

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD ECOLÓGICA
DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RIO VENTILLA,
CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2018**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Bach. VELA TAFUR, CRISTIAN

ASESOR: Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

CO-ASESOR: Blgo. JESÚS RASCÓN BARRIOS

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD ECOLÓGICA
DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RIO VENTILLA,
CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2018**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Bach. VELA TAFUR, CRISTIAN

ASESOR: Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

CO-ASESOR: Blgo. JESÚS RASCÓN BARRIOS

CHACHAPOYAS – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y salud, a mis padres Segundo German Vela Arbildo y Enma Tafur Castro por mostrarme el camino hacia la superación, a mi hermano Emerson, a mis amigos y a todas las personas quienes me prestaron ayuda, a todos ellos dedico este trabajo con cariño y un sincero agradecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos para:

El coordinador del proyecto “Determinación del impacto de la actividad ganadera sobre la calidad del agua y establecimientos de medidas de prevención y mitigación ante la contaminación en las principales microcuencas de la región Amazonas” el Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres por su apoyo para la ejecución de este proyecto de investigación.

Mis asesores Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres, Blgo. Jesús Rascón Barrios por su orientación y compartir sus conocimientos durante el desarrollo de la investigación. Mis compañeros y amigos del Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas por el apoyo brindado durante el desarrollo de la investigación.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

Vicerrectora de Investigación

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

JURADO DE TESIS

ACTA DE EVALUACIÓN Y DEFENSA DE LA TESIS JURADO DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE EDUCACIÓN
"ENRIQUE GARCÍA SUTILLA"

Secretaría General
Oficina de Tesis y Títulos

Dra. CASTULA ALVARADO CHUQUI

Presidente

M.Sc. JARIS EMMANUEL VENEROS GUEVARA

Secretario

M.Sc. ELÍ PARIENTE MONDRAGÓN

Vocal

DISPOSICIONES

DECLARACION JURADA DE NO PLAGIO

DECLARACION JURADA DE NO PLAGIO

Yo, **Cristian Vela Tafur**, identificado con DNI 73426633 estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada "Patrones de distribución de macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad ecológica del agua en la microcuenca del río Ventilla, Chachapoyas, Amazonas, 2018". La misma que presento para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual sean respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Así mismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNTRM en favor de terceros por motivos de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado a los que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente, asumo las consecuencias y las sanciones civiles y penales que de mi acción deriven.

Chachapoyas, 14 de agosto de 2018

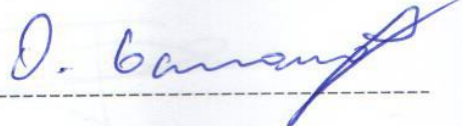
VISTO BUENO DEL ASESOR

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo **Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres**, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza- Amazonas, hago constar que he asesorado en la ejecución de la tesis titulada **“Patrones de distribución de macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad ecológica del agua en la microcuenca del río Ventilla, Chachapoyas, Amazonas, 2018”**, elaborado por el tesista Cristian Vela Tafur, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

El docente de la UNRTM-A que se suscribe, da el **Visto Bueno** al informe final de la tesis en mención.

Chachapoyas, 14 de agosto del 2018



Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres
Asesor


VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

Yo **Jesús Rascón Barrios**, Investigador del Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG), hago constar que he asesorado en la ejecución de la tesis titulada “**Patrones de distribución de macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad ecológica del agua en la microcuenca del río Ventilla, Chachapoyas, Amazonas, 2018**”, elaborado por el tesista Cristian Vela Tafur, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

El investigador del LABISAG que se suscribe, da el **Visto Bueno** al informe final de la tesis en mención.

Chachapoyas, 14 de agosto del 2018


Blgo. Jesús Rascón Barrios
Co-asesor

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
JURADO DE TESIS	iv
DECLARACION JURADA DE NO PLAGIO	v
VISTO BUENO DEL ASESOR	vi
VISTO BUENO DEL CO-ASESOR	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Antecedentes de la investigación	4
3.2. Bases teóricas.....	5
3.3. Definición de términos.....	6
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	8
4.1. Área de estudio	8
4.2. Métodos.....	8
4.2.1. Delimitación del área de estudio	8

4.2.2.	Determinación de parámetros morfométricos del cauce	11
4.2.3.	Determinación de parámetros fisicoquímicos del agua	11
4.2.4.	Muestreo de macroinvertebrados bentónicos	14
4.2.5.	Determinación de la calidad ecológica del agua	15
4.2.6.	Análisis de datos	16
V.	RESULTADOS	18
5.1.	Caracterización del hábitat fluvial	18
5.2.	Macroinvertebrados bentónicos	23
5.3.	Calidad ecológica del agua	31
5.4.	Relación entre macroinvertebrados bentónicos y características del hábitat	32
5.5.	Relación entre los macroinvertebrados bentónicos y las épocas de muestreo	33
VI.	DISCUSIÓN	35
VII.	CONCLUSIONES	38
VIII.	RECOMENDACIONES	39
ANEXOS	46
	Anexo N° 1. <i>Puntajes de las lamillas de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col</i>	47
	Anexo N° 2. Trabajo de campo	48
	Anexo N° 3. Trabajo de laboratorio	51
	Anexo N° 3. Taxa de macroinvertebrados presentes sólo en la época seca o lluviosa, de muestreo	53

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Calidad de agua según puntaje BMWP-Col	15
Tabla 2. Caracterización fisicoquímica y morfométrica del hábitat fluvial en el mes de agosto.....	19
Tabla 3. Caracterización fisicoquímica y morfométrica del hábitat fluvial en el mes de enero	21
Tabla 4. Listado taxonómico de macroinvertebrados bentónicos del mes de agosto	24
Tabla 5. Parámetros comunitarios de macroinvertebrados bentónicos del mes de agosto. Donde A y B son los grupos formados mediante el análisis de cluster.....	26
Tabla 6. Listado taxonómico de macroinvertebrados bentónicos del mes de enero.....	27
Tabla 7. Parámetros comunitarios de macroinvertebrados bentónicos del mes de enero. Donde A, B y C son los grupos formados mediante el análisis de cluster.	30
Tabla 8. Calidad ecológica del agua por estaciones de muestreo	32
Tabla 9. Regresión múltiple entre variables del hábitat y los valores de los dos primeros ejes del NMDS en el mes de agosto	33
Tabla 10. Regresión múltiple entre variables del hábitat y los valores de los dos primeros ejes del NMDS en el mes de enero.....	33
Tabla 11. Prueba de Kruskal Wallis entre las taxas y los meses de muestreo.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de clasificación de cuencas	9
Figura 2. Ubicación de las 15 estaciones de muestreo en la microcuenca del río Ventilla . 10	
Figura 3. (A) Clasificación y (B) ordenamiento de las 15 estaciones de muestreo del mes de agosto, en función de la caracterización del hábitat fluvial (Tabla 2).	20
Figura 4. (A) Clasificación y (B) ordenamiento de las 15 estaciones de muestreo del mes de enero, en función de la caracterización del hábitat fluvial (Tabla 3).	22
Figura 5. (A) Clasificación y (B) ordenamiento de las 15 estaciones de muestreo del mes de agosto, calculada con los datos de abundancia (ind. m ⁻²).	25
Figura 6. Riqueza de familias (círculos) y densidad de individuos promedio (ind.m ⁻²) (barras) ± DE en el mes de agosto.	26
Figura 7. Densidad total de los 20 taxones más importantes en el mes de agosto.	27
Figura 8. (A) Clasificación y (B) ordenamiento de las 15 estaciones de muestreo del mes de enero, calculada con los datos de abundancia (ind. m ⁻²).	29
Figura 9. Riqueza de familias (círculos) y densidad de individuos promedio (ind.m ⁻²) (barras) ± DE en el mes de enero.	30
Figura 10. Densidad total de los 20 taxones más importantes en el mes de enero.	31
Figura 11. Muestreo de macroinvertebrados en la microcuenca del río Ventilla.....	48
Figura 12. Muestras de macroinvertebrados en bolsas plásticas para el transporte al laboratorio.....	48
Figura 13: Recolección de muestras para análisis fisicoquímicos	49
Figura 14. Determinación de parámetros fisicoquímicos in situ	49
Figura 15. Medida de la velocidad de corriente con correntómetro	50
Figura 16. Medida del ancho del cauce	50
Figura 17. Georreferenciación de estaciones de muestreo	51
Figura 18. Limpieza de macroinvertebrados	51
Figura 19. Identificación de macroinvertebrados	52
Figura 20. Determinación de dureza de agua	52

RESUMEN

Esta investigación analizó la variabilidad espacial y temporal de los macroinvertebrados bentónicos y su relación con las características del hábitat a lo largo de la cuenca del Río Ventilla durante el mes de agosto del 2017, con una precipitación media mensual de 27 mm y el mes de enero del 2018, con una precipitación media mensual de 76 mm. Se evaluaron variables fisicoquímicas: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, alcalinidad, cloruros, dureza y morfométricas: ancho del cauce, velocidad de corriente y altitud, junto con el muestreo de macroinvertebrados a lo largo de un conjunto de 15 estaciones de muestreo (EM) en los dos meses. Se recolectaron un total de 32 taxones de macroinvertebrados bentónicos para la época seca y 37 para la época lluviosa. Los macroinvertebrados del Río Ventilla presentan variaciones espaciales y temporales que están relacionados principalmente por factores ambientales, mientras que la época de muestreo (variación temporal) sólo fue significativo para algunas familias (Psephenidae, Chironomidae, Caenidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Calamoceratidae, Odontoceridae y la clase Haplotoxida). En relación con los conjuntos de macroinvertebrados en la época seca, el análisis de regresión múltiple muestra que la variable ambiental que mejor explicó los patrones de distribución observados fue la turbidez con un 50 %, mientras que en la época lluviosa fue la alcalinidad con un 40 %. Los valores promedios del índice Biological Monitoring Working Party modificado para Colombia (BMWP-Col) para ambas épocas corresponden a la clase II, indicando una calidad de agua “Aceptable”, es decir aguas ligeramente contaminadas.

Palabras clave: Variables fisicoquímicas y morfométricas, épocas de muestreo, factores ambientales e índice BMWP-Col.

ABSTRACT

This research analyzed the spatial and temporal variability of the macroinvertebrates benthic and its relationship with the characteristics of the habitat along the river basin Ventilla during the month of August of 2017, with an average monthly rainfall of 27 mm and the month of January 2018, with an average monthly rainfall of 76 mm. Were evaluated variables physico-chemical: pH, temperature, electrical conductivity, dissolved oxygen, turbidity, alkalinity, chlorides, hardness and Morphometrical: effective river width, flow speed and altitude, together with the sampling of macroinvertebrates along a set of 15 sampling stations (EM) in the two months of sampling. Were collected a total of 32 taxa of macroinvertebrates benthic community for the dry season and 37 for the rainy season. The macroinvertebrates of the River Ventilla present spatial and temporal variations that are related mainly by environmental factors, while the time of sampling (temporal variation) was only significant for some families (Psephenidae, Chironomidae, Caenidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Calamoceratidae, Odontoceridae and class Haplotaenida). In relation with the sets of macroinvertebrates in the dry season, the multiple regression analysis shows that the environmental variable that best explained the distribution patterns of observed was the turbidity with a 50 %, whereas in the rainy season was the alkalinity with a 40 %. The mean values of the modified Biological Monitoring Working Party index for Colombia (BMWP-Col) for both seasons correspond to Class II, they indicate quality of water "acceptable", that is, slightly polluted waters.

Key words: Variables physico-chemical and morphometric, times of sampling, environmental factors, index BMWP-Col.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que está distribuida en cuencas hidrográficas (Galaz, 2007) y que en la actualidad está siendo impactada fuertemente producto de una amplia variedad de contaminantes generados por actividades antropogénicas y el cambio de uso del suelo (Sinshaw & Surbeck, 2018; Wijesiri, Deilami & Goonetilleke, 2018). Es por ello que se dice que existe un deterioro crítico de la calidad del agua y que está incrementando en el tiempo, por lo que se ha convertido en un problema grave en todo el mundo (Wu, Wang, Chen, Cai & Deng, 2018), lo que puede representar un riesgo para la salud de los consumidores y las comunidades bióticas presentes en ella (Mhlongo, Mativenga & Marnewick, 2018). Las actividades antropogénicas tienen un impacto significativo sobre la calidad del agua y la biodiversidad acuática generando un impacto ecotoxicológico sobre las comunidades bentónicas (Azrina, Yap, Rahim Ismail, Ismail & Tan, 2006), dando como resultado un cambio en los hábitats acuáticos, producto de esto se generan cambios en el desarrollo normal de los ecosistemas frágiles existentes, es así que las comunidades de macrorinvertebrados bentónicos se ven afectadas tanto en su estructura, función y distribución en relación al estrés producido producto de una contaminación (Guevara, Godoy & Franco, 2017; Mciver & Mcinnis, 2016).

Así también existe una modificación de los parámetros fisicoquímicos de los cuerpos de agua producto de los cambios en el uso de la tierra, alterando significativamente la ecología trófica de los ríos y por ende se genera una alteración de los ecosistemas acuáticos (Fierro *et al.*, 2017). Tal es el caso del incremento de la actividad ganadera con prácticas de manejo inadecuado generando impactos negativos debido a las interacciones ganado-río que se generan; ya que estos crean suficiente sedimento durante su contacto con el agua causando cambios permanentes en la calidad del agua y el hábitat bentónico (Conroy, *et al.*, 2016; Strauch, Kapust & Jost, 2009).

Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos juegan un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos desde la biodiversidad, relaciones tróficas (Butkas, Vadeboncoeur & Vander Zanden, 2011), procesos de bioproducción y los procesos de transferencia de energía y nutrientes (Hauer & Resh, 2017). Además de tener una gran importancia para la salud de los ecosistemas acuáticos de agua dulce. Es por ello que hoy en día se han utilizado las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores para el monitoreo de la calidad de las aguas superficiales, debido a que estos individuos presentan una alta

sensibilidad a los cambios ambientales (Zhang, *et al.*, 2018; Masese, Muchiri & Raburu, 2009, 2010; Ngupula & Kayanda, 2010). Estos han sido utilizados principalmente para evaluar los impactos de los estresores humanos y poder determinar las condiciones biológicas en los lagos y ríos; debido a ello aparte de ser un eslabón fundamental en la red alimenticia estos se han vuelto una herramienta importante para el estudio de estos cuerpos de agua dulce (Gleason & Rooney, 2017; Giersch, *et al.*, 2015 y Sundermann, *et al.*, 2011).

