



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

Cambios en la composición de la comunidad de quironómidos
(Díptera:Chironomidae) con relación al uso de suelo.

AUTOR

Carlos Alberto Reyes Escobar

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE QUIRONÓMIDOS
(DÍPTERA: CHIRONOMIDAE) CON RELACIÓN AL USO DE SUELO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesor Guía

PhD. Christian Patricio Villamarín Flores

Autor

Carlos Alberto Reyes Escobar

Año

2018

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Cambios en la composición de la comunidad de quironómidos (Díptera: Chironomidae) con relación al uso de suelo, a través de reuniones periódicas con el estudiante Carlos Alberto Reyes Escobar, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Christian Patricio Villamarín Flores

Doctor en Ecología Fundamental y Aplicada

C.I.: 1002339404

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Cambios en la composición de la comunidad de quironómidos (Diptera: Chironomidae) con relación al uso de suelo, de Carlos Alberto Reyes Escobar, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Blanca Patricia Ríos Touma

Doctora en Estudios Avanzados en Ecología

C.I.: 170711376

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Carlos Alberto Reyes Escobar

C.I.: 1803552759

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Dr. Christian Villamarín, por la oportunidad, por los consejos, por su paciencia y la confianza.

A la Dra. Blanca Ríos-Touma por su ayuda y permitirme utilizar sus datos.

A la Dra. Ana Soto y al Dr. Pedro Jiménez quienes, sin corresponderles, me brindaron una mano, muchas gracias.

A mi hermana, a mi Nico, por todo el apoyo y compañía incondicional.

A Gaby J por su inmensa ayuda en el laboratorio

DEDICATORIA

A mi madre, a mi hermana,
a mi Nico

RESUMEN

La familia Chironomidae es estudiada a nivel mundial por su gran variabilidad y presencia en las diferentes zonas geográficas, no obstante, en América del Sur los estudios todavía son escasos tanto a nivel taxonómico como ecológico. El presente estudio tiene por objeto estudiar la variabilidad de la comunidad de quironómidos en ríos con diferentes tipos y grados de alteración de la zona media (2800 msnm) del río Guayllabamba. Se relacionaron las variables fisicoquímicas y la composición de la comunidad de quironómidos de sitios con alteraciones de origen agrícola-ganadero, urbano y natural. Adicionalmente se analizó la morfometría geométrica de un género de quironómidos, para identificar cambios estructurales relacionados con el cambio del uso del suelo. La familia Chironomidae mostró cambios en su composición en relación al uso del suelo, mostrando cambios significativos en los sitios con influencia urbana. Se observaron las variaciones morfológicas de entre los individuos del género *Parametriocnemus*, género presente en dos sitios estudiados de los ríos Pita y San Pedro. Las diferencias morfométricas mostraron cambios importantes en una de las estructuras bucales, mentón, en los sitios alterados.

Palabras claves: quironómidos, morfología, morfometría, comunidad, uso de suelo, estructuras bucales

ABSTRACT

The Chironomidae family is studied worldwide for its great variability and presence in different geographical areas, however, in South America, studies are still scarce at both the taxonomic and ecological levels. The present study aims to study the variability of the community of chironomids in rivers with different types and degrees of alteration of the middle zone (2,800 meters above sea level) of the Guayllabamba River. The physicochemical variables and the composition of the chironomid community of sites with alterations of agricultural-livestock, urban and natural origin were related. Additionally, the geometric morphometry of a chironomid genus was analyzed to identify structural changes related to the change in land use. The Chironomidae family showed changes in its composition in relation to land use, showing significant changes in sites with urban influence. Morphological variations were observed among individuals of the genus *Parametrioctenemus*, genus present in all studied sites of the Pita, San Pedro, and Machángara rivers. The morphometric differences showed important changes in one of the oral structures, mentum, in the altered sites

Key words: chironomids, morphologic, morphometric, community, land use, buccal structures.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Alcance	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Características ambientales de los ríos altoandinos de la CARG	6
2.1.1 Ríos altoandinos conservados	8
2.1.2 Ríos altoandinos intervenidos.....	9
2.2 Macroinvertebrados	12
2.2.1 Quironómidos.....	13
2.3 Cambios morfológicos provocados por la contaminación en los organismos acuáticos	17
2.4 Morfometría geométrica	18
3. METODOLOGÍA	21
3.1 Área de estudio.....	21
3.2 Muestreos.....	22
3.2.1 Puntos de muestreo.....	23
3.2.2 Muestreos de agua	24
3.2.3 Muestreo de macroinvertebrados.....	24
3.3 Identificación de la comunidad Chironomidae	25
3.4 Montaje de las subfamilias para la identificación de género.....	26
3.5 Morfometría geométrica	28

3.5.1 Fotografías.....	29
3.5.2 Colocación de hitos.....	30
3.6 Análisis estadísticos.....	31
3.6.1 Muestreo de agua.....	31
3.6.2 Identificación de la comunidad Chironomidae.....	31
3.6.3 Composición de la comunidad de los quironómidos con relación a las características ambientales	32
3.6.4 Morfometría geométrica	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 Usos de suelo en los sitios de estudio	33
4.2 Características fisicoquímicas de los ríos	34
4.3 Estructura y composición de la familia de quironómidos	38
4.4 Composición de la comunidad de los quironómidos con relación a las características ambientales.....	41
4.5 Cambios morfométricos del género Parametrioconemus	42
4.6 Discusión	46
5. CONCLUSIONES.....	49
REFERENCIAS	51
ANEXOS	57

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los bioindicadores son en la actualidad herramientas básicas para el análisis de problemas ambientales ya que brindan el mayor nivel de confianza dado que cuentan con una valorización, reflejando las diferentes tolerancias ante la degradación ambiental (Erdős, *et al.*, 2017), convirtiéndose en un instrumento eficaz ante la evaluación de las causas del daño ambiental y el efecto de estas sobre el ecosistema. Estos bioindicadores no solo verifican los estudios fisicoquímicos, tienen la capacidad de refutarlos o acreditarlos, demostrando ser valiosos para la ciencia en general, así como también la para la biología de la conservación (Dauvin, *et al.*, 2017).

La determinación de impactos ambientales abarca un sin número de factores y parámetros que pueden ser tomados en cuenta para una evaluación, debido a que no siempre se puede considerar los mismos parámetros en un sitio a otro. Las comunidades de ecosistemas acuáticos han sido estudiadas como bioindicadores, no solo por la sustancial importancia del agua dulce, sino que también por la brecha de estudios insuficientes con el fin de aumentar el conocimiento de las especies (Prat, *et al.*, 2017) y de esta manera la conservación de estos ecosistemas. Derivados de estos estudios se identificaron a varias familias de macroinvertebrados, las cuales se las puede catalogar como bioindicadores, ya que nos dan una visión global del estado del ecosistema en función de su tolerancia a los cambios antrópicos en el medio (Prat, Ríos-Touma, Acosta, & Rieradevall, 2006). Durante la trayectoria del río suceden diversos cambios tanto físicos, químicos y ecosistémicos, repercutiendo en los requerimientos y oportunidades para los organismos, lo que deriva en cambios fisiológicos, comunitarios y de abundancia (Acosta & Prat, 2009; Paggi, 1999). Esto sucede en ríos tanto en buen estado como en aquellos que sufren alteraciones directas, debido a vertidos realizados por la ocupación humana, donde sus descargas provocan cambios drásticos en el medio, afectando a toda la biocenosis (Puntí, Rieradevall, & Prat, 2009).

La familia de dípteros Chironomidae, tiene una gran distribución en las diferentes zonas geográficas del mundo (Cranston, M, 1995; Cañedo-Argüelles, Bogan, Lytle, & Prat, 2016). En el Neotrópico y Sudamérica su información es escasa (Acosta & Prat, 2010), sin embargo, esta familia con su gran variedad de géneros y especies, ha sido estudiada con mayor profundidad en el hemisferio norte del globo, donde se la ha usado como bioindicador para monitoreo de ríos y sistemas de agua dulce (Acosta, Reos, Rieradevall, & Prat, 2008). En Sudamérica se han realizado varias investigaciones sobre la familia Chironomidae en diferentes campos de estudio. Gracias a varios investigadores dedicados al estudio de esta familia se han desarrollado claves taxonómicas para nuestra región (Ecuador, Colombia y Perú) para la identificación de estos organismos, que lamentablemente solo ha podido ser identificada hasta nivel de género (Villamarín, *et al.*, 2012; Gonzales-Trujillo, *et al.*, 2014). Son escasos los trabajos realizados específicamente con quironómidos en la región.

En el país, uno de los trabajos realizados en el DMQ, estudio la distribución altitudinal y diversidad en ríos de esta familia, con rangos altitudinales extensos (1000 a los 3633 msnm) y de nueve microhábitats en los 37 sitios de muestreo llegando a identificar hasta nivel de género (Mejía, Villamarín, & Villamarín, 2014). Asimismo, en Ecuador estudios realizados en otros ríos (Mira, Aguarico, Guayas y Pastaza), en los que se ha analizado la variabilidad, estructura y composición de la familia Chironomidae hasta nivel de género sobre los 2000 msnm, esta investigación se realizó en ríos andinos tropicales del norte del Ecuador a los cuales se los selecciono según su grado de alteración con poca intervención y de referencia, mostrando así mismo que la latitud y la heterogeneidad del hábitat determinaban la distribución de estos insectos (Villamarín, 2014). En Perú, se estudió los conjuntos de quironómidos y sus variaciones dentro de la comunidad en un rango altitudinal entre 4396 hasta los 2553 msnm en sitios con ninguna y poca perturbación humana, de esta manera se reconoció los rangos altitudinales en los que varios géneros se encuentran presentes y en cuales no (Acosta & Prat, 2010). Esto manifiesta que falta

recabar información taxonómica y ecológica, quedando aún mucho por estudiar.

Por otro lado, investigaciones enfocadas en reconocer los efectos que sufren estos quironómidos debido a un xenobiótico son varios en Sudamérica. La Dra. Analía Paggi (1999) realizó una de las primeras publicaciones en Sudamérica sobre este tema, describiendo brevemente en su publicación “Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas”, las malformaciones que se han detectado en individuos, de diversos géneros de la familia *Chironomidae*, expuestos a contaminantes organoclorados, metales pesados y petroquímicos en trabajos realizados fuera de Sudamérica en esta época por Warwick (1992), Hudson (1993) y Gerhardt (1995). Sin embargo, en Bolivia paralelamente que Paggi se ha investigó la acumulación de metales pesados en quironómidos y sedimentos provocados por la minería, mas no se analizó los cambios en el fenotipo de esos individuos (Bervoets, Solis, Romero, Damme, & Ollevier, 1998).

Recientemente, en Brasil se ha investigado, mediante trabajos de laboratorio, la determinación de los factores que alteran la bioquímica de *Chironomus sancticaroli* (Diptera, Chironomidae) sometiéndolos a varios cambios, como de temperatura y estrés alimenticio, que como resultado presentaron variaciones en la fisiología del sistema nervioso y en el metabolismo que pudieron ser detectados a nivel enzimático (Rebecchi & Navarro-Silva, 2012). Internacionalmente, se ha estudiado con gran amplitud los cambios morfológicos y deformidades en las estructuras craneales de los individuos de la familia Chironomidae.

En muchos casos, géneros específicos como *Cricotopus riparius* han sido analizados ante la exposición a diferentes xenobióticos, sedimentos contaminados con metales pesados, o metabolitos compuestos aromáticos policíclicos mutagénicos, tanto en trabajos en campo como en laboratorio; estas investigaciones han demostrado las relaciones causa efecto de las deformidades de las partes bucales ante los ecosistemas intoxicados (Di Veroli, *et al.*, 2014). Los autores mencionan que con su experimentación encontraron

cambios subletales en los individuos, especialmente con el cobre, ya que estos mostraron no solo cambios en sus capsulas cefálicas al ser montadas, sino que además se pudo visualizar cambios fisiológicos y metabólicos en el desarrollo de los organismos. Todos estos trabajos mencionados establecen un campo de estudio muy importante para el desarrollo de conocimiento, la generación de herramientas para el análisis de deformaciones, y la discusión sobre los cambios en los individuos para la identificación taxonómica.

1.2 Alcance

El presente estudio busca correlacionar los factores fisicoquímicos del agua y la composición de los géneros de Chironomidae con el uso de suelo, ubicándose dentro de tres ríos de la zona sur de la cuenca alta del río Guayllabamba CARG (San Pedro, Machángara, y Pita), en el que abarca únicamente el rango altitudinal de 2700 hasta los 2800 sobre el nivel del mar. Se determinarán los cambios en la comunidad de Chironomidae de acuerdo con su ubicación, en zonas con poca y alta influencia antropogénica de la CARG.

En ese contexto, se ha utilizado un grupo de muestras recolectadas previamente en época seca, parte de una investigación más profunda sobre la Calidad Ecológica y Microbiológica de la Cuenca del Guayllabamba (Ríos-Touma & Guerrero Latorre, 2016). Al limitar el rango altitudinal se establecieron seis sitios de muestreo para identificar sus géneros de la familia Chironomidae de lechos tributarios y cauces principales de los ríos ya mencionados. A partir de estos datos, se analizó la información geográfica que influye sobre la comunidad, catalogando en usos de suelo sencillos (3 categorías), en conjunto con los componentes fisicoquímicos para representar los cambios morfológicos provocados en los géneros que se encuentren en todos los lugares de recolección, para de esta manera comparar estas diferencias entre los distintos usos de suelo.

1.3 Justificación

La importancia de mantener la integridad ecológica y biológica no solo aporta a que el ecosistema luzca sano, quiere decir que su capacidad de resiliencia se mantendrá de tal manera en la que se podrá seguir aprovechando de los recursos. Para ello, el análisis físico químico de las áreas naturales afectadas no es suficiente, este proyecto de investigación procura en realizar la evaluación física química en conjunto con el análisis biológico y del uso del suelo de la cuenca del río Guayllabamba con el fin de no solo ubicar zonas de mayor contaminación, sino que además conocer los efectos de esta perturbación sobre los quironómidos.

Además, la biodiversidad es importante para la salud del ecosistema, pero también el generar conocimiento con estos insectos, su conglomerado de capacidades, su ubicación en todas las zonas geográficas hace de ellos candidatos propicios para la investigación, de esta manera conocer los cambios morfológicos que sufren según las alteraciones humanas y variaciones naturales (Prat, 2017). Ya que el conocimiento taxonómico de esta familia es escaso en la región y en Sudamérica son poco los trabajos en donde se ha recuperado todos los taxones de Díptera: Chironomidae (Donato, 2008) donde la mayoría solo llega a identificar a nivel de subfamilia con la utilización de estos individuos (Acosta, 2009; Villamarín, 2014; Mejía, *et al.*, 2014). Además que se utiliza a toda la comunidad de macroinvertebrados acuáticos para la determinación del estado ecológico de una cuenca hidrográfica, haciendo necesario la utilización de diferentes herramientas para su identificación hasta especie, sin embargo, las interacciones humanas generan cambios repentinos en los ecosistemas generando pérdida de información, mencionando nuevamente que esta familia aún no es completamente conocida en el neotrópico (Cortelezzi, Paggi, Rodríguez & Rodrigues, 2011).

A nivel mundial no solo se utiliza un género o especie de quironómido como bioindicador, según los requerimientos y zona geográfica en la que se encuentre el individuo bioindicador va a ser diferente, en el Ecuador el CERA-S (Encalada, *et al.*, 2011) utiliza un género *Chironomini* *Chironomus* sp de la

familia en cuestión como parte de los individuos que soportan mayor contaminación y por lo tanto obtiene una menor calificación para la valoración ecológica de un sitio. En el mismo trabajo, se explica que en zonas de gran intervención minera y urbanas no se han encontrado taxas de familias Chironomidae y Oligochaeta, lo que demuestra la pérdida de biodiversidad que provocan los efectos antropogénicos inclusive en los individuos más tolerantes. Siendo así necesario la investigación de la todo el ensamblaje de especies de la familia Chironomidae, desarrollando herramientas que ayuden a su identificación taxonómica.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Identificar las variaciones de la comunidad de quironómidos en relación a los usos del suelo en la CARG.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la variabilidad de los factores fisicoquímicos y biológicos en la CARG.
- Correlacionar los cambios ambientales con los cambios morfológicos de la comunidad de quironómidos

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Características ambientales de los ríos altoandinos de la CARG

Los ríos andinos de la cuenca alta del río Guayllabamba y del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), se caracterizan por poseer una elevada heterogeneidad ambiental y alta biodiversidad (Oleas, Ríos-Touma, *et al.*, 2016). Por otro lado, existe el conocimiento que estos sistemas hídricos tienden a tener variaciones en parámetros físicos, químicos y ecosistémicos (temperatura, pH, caudal, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, especies de plantas y animales), donde la diferencia altitudinal de la cordillera es el

factor que determina la variación de los parámetros bióticos y abióticos de los ríos altoandinos (Villamarín, Prat, Rieradevall, 2014). Conocer la variación que existe en los factores fisicoquímicos de los ríos inciden en el poder que ejerce sobre la biodiversidad en distintos niveles espaciales, al no tener los conocimientos de estos factores obstaculiza conocer el patrón de la distribución de los organismos (Villamarín, *et al.*, 2014).

Estos ríos de la CARG tienen un amplio rango altitudinal que va desde sus nacientes a los 4875 msnm hasta desembocar en los 100 msnm en el río Esmeraldas. Las riberas tienen gran contenido de diversidad biológica, sin embargo, estas pueden variar según el piso bioclimático, zona geográfica y altitud en la que se encuentre. Los ríos de esta investigación se encuentran en la zona de Montano Bajo (De la Torre, 2008) dentro de las cotas de 2000 a 3000 msnm. Dentro de esta zona se puede encontrar varios climas: templado subandino, templado interandino, frío andino, y gélido andino (Villamarín, 2014). El clima predominante en nuestro rango altitudinal para esta investigación es el templado interandino, temperaturas de 18 a 22 °C en el día y de noche temperaturas de hasta 0 °C. Con lo cual, existe una vegetación preponderante de bosque montano; desde arbustos como la Chilca (*Baccharis latifolia* y *Baccharis sp.*), espino (*Byttneria ovata*), árboles como el Pumamaqui (*Oreopanax sp.*) y especies introducidas como el pino (*Pinus radiata*) y el eucalipto (*Eucalyptus sp.*) en conjunto con una gran diversidad más de especies comunes, raras, nativas e introducidas se encuentran en las riberas y cuencas de los ríos de la CARG y el DMQ (Mejía, *et al.*, 2014). En este tipo de ecosistema tanto el bosque de ribera como los usos de suelo son muy variados, la influencia antropogénica ha provocado que la presencia de especies animales y vegetales se sitúen en zonas muy limitadas y se han mantenido casi intactas al ser de difícil acceso (Oleas, Ríos-Touma, *et al.*, 2016).

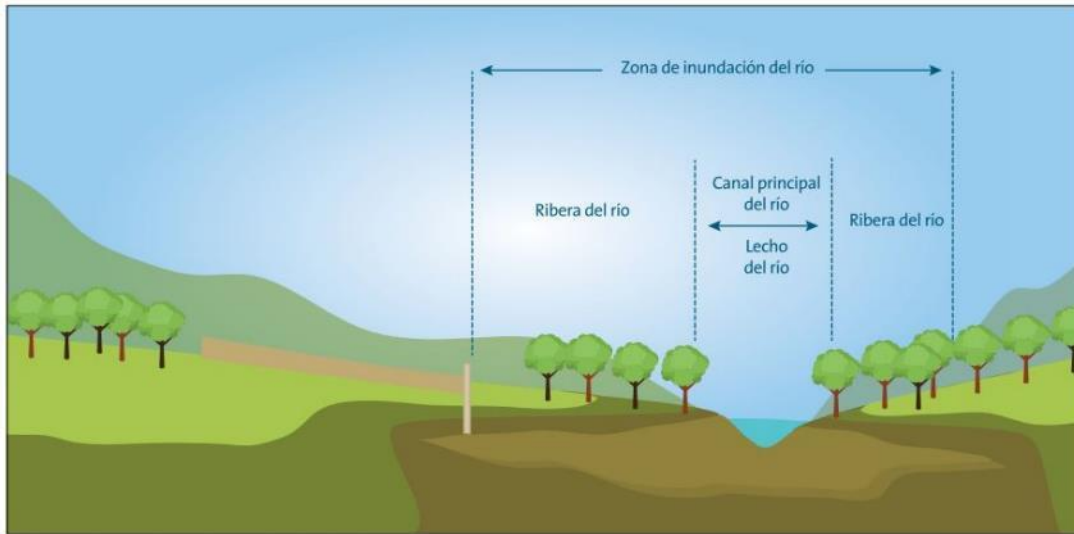


Figura 1: Imagen representativa de las partes de ecosistema fluvial típico de los Andes ecuatorianos.

Tomado de: Encalada, *et al.*, 2011

2.1.1 Ríos altoandinos conservados

La función que cumplen los ríos altoandinos es fundamental para los ecosistemas acuáticos al desempeñar funciones como: ser reservorios, mitigación y depuración de los ecosistemas (Encalada, *et al.*, 2011). Los ecosistemas fluviales son únicos debido a que cumplen un sinnúmero de funciones ecológicas, y no está por demás mencionar los servicios ambientales que brindan al ser humano (Prat, *et al.*, 2017). Por otro lado, se considera un río altoandino natural a los cauces que aún conservan sus zonas de ribera. El bosque de ribera es de suma importancia para un río ya que este provee de materia orgánica al cauce, recicla y retiene nutrientes, brinda sombra que cambia la temperatura del lecho en el transcurso del día, forma microhábitats esenciales para fauna y biota acuática, fija gracias a las raíces los bancos de los ríos, además, es la zona de transición para las aguas de escorrentía (Oleas, Ríos-Touma, *et al.*, 2016).

El protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos altoandinos (CERA) (Acosta, *et al.*, 2009) indica las siguientes recomendaciones para determinar si un río está conservado y puede ser utilizado como sitio de referencia, se debe considerar lo siguiente:

- 1. Áreas para realizar observaciones:** Se deben seleccionar áreas en las cuales puedan estar siendo intervenidas por actividades antrópicas, como deforestación, derrames, basura, entre otros, también se deben seleccionar áreas en cuáles se considera que el agua se limpia y clara, con abundante cobertura vegetal y presencia de fauna terrestres y acuáticos, con finalidad de comparar las condiciones del recurso hídrico. Seleccionadas previamente con cartografía específica.
- 2. Selección del tamaño de tramo:** Se recomienda seleccionar un tramo de al menos 10 kilómetros con diversos puntos de muestreo que dependerán del tipo de investigación que se esté realizando.
- 3. Recorridos:** Se deben realizar por lo menos dos recorridos anuales del área seleccionada para el análisis, debido a los cambios de estaciones del clima, por ende, las condiciones del río pueden verse afectadas.
- 4. Reconocimiento de la cuenca:** Se realiza este recorrido para tener conocimiento de las actividades que se pueden estar desarrollado en la tierra que se encuentra cerca del río, posibles problemas ambientales que están ocurriendo o que puedan suceder. Se considera principalmente las características que se mencionan a continuación:
 1. Vegetación de la orilla
 2. Variedad de fauna y flora
 3. Presencia de cultivos cercano al río
 4. Existe actividades ganaderas cercanas al río
 5. Tipo de flujo del río
 6. Presencia de olores
 7. Presencia de basura, troncos que causen flujos o pozas en el agua
 8. Existencia de derrumbes o bancos

2.1.2 Ríos altoandinos intervenidos

Históricamente las zonas aledañas de los ríos han sido lugares propicios para los asentamientos humanos, convirtiéndose en lugares para la agricultura, la cría de animales, la industria y la urbanización (Acosta, *et al.*, 2009). La mayoría de las ciudades en el Ecuador está asentada dentro del área de

drenaje de un río, convirtiendo así, poco los sitios, dentro del rango altitudinal de un río interandino, en los que se mantenga un bosque de ribera bien conservado. Ya que, debido al crecimiento de las urbes, y la necesidad de generar terrenos para obtener más alimento, provocaron cambios graves en los paisajes alterando directamente la biota natural preexistente y el espacio físico (Oleas, Ríos-Touma, *et al.*, 2016).

El uso de suelo representa la ocupación de una determinada superficie, basándose en la capacidad agrológica y el potencial de desarrollo, por ende, se clasifican las superficies de acuerdo con la ubicación (urbano o rural). La potencialidad de las superficies, como bien se sabe es considerado un elemento fundamental para el crecimiento de una ciudad y las personas que la habitan (Leal del Castillo, 2010).

El nivel ecológico del suelo está en constantes interacciones con factores abióticos, como: el clima, el agua y elementos geoquímicos provenientes de la corteza terrestre, de la misma manera se encuentra sujeto a intercambios con los factores bióticos, fauna, flora y antropogénicos (Soeáñez, 1999). Por otro lado, el suelo siempre se encontrará en una dinámica que está sujeta a las actividades antrópicas, viéndose intervenido o afectado principalmente los treinta primeros centímetros del suelo, creándose una capa pequeña, de un recurso limitado (Porta, 2013).

Como se mencionó anteriormente las actividades antrópicas han venido causando daños ambientales en el recurso suelo, debido a la presión que genera por las actividades que se han desarrollado por las personas. En el Ecuador esto se da principalmente por la expansión de la frontera agrícola, crecimiento de plantaciones agroindustriales, deforestación, expansión de las actividades urbanas afectando de forma directa el suelo (SOT, 2017). En cuanto a la contaminación por los productos químicos generados principalmente por las industrias: textileras, metalúrgicas, curtido de pieles, industria química y de petróleo, causan deforestación y daños ambientales, muchas veces irreversibles en el recurso suelo y aguas subterráneas. En cuanto a generación de desechos en las urbes, se tiene datos de la década

pasada de aproximadamente 0.54 kg, de ello se estima que las industria son las principales fuentes de generación, aportando con 35840 toneladas de desechos peligrosos, de ellos se sabe que el 56% no tiene un tratamiento previo a su disposición final.

Las actividades agropecuarias, han generado afectaciones por la expansión de las actividades agrícolas, entre los años 1998 y 2007 la frontera agrícola tuvo un crecimiento de 4.3 millones de hectáreas, tan solo 9 años. De acuerdo con datos del MAE/MAGAP se indica que, en el año 2007, el 12% de dicha superficie sufrió altos índices de degradación, denominándose “*erosión severa*”.

Tabla 1.

Información de los recursos forestales en el Ecuador.

Información Forestal Ecuador	Superficie (has)	A (%)	B (%)
Sistema Nacional áreas protegidas	4669.871	40.13	17.25
Bloques y vegetación protectora	2391.029	20.54	8.83
Patrimonio forestal del Estado	19000	16.32	7.02
Otros bosques naturales privados	2512.1	21.59	9.28
Subtotal bosques naturales	11473	-	-
Plantaciones	165	1.42	0.01

NOTAS. A: Participación del patrimonio forestal; B: Participación en el territorio nacional

Tomado de GeoEcuador, 208, p. 86

Las instituciones como la FAO y CAF indicaron en al año 2000 que las importaciones de insumos para actividades agrícolas han ido en aumento, esto ha sido relacionado con el deterioro del suelo por el incremento de la frontera agrícola. Se conoce que el año 2000 existieron importaciones de productos de uso agrícola valorados en 212.4 millones de dólares, para el año 2006 existió un incremento se valoró en 380.45 millones de dólares, describiendo este incremento de compra de insumos, en una expansión de la frontera agrícola, demostrando la necesidad de mejorar las actividades agrícolas y por ende existen desgastes de los suelos (IICA, 2012).

2.2 Macroinvertebrados

De acuerdo con Oscoz (2009), los macroinvertebrados son organismos vivos que pueden ser vistos sin utilizar algún tipo de instrumento óptico de aumento. El ciclo de vida de estos macroinvertebrados se desarrolla en su mayoría habitando en un medio acuático. Además, los macroinvertebrados son sensibles a las alteraciones que suceden en los ríos, es por ello que son considerados indicadores biológicos, demostrando sensibilidad a los cambios que pueden suceder en los medios acuáticos, como son cambios fisicoquímicos y/o hidro morfológicos (Paggi, 1999).

Los macroinvertebrados acuáticos han sido considerados como una herramienta para determinar la calidad del agua, pero no todos los organismos acuáticos son figurados como bioindicadores. Debido a la adaptación a distintos entornos ambientales y tolerancias, con límites geográficos o antropogénicos, tienen sensibilidad a los efectos de las alteraciones que sufre su entorno más próximo en donde ellos viven (Giacometti & Bersosa, 2006).

Se han desarrollado índices específicos para nuestra región, como son el Índice Biótico Andino (ABI) (Ríos-Touma, *et al.*, 2014), el Índice Multimétrico del Estado Ecológico para Ríos Altoandinos (IMMERA) (Villamarín, *et al.*, 2013), y el índice BMWP-COL (Biological Monitoring Working Party) de Roldan-Pérez (2016), estas herramientas han sido modificadas para ser utilizadas en la región, con las cuales se determina el estado y la calidad ecológica bajo diferentes parámetros, analizando en conjunto a la comunidad acuática

Los macroinvertebrados pueden ser larvas de insectos como libélulas, chinches, moscas de aliso, ellos inician su vida dentro del agua, luego rescinden fuera de este medio acuático (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014). Los macroinvertebrados viven en: hojas que flotan, troncos en descomposición, lodo, arena del fondo de un río, en especial de bajo de las rocas, donde existe mayor corriente de agua, también se los ha encontrado en lagos, y agua estancada. En cuanto a la alimentación, los macroinvertebrados pueden subsistir con: plantas acuáticas, algas, otros invertebrados, restos de comida en estado de descomposición, animales muertos en descomposición, y

elementos nutritivos (Carrera y Fierro, 2001). El norte de los Andes, de la zona altoandina tropical, ubicada desde el sur de Perú hasta el Norte de Colombia, se origina un descenso de la biodiversidad de los macroinvertebrados acuáticos, debido a la altitud y la ausencia de estaciones climáticas de la cordillera (Prat, González, Ospina, 2014).

2.2.1 Quironómidos

Los miembros de la familia Chironomidae son moscas (orden Díptera) (Armitage, Cranston & Pinder, 1995). Son de los pocos insectos ampliamente distribuidos y frecuentemente los más abundantes en hábitats de agua dulce. (Epler, 2001). Bajo ciertas condiciones, como niveles bajos de oxígeno disuelto, las larvas de quironómidos pueden ser los únicos insectos presentes en los sedimentos (Prat, *et al.*, 2014). Algunas larvas en estadios larvarios jóvenes e inmaduros han explotado los extremos de la temperatura, el pH, la salinidad, la profundidad, la velocidad de la corriente y la productividad (Prat, *et al.*, 2014). Los quironómidos viven en las áreas glaciares de las montañas más altas, incluso a altitudes de hasta 5600 m en el Himalaya y están activos a temperaturas de -16 ° C (Armitage, *et al.*, 1995) Frecuentemente, en su etapa de larvas los quironómidos viven en los sedimentos de los ríos, su alimentación se basa en microfauna y materia orgánica (Konig, Santos, 2013). Su distribución se basa en los factores de: temperatura y régimen de las corrientes, ya que son los responsables indirectamente de la disponibilidad de sustrato y disponibilidad de su sustento alimenticio en los lodos que habitan (Tejerina, Molineri, 2007, p. 170).

2.2.1.1 Quironómidos como bioindicadores

Esta familia es de las más abundantes y diversas de macroinvertebrados acuáticos (Sánchez-Millarvela, *et al.*, 2009). En el mundo se estima que existen entre 10.000 y 15.000 especies de quironómidos (Armitage, *et al.*, 1995). Este grupo de macroinvertebrados son asociados al reciclaje de nutrientes de los sedimentos y la transformación de la materia orgánica (Konig, Santos, 2012, p.976). Su tolerancia a factores de estrés hace que muchas veces sean

prácticamente los únicos macroinvertebrados en ambientes muy eutrofizados. Debido a estas capacidades, dada su gran distribución y, donde ciertas especies de quironómidos han sido utilizadas para desarrollar índices para monitorizar el estado ecológico de sistemas que se ven afectados por diversas fuentes de estrés (Sánchez-Millarvela, *et al.*, 2009). Según Paggi (1999) parte de esta familia funcionan como indicadores de aguas con mediana y de baja contaminación ambiental, mediante el análisis de exuvias púpales, con el fin de comparar los resultados de las asociaciones de las especies de macroinvertebrados (bioindicadores) con valores químicos, de ellos se lograron realizar listas de taxa que se relacionan con factores ambientales en específicos. Si bien es cierto, este grupo aun presenta varias dificultades taxonómicas, especialmente en las larvas de quironómidos (Donato, *et al.*, 2008). Esto ha condicionado que su identificación sea de baja resolución, provocando también que la mayoría de los índices biológicos para la determinación de la calidad del agua basados en macroinvertebrados considere los quironómidos a nivel de familia, hasta nivel de género en la región según el protocolo de evaluación de la calidad (Acosta, *et al.*, 2009).

2.2.1.2 Distribución de los quironómidos

De acuerdo con el estudio de Paggi publicado en 2003, en el año 1954 se realizaron investigación de la distribución de distintas comunidades de especies de Quironómidos, determinando a los géneros *Orthoclaadiinae*, *Diamesinae* y *Prodiamesiane*, como predominantes en los arroyos de las zonas altas de montaña de Alemania (Thienemann, 1954). Estudios posteriores demostraron que los géneros y las abundancias disminuyeron en un 30% en los arroyos fríos de tierras bajas, en los ríos de llanura disminuyeron en un 40%, mientras que las Chironomii aumentaron de un 10% a un 43% (Lindegard, & Brodersen, 1995). Por otro lado, en las cabeceras de los ríos altos, predominan las especies fitófagas como: *Diamesinae* y menor altura algunas especies de *Orthoclaadiinae* (Fittkau, 1986).

En la región tropical, específicamente en América del Sur, tienden a predominar tres subfamilias de los quironómidos: *Tanypodinae*, *Orthoclaadiinae*

y la más amplia *Chironominae*. En su mayoría todas las especies anteriormente mencionadas son carnívoras, mientras que otro grupo son las detritívoras y otras filtradoras. Se conoce que los géneros de la subfamilia de *Orthoclaadiinae*, que son fitófagas en zonas frías y templadas, cambiaron sus condiciones por las distintas características de la Amazonía, en especial los cursos de agua que contienen grandes cantidades de sólidos suspendidos lo que impide un desarrollo de vegetación que se encuentra bajo el agua, evitando la existencia de sustratos duros, lo que implica que solo se pueden encontrar *Orthoclaadiinae* que se alimentan de algas (Paggi, 2003).

2.2.1.3 Estado taxonómico de la fauna de los quironómidos

El entomólogo inglés Frederick Wallace Edwards en el año 1931 publicó en el libro "*Diptera of Patagonia and South Chile*", en el que describió 71 especies de la familia Chironomidae. Luego en el año 1953-54, el sueco Brudin visitó los ríos andinos, desde Bolivia hasta Tierra del Fuego, con ello recolecta varias especies de macroinvertebrados y realizó un estudio de la biogeografía de América del Sur, haciendo énfasis en las subfamilias *Aphoteniinae*, *Diamesinae* y *Podominae*, describiendo a 66 nuevas especies para la Patagonia. En la actualidad existen 11 subfamilias de los *Chironomidae*, de las cuales 10 se encuentran en América del Sur, a nivel genérico 111 géneros están en América del Sur (Donato, Massaferrero y Brooks, 2009). En las figuras expuestas a continuación (fig. 3, 4, y 5) se puede visualizar la dinámica de la diversidad dentro de la familia Chironomidae, con la gran cantidad de subfamilias, géneros y especies conocidas y por conocer.

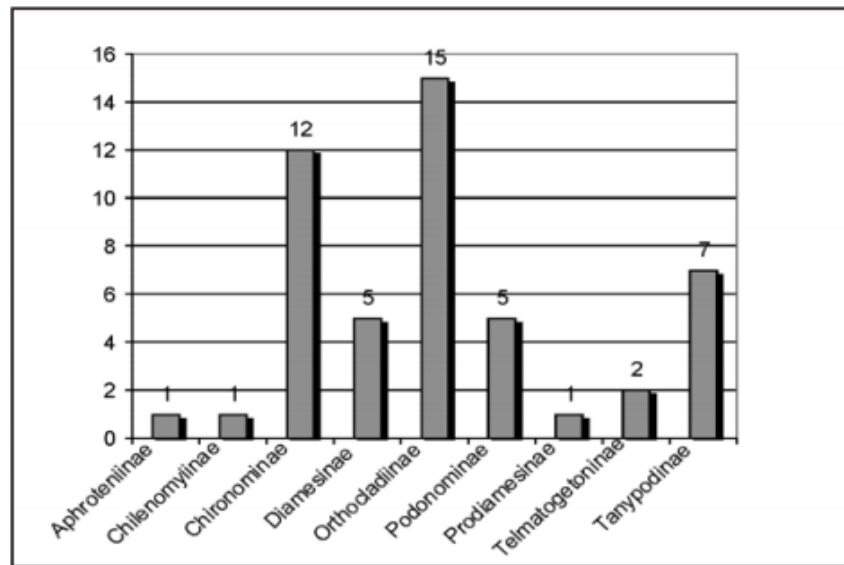


Figura 2: Subfamilias de la familia Chironomidae.

Tomado de Donato, Massaferró y Brooks, 2009, p. 190

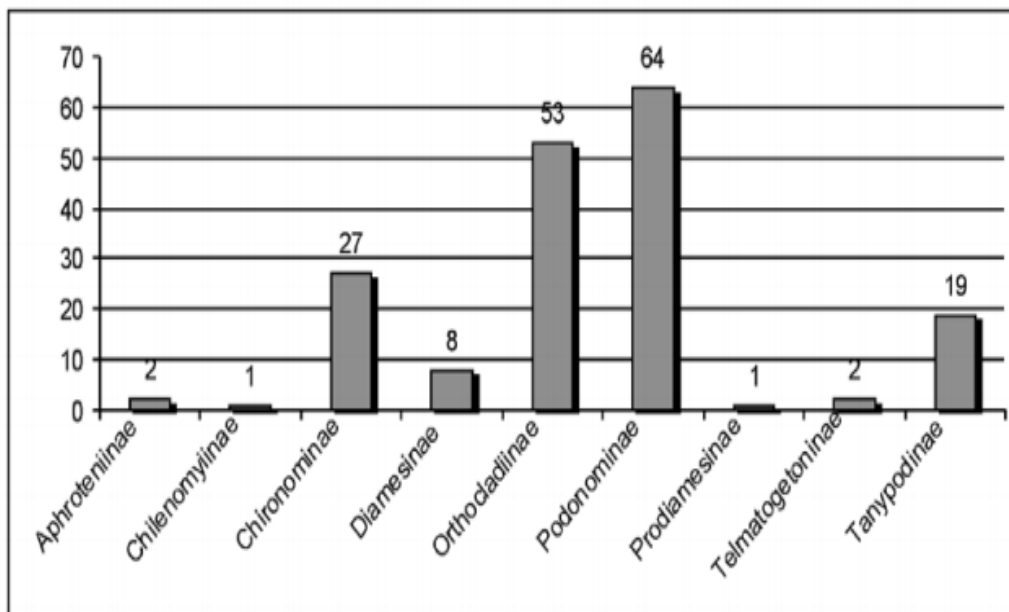


Figura 3: Número de especies de las subfamilias de la familia Chironomidae.

Tomado de Donato, Massaferró y Brooks, 2009, p. 190

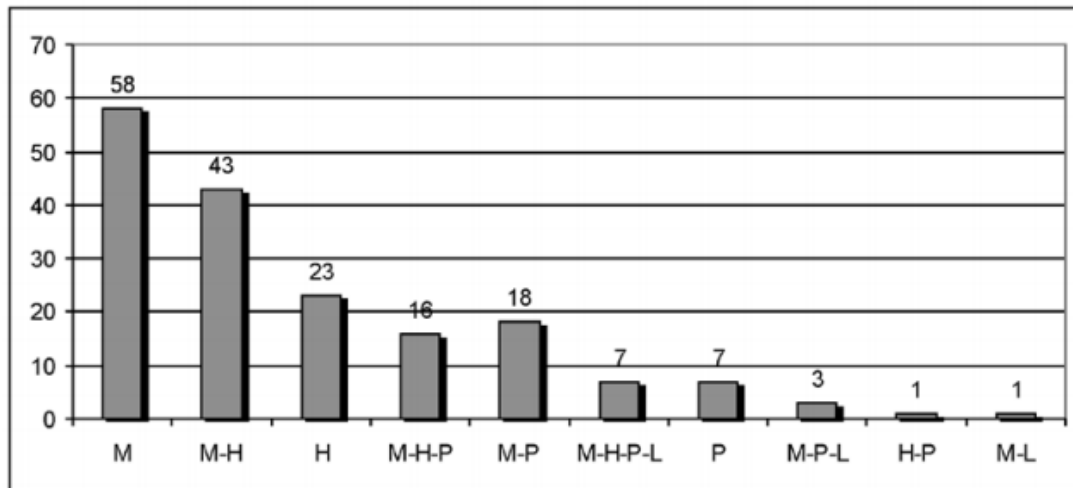


Figura 4: Frecuencia de los estados del ciclo biológico encontrados para las descripciones de Chironomidae en la Patagonia, M= macho, H= hembra, P=pupa, L= larva.

Tomado de Donato, Massaferrero y Brooks, 2009, p. 190

2.3 Cambios morfológicos provocados por la contaminación en los organismos acuáticos

Los cambios morfológicos pueden suceder de manera natural en un individuo, esto dependerá de su estado de maduración (Di Veroli, *et al.*, 2012). Especialmente, en los insectos, quienes durante su vida tienen diferentes estadios larvarios hasta llegar a su forma morfológica definitiva. Sin embargo, estos cambios pueden ser influenciados por los factores externos en donde se encuentre ese individuo, es decir los efectos que ejercen sobre él las condiciones ambientales (Armitage, *et al.*, 1995).

La familia de los quironómidos vive en agua dulce, es considerado un organismo bastante común y distribuido en todo el globo, se lo utiliza como un indicador de calidad ambiental y para algunas pruebas de toxicología (Prat, *et al.*, 2006; Rebecchi-Baggio, *et al.* 2016). En los ensayos de niveles tóxicos se consideran las deformidades morfológicas, como las piezas bucales de estos individuos, siendo objetos importantes en la evaluación de los ecosistemas de los recursos hídricos (Di Veroli, *et al.*, 2014).

De acuerdo con un estudio de Di Veroli et al., (2014), se realizaron comparaciones entre los sedimentos de metales pesados y las deformaciones de los quironómidos, exponiendo los quironómidos en estado de larva a sedimentos contaminados de manera artificial, al finalizar el experimento se observaron deformaciones bucales en las larvas *Cricotopus riparius*, los cuales fueron recolectados en un río que estuvo en contacto con un área de actividad ganadera. Este estudio reflejó las relaciones entre las concentraciones de sedimentos metálicos y las deformidades de la parte bucal del quironómido, destacando estas deformidades como puntos finales de toxicidad. Otros trabajos realizado anteriormente habían ya concluido de igual manera mostrando la incidencia de la deformidades al reflejar de mejor manera la toxicidad de los sedimentos que un análisis químico (Di Veroli, et al., 2012). Las deformidades nos pueden mostrar signos de estrés ambiental, varias investigaciones han señalado a diferentes compuestos tóxicos como responsables (Cobo, 1999). Estas variaciones morfológicas de los organismos no solo indican estrés ya que estas ocurren antes de que se pueda visualizar los efectos de otros parámetros indicadores de alteración, como la fecundidad o la supervivencia de los individuos (Thani & Prommi, 2017).

2.4 Morfometría geométrica

El análisis morfométrico geométrico consta de tres etapas fundamentales: obtención de los datos primarios, obtención de las variables de la forma, y análisis estadístico. (Toro, Manriquez & Suazo, 2010). La morfometría se basa en el estudio descriptivo de la estructura, que involucra: tejidos, órganos, células, formas, dimensiones, etc; con la finalidad de encontrar y analizar diferencias entre especies o en la misma especie y determinar diferencias de sus dimensiones lineales y la forma (estructura) (Torcida & Pérez, 2012). Desde el año 1930, los estadísticos Pearson y Fisher crearon metodologías de análisis y basándose en estas se creó la biometría, el que ayuda a describir los patrones de diferencias morfológicas intergrupales como intragrupalas. A partir de ello, se creó el análisis estadístico multivariado, considerando variables

cuantitativas, como: largo ancho, alto y ángulos, dando lugar a la morfometría tradicional (Toro, *et al.*, 2010).

En base al estudio de Jaramillo (2011), establece que la morfometría geométrica usa coordenadas de los puntos homólogos o también llamados puntos anatómicos de referencia (PAR). Se colocan estos puntos basándose en un criterio que se relacione a la estructura biológica o alguna imagen, para condiciones ideales, se pueden considerar criterios que tienen importancia tanto biológicamente, adaptativamente, taxonómicamente y de la filogenética. Para la definición de los puntos con los criterios anteriormente mencionados se recurre a las reglas prácticas que son: puntos de fácil ubicación, los que se colocan en las intersecciones de dos o más tejidos de la estructura en estudio (Toro, *et al.*, 2010).

Los puntos anatómicos de referencia (PAR) pueden ponerse en todo el cuerpo, como, por ejemplo: cabeza, alas, abdomen, antenas, palpos y patas, etc. Los PAR planos son los que se recomiendan para poder tener una mejor definición de los puntos. Se deben considerar suficientes PAR para poder analizar una estructura, este PAR aporta con dos variables (coordenadas en X y en Y). Se recomienda superar el número de individuos del grupo más pequeño, por lo menos dos veces del número de variables, para lograr establecer un valor estadístico en el error residual (Jaramillo, 2011).

En la selección de puntos de referencia, existen tres tipos, como se muestran en las figuras 7 y 8. Los contornos son superpuesto con una función matemática, de lo cual se derivan coeficientes, los que son usados como variables de conformación para poder comparar las estructuras con un análisis estadístico (Jaramillo, 2011).

Este tipo de análisis ha sido utilizado extensamente en campos afines a las ciencias morfológicas, haciendo necesario conocer las técnicas con fines formativos para que puedan ser aplicados hacia la solución de problemas. Los resultados obtenidos mediante su aplicación, han hecho posible describir cómo se modifica la forma de una estructura, visualizar donde se localizan los cambios y cuáles son esos cambios (Toro, *et al.*, 2010).

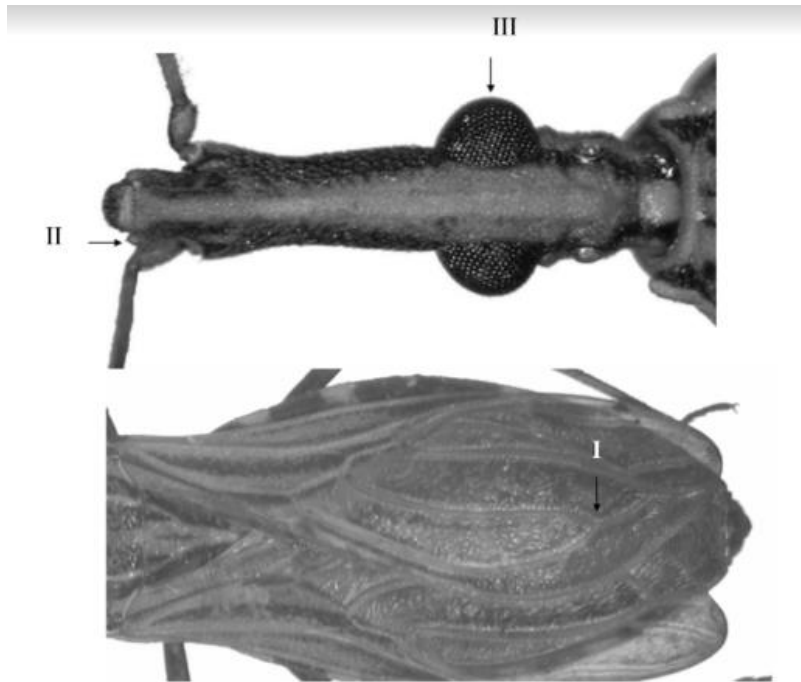


Figura 5: Puntos anatómicos de referencia, punto tipo I, II y III.
Tomado de (Jaramillo, 2011, p. 8)

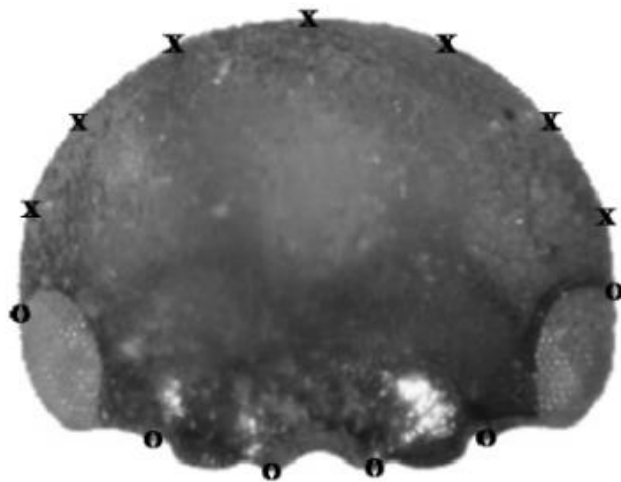


Figura 6: Puntos de referencia y pseudos puntos de la cabeza de un Coleoptera.
Tomado de (Jaramillo, 2011, p. 8)

3. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

Esta investigación utilizó la información ecológica e hidro morfológica recolectada en época seca (julio - agosto) del año 2017 de tres ríos de la CARG del Proyecto “*Ecological and microbiological status of the Upper Guayllabamba River Basin, historic trends, biodiversity threats and health risks*” (Rios-Touma y Guerrero-Latorre, 2016). Los ríos (San Pedro, Pita, y Machángara) se encuentran en la parte sur de la cuenca alta del río Guayllabamba y en el sector céntrico del Distrito Metropolitano de Quito. Estas zonas han sufrido varios cambios especialmente en el uso de suelo, pero para este trabajo se utilizó los usos de suelo determinados en un trabajo de titulación anterior (Checa, 2017) categorizados en 3 usos de suelo: Bosque, Agro-ganadero, y Urbano.

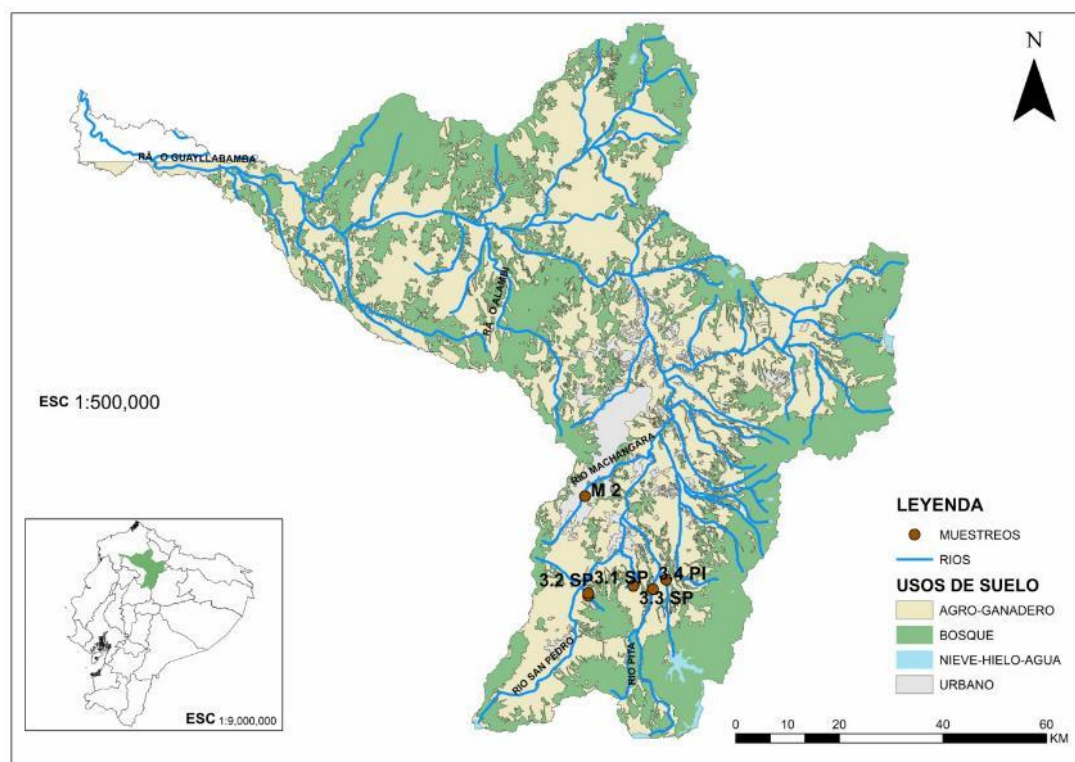


Figura 7: Usos de suelo según la categorización de (Checa, 2017) dentro la cuenca del río Guayllabamba

Debido a que se trabajó con la familia Chironomidae se tuvo que delimitar el rango altitudinal para la investigación, estableciendo el rango de estudio entre los 2700 y 2800 msnm. Esto se debe a que pueden existir variaciones en la

comunidad de quironómidos provocados por las condiciones abióticas (pisos biogeográficos) y la naturaleza de estos individuos en cambiar su presencia altitudinalmente (Acosta, *et al.*, 2009; Villamarín, 2014; Mejía, *et al.*, 2014). Sin embargo, estos sitios utilizados presentan una muestra considerable de las interacciones del uso del suelo con los factores abióticos y biológicos. Los tres tipos de usos de suelo también nos detallan el tipo de interacciones en el área de drenaje en torno a cada uno, causa por la cual la presencia de algunos organismos puede verse influenciada.

3.2 Muestreos

La recolección de las muestras fue realizada durante los meses de julio a octubre de 2017, dentro de la investigación sobre la calidad ecológica y microbiológica de la cuenca del Guayllabamba (Ríos-Touma y Guerrero Latorre, 2016) proyecto de la Dirección de Investigación y Transferencia de Conocimiento, UDLA, para los cuales se determinó con anterioridad puntos sucios y puntos limpios a diferentes altitudes de la cuenca alta del río Guayllabamba

3.2.1 Puntos de muestreo

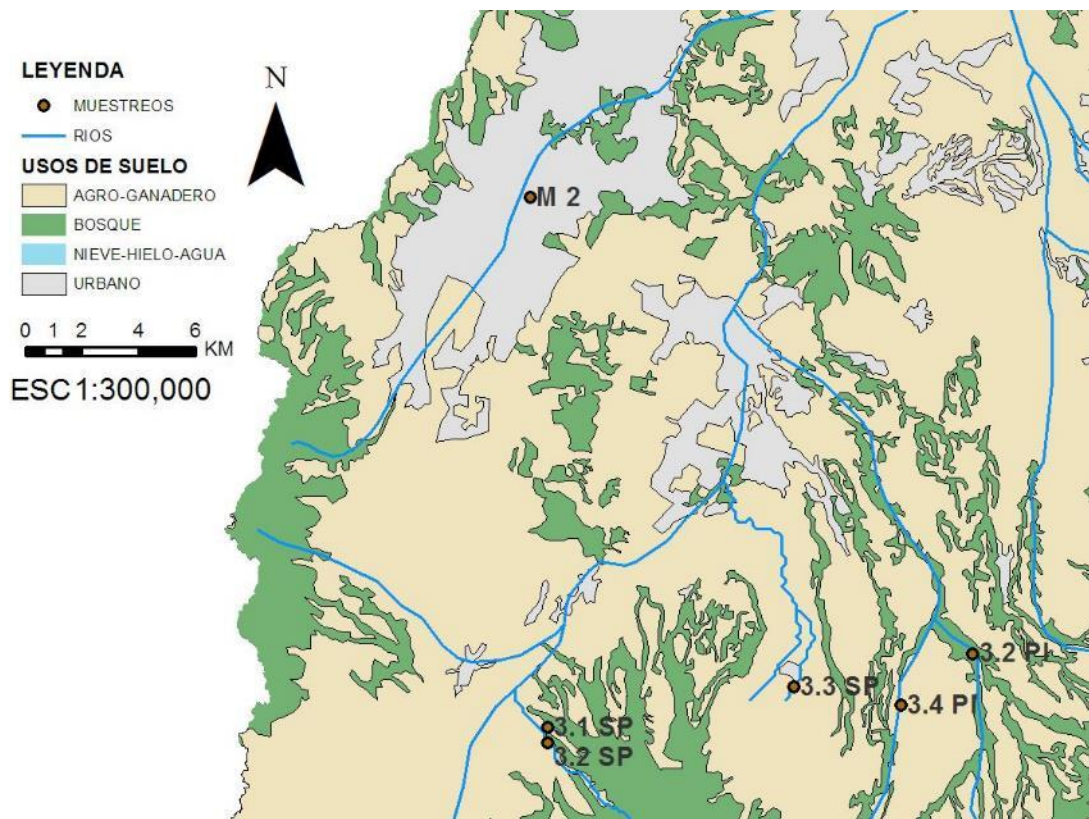


Figura 8: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo, cada uno de ellos en diferente lecho y con diferente área de drenaje.

Los puntos de muestreo seleccionados a partir del rango altitudinal son 6, mismos que se encuentran en diferentes usos de suelo, así como podemos ubicarlos en la figura 10; (Bosque: 3.2 SP, 3.2 PI; Agro-ganadero: 3.1 SP, 3.3 SP 3.4 PI; y Urbano: M2). Para el manejo de la información geográfica se utilizó los softwares; QGIS versión 2.18.13 “Las Palmas” para la generación de las trayectorias de los ríos tanto de tributarios como principales, a partir de información obtenida en Global Data Explorer (GDEx, 2017), también se utilizó ArcMap versión 10.2.1 para el desarrollo de la representación gráfica de los usos de suelo en los que se encuentran los sitios de muestreo, tratando información obtenida desde el sistema nacional de información (SNI) del Ecuador, actualizada hasta el año 2012, correlacionada con el trabajo de Checa en 2017. Para la determinación de estos sitios de muestreo, se tomó como principal criterio de selección la accesibilidad del sitio, además los

criterios que se explican en el protocolo de calidad ecológica de ríos andinos (CERA) (Acosta, R. et al, 2009)

3.2.2 Muestreos de agua

Durante las campañas de recopilación de datos, se procedió a tomar valores in situ del estado físico químico del agua de cada sitio de muestreo. Se determinó el pH, temperatura, y O₂ disuelto con el uso de un multiparámetro digital (Mettler Toledo), también sólidos disueltos, y la conductividad eléctrica, con el equipo (YSI Pro-30). Adicionalmente, se tomó muestras de agua dentro de botellas de vidrio ámbar y frascos de plástico, previamente desinfectados y etiquetados, para realizar los análisis ex situ del estado del agua en el momento de la recolección sin que se hayan alterado sus condiciones. Dichas muestras se obtuvieron aguas arriba de donde se recogió las muestras biológicas, proceso realizado de igual forma en todos los lugares de muestreo. Estas indicaciones mencionadas anteriormente son recomendadas en el protocolo CERA (Acosta, R, et al., 2009); una vez transportadas en frío a los laboratorios de la carrera de Ing. Ambiental, sede Queri y se obtuvieron los datos sobre: turbidez, nitratos (4500-NO₃-), nitritos (4500-NO₂-), amonio (4500-NH₃), DQO, DBO₅, cloruros (4500-Cl), fosfatos (4500-PO₄²⁻), sulfatos (4500-SO₄²⁻) mediante la utilización de los kits de determinación espectrofotométrica descritos en Standard Methods (American Public Health Association, 1992).

3.2.3 Muestreo de macroinvertebrados

Una vez en los puntos se recogieron muestras con dos diferentes metodologías.

3.2.3.1 Recolección por patada

Dentro del lecho con poca profundidad y mediante el uso de una red tipo “D”, manualmente se procede a patear en el fondo para levantar el sedimento durante tres minutos con el objetivo de recoger la mayor cantidad de taxas, este es un método de estudio cualitativo (Letovsky, Myers, Canepa, McCabe, 2012). Sirve para la recolección de muestras en multi hábitat del cauce, procurando llegar a todas las zonas del río, paredes o límites del río, vegetación inundada, rápidos y zonas de caudal bajo. Transcurrido ya el tiempo de pateo se recogió la muestra en bolsas plásticas con etanol al 95% y transportadas a Quito.

3.2.3.2 Recolección por Surber

Por otro lado, al mismo tiempo que se realizaba la recolección por patada se utilizó redes Surber, que es un método cuantitativo, debido a que estas redes tienen la finalidad de analizar un área determinada del fondo del cuerpo de agua (0.3 m^2), para obtener los datos con este tipo de red se utiliza las manos mediante desestabilizando el fondo del lecho (Ramírez, 2010). Así, se conocerá la diversidad biológica en esa área determinada. Finalizados los procedimientos las muestras son transportadas en contenedores con etanol al 96%.

3.3 Identificación de la comunidad Chironomidae

Una vez ya limpias y preparadas las muestras biológicas con sólo los individuos de la familia *Chironomidae*, se procede a la identificación de las respectivas subfamilias y géneros de cada uno de los insectos. Para esta determinación se utilizó un estereomicroscopio Olympus CX31 en conjunto con bibliografía especializada para identificación de sus taxonomías respectivas, específicamente se utilizó la bibliografía especializada de (Prat, et al., 2011) y (Prat, et al. 2012), en estos documentos constan los morfotipos larvarios, y géneros encontrados en Ecuador desde los 2000 msnm hasta los 3800 msnm, sin embargo pueden suceder que se necesite de otras fuentes bibliográficas para la identificación más específica o dudas de individuos, como el Manual de

Identificación para las larvas Chironomidae (Díptera) de Carolina del Norte y Sur (Epler, 2001) es una referencia mayormente utilizada. A partir de esta primera determinación se obtuvo la composición de la comunidad, riqueza y abundancia de esta familia en los ríos de estudio. Además, se realizó los montajes para microscopio del género más representativo y dudas dentro de todas las muestras para esta investigación. Es necesario realizar este tipo de montajes ya que no se pueden diferenciar fácilmente a simple vista los detalles morfológicos de los géneros, convirtiéndose indispensable el siguiente procedimiento.

3.4 Montaje de las subfamilias para la identificación de género.

Siguiendo de igual manera bibliografía especializada, se utilizó el procedimiento para el montaje descrito por John Epler en 2001. El cual explica el montaje para la identificación en microscopio de un individuo por el método de Euparal. Además del método para el montaje, fue necesario establecer algunos requisitos para los individuos a montar, específicamente para el género *Parametriocnemus*, esto con el fin de reducir las diferencias entre individuos por su estadio larvario, por lo tanto, se determinó utilizar individuos de un tamaño mínimo (1 cm), como se puede apreciar en la figura 11, ya que de esta manera se estima que todos los individuos se encuentren en el mismo estadio larvario, edad y características morfológicas. Por otro lado, los individuos de otras subfamilias que también fueron colocados para la vista en microscopio bajo el mismo procedimiento de montaje, mismos que, no necesitaban cumplir con los requisitos expuestos anteriormente ya que debían ser montados específicamente para la identificación de su género más no para el cálculo morfométrico.

Este método de colocación es de aplicación sencilla, un montaje permanente (Epler, 2001) que no muestra ningún tipo de riesgo al ser realizado, pero, el tiempo de realización dependerá del nivel de detalle en qué se necesita que quede el montaje final además del tiempo de cocción. En primer lugar, se separa el individuo a ser montado que cumpla con los requisitos expuestos en la figura 9, que mediante la utilización de un termobloque digestor, previamente

encendido, configurado para calentarse hasta los 85 °C; para lo cual se debe verter dentro de un frasco de vidrio (5 ml) resistente al calor, un pequeño volumen de hidróxido de potasio (KOH) al 10%, enseguida se ingresa el individuo a la solución y se coloca dentro del termobloque. La bibliografía indica que se debe dejar en cocción durante al menos 5 minutos y hasta 20 minutos, ahora bien, este tiempo dependerá del tamaño del cuerpo del individuo. En segundo lugar, se procede a la sumersión de los cuerpos en agua destilada, alcohol al 70% y alcohol al 95%, en este orden se sumerge a los individuos por 5 minutos, 3 minutos y 3 minutos. Mientras los especímenes se encuentran sumergidos, se procede a etiquetar el portaobjeto en donde se va a montar, y además prepara la solución de euparal y los cubre objetos. Es necesario limpiar tanto porta como cubreobjetos ya que esto ayudará a la visualización de las estructuras en microscopio. A continuación, se procede a montar el individuo, se coloca una pequeña gota de solución Euparal y en esta se deja el espécimen, su cabeza es separada del cuerpo y este se retira para montarlo en otra parte del portaobjetos. Se debe procurar que el montaje mantenga un orden de la posición de los individuos, y que las cabezas se encuentren en posición dorsal, ya que son las estructuras bucales las que se utilizan para la identificación de géneros (Prat, et al., 2011)



Figura 9: Fotografía del tamaño de los cuerpos de larvas que se escogieron para ser montados.

3.5 Morfometría geométrica

A partir del procedimiento anterior se determinó al género *Parametricnemus* para ser utilizado para el análisis morfométrico, debido a varias razones. Primero, fue uno de los generos presente en 5 de los 6 puntos de muestreo. Segundo, contaba con los suficientes individuos para el numero de variables o PAR determinadas según la identificación taxonómica del individuo y basándose en metodologías de otras investigaciones (Odume, Muller, Palmer, & Arimoro, 2012; Toro, *et al.*, 2010). Tercero, es un género con un conjunto de características fenotípicas particulares, reduciendo los posibles errores de identificación de otros géneros.

Se procedió a realizar el análisis morfométrico de los individuos seleccionados. Los Chironomidae tienen varias características físicas que los diferencian de otras familias o géneros (Cranston, M, 1995; Prat, N et al., 2017), es por eso que, se utilizó softwares específicos para el análisis de morfometría geométrica, en esta investigación se empleó el paquete informático TPS, MORPHOJ, MakeFan8, y CoordGen8. Este género es utilizado por sus características físicas únicas, así de esta manera se resuelve un conflicto que presenta la identificación de otros géneros por ejemplo *Cricotopus*. Los sistemas informáticos son de libre uso, pero, cuentan con las suficientes herramientas para realizar el análisis respectivo y conseguir resultados esperados. Para esta investigación sobre la morfometría, son necesarios realizar algunos procedimientos previos antes de obtener resultados, estos procedimientos deben ser realizados con el fin de obtener el mejor detalle para la observación morfométrica. Como se indicó anteriormente el primer procedimiento es el montaje de los individuos, luego se procederá a la toma de fotografías, al tratamiento de estas, después a la colocación de hitos en las estructuras de los individuos y finalmente al análisis estadístico (Mejia, *et al.*, 2014; Odume, *et al.*, 2012; Toro, *et al.*, 2010; Di Veroli, *et al.*, 2014).

3.5.1 Fotografías

La toma de fotografías se realizó utilizando una cámara digital para microscopio Infinity 2 en conjunto con el software Infinity Analyze, brindados por el laboratorio de investigación ambiental. Estas fotografías fueron tomadas bajo los criterios de la GUÍA PARA EL RECONOCIMIENTO DE LAS LARVAS DE CHIRONOMIDAE (DIPTERA) DE LOS RÍOS ALTOANDINOS DE ECUADOR Y PERÚ. Clave para la determinación de los géneros (Prat, *et al.*, 2012) y otras especificaciones tomadas de otras guías de identificación de otras partes del mundo (Leung & Edward, 2013)

3.5.1.1 Tratamiento de fotografías

Al ser fotografías microscópicas, la profundidad de campo y la distancia de enfoque no abarcaba que todas las estructuras se encuentren debidamente enfocadas, por lo tanto, fue necesario realizar varias fotografías con distintas profundidades de campo y enfoques para conseguir las fotografías deseadas. Por ende se produjeron varias fotografías de cada individuo, y para ello se utilizó un software especial para la conglomeración de varias fotografías de detalle, Helