)* 1: 17 - 28.

Peláez Rodríguez M. 2008. Impactos del uso de la tierra sobre los ríos andino-amazónicos, Estudio de caso cuenca río Hacha, Colombia," Efecto de los cambios globales sobre la biodiversidad. *Colombia* 1: 247 - 260.

Pescador M. L., A. K. Rasmussen and S. C. Harris 2002. Identification Manual for the Caddisfly (Trichoptera) Larvae of Florida. Department of Environmental Protection Division of Water Resource Management, Tallahassee – Florida. 141 pp.

Poole C. Geoffrey. 2002. Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology*. 47: 641-660.

Ramírez A. 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. Capítulo 1. En: Springer, M., A. Ramírez & P. Hanson 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*, Vol. 58. Universidad de Costa Rica. 198 pp

Roldán G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Editorial Presencia Ltda., Bogotá. 215 pp.

Roldan G., 2003. "Bioindicación de la calidad del agua en Colombia", Uso de la Metodología BMWP/Col. Medellín: Universidad de Antioquia. 171pp.

Roldán G. y J. Ramírez. 2008. Fundamentos de lignología neotropical. 2a edición. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín. 440 pp.

Rosas Patiño G. y J. P. Mesa Hernández. 2002. Diagnóstico preliminar de la calidad del agua y condiciones socio-ambientales presentes en el área de influencia de la quebrada la Perdiz, municipio de Florencia-Caquetá (Trabajo de pregrado). Universidad de la Amazonia, Colombia.

Ruales Benavides, S. 2007. Estudio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y la calidad física, química y microbiológica del agua en el complejo cananguchal, municipio de Morelia, departamento del Caquetá (trabajo de pregrado). Universidad de la Amazonía, Colombia.

Saldaña Gomez M. G. y Y. X. Ome Barahona. 2005. Evaluación de la calidad del agua del río Hacha (Florencia Caquetá) con énfasis en el contenido de carga orgánica y la aplicación de bioindicadores (proyecto de grado). Universidad de la Amazonía, Colombia.

Springer, M., A. Ramirez and P. Hanson 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. Revista de Biología Tropical, Vol. 58. Universidad de Costa Rica. 198 pp.

Tamaris-Turiso C. E. 2018. Relaciones tróficas de macroinvertebrados acuáticos en un río tropical de la Sierra Nevada de Santa Marta (tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Tonn, W. M., J. J. Magnuson, M. Rask and J. Toivonen. 1990. Intercontinental Comparison of Small-Lake Fish Assemblages: The Balance between Local and Regional Processes. The American Naturalist 136(3):345-375 doi:10.2307/2462149.

Townsend C. R. 1989. The patch dynamics concept of stream community ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 8 (1): 36-50.

Vannote R.L., G. W. Minshall, K. W. Cummins J. R. Sedell and C. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.

Voshell J. R. 2002. A Guide to common Freshwater Invertebrates of North America. The McDonald & Woodward Publishing Company, Blacksburg-Virginia. 442 pp.

Zamora González H., M. J. Serna Zamora, M. X. Chilito Burbano, A. Prado España, E. Zuleyner Sarzosa Cuellar & G. L. Vásquez Zapata. 2003. "Importancia de los Macroinvertebrados acuáticos en la dieta natural de las especies ícticas *Prochilodus reticulatus* (Steindachner1878) y *Pimelodus groskopfii* (Steindachner 1880), en el río Cauca.". En: Colombia Dahlia ISSN: 0 ed: v. fasc. p.

Zamora R. y J. Esnaola. 2015. Análisis factorial y análisis de componentes principales. Yudiantia estadística, Sociología, Universidad de Chile.

Zúñiga de C. M.C. 1985. Estudio de la ecología del río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de calidad. *Revista AINSA (Medellín)*, No. 8: 63-85.

12. ANEXOS

Anexo 1. Formato registro información de variables ambientales.

FORMATO 1	REGISTRO DE INFORMACIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA Y PAISAJE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS CONTINENTALES PARQUE NACIONAL NATURAL MUNCIQUE				
ECOSISTEMA EVALUADO	LÓTICOS	Río <input type="checkbox"/>	Quebrada <input type="checkbox"/>	Caño <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>
				LÉNTICOS	Lago <input type="checkbox"/>
					Laguna <input type="checkbox"/>
					Madre vieja <input type="checkbox"/>
					Otro <input type="checkbox"/>
INFORMACIÓN GENERAL					
Fecha: _____	Hora: _____	Profesional: _____			
Lugar: _____	Ciudad: _____	Departamento: _____			
Nombre del ecosistema: _____			Punto de muestreo: _____		
Código de muestra: _____					
COORDENADAS GEOGRÁFICAS Y VARIABLES FÍSICAS IN SITU					
Norte: _____	Altura: _____	Temperatura agua: _____	Conductividad: _____		
Oeste: _____	Margen de error: _____	Temperatura ambiente: _____	Pendiente: _____		
GPS: _____		OD: _____	pH: _____	Otras: _____	
Unidades: _____					
CLIMA Y RUTA DE ACCESO					
	Día	24 Horas	Semana	Ruta: _____	
Día soleado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	
Nublado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	
Llovizna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	
Lluvia fuerte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	
PAISAJE					
Paisaje: Bosque <input type="checkbox"/>	Agricultura <input type="checkbox"/>	Asentamientos <input type="checkbox"/>	Pastoreo <input type="checkbox"/>	Industria <input type="checkbox"/>	Minería <input type="checkbox"/>
Tipo de vegetación: Arboles <input type="checkbox"/>	Arbustos <input type="checkbox"/>	Herbáceas <input type="checkbox"/>	Pastos <input type="checkbox"/>	Introducida <input type="checkbox"/>	
Tipo de cultivo: _____	Tipo de pastoreo: _____		Tipo introducido: _____		Tipo de minería: _____
% Vegetación riparia: Margen derecho _____	Margen izquierdo _____				
% de sombra: Margen izquierdo _____	Margen derecho _____				
TRAMO DE ESTUDIO					
Erosión	Alta	D <input type="checkbox"/>	I <input type="checkbox"/>	Presencia de olores	Si <input type="checkbox"/>
	Media	D <input type="checkbox"/>	I <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Vertimientos
	Baja	D <input type="checkbox"/>	I <input type="checkbox"/>	Tipo: _____	Si <input type="checkbox"/>
					No <input type="checkbox"/>
					Canalizado
					Si <input type="checkbox"/>
					No <input type="checkbox"/>
DINÁMICA FLUVIAL					
Profundidad estimada: _____	Profundidad potencial: _____	Turbiedad	Rápidos: _____	Color: _____	
Veloc. corriente estimada: _____	Velocidad de corriente: _____	Transparente <input type="checkbox"/>	Corriente: _____	Transparente <input type="checkbox"/>	
Ancho del cauce con lámina: _____	Caudal: _____	Ligeramente turbio <input type="checkbox"/>	Remanso: _____	Café <input type="checkbox"/>	
Ancho del cauce total: _____	Equipo medición: _____	Turbio <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>		
LECHO DEL RÍO					
TIPO	DIÁMETRO	CARACTERÍSTICAS		Muestra:	Sustrato dominantes: _____
Bloques	>25cm	Troncos, raíces, ramas			Segundo sustrato: _____
Cantos rodados	6cm-25cm	Hojarasca			Resto de sustratos: _____
Gravas	2cm-6cm	Detritus			
Arenas	0,06mm-2mm				
Limos	0,004mm-0,06mm				
Arcillas	<0,004 mm				
OBSERVACIONES:					

Elaborado por: Jhonatan Gutiérrez-Garavito