Es por ello que este estudio tiene por objetivo determinar los patrones de distribución de macroinvertebrados bentónicos y sus interrelaciones con los factores ambientales, con la finalidad de comprender cómo estas amenazas afectan el comportamiento tanto espacial como temporal de estas comunidades, y así poder proporcionar herramientas confiables para el manejo y la conservación de los cursos hídricos.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar patrones de distribución de macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad ecológica del agua en la microcuenca del río Ventilla, Chachapoyas, Amazonas.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar patrones de distribución espacial y temporal de macroinvertebrados bentónicos en la microcuenca del río Ventilla.
- Identificar taxonómicamente los macroinvertebrados béticos de la microcuenca del río Ventilla
- Determinar la calidad ecológica del agua de la microcuenca del río Ventilla

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

- Pamplin, Almeida & Rocha, (2006), en un estudio realizado en un embalse de americana en Brasil, concluyeron que la profundidad, oxígeno disuelto y sustrato, son los principales factores que controlan su distribución espacial de la fauna béntica, así también la estructura (composición y abundancia) de la comunidad béntica en el embalse de americana se ha visto muy afectada como consecuencia de las actividades humanas, especialmente por la eutrofización y la contaminación orgánica. La reducción e incluso la extinción de muchos invertebrados del fondo pueden comprometer el funcionamiento ecológico completo de un ecosistema acuático, afectando la transferencia de energía a través de la cadena trófica y el ciclo de nutrientes tanto por excreción de nutrientes como por material suspendido en la columna de agua.
- Rico-Sánchez, Rodríguez-Romero, López-López & Sedeño-Díaz (2014) en un estudio realizado en Laguna de Tecocomulco en México, concluyeron que los macroinvertebrados presentan diferencias espaciales y temporales. Los grupos de organismos dominantes, están conformados por taxones que se distribuyen en toda la laguna y durante todo el período de estudio, lo cual puede estar asociado con la heterogeneidad de hábitat que presenta la laguna y que garantiza la permanencia de éstos. De igual forma, la presencia de grupos con bajas densidades y/o frecuencias de ocurrencia (espacial o temporal), pone de manifiesto las estrechas tolerancias de los organismos a condiciones que pudieran no ser favorables para ellos. Así las condiciones físicas y químicas varían tanto espacial como temporalmente de tal forma que ciertos taxones pueden ser excluidos de hábitats con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, mientras que otros pueden sobrevivir aún en condiciones de hipoxia debido a las características adaptativas que éstos presentan. Demostrando que la Laguna de Tecocomulco, tiene variaciones espaciales y temporales relacionadas tanto con factores ambientales como bióticos con la presencia de grupos dominantes.

- Damanik, *et al.* (2016), en un estudio realizado en Ecuador, ellos indican que una buena calidad del agua se asoció con una alta velocidad de flujo, un tipo de sedimento grueso, un uso de la tierra menos intensivo (bosque) y una baja conductividad. Esta es la condición típica que se encuentra en las zonas montañosas. En las muestras, varios taxones sensibles se asociaron con estas condiciones ambientales específicas, como Ptilodactylidae, Blepharoceridae y Perlidae (todas con un puntaje de tolerancia de 10). Mientras que los taxones tolerantes como Chironomidae y Ceratopogonidae (puntajes de tolerancia 2 y 3, respectivamente) estuvieron presentes en calidad de agua buena y mala. Los taxones tolerantes no mostraron una fuerte asociación con condiciones ambientales específicas, como lo muestran taxones sensibles.

- Castellanos Romero, *et al.* (2017), en un estudio realizado en Colombia, afirman que la calidad del agua en los sistemas lénticos de las tierras bajas mostró más variaciones sujetas a la distribución temporal que a la distribución espacial, ya que cuando las estaciones se caracterizan pueden ser similares en el mismo período del año. Con el tiempo, el sistema acuático sufre variaciones que dependen de la lluvia, lo que lo convierte en un sistema acuático homogéneo durante los períodos lluviosos y diferenciados en las estaciones secas. Esta diferenciación por zona se debe a los gradientes de concentración, conductividad, alcalinidad, dureza e, indirectamente, profundidad. La aplicación de BMWPL permite clasificar el sistema como clase II (con un puntaje de calidad de 207), es decir, agua con evidentes efectos de contaminación.

3.2. Bases teóricas

- **Medio ambiente.** Es el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos e indirectos, en un plazo corto o largo sobre los seres vivos y las actividades humanas (MINAM, 2013).

- **Cuenca hidrográfica.** Es el área o espacio geográfico delineado por la cima de los cerros y la divisoria por el cual escurre el agua, proveniente de las precipitaciones, además, es un sistema en el que interactúan factores naturales, socioeconómicos y culturales (MINAM, 2016).

- **Contaminación de agua.** Es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas y biológicas del agua que puede afectar o afectará nocivamente la vida humana y la de especies beneficiosas (MINAM, 2016).
- **Efecto adverso o dañino.** Es el cambio en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo, o reproducción de un organismo, población, comunidad o ecosistema que resulta en el deterioro de la capacidad funcional y deterioro en la capacidad de compensar los efectos de factores de estrés adicionales. Es una función de la dosis de exposición y, de las condiciones de exposición (vía de ingreso, duración y frecuencia de las exposiciones, tasa de contacto con el medio contaminado, entre otros) (MINAM, 2013).
- **Macroinvertebrados bentónicos.** La macrofauna béntica son todos aquellos organismos que viven, o por lo menos en alguna fase del ciclo de vida, en el fondo de los cuerpos de agua adheridos a algún sustrato como rocas, troncos, residuos vegetales, etc. Las comunidades bentónicas tienen como factor básico para su establecimiento en los ecosistemas continentales una estrecha relación con el fondo, el cual usan para moverse, adherirse y excavar (Salazar, Iannacone, Alvariano, Orozco y Miranda, 2001).
- **Biodiversidad.** Es la variedad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otros, los ecosistemas terrestres y marinos, otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte (López, Pol & Yucra, 2017).

3.3. Definición de términos

- **Índice de diversidad Shannon Wiener (H').** Este índice expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988; Peet, 1974; Baev y Penev, 1995). Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).
- **Índice de equidad de pielou (J').** Este índice mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Magurran, 1988).

- **Riqueza específica.** La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad (Moreno, 2001).
- **Abundancia de individuos.** La abundancia de individuos se define como la cantidad de individuos de la misma especie en un lugar y un tiempo determinados (Morlans, 2004).
- **Distancia Euclidiana.** Uno de los conceptos más intuitivos de relación entre dos elementos es su distancia, que da una medida de su cercanía o alejamiento. De ahí que la distancia euclidiana sea, en esencia, una suma de las diferencias entre los valores de los atributos de cada entidad comparada, y no es más que una extensión simple en un espacio de varias dimensiones (Herrera, 2000).
- **Similitud de Bray-Curtis.** Las similitudes están acotadas en el rango cero a uno; un aumento de la similaridad implica un aumento de la semejanza entre especies, y toda similaridad de una especie consigo misma debería ser igual al máximo valor posible, es decir, uno (Demey, Pla, Vicente-Villardón, Di Rienzo & Casanoves, 2011).
- **Divortium aquarum.** El Divortium Aquarum es también conocida como divisoria de aguas. Es una línea que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos (Ardila, Hernández, Collazos, Sanchez, & Perdomo, 2009).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

Las muestras fueron recolectadas en agosto del 2017 y enero del 2018 en la microcuenca del río Ventilla, perteneciente al Distrito de Molinopampa, ubicado al Nor Este de la Provincia de Chachapoyas, a una altitud promedio de 2400 m.s.n.m. en las coordenadas 6°11'45"S 77°38'15"O, Región Amazonas. Con un área de 23637,48 hectáreas y un perímetro total de 84083,82 metros.

4.2. Métodos

4.2.1. Delimitación del área de estudio

Se delimitó la microcuenca del río Ventilla en base a las líneas del *Divortium Aquarum* o llamada también parteaguas (Villon, 2002), que consiste en la delimitación de la cuenca con ayuda del programa ArcGIS v.10.5 por la línea imaginaria, que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, contrastando con información cartográfica (Cartas Nacionales IGN a una escala 1:100 000) disponible en (<http://www.geogpsperu.com>) de la zona de estudio, además se elaboró un mapa de la red hidrográfica actual con ayuda del programa ArcGIS v.10.5, donde se subieron las estaciones de muestreos con sus respectiva coordenadas (Figura 2).

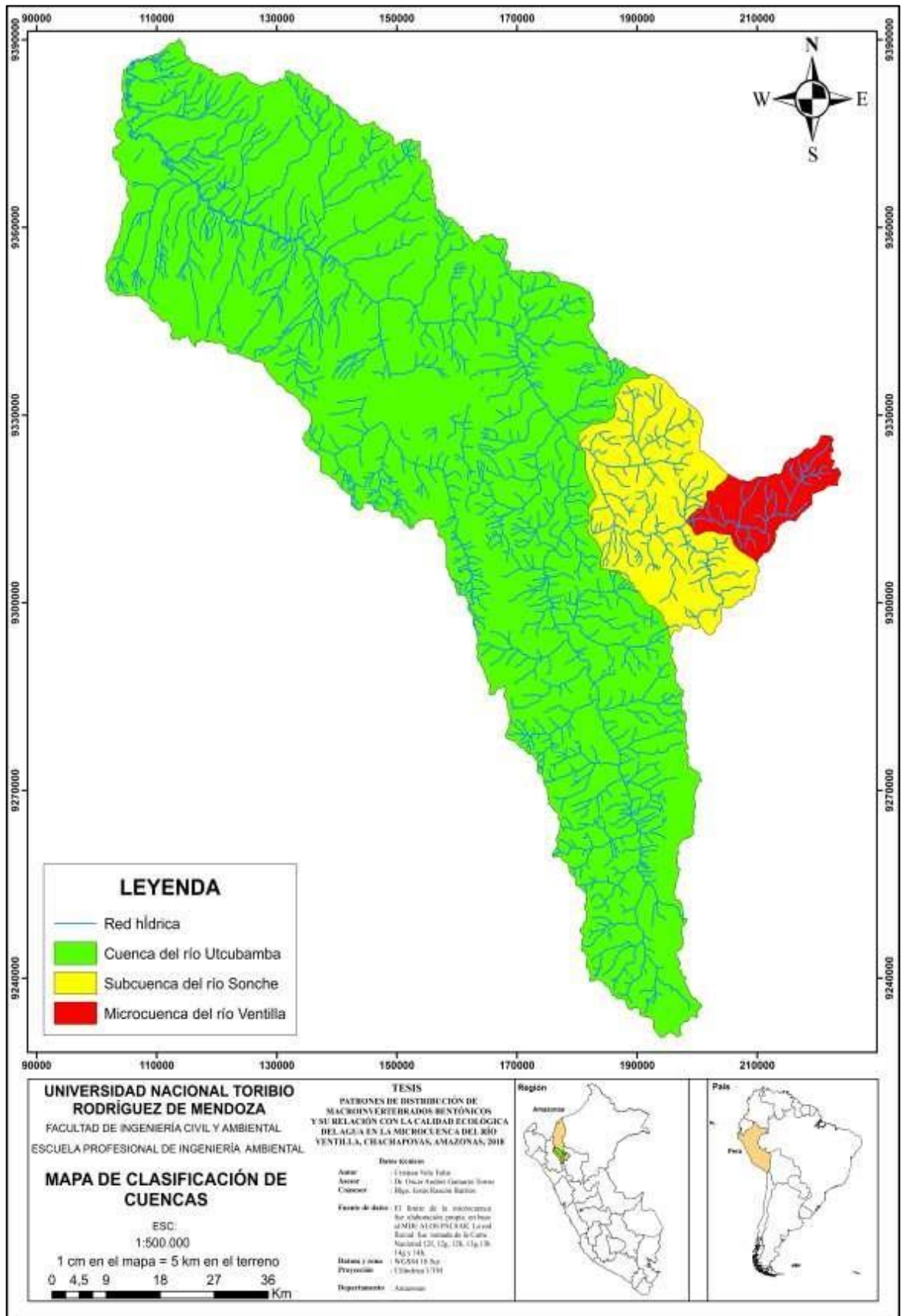


Figura 1. Mapa de clasificación de cuencas

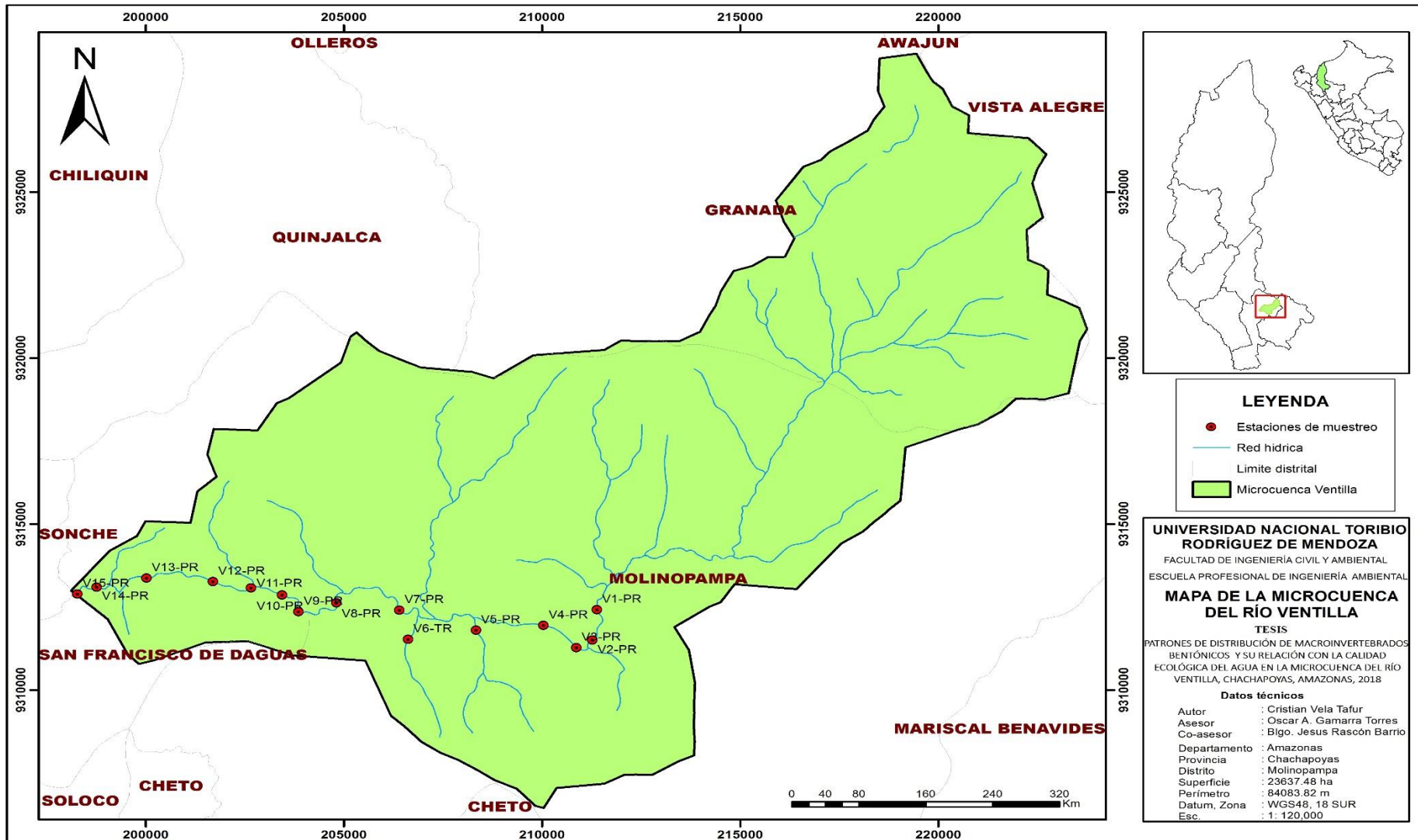


Figura 2. Ubicación de las 15 estaciones de muestreo en la microcuenca del río Ventilla

4.2.2. Determinación de parámetros morfométricos del cauce

- La altitud de cada punto se determinó con ayuda de un GPS Garmin Montana 680.
- El ancho del cauce del río en cada uno de las estaciones de muestreo georreferenciado por el GPS se midió con una cinta métrica de 50 m.
- En cada punto especificado se midió la velocidad de la corriente con un correntómetro.

4.2.3. Determinación de parámetros fisicoquímicos del agua

En cada estación de muestreo se registraron los siguientes factores ambientales siguiendo la metodología planteada por APHA, (2017):

4.2.3.1. Determinación de oxígeno disuelto y temperatura según el MÉTODO 4500-O G; APHA, AWWA, WPFC: Electrodo de Membrana.

4.2.3.2. Determinación de conductividad eléctrica según el MÉTODO 2510 B; APHA, AWWA, WPFC: Electrodométrico

4.2.3.3. Determinación de pH según el MÉTODO 4500-H+; APHA, AWWA, WPFC: Electrodométrico

Se siguieron los siguientes pasos:

- Se lavó con agua destilada el electrodo y secó con papel absorbente, se enjuagó con la muestra luego se sumergió el electrodo en el cuerpo de agua.
- Se esperó que se estabilice la lectura en la pantalla (se usó la función AR). Se realizó la lectura y registró los datos de Oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica y pH de la muestra expresados en unidades de mg/l, °C, $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH respectivamente. Se esperó entre 30 segundos a 2 minutos aproximadamente para realizar la lectura.

Así mismo en cada estación de muestreo se tomaron muestras de agua de 500 ml, que fueron transportados en una caja isotérmica para mantener la refrigeración para su posterior análisis en laboratorio de los siguientes parámetros:

4.2.3.4. Turbidez (NTU) según el método 180.1 EPA: Turbidómetro

Consistió en los siguientes pasos:

- Se agitó la muestra, se midió 50 ml con ayuda de una probeta y se colocó en un vaso de precipitado
- Se agregó la muestra al frasco de vidrio del turbidómetro y se secó con papel toalla.
- Se prendió el turbidómetro en menú se ubicó el parámetro turbidez.
- Se colocó el frasco en el turbidómetro y realizó la lectura el cual se anotó el resultado en UNT.

4.2.3.5. Determinación de alcalinidad según el Método 2320B; APHA, AWWA, WEF: Titulación con HCl

Se siguieron los siguientes pasos:

- Se midió 50 ml de la muestra y se colocó en un matraz Erlenmeyer
- Se agregó 3 gotas del indicador Rojo de Metilo + Verde de bromocresol
- Posteriormente se tituló con la Solución de Ácido Clorhídrico 0,01N hasta que cambie del color azul a rojo canela.
- El volumen de HCl gastado en la titulación se anotó para su posterior procesamiento.
- **Cálculos**

$$\text{Alcalinidad Total} = \left(\frac{N_2 V_2}{V_1} \right) (50000) = \text{ppm CaCO}_3$$

Donde:

N_2 = Concentración de HCl

V_2 = Volumen (ml) de HCl gastado

V_1 = Volumen (ml) de muestra de agua empleado

4.2.3.6. Determinación de dureza según el Método 2340C APHA, AWWA, WEF: Titulación con EDTA

Se siguieron los siguientes pasos:

- Se agregó a un matraz 100 ml de la muestra.
- Luego se adicionó 02 ml de Buffer Dureza + una pizca muy pequeña de NET.
- Finalmente se tituló con la Solución estándar de EDTA 0,02N hasta que cambie de color fucsia a azul. Se anotó el volumen de EDTA gastado en la titulación.
- **Cálculos**

$$Dureza\ Total = \left(\frac{N_2 V_2}{V_1} \right) (50000) = ppm\ CaCO_3$$

Donde:

N_2 = Concentración de EDTA

V_2 = Volumen (ml) de EDTA gastado

V_1 = Volumen (ml) de muestra de agua empleado

4.2.3.7. Determinación de cloruros según el Método 4500-Cl-- B APHA, AWWA, WEF: Argentico

Se siguieron los siguientes pasos:

- Se midió 100 ml de la muestra y se puso en un matraz Erlenmeyer.
- Se adicionó 3 gotas del indicador Cromato de potasio
- Finalmente se tituló con la Solución de $AgNO_3$ 0,01 N hasta que cambie del color amarillo a rojo ladrillo, se anotó el gasto de $AgNO_3$.

- **Cálculos**

$$Cloruros = \left(\frac{N_2 V_2}{V_1} \right) (35500) = ppm\ Cl^-$$

Donde:

N_2 = Concentración de $AgNO_3$

V_2 = Volumen (ml) de $AgNO_3$ gastado

V_1 = Volumen (ml) de muestra de agua empleado

4.2.4. Muestreo de macroinvertebrados bentónicos

Se recolectaron macroinvertebrados bentónicos en la época seca (Agosto, 2017) y época lluviosa (Enero, 2018), con una red surber con una malla de 250 μm de luz y una boca de entrada de unos 30 cm de diámetro. Se realizaron muestreos de 2 minutos por cada hábitat encontrado en cada una de las estaciones. Siguiendo la metodología planteada por Prat, Rieradevall & Fortuño (2012), que consiste en los siguientes pasos:

- Seleccionar un tramo de río que no haya sido inundado recientemente. Se recomienda muestrear las zonas más centrales del cauce y los márgenes de más de 0,2 m de profundidad.
- Dividir el tramo de río a estudiar en tantas áreas como hábitats distintos:
 - Zona de fuerte corriente y substrato duro (1)
 - Zona lenítica y substrato duro (2)
 - Entre la vegetación acuática emergida de los márgenes del río (3)
 - Entre los macrófitos sumergidos o macroalgas (4)
 - Arena, grava o fango (5)
- Muestrear una vez en cada hábitat seleccionado, siguiendo la metodología adecuada.

Para los hábitats (1) y (2)

- Limpiar las piedras de un área de $2m^2$ dentro de la red.
- Si las piedras tienen un diámetro inferior a unos 10 cm, remover con los pies una superficie similar y recoger el material con la red a contracorriente.

Para los hábitats (3) y (4)

- Pasar la red por entre la vegetación, las raíces sumergidas y los macrófitos.

Para el hábitat (5)

- Remover el fondo y recoger el material que se lleve la corriente o quede en suspensión.

Los ejemplares recolectados se separaron in situ del material abiótico, se colocó en bolsas plásticas blancas y se fijó en alcohol al 70 % para su transporte al laboratorio para su posterior separación e identificación con la ayuda de una lupa estereoscópica en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (LABISAG), hasta el nivel taxonómico de familia empleando claves especializadas desarrolladas por Domínguez y Fernández (2009).

4.2.5. Determinación de la calidad ecológica del agua

Para la determinación de la calidad ecológica del agua se utilizó el índice BMWP-Col planteado por Roldán (2003), que consiste en:

Sumar la puntuación correspondiente por cada familia (Tabla 13), tantas veces como familias diferentes hallemos en la muestra para luego determinar la calidad de agua (Tabla 1)

Tabla 1. *Calidad de agua según puntaje BMWP-Col*

Clase	Calidad	BMWP-Col	Significado	Color
I	Buena	> 101	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy critica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldán (2003)

4.2.6. Análisis de datos

Las estaciones fueron comparadas considerando los datos físicos y químicos de cada época de muestreo, empleando análisis multivariados de ordenamiento y clasificación. Se utilizó el programa PRIMER versión 6.2.1- Plymouth Routines in Multivariate Ecological (Clarke, Warwick, Somer & Gorley, 2005). Los datos ambientales fueron primariamente transformados (raíz cuadrada) para luego construir una matriz de distancia Euclidiana, con la cual se construyó un dendrograma, empleando ligamiento completo como método de agrupamiento. En primer lugar, se realizó la prueba de Simproff sobre el dendrograma, para identificar los grupos estadísticamente significativos ($P < 0,05$). Posteriormente, la matriz de distancia Euclidiana fue analizada utilizando escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) como método de ordenamiento. Los datos biológicos de cada época de muestreo fueron comparados considerando los datos de densidad promedio de macroinvertebrados bentónicos por estación. Estos datos fueron primariamente transformados ($\text{Log}(x+1)$) para construir la matriz de similitud de Bray-Curtis, cuyo dendrograma fue graficado empleando ligamiento completo como método de agrupamiento. En segundo lugar, se realizó la prueba de Simproff sobre el dendrograma para identificar los grupos estadísticamente significativos ($P < 0,05$). La matriz de similitud fue analizada utilizando NMDS como método de ordenación, representando en dos dimensiones la similitud de las estaciones de muestreo basadas en la abundancia y composición de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos.

Finalmente, los valores de las dos dimensiones del NMDS y los parámetros ambientales, fueron analizados a través de regresión múltiple modelo estándar, tratando cada parámetro abiótico como una variable dependiente, y las coordenadas de la ordenación en cada eje del NMDS, los cuales son un resumen del ordenamiento de los datos biológicos, como las variables independientes (Field, Clarke & Warwick, 1982). Los parámetros ambientales analizados se detallan en las Tablas 2 (agosto) y 3 (enero).

Para determinar diferencias temporales (meses de muestreo) en la riqueza de taxones, los datos fueron examinados usando un análisis de la varianza no paramétrica con la prueba de Kruskal Wallis.

V. RESULTADOS

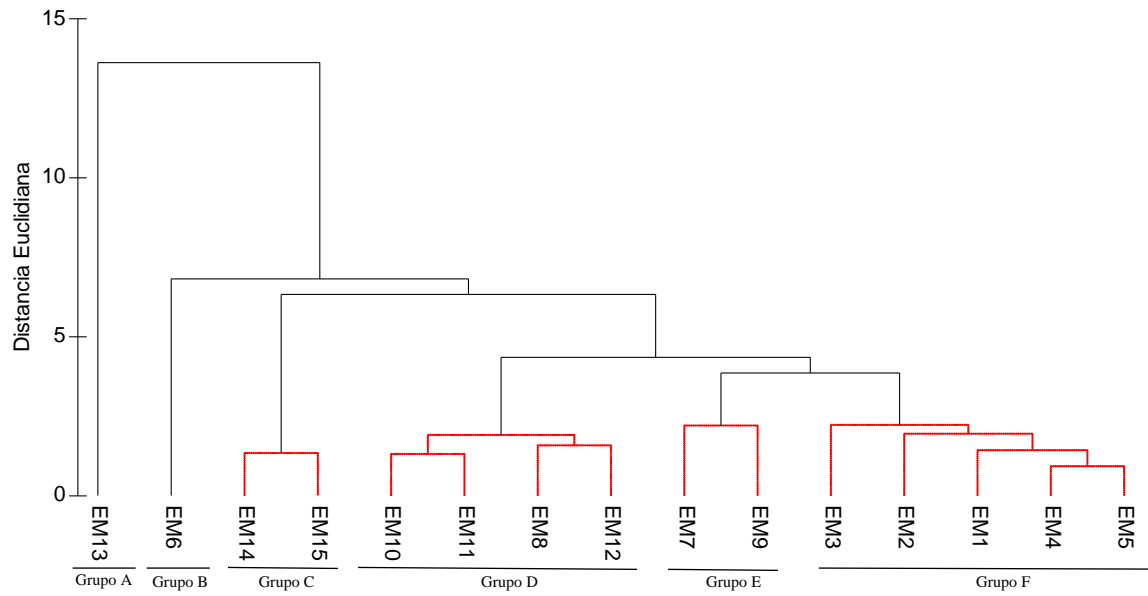
5.1. Caracterización del hábitat fluvial

En la Tabla 2, se presenta la caracterización de las 15 estaciones de muestreo en el mes de agosto de la microcuenca de río Ventilla (parámetros fisicoquímicos y morfométricos). Los análisis de clasificación y ordenación realizados con los datos ambientales, nos permitió reconocer seis grupos distintos ($P < 0,05$) de estaciones de muestreo (A-F) (Figura 3A y 3B). Para el grupo A (estación de muestreo 13), se caracterizó por tener los valores más bajos de pH (7,84), Oxígeno disuelto (7,45 mg/l), Conductividad eléctrica (19,46 $\mu\text{S/cm}$) y Dureza (40,01 ppm CaCO_3) y el mayor valor de velocidad de corriente (2,1 m/s). El grupo B (estación 6) se diferenció del resto de grupos por sus valores más altos en los parámetros de Turbidez (12,5 NTU), Conductividad eléctrica (246 $\mu\text{S/cm}$) y Dureza (160,03 ppm CaCO_3). El grupo C (estaciones 14 y 15) se caracterizan por tener valores medios de velocidad de corriente (1,1-1,2) y estar ubicadas en la parte más baja de la microcuenca a Altitudes de (2015-1997). El grupo D (estaciones 8, 10, 11 y 12) se caracterizó porque en la mayoría de sus estaciones se observó una mayor concentración de Cloruros (40,5-40,8). E agrupa a las estaciones (7 y 9), se caracterizaron por presentar los valores más altos de pH y Ancho del cauce. Finalmente, las estaciones agrupadas en F se caracterizan por su ubicación en la parte más alta de la microcuenca (2456-2420), también la mayoría de sus estaciones agrupadas presentaron los menores valores de Temperatura del agua (14,10-14,15 $^{\circ}\text{C}$) y además por presentar valores medios de pH (8,03-8,39). (Figuras.3, 3A y 3B).

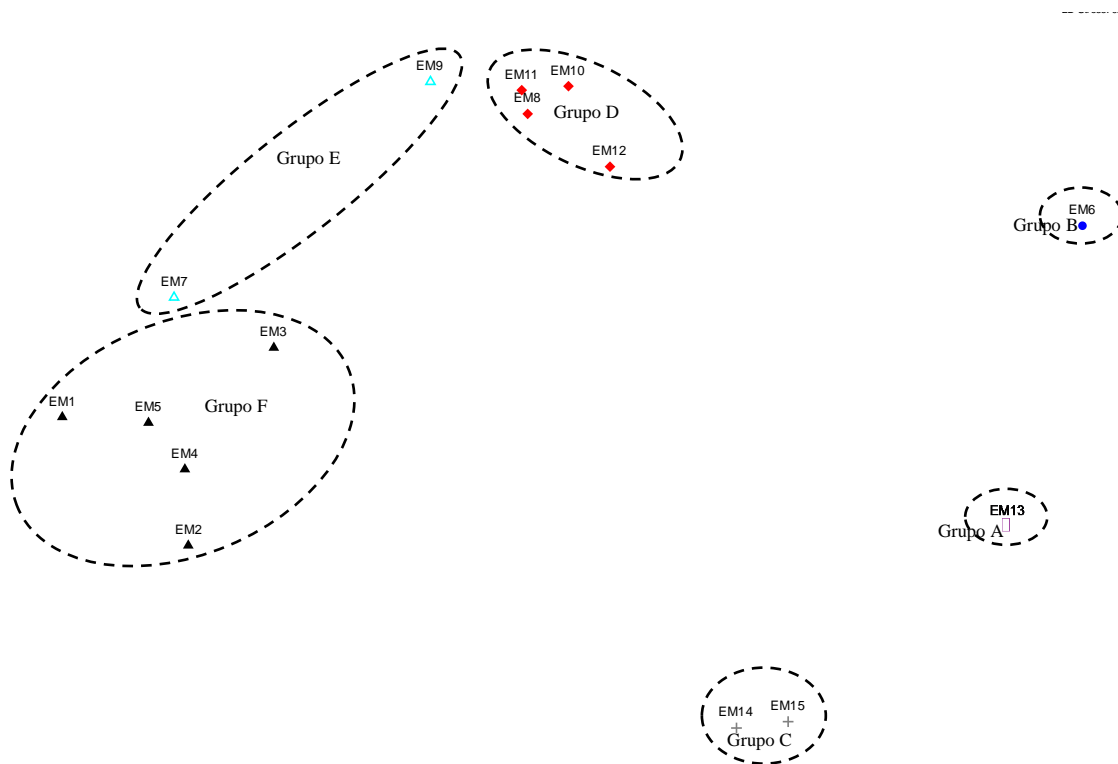
De igual manera la Tabla 3, presenta la caracterización de las 15 estaciones de muestreo en el mes de enero. A diferencia de la época seca los análisis de clasificación y ordenación realizados con los datos ambientales, permitió agrupar en un solo grupo todas las estaciones de muestreo ($P < 0,05$) (Figura 4A y 4B). Donde los valores de pH oscilan entre (6,38-8,29), Temperatura del agua (15-17,30 $^{\circ}\text{C}$), Turbidez (0-42 UNT), Oxígeno disuelto (7,6-8,95 mg/L), Conductividad eléctrica (41,8-151,7 $\mu\text{S/cm}$), Alcalinidad (14,63-102,41 ppm CaCO_3), Cloruros (3,39-7.67 ppm Cl^-), Dureza (8,37-442,40 ppm CaCO_3), Ancho del cauce (2.5-23 m), Velocidad de corriente (0,28-2,3 m/s) y Altitud (1997-2456 m.s.n.m) (Figura 4, 4A y 4B).

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica y morfométrica del hábitat fluvial en el mes de agosto

Estaciones de muestreo	Coordenadas geográficas		Parámetros fisicoquímicos								Parámetros morfométricos		
			ph	Temperatura del agua	Turbidez	Oxígeno disuelto	Conductividad eléctrica	Alcalinidad	Cloruros	Dureza	Ancho del cauce	Velocidad de corriente	Altitud
	ESTE	NORTE	pH	°C	UNT	mg/L	μS/cm	ppm CaCO ₃	ppm Cl ⁻	ppm CaCO ₃	m	m/s	m.s.n.m
EM1	211245	9312341	8,39	14,20	5,60	8,67	125,30	14,63	26,10	76,68	15	1,20	2456
EM2	211254	9311519	8,27	14,10	7,70	8,27	127,40	14,63	26,10	98,35	6	0,40	2443
EM3	210866	9310800	8,03	14,15	7,40	7,97	144,90	29,26	28,80	75,02	8	0,80	2438
EM4	209954	9311536	8,22	15,30	4,70	8,13	134,00	14,63	28,80	76,68	7	0,40	2439
EM5	208231	9311795	8,33	15,50	4,80	7,98	139,00	14,63	24,30	73,35	8	1,80	2420
EM6	206595	9311532	8,51	15,00	12,5	7,87	246,00	29,26	23,40	160,03	1.5	1,00	2426
EM7	206211	9312028	8,67	15,70	4,90	8,56	148,80	14,63	31,50	80,02	20	1,80	2404
EM8	205008	9312607	8,53	16,90	4,80	8,20	172,00	29,26	36,00	113,36	11	0,50	2396
EM9	203777	9312313	8,53	16,70	2,50	8,02	179,10	29,26	38,70	85,02	19	2,10	2383
EM10	203423	9312821	8,36	17,50	2,20	7,88	180,30	43,89	40,50	98,35	7	1,80	2381
EM11	202667	9313068	8,19	16,20	2,70	7,89	179,00	29,26	40,50	95,02	7	1,10	2356
EM12	201678	9313216	8,15	19,00	3,10	7,69	181,20	29,26	46,80	110,02	11	1,50	2294
EM13	200027	9313335	7,84	19,10	3,90	7,45	19,46	29,26	24,30	40,01	14	2,10	2139
EM14	198765	9313088	8,25	17,90	2,60	7,93	179,70	29,26	36,00	101,69	18	1,20	2015
EM15	198274	9312901	8,37	17,40	2,40	7,84	179,20	43,89	36,00	103,35	14	1,10	1997



(A)

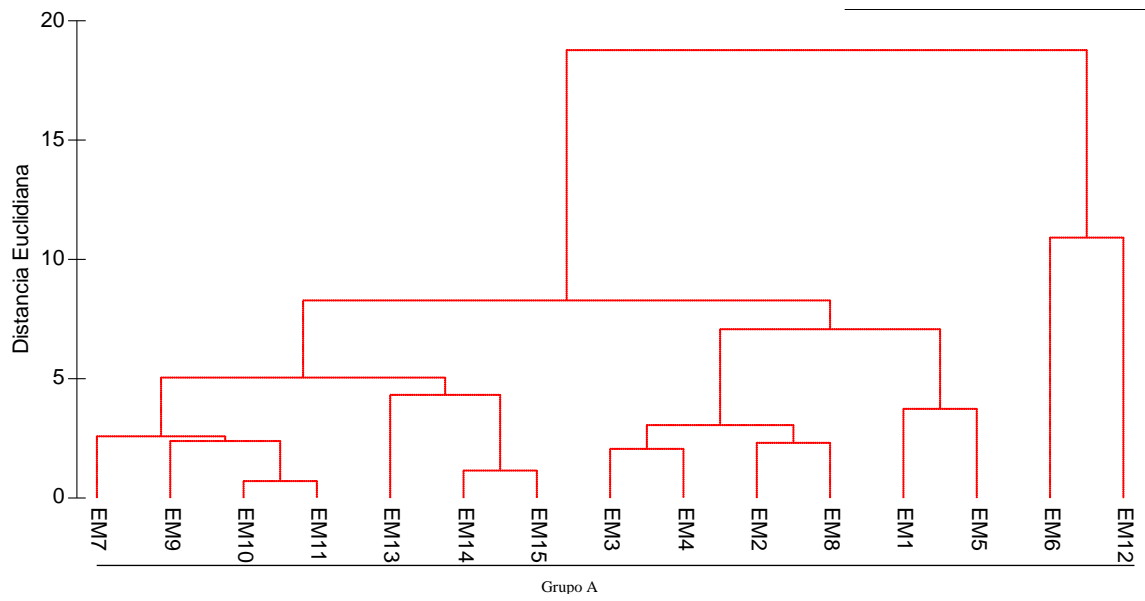


(B)

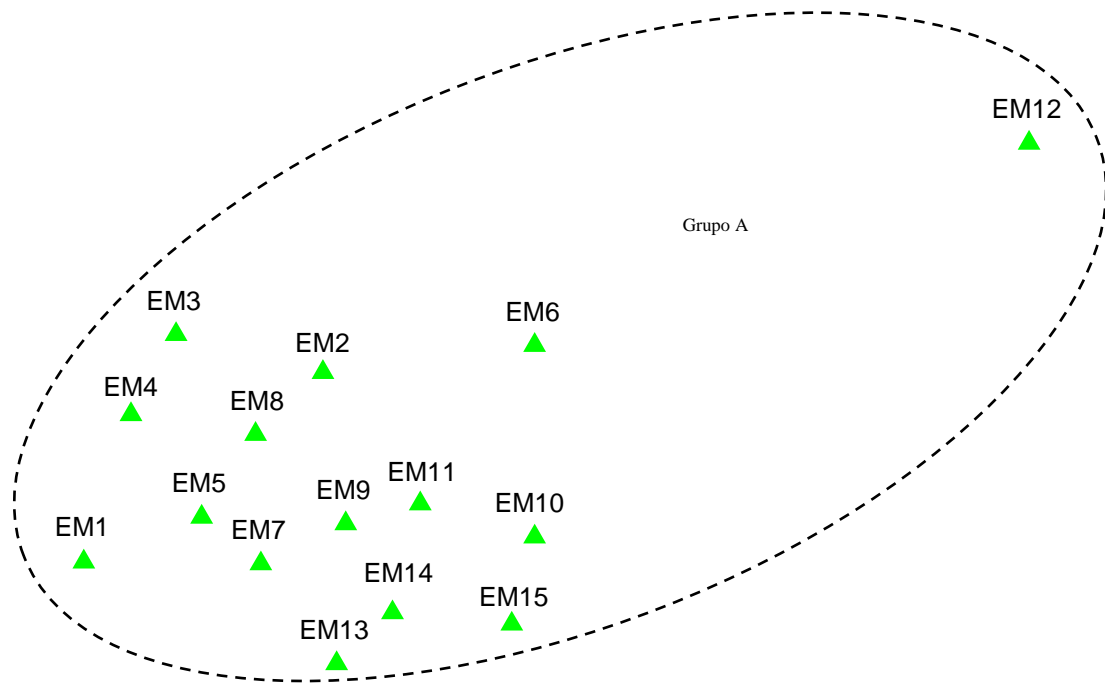
Figura 3. (A) Clasificación y (B) ordenamiento de las 15 estaciones de muestreo del mes de agosto, en función de la caracterización del hábitat fluvial (Tabla 2).

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica y morfométrica del hábitat fluvial en el mes de enero

Estaciones de muestreo	Coordenadas geográficas		Parámetros fisicoquímicos							Parámetros morfométricos			
			ph	Temperatura del agua	Turbidez	Oxígeno disuelto	Conductividad eléctrica	Alcalinidad	Cloruros	Dureza	Ancho del cauce	Velocidad de corriente	Altitud
	ESTE	NORTE	pH	°C	UNT	mg/L	µS/cm	ppm CaCO ₃	ppm Cl ⁻	ppm CaCO ₃	m	m/s	m.s.n.m
EM1	211245	9312341	7,24	16,10	36,00	7,90	41,80	17,56	3,39	8,37	20	1,22	2456
EM2	211254	9311519	7,37	16,30	5,00	8,00	47,10	29,26	5,11	63,20	7	0,75	2443
EM3	210866	9310800	7,37	16,50	0,00	8,00	49,10	29,26	6,39	36,34	10	1,12	2438
EM4	209954	9311536	7,19	17,20	1,00	7,90	54,30	14,63	5,11	33,18	8	0,28	2439
EM5	208231	9311795	7,56	16,60	33,00	7,70	54,60	14,63	7,03	36,34	9	1,27	2420
EM6	206595	9311532	8,29	16,20	19,00	8,10	52,20	102,41	4,47	142,20	2.5	1,08	2426
EM7	206211	9312028	7,68	16,50	42,00	7,60	73,90	29,26	6,39	45,82	23	1,15	2404
EM8	205008	9312607	7,71	16,30	5,00	7,90	72,50	29,26	7,67	47,40	13	0,83	2396
EM9	203777	9312313	7,77	16,80	34,00	7,90	82,50	58,52	5,75	58,46	23	0,98	2383
EM10	203423	9312821	7,80	17,30	38,00	7,90	81,20	43,89	7,03	50,56	8	0,85	2381
EM11	202667	9313068	7,78	16,80	33,00	8,20	83,80	43,89	5,11	47,40	8	0,68	2356
EM12	201678	9313216	7,93	16,80	13,00	8,30	96,90	29,26	7,03	442,40	13	1,08	2294
EM13	200027	9313335	6,38	15,90	24,00	8,50	151,70	29,26	3,83	47,40	16	2,30	2139
EM14	198765	9313088	7,90	15,00	38,00	8,95	82,10	43,89	5,75	58,46	20	1,80	2015
EM15	198274	9312901	7,91	15,00	30,00	8,91	79,00	43,89	5,75	69,52	16	1,27	1997



(A)



(B)

Figura 4. (A) Clasificación y (B) ordenamiento de las 15 estaciones de muestreo del mes de enero, en función de la caracterización del hábitat fluvial (Tabla 3).

5.2. Macroinvertebrados bentónicos

En agosto se identificaron 32 taxones, distribuidas en 30 familias, diez órdenes, cuatro clases y dos filos. De estos taxones los órdenes con mayor riqueza de familias fueron Trichoptera (9 familias), Coleoptera (8 familias) y Diptera (6 familias) (Tabla 4). Los análisis de clasificación y ordenación de las estaciones se realizaron con los datos de composición y abundancia a nivel taxonómico, diferenciando dos grupos estadísticamente diferentes ($P < 0,05$) de estaciones de muestreo (A y B) (Figura 5A y 5B).

Los datos que se muestran en la Tabla 5, indican que las estaciones con mayor riqueza taxonómica, fueron la 15 y 5 con 15 y 14 taxones respectivamente, las cuales ambas están contenidas en el grupo B que además contiene a las estaciones 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 (Figura 6). Por el contrario, la estación 13 que pertenece al grupo A fue la que presentó menor riqueza taxonómica (3 taxones).

En lo que se refiere a abundancia, las estaciones que mayor valor obtuvieron fueron 7 y 5 (Grupo B) con 2606 y 1605 ind.m⁻² respectivamente. Mientras que el menor valor de abundancia (110 ind.m⁻²) fue encontrado en la estación 13 que pertenece al grupo A. Finalmente el mayor valor del índice de diversidad de Shannon (H') y Equidad (J') se encontró en la estación de muestreo 6 incluida en el grupo B con valores de 2,09 y 0,91 respectivamente. Por el contrario, los valores más bajos para los dos índices se encontraron en la estación de muestreo 13 incluida en el grupo A con valores de 0,64 y 0,58 respectivamente. En el mes de agosto seca la familia que mayor número de ind.m⁻² presentó fue Baetidae (3422.2 ind.m⁻²), seguida de Chironomidae (1911.1 ind.m⁻²), y Hydropsychidae (1233.3 ind.m⁻²). Contrario a esto las que menor número de ind.m⁻² presentaron fueron Acari, Curculionidae, Hydrophilidae, Tabanidae, Helicopsichidae y Hydroptilidae con un valor de 11.1 ind.m⁻² (Figura 7).

En comparación con el mes de agosto en enero se identificaron 37 taxones, distribuidas en 35 familias, once órdenes, cuatro clases y dos filos. De estos los órdenes con mayor riqueza de familias fueron Coleoptera (10 familias), Trichoptera (8 familias) y Diptera (7 familias) (Tabla 6). En esta época se diferenciaron tres grupos estadísticamente diferentes de estaciones de muestreo (A, B y C) (Figura 8A y 8B).

La Tabla 7 indica que las estaciones con mayor riqueza taxonómica, fueron la 1, 7 y 6 con 20, 17 y 17 taxones respectivamente, de las cuales las dos primeras estaciones pertenecen al grupo B y la última al grupo C (Figura 9). Mientras que las estaciones 4,

11 y 15 la primera que pertenece al grupo A y las dos últimas al grupo C fueron las que presentaron menor riqueza taxonómica (6 taxones).

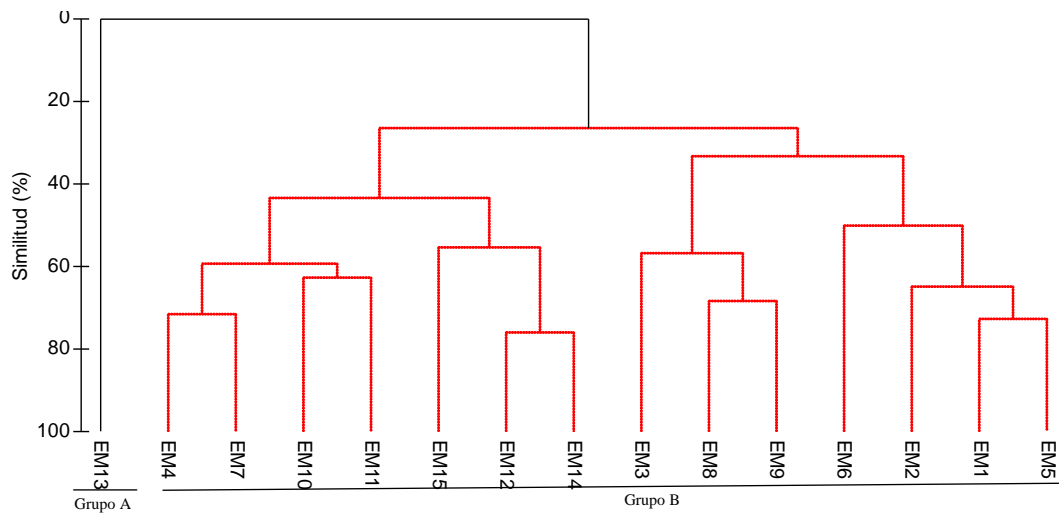
En este mes las estaciones que obtuvieron mayor valor de abundancia fueron 8 y 1 contenidas en el Grupo B con 3673 y 3228 ind.m⁻² respectivamente. Mientras que el menor valor de abundancia (165 ind.m⁻²) fue encontrado en la estación 15 que pertenece al grupo C. finalmente el mayor valor del índice de diversidad de Shannon (H') y Equidad (J') se encontraron en las estaciones de muestreo 6 y 13 pertenecientes al grupo C con valores de 2,21 y 0,89 respectivamente. Caso contrario el valor más bajo para Shannon se encontró en la estación de muestreo 4 que pertenece al grupo con un valor de 0,69 y para Equidad en las estaciones 4 incluida en el grupo A y 7 incluida en el grupo B con un valor de 0,39 cada una. La familia que mayor número de idn.m⁻² presentó fue Baetidae (17288,9 ind.m⁻²), seguida de Leptohyphidae (1533,3 ind.m⁻²), y Leptoceridae (1377,8 ind.m⁻²). Las que menor número de ind.m⁻² presentaron fueron Carabidae, Dryopidae, Gyrinidae, Salpingidae, Polydesmida, Epydridae, Cosmopterigidae, Glossosomatidae y Polycentropodidae con un valor de 11,1 ind.m⁻². (Fig. 10)

Tabla 4. Listado taxonómico de macroinvertebrados bentónicos del mes de agosto

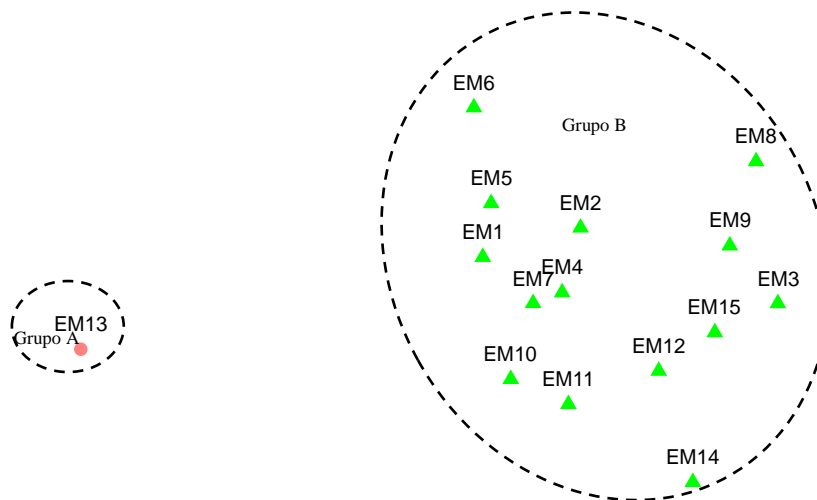
Phylum	Clase	Orden	Familia
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	
Artropoda	Arachnida	Acari	
	Insecta	Coleoptera	Chrysomelidae
Curculionidae			
Elmidae			
Hydrophilidae			
Ptilodactylidae			
Psephenidae			
Scirtidae			
Staphylinidae			
Diptera			Chironomidae
			Empididae
			Muscidae
			Simuliidae
Ephemeroptera			Tabanidae
		Tipulidae	
		Baetidae	
			Leptophlebiidae
			Leptohyphidae
	Lepidoptera	Arctiidae	
	Megaloptera	Corydalidae	

Tabla 4. Listado taxonómico de macroinvertebrados bentónicos del mes de agosto

Phylum	Clase	Orden	Familia
Artropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae
			Trichoptera
		Glossosomatidae	
		Helicopsychidae	
		Hydrobiosidae	
		Hydropsychidae	
		Hydroptilidae	
		Leptoceridae	
		Odontoceridae	
		Polycentropodidae	
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	



(A)



(B)

Figura 5. (A) Clasificación y (B) ordenamiento de las 15 estaciones de muestreo del mes de agosto, calculada con los datos de abundancia (ind. m⁻²).

Tabla 5. *Parámetros comunitarios de macroinvertebrados bentónicos del mes de agosto. Donde A y B son los grupos formados mediante el análisis de cluster.*

Grupo	Estación de muestreo	Riqueza de Taxa (S)	Abundancia (N m ⁻²)	Diversidad Shannon (H')	Equidad (J')
A	EM13	3	110	0,64	0,58
B	EM1	13	929	2,05	0,80
	EM2	11	752	1,77	0,74
	EM3	5	398	1,04	0,65
	EM4	10	984	1,92	0,83
	EM5	14	1605	1,92	0,73
	EM6	10	286	2,09	0,91
	EM7	13	2606	1,94	0,76
	EM8	5	876	1,00	0,62
	EM9	10	475	1,84	0,80
	EM10	12	542	1,78	0,71
	EM11	10	464	1,95	0,85
	EM12	9	475	1,78	0,81
	EM14	8	575	1,41	0,68
	EM15	15	873	1,88	0,70

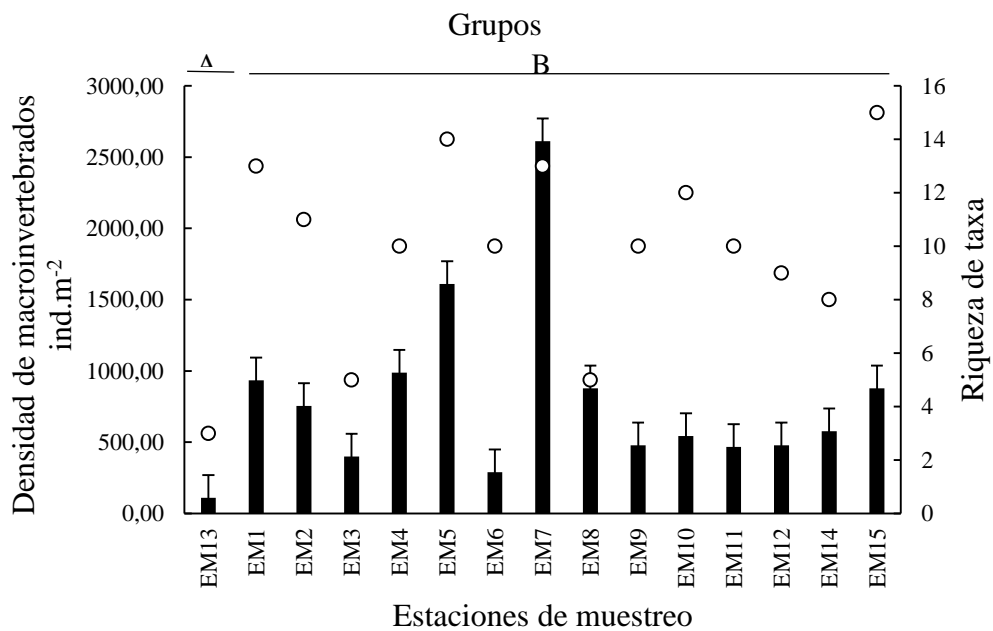


Figura 6. Riqueza de familias (círculos) y densidad de individuos promedio (ind.m⁻²) (barras) ± DE en el mes de agosto.

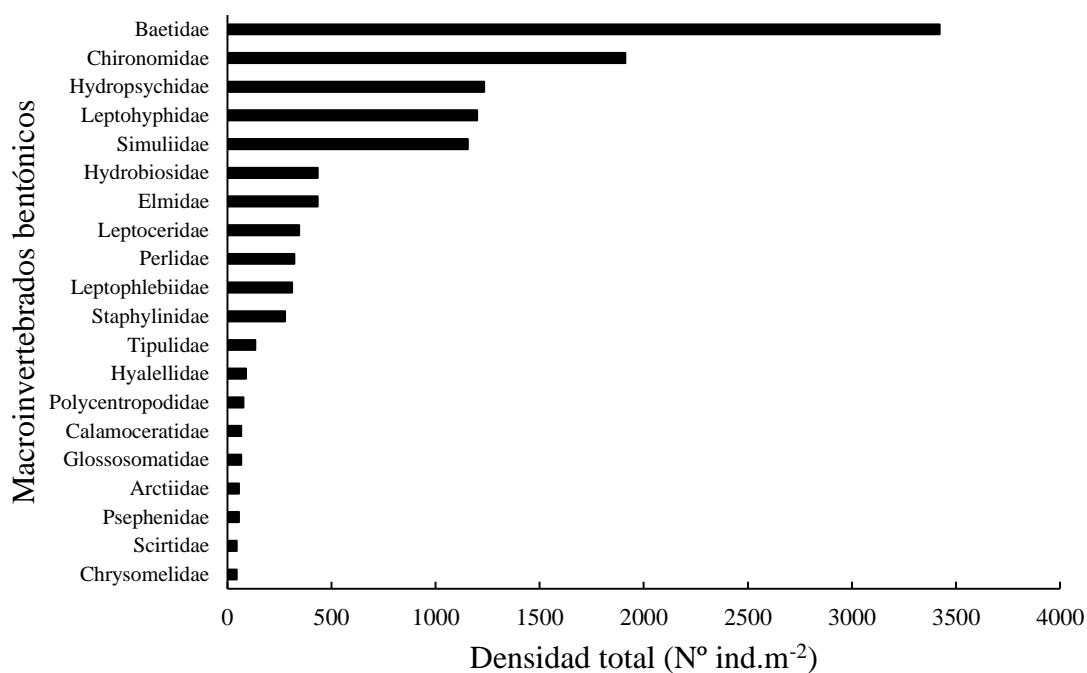


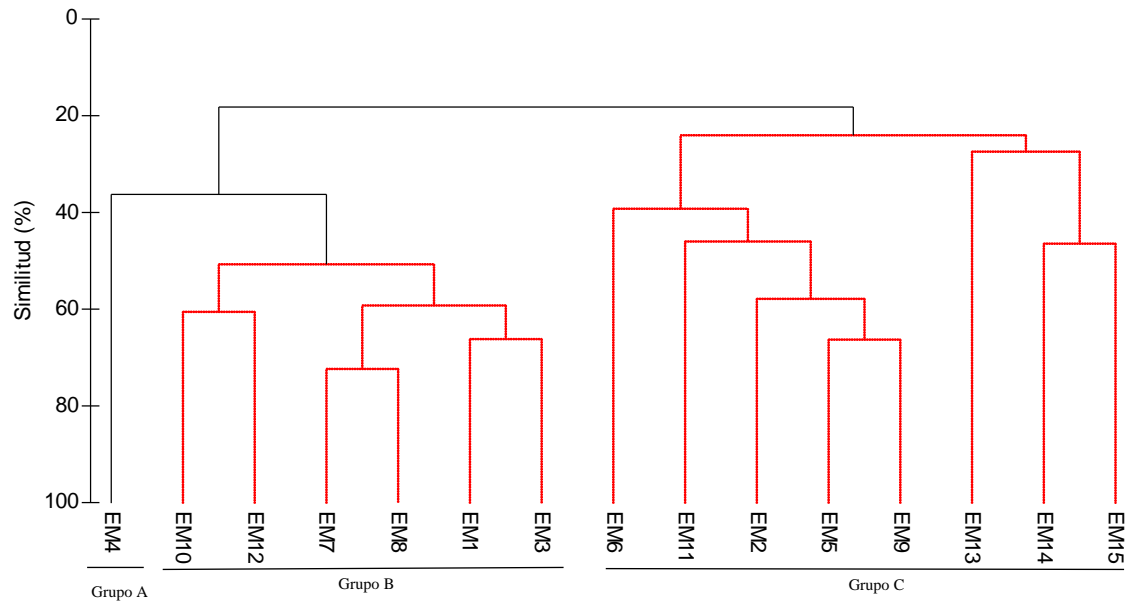
Figura 7. Densidad total de los 20 taxones más importantes en el mes de agosto.

Tabla 6. Listado taxonómico de macroinvertebrados bentónicos del mes de enero.

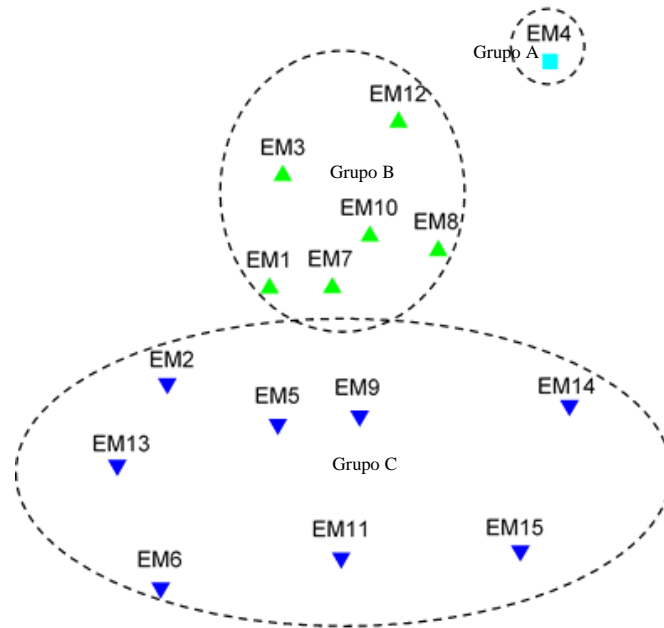
Phylum	Clase	Orden	Familia	
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida		
Artropoda	Diplopoda	Polydesmida		
	Insecta	Coleoptera	Carabidae	
			Dryopidae	
			Elmidae	
			Gyrinidae	
			Hydrophilidae	
			Hydroscapidae	
			Psephenidae	
			Ptilodactylidae	
			Salpingidae	
			Staphylinidae	
			Diptera	Ceratopogonidae
				Chironomidae

Tabla 6. *Listado taxonómico de macroinvertebrados bentónicos del mes de enero.*

Phylum	Clase	Orden	Familia	
Artropoda	Insecta	Diptera	Empididae	
			Epydridae	
			Simuliidae	
			Tabanidae	
			Tipulidae	
			Ephemeroptera	Baetidae
				Caenidae
				Leptohyphidae
				Leptophlebiidae
			Hemiptera	Veliidae
			Lepidoptera	Coelophoridae
				Cosmopterigidae
			Odonata	Aeshnidae
			Plecoptera	Perlidae
		Trichoptera	Calamoceratidae	
			Glossosomatidae	
			Helicopsychidae	
			Hydrobiosidae	
			Hydropsychidae	
			Leptoceridae	
			Odontoceridae	
Polycentropodidae				
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae		



(A)



(B)

Figura 8. (A) Clasificación y (B) ordenamiento de las 15 estaciones de muestreo del mes de enero, calculada con los datos de abundancia (ind. m⁻²).

Tabla 7. Parámetros comunitarios de macroinvertebrados bentónicos del mes de enero. Donde A, B y C son los grupos formados mediante el análisis de cluster.

Grupo	Estación de muestreo	Riqueza de Taxa (S)	Abundancia (N m ⁻²)	Diversidad Shannon (H')	Equidad (J')
A	EM4	6	709	0,69	0,39
B	EM1	20	3228	2,01	0,67
	EM3	15	7606	0,71	0,26
	EM7	17	3040	1,10	0,39
	EM8	15	3673	1,10	0,41
	EM10	16	1529	1,26	0,45
	EM12	11	2064	1,11	0,46
	EM2	13	419	2,09	0,81
C	EM5	10	1197	1,14	0,50
	EM6	17	1128	2,21	0,78
	EM9	12	807	1,65	0,66
	EM11	6	542	1,01	0,56
	EM13	9	220	1,95	0,89
	EM14	10	508	1,91	0,83
	EM15	6	165	1,52	0,85

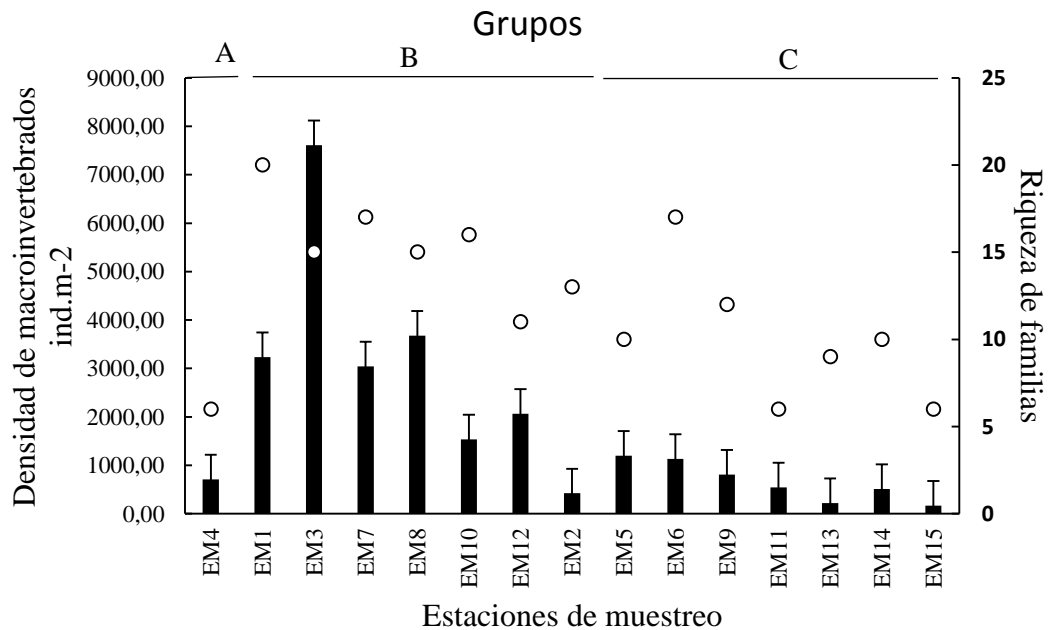


Figura 9. Riqueza de familias (círculos) y densidad de individuos promedio (ind.m⁻²) (barras) ± DE en el mes de enero.

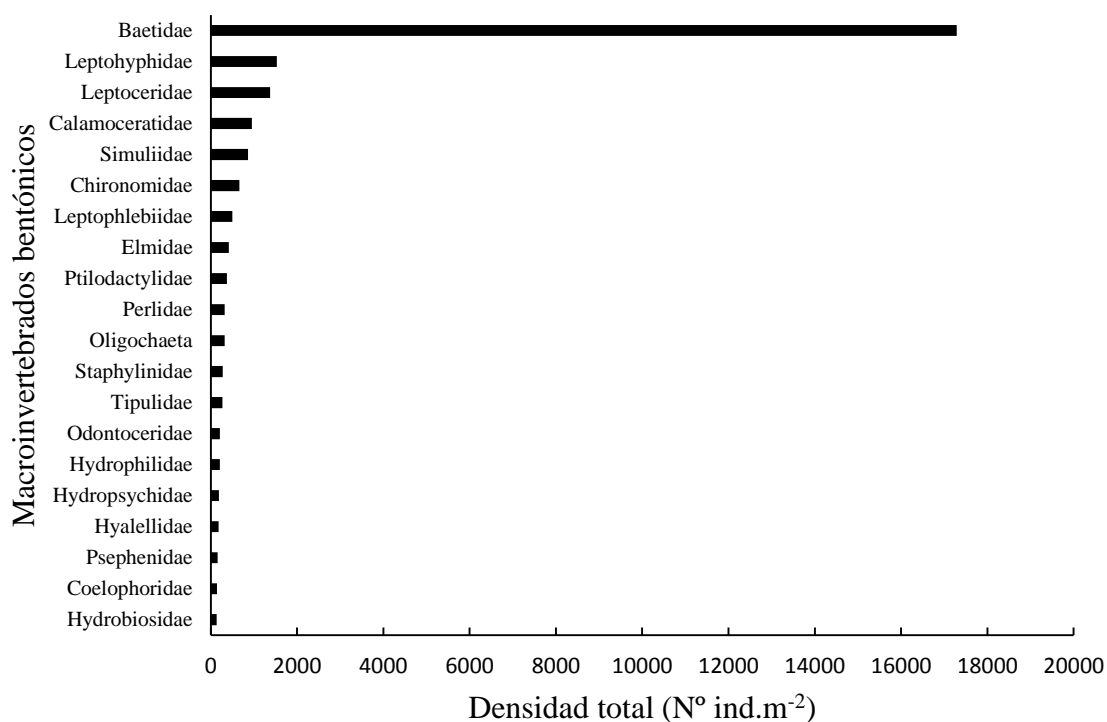


Figura 10. Densidad total de los 20 taxones más importantes en el mes de enero.

5.3. Calidad ecológica del agua

En cuanto al índice BMWP-Col los valores promedio finales para el mes de agosto y enero fueron 65 y 76 respectivamente, representado una calidad de agua “Aceptable” para cada mes. Destacando que en el mes de agosto las estaciones EM2, EM8 y EM13 presentaron una calidad de agua “Crítica” que indica aguas muy contaminadas con puntajes BMWP-Col de 33,32 y 19 respectivamente, mientras que en el mes enero esta calidad de agua estuvo presente en la EM4 con un puntaje de BMWP-Col de 33. Caso contrario las estaciones EM1, EM6 y EM7 en el mes de enero presentaron una calidad de agua ‘Buena’ con puntajes BMWP-Col 142, 123 y 114 respectivamente, lo cual esta calidad de agua no se vio reflejada en el mes de agosto (Tabla 8).

Tabla 8. Calidad ecológica del agua por estaciones de muestreo

Estaciones de muestreo	Agosto		Enero	
	Puntaje BMWP/Col	Calidad de agua	Puntaje BMWP/Col	Calidad de agua
EM1	89	Aceptable	142	Buena
EM2	73	Aceptable	84	Aceptable
EM3	33	Crítica	95	Aceptable
EM4	73	Aceptable	33	Crítica
EM5	83	Aceptable	60	Dudosa
EM6	63	Aceptable	123	Buena
EM7	93	Aceptable	114	Buena
EM8	32	Crítica	79	Aceptable
EM9	70	Aceptable	85	Aceptable
EM10	80	Aceptable	94	Aceptable
EM11	63	Aceptable	50	Dudosa
EM12	57	Dudosa	49	Dudosa
EM13	19	Crítica	58	Dudosa
EM14	56	Dudosa	37	Dudosa
EM15	87	Aceptable	39	Dudosa
Promedio	65	Aceptable	76	Aceptable

5.4. Relación entre macroinvertebrados bentónicos y características del hábitat

El ordenamiento de las estaciones de muestreo en el mes de agosto de acuerdo a la composición y abundancia de sus familias (NMDS), estuvo determinado por la Turbidez, variable que explicó el 50 % de la varianza de los datos biológicos ($r^2=0,50$, $P= 0,0034$). Por otro lado, un 36 % de la varianza de los datos biológicos estuvo explicada por la Alcalinidad del agua ($r^2=0,36$, $P= 0,0184$). Las variables ambientales de Temperatura del agua y Cloruros del agua explicaron en un 29 y 28 % ($r^2=0,29$ y $0,28$; $P= 0,0401$ y $0,0411$) respectivamente (Tabla 9). Mientras que en el mes de enero la varianza de los datos biológicos estuvo explicada por Alcalinidad y pH en un 40 y 31 % con valores de $r^2=0,40$ y $0,31$; $P= 0,0116$ y $0,0301$ respectivamente (Tabla 10).

Tabla 9. Regresión múltiple entre variables del hábitat y los valores de los dos primeros ejes del NMDS en el mes de agosto

Variables	R ²	F	gl	p-valor
Turbidez	0,50	12,82	1	0,0034*
Altitud	0,36	7,25	1	0,0184*
Temperatura	0,29	5,20	1	0,0401*
Cloruros	0,28	5,14	1	0,0411*
pH	0,22	3,61	1	0,0797 ^{ns}
Ancho del cauce	0,13	2,00	1	0,1809 ^{ns}
Alcalinidad	0,11	1,67	1	0,2185 ^{ns}
Dureza	0,11	1,61	1	0,2267 ^{ns}
Oxígeno disuelto	0,10	1,49	1	0,2441 ^{ns}
Velocidad de corriente	0,06	0,83	1	0,3779 ^{ns}
Conductividad eléctrica	0,03	0,39	1	0,5429 ^{ns}

**P<0,001=muy significativo; *P<0,05=significativo; n.s=no significativo.

Tabla 10. Regresión múltiple entre variables del hábitat y los valores de los dos primeros ejes del NMDS en el mes de enero

Variables	R ²	F	gl	p-valor
Alcalinidad	0,40	8,62	1	0,0116*
pH	0,31	5,93	1	0,0301*
Turbidez	0,18	2,93	1	0,1105 ^{ns}
Temperatura	0,10	1,41	1	0,2566 ^{ns}
Oxígeno disuelto	0,04	0,57	1	0,4625 ^{ns}
Conductividad eléctrica	0,04	0,50	1	0,4902 ^{ns}
Dureza	0,04	0,57	1	0,4644 ^{ns}
Ancho del cauce	0,03	0,41	1	0,5307 ^{ns}
Altitud	0,03	0,37	1	0,5558 ^{ns}
Cloruros	0,02	0,29	1	0,5965 ^{ns}
Velocidad de corriente	0,003	0,04	1	0,8494 ^{ns}

**P<0.001=muy significativo; *P<0.05=significativo; n.s=no significativo.

5.5. Relación entre los macroinvertebrados bentónicos y las épocas de muestreo

Los meses de muestreo (agosto y enero) tuvieron impactos significativos en la distribución temporal de ocho taxones: Haplotaxida, Calamoceratidae, Odontoceridae, Hydropsychidae, Hydrobiosidae, Psephenidae, Caenidae y Chironomidae con valores de $p = 0,0006; 0,0011, 0,0040; 0,0087; 0,0207, 0,0329, 0,0352$ y $0,0468$ respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11. Prueba de Kruskal Wallis entre las taxas y los meses de muestreo.

Taxa	p-valor	Taxa	p-valor
Haplotaixida	0,0006**	Epydridae	0,3173 ^{n.s}
Calamoceratidae	0,0011*	Coelophoridae	0,3173 ^{n.s}
Odontoceridae	0,0040*	Cosmopterigidae	0,3173 ^{n.s}
Hydropsychidae	0,0087*	Hydroptilidae	0,3173 ^{n.s}
Hydrobiosidae	0,0207*	Empididae	0,3428 ^{n.s}
Psephenidae	0,0329*	Ptilodactylidae	0,5200 ^{n.s}
Caenidae	0,0352*	Elmidae	0,5355 ^{n.s}
Chironomidae	0,0468*	Aeshnidae	0,1501 ^{n.s}
Hydrophilidae	0,0572 ^{n.s}	Scirtidae	0,1503 ^{n.s}
Tipulidae	0,0668 ^{n.s}	Ceratopogonidae	0,1503 ^{n.s}
Hydroscapidae	0,0726 ^{n.s}	Helicopsychidae	0,2613 ^{n.s}
Arctiidae	0,0730 ^{n.s}	Perlidae	0,3071 ^{n.s}
Corydalidae	0,0730 ^{n.s}	Acari	0,3173 ^{n.s}
Baetidae	0,0744 ^{n.s}	Chrysomelidae	0,3173 ^{n.s}
Polycentropodidae	0,1247 ^{n.s}	Curculionidae	0,3173 ^{n.s}
Leptoceridae	0,1307 ^{n.s}	Carabidae	0,3173 ^{n.s}
Glossosomatidae	0,1328 ^{n.s}	Dryopidae	0,3173 ^{n.s}
Staphylinidae	0,1495 ^{n.s}	Gyrinidae	0,3173 ^{n.s}
Muscidae	0,1501 ^{n.s}	Salpingidae	0,3173 ^{n.s}
Veliidae	0,1501 ^{n.s}	Polydesmida	0,3173 ^{n.s}
Aeshnidae	0,1501 ^{n.s}	Epydridae	0,3173 ^{n.s}
Scirtidae	0,1503 ^{n.s}	Coelophoridae	0,3173 ^{n.s}
Ceratopogonidae	0,1503 ^{n.s}	Cosmopterigidae	0,3173 ^{n.s}
Helicopsychidae	0,2613 ^{n.s}	Hydroptilidae	0,3173 ^{n.s}
Perlidae	0,3071 ^{n.s}	Empididae	0,3428 ^{n.s}
Acari	0,3173 ^{n.s}	Ptilodactylidae	0,5200 ^{n.s}
Chrysomelidae	0,3173 ^{n.s}	Elmidae	0,5355 ^{n.s}
Curculionidae	0,3173 ^{n.s}	Tabanidae	0,5496 ^{n.s}
Carabidae	0,3173 ^{n.s}	Hyaellidae	0,5870 ^{n.s}
Dryopidae	0,3173 ^{n.s}	Leptophlebiidae	0,6770 ^{n.s}
Gyrinidae	0,3173 ^{n.s}	Leptohyphidae	0,7694 ^{n.s}
Salpingidae	0,3173 ^{n.s}	Simuliidae	0,8637 ^{n.s}
Polydesmida	0,3173 ^{n.s}		

**P<0.001=muy significativo; *P<0.05=significativo; n.s=no significativo.

VI. DISCUSIÓN

Las metodologías utilizadas para la clasificación y agrupación de las EM, permitieron determinar los principales factores por mes (agosto y enero) que influenciaron en la distribución espacial y temporal de los macroinvertebrados bentónicos de la microcuenca del río Ventilla.

La caracterización física de los hábitats y la calidad del agua permitieron identificar estaciones de muestreo agrupadas según las diferencias físicas naturales presentes en la microcuenca del río Ventilla. De esta manera en el mes de agosto, se encontraron estaciones agrupadas en función de los valores más bajos de pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, dureza y el mayor valor de velocidad de corriente esto para el grupo A; resultados similares obtuvieron Rico-Sánchez *et al.* (2014), quienes también agruparon estaciones de muestreo en función de valores más bajos de conductividad eléctrica. Así también por presentar valores más altos de turbidez, conductividad eléctrica y dureza que fue el caso del grupo B; también por estar ubicadas en la parte más baja de la microcuenca estaciones pertenecientes al grupo C, o en las partes más altas de la microcuenca estaciones agrupadas en el grupo F, lo cual coincide con los resultados de Moya, Valdovinos, Moraga, & Romero (2009), quienes también agruparon estaciones de muestreo por presentar altos valores de conductividad eléctrica y mayor elevación media de sus estaciones a lo largo de su cuenca. Así también, por presentar valores más altos de cloruros, pH y Ancho del cauce para los grupos D y E. A diferencia en el mes enero todas las variables fisicoquímicas y morfométricas nos permitió determinar un solo grupo conteniendo a todas las estaciones de muestreo. En general la mayoría de los parámetros ambientales exhiben variaciones estacionales y espaciales (Zhang, Xiao & Li, 2014), influenciando en la distribución y abundancia de comunidades de macroinvertebrados (Magbanua, Mendoza, Uy, Matthaei & Ong, 2015). Es así que las comunidades de macroinvertebrados cambian principalmente en relación con las características hidromorfológicas y la calidad del agua (Álvarez, Barquín & Juanes, 2010).

Se obtuvo que la mayor abundancia de macroinvertebrados en este estudio fue durante el mes de enero (época lluviosa), lo contrario sucedió en el mes de agosto (época seca), resultado que concuerda con Acosta & Prat (2009), quienes en un estudio realizado en la cuenca altoandina del río Cañete (Perú) también observaron una mayor diversidad y riqueza en la época lluviosa, mientras que Cabria (2009), afirma lo contrario que la abundancia de

macroinvertebrados aumenta en época de caudal bajo y disminuye en periodo de crecidas, así también Pamplin (2006), en un estudio realizado en dos épocas (seca y lluviosa) encontraron que las mayores densidades se registraron en la estación seca.

Los resultados demuestran que la variable que mejor explicó la variación de los patrones espaciales de los macroinvertebrados, fue la turbidez, seguida de la altitud, temperatura y cloruros en el mes de agosto y alcalinidad y pH en el mes de enero, resultados que se corroboran con lo que obtuvo Cabria (2009), quien afirma que los patrones de distribución espacial que presentan las comunidades de macroinvertebrados están principalmente determinados por la interacción entre la altitud y la temperatura. De igual forma Li, Chung, Bae, Kwon & Park, (2012) y Kalogianni, Vourka, Karaouzas, Vardakas, & Skoulikidis, (2017), indican que el efecto del cambio de la temperatura es el causante de la variación en la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados. Así mismo, Aránguiz, (2012) y Rico, Rodríguez, López & Sedeño, (2014), señalan que la comunidad de macroinvertebrados presenta patrones de distribución espaciales determinados principalmente por la temperatura del agua. Por otro lado, Morelli & Verdi, (2014) y Narangarvuu, Hsu, Shieh, Wu & Yang, (2014), afirman que el pH y temperatura son factores que influyen en la distribución espacial y composición de los macroinvertebrados. Con respecto a lo antedicho, Lin, Chen Kai, Chen Qiuwen & Chen Bo, (2016), también manifiestan que el pH es un factor importante que influye en la distribución de los macroinvertebrados acuáticos. Además, la dinámica hidrológica se asocia con cambios de temperatura del agua, que esto a su vez se relacionan significativamente con la distribución de los taxones de macroinvertebrados (Fontanarrosa, Chaparro, & O'Farrell, 2013).

Los valores promedio de BMWP-Col para cada mes de muestreo corresponden a la clase II, indicando una calidad de agua "Aceptable", es decir aguas ligeramente contaminadas. Resultados similares obtuvieron Castellanos, *et al.*, (2017) en un estudio realizado en Colombia clasificado su calidad de agua de estudio como clase II, es decir, agua con evidentes efectos contaminantes. Las estaciones de muestreo 1, 6 y 7 en el mes de enero obtuvieron valores altos del índice indicando una calidad de agua "Buena" que se relacionaron con las concentraciones más altas de oxígeno disuelto lo que indica una existencia de una alta diversidad y presencia de taxones sensibles. Por lo que cuanto mayor sea el número de taxones encontrados en las muestras, mayor será el valor de BMWP-Col

(Minar, *et al.*, 2016), indicando que la distribución y diversidad de organismos acuáticos está correlacionada con la calidad del agua (Nkwoji, Yakub, Abiodun & Bello, 2016).

Los meses de muestreo (agosto y enero) tuvieron impactos significativos en la distribución temporal de ocho taxones, así también los meses de muestreo tuvo influencia en la presencia y ausencia de familias en ambos meses, es así que Chrysomelidae, Curculionidae, Scirtidae, Corydalidae, Muscidae, Arctidae, Hydroptilidae y el orden Acari solo aparecieron en el mes de agosto mientras que Carabidae, Dryopidae, Gyrinidae, Hydroscapidae, Salpingidae, Ceratopogonidae, Epydridae, Caenidae, Veliidae, Coelophoridae, Cosmopterigidae, Aeshnidae y el orden Polydesmida solo aparecieron en el mes de enero.

VII. CONCLUSIONES

- Se determinó que los patrones de distribución espacial y temporal de macroinvertebrados estuvieron influenciados principalmente por las características fisicoquímicas del hábitat (turbidez, altitud, temperatura, cloruros, alcalinidad y pH.), así también por los meses de muestreo (agosto y enero). Así también, se determinó que en el mes de agosto las variables fisicoquímicas que mejor explicaron la variación de las comunidades de macroinvertebrados fueron turbidez debido a que existían bancos de arena en las EM lo cual estos al estar en contacto con cualquier agente externo sufre una modificación y por ende las comunidades de macroinvertebrados, altitud debido a la disponibilidad de oxígeno disuelto, temperatura y cloruros porque existió una variación en cada una de las EM lo que favoreció o dificultó el desarrollo de la fauna béntica, en cambio en el mes de enero fueron alcalinidad porque existió un aumento en la concentración de este parámetro y favoreció la colonización de ciertas familias y pH que presentó una reducción que también influenció el desarrollo de comunidad de macroinvertebrados.
- Se logró identificar en el mes de agosto 32 taxones, los órdenes con mayor riqueza de familias: Trichoptera (9 familias), Coleoptera (8 familias) y Diptera (6 familias). Con respecto al mes de agosto en enero se identificaron 37 taxones, los órdenes con mayor riqueza de familias: Coleoptera (10 familias), Trichoptera (8 familias) y Diptera (7 familias).
- Se determinó la calidad ecológica del agua utilizando el índice BMWP-Col con lo cual se obtuvo valores promedios para el mes de agosto de 65 y para enero 76, indicando para ambas épocas de muestreo una calidad de agua “Aceptable” lo que significa aguas ligeramente contaminadas.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar como base de datos los resultados obtenidos en esta investigación a fin de seguir haciendo investigaciones en las demás Microcuencas de la Región Amazonas, con el objetivo de brindar mayor información para la conservación de los recursos hídricos y también de la biodiversidad acuática.
- Realizar investigaciones con identificaciones taxonómicas más detalladas (a nivel de especie), para así poder entender más a detalle el comportamiento de distribución espacio-temporal de los macroinvertebrados bentónicos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C. R., & Prat, N. (2009). *Estudio de la Cuenca Altoandina del río Cañete (Perú): Distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas* (Tesis doctoral). Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Doctorado, 153.
- Ardila, R. A. B., Hernández, A. H., Collazos, L. E. F., Sanchez, C. A. H., & Perdomo, F. R. (2009). Cuencas hidrográficas. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial república de Colombia.1-12.
- Álvarez Cabria, M., Barquín, J., & Antonio Juanes, J. (2010). Spatial and seasonal variability of macroinvertebrate metrics: Do macroinvertebrate communities track river health? *Ecological Indicators*, 10(2), 370–379. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.06.018>
- Aránguiz, C. A. C. (2012). Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del limari en Chile.
- Azrina, M. Z., Yap, C. K., Rahim Ismail, A., Ismail, A., & Tan, S. G. (2006). Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64(3), 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.04.003>
- Baev, P. V. y L. D. Penev. (1995). BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis. Versión 5.1. Pensoft, Sofia-Moscow.
- Butkas, K.J., Vadeboncoeur, Y., Vander Zanden, M.J., (2011). Estimating benthic invertebrate production in lakes: A comparison of methods and scaling from individual taxa to the whole-lake level. *Aquatic Sciences* 73, 153–169
- Cabria, M. Á. (2009). Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la Directiva Marco del Agua.
- Castellanos Romero, K., Pizarro Del Río, J., Cuentas Villarreal, K., Costa Anillo, J. C., Pino Zarate, Z., Gutierrez, L. C., y otros. (2017). Lentic water quality characterization using macroinvertebrates as bioindicators: An adapted BMWP index. *Ecological Indicators*,

(72), 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.023>

- Clarke K, R Warwick, E Somer & R Gorley (2005). Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Third edition. Primer, Plymouth. 171pp.
- Conroy, E., Turner, J. N., Rymaszewicz, A., O’Sullivan, J. J., Bruen, M., Lawler, D., ... Kelly-Quinn, M. (2016). The impact of cattle access on ecological water quality in streams: Examples from agricultural catchments within Ireland. *Science of the Total Environment*, (547), 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.120>
- Damanik-Ambarita, M. N., Lock, K., Boets, P., Everaert, G., Nguyen, T. H. T., Forio, M. A. E., y otros. (2016). Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologica*, 57, 27–59. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.01.001>
- Demey, J. R., Pla, L., Vicente-Villardón, J. L., Di Rienzo, J. A., & Casanoves, F. (2011). Medidas de distancia y similitud, (January).
- Domínguez, E., y Fernández, H. R. (Eds) (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos* (Tesis doctoral). Sistemática y biología. San Miguel de Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Pamplin, P. A. ., Almeida, T. C. ., & Rocha, O. (2006). Composition and distribution of benthic macroinvertebrates in Americana Reservoir(SP, Brazil). *Acta Limnologica ...*, 18(2), 121–132. Retrieved from [http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/ActaLimnologica/Volume18\(2\)/02_18\(2\).pdf](http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/ActaLimnologica/Volume18(2)/02_18(2).pdf)
- Field J, K Clarke & R Warwick (1982). A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress*, 8, 37-52.
- Fierro, P., Bertrán, C., Tapia, J., Hauenstein, E., Peña-cortés, F., Vergara, C., ... Vargas-chacoff, L. (2017). Effects of local land-use on riparian vegetation , water quality , and the functional organization of macroinvertebrate assemblages. *Science of the Total Environment*, 609, 724–734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.197>
- Fontanarrosa, M. S., Chaparro, G. N., & O’Farrell, I. (2013). Temporal and spatial patterns of macroinvertebrates associated with small and medium-sized free-floating plants.

- Wetlands*, 33(1), 47–63. <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0351-3>
- Galaz, V. (2007). Water governance, resilience and global environmental change—a re-assessment of integrated water resources management (IWRM). *Water Science and Technology*, 56(4), 1–9.
- Gleason, J. E., & Rooney, R. C. (2017). Aquatic macroinvertebrates are poor indicators of agricultural activity in northern prairie pothole wetlands. *Ecological Indicators*, 81(June), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.013>
- Giersch, J.J., Jordan, S., Luikart, G., Jones, L.A., Hauer, F.R., Muhlfield, C.C., 2015. Climate-induced range contraction of a rare alpine aquatic invertebrate. *Freshwater Science* 34, 53e65.
- Guevara, G., Godoy, R., & Franco, M. (2017). Linking riparian forest harvest to benthic macroinvertebrate communities in Andean headwater streams in southern Chile. *Limnologica*. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.07.007>
- Hauer, F. R., & Resh, V. H. (2017). *Macroinvertebrates. Methods in Stream Ecology*. Third Edition (Vol. 1). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416558-8.00015-9>
- Herrera, A. (2000). Medidas de afinidad: la Clasificación Numérica Y Su Aplicación En La Ecología, 26–43.
- Kalogianni, E., Vourka, A., Karaouzas, I., Vardakas, L., & Skoulikidis, N. T. (2017). Combined effects of water stress and pollution on macroinvertebrate and fish assemblages in a Mediterranean intermittent river, 604, 639–650. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.078>
- López N., Pol E. & Yucra T., (2017). Impacto del vertimiento de aguas residuales en las comunidades fitoplanctónicas de la zona marino costera de Ilo - Moquegua, 1–312.
- Li, F., Chung, N., Bae, M., Kwon, Y., & Park, Y. (2012). Relationships between stream macroinvertebrates and environmental variables at multiple spatial scales, 2107–2124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02854>.
- Lin, Y., Chen, K., Chen, Q., & Chen, B. (2016). Effect of disturbance on the hydro-environmental factors and macroinvertebrate community in the Lijiang River. *Procedia Engineering*, 154(1), 247–251. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.468>

- Magbanua, F. S., Mendoza, N. Y. B., Uy, C. J. C., Matthaei, C. D., & Ong, P. S. (2015). Water physicochemistry and benthic macroinvertebrate communities in a tropical reservoir: The role of water level fluctuations and water depth. *Limnologica*, 55, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.10.002>.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Maseke, F.O., Muchiri, M., Raburu, P.O., 2009. Macroinvertebrate assemblages as biological indicators of water quality in the Moiben River Kenya. *Afr. J. Aquat. Sci.* 34, 15–26.
- Maseke, F.O., Muchiri, M., Raburu, P.O., 2010. A preliminary benthic macroinvertebrate index of biotic integrity (B-IBI) for monitoring the Moiben River, Lake Victoria, Kenya. *Afr. J. Aquat. Sci.* 34, 1–14.
- Mciver, J. D., & Mcinnis, M. L. (2016). In an Oregon Cattle Effects on Macroinvertebrates Mountain Stream Grazing, 60(3), 293–303.
- Mhlongo, S., Mativenga, P. T., & Marnewick, A. (2018). Water quality in a mining and water-stressed region. *Journal of Cleaner Production*, 171, 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.030>
- Minar, A., Damanik, N., Koen, A., Pieter, L., Dries, B., & Luis, L. (2016). Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologica*. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.01.001>
- Ministerio del Ambiente (2013). MINAM. *Glosario de términos*. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2016). MINAM. *Aprende a prevenir los efectos del mercurio módulo 3: agua y alimento*. Lima.
- Morelli, E., & Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1160–1170. <https://doi.org/10.7550/rmb.45419>
- Morlans, M. C. (2004). *Introducción a la ecología de poblaciones*. Editorial Científica

- Universitaria, 1, 1–170. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales Y Tesis SEA*, 1, 84. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>
- Moya, C., Valdovinos, C., Moraga, A., & Romero, F. (2009). Patrones de distribución espacial de ensamblajes de macroinvertebrados bentónicos de un sistema fluvial Andino Patagónico, 425–442.
- Narangarvuu, D., Hsu, C., Shieh, S., Wu, F., & Yang, P. (2014). Macroinvertebrate assemblage patterns as indicators of water quality in the Xindian watershed, Taiwan. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(3), 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.04.011>
- Nkwoji, J. A., Yakub, A. S., Abiodun, A. O., & Bello, B. O. (2016). Hydrochemistry and community structure of benthic macroinvertebrates in Ilaje coastal waters, Ondo State, Nigeria. *Regional Studies in Marine Science*, 8, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.08.009>
- Ngupula, G.W., Kayanda, R., 2010. Benthic macrofauna community composition, abundance and distribution in the Tanzania and Uganda inshore and offshore waters of Lake Victoria. *Afr. J. Aquat. Sci.* 35, 185–192
- Prat, N., Rieradevall, M., & Fortuño, P. (2012). Metodología F.E.M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos Mediterráneos, 1–44.
- Pamplin, P. A. ., Almeida, T. C. ., & Rocha, O. (2006). Composition and distribution of benthic macroinvertebrates in Americana Reservoir(SP, Brazil). *Acta Limnologica ...*, 18(2), 121–132. Retrieved from [http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Acta Limnologica/Volume 18\(2\)/02_18\(2\).pdf](http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Acta_Limnologica/Volume_18(2)/02_18(2).pdf)
- Peet, R. K. (1974). The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 285-307.
- Rico-Sánchez, A. E., Rodríguez-omero, A. J., López-López, E., & Sedeño-Díaz, J. E. (2014). Patrones de variación espacial y temporal de los macroinvertebrados acuáticos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (México), (62), 81–96.
- Roldán, G. 2003. *Bioindicación de la calidad del agua en colombia: Uso del método*

- BMWP/Col.* Editorial Universidad Antioquia. Medellin, Colombia. 170p.
- Salazar, N.C., Iannacone, Y, Alvariño, S.L., Orozco, R; Miranda, R. (2001). Estructura macrozoobentónica de fondo blando en la bahía de Ilo, Moquegua- Perú. *Wiñay Yachay* 5: 179-192.
- Silva Ramírez, B. (Coord.) y Juárez Aguilar, J. (2013): Manual del modelo de documentación de la Asociación de Psicología Americana (APA) en su sexta edición: México, Puebla: Centro de Lengua y Pensamiento Crítico UPAEP.
- Sinshaw, T. A., & Surbeck, C. Q. (2018). Impacts of social indicators on assessing the recovery potential of impaired watersheds. *Journal of Environmental Management*, 219, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.073>
- Sundermann, A., Antons, C., Cron, N., Lorenz, A.W., Hering, D., Haase, P., 2011. Hydromorphological restoration of running waters: effects on benthic invertebrate assemblages. *Freshwater Biology* 56, 1689e1702
- Strauch, A. M., Kapust, A. R., & Jost, C. C. (2009). Impact of livestock management on water quality and streambank structure in a semi-arid, African ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 73(9), 795–803. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.012>
- Villon, M. (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Lima (Perú).
- Wijesiri, B., Deilami, K., & Goonetilleke, A. (2018). Evaluating the relationship between temporal changes in land use and resulting water quality. *Environmental Pollution*, 234, 480–486. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.096>
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., & Deng, J. (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, 914–922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.293>
- Zhang, X., Xiao, C., Li, Y. 2014. Seasonal variations of the water Quality in the Xinlicheng Reservoir, China. *Advanced Materials Research* 864-867, 2408-2412
- Zhang, Y., Cheng, L., Tolonen, K. E., Yin, H., Gao, J., Zhang, Z., ... Cai, Y. (2018). Substrate degradation and nutrient enrichment structuring macroinvertebrate assemblages in agriculturally dominated Lake Chaohu Basins, China. *Science of the Total Environment*, 627, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.232>

ANEXOS

Anexo N° 1. *Puntajes de las lamillas de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col*

Familias	Putaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae.	10
Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae. Lymnessiidae, Odontoceridae,	
Ollgoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae,	9
Leptophlebiidae. Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae,	8
Palaemonidae,	
Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae	
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae. Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae,	7
Dryopidae,	
Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptillidae, Hydropsychidae,	
Leptohipidae,	
Naucoridae, Notonectidae, Planariidae. Psychodidae, Scirtidae	
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnolibidae,	6
Lutrochidae,	
Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae,	5
Planorbidae.	
Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae,	4
Sphaeriidae,	
Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae	
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae,	3
Tipulidae	
Culicidae, Chironomidae, Muscidae. Sciomyzidae	2
Tubificidae	1

Fuente: Roldán (2003).

Anexo N° 2. Trabajo de campo



Figura 11. Muestreo de macroinvertebrados en la microcuenca del río Ventilla



Figura 12. Muestras de macroinvertebrados en bolsas plásticas para el transporte al laboratorio



Figura 13: Recolección de muestras para análisis fisicoquímicos



Figura 14. Determinación de parámetros fisicoquímicos *in situ*



Figura 16. Medida del ancho del cauce



Figura 15. Medida de la velocidad de corriente con correntómetro



Figura 17. Georreferenciación de estaciones de muestreo

Anexo N° 3. Trabajo de laboratorio



Figura 18. Limpieza de macroinvertebrados



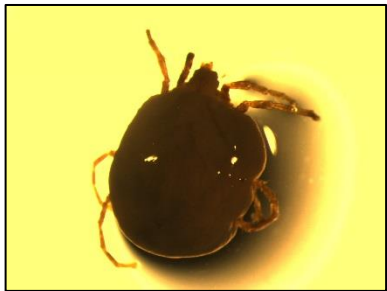



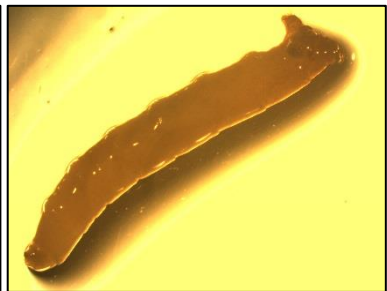


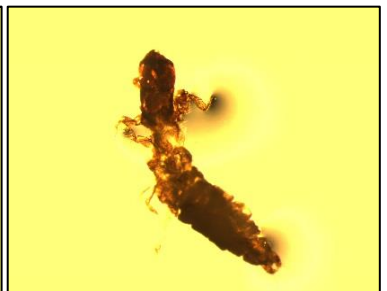
Figura 19. Identificación de macroinvertebrados






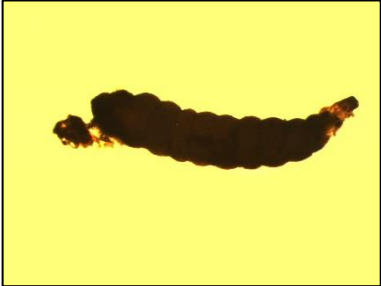
Figura 20. Determinación de dureza de agua

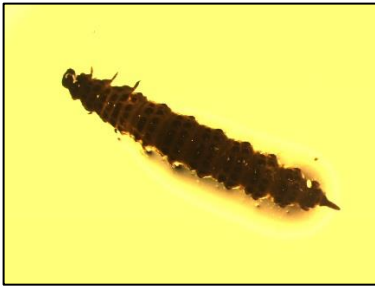
Anexo N° 3. Taxa de macroinvertebrados presentes sólo en la época seca o lluviosa, de muestreo

Época seca

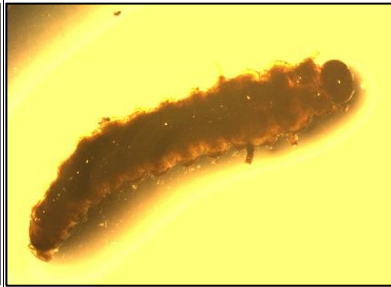
		
<p>Orden: Acari Familia:-----</p>	<p>Orden: Coleoptera Familia: Curculionidae</p>	<p>Orden: Coleoptera Familia: Chrysomelidae</p>
		
<p>Orden: Coleoptera Familia: Scirtidae</p>	<p>Orden: Diptera Familia: Muscidae</p>	<p>Orden: Lepidoptera Familia: Arctiidae</p>
		
<p>Orden: Megaloptera Familia: Corydalidae</p>	<p>Orden: Trichoptera Familia: Hydroptilidae</p>	

Época lluviosa

		
Orden: Coleoptera Familia: Carabidae	Orden: Coleoptera Familia: Dryopidae	Orden: Coleoptera Familia: Hydroscapidae
		
Orden: Coleoptera Familia: Gyrinidae	Orden: Coleoptera Familia: Salpingidae	Orden: Diptera Familia: Ceratopogonidae
		
Orden: Diptera Familia: Epydridae	Orden: Ephemeroptera Familia: Caenidae	Orden: Hemiptera Familia: Veliidae



Orden: Lepidoptera
Familia: Coelophoridae



Orden: Lepidoptera
Familia: Cosmopterigidae



Orden: Odonata
Familia: Aeshnidae



Orden: Polydesmida
Familia:-----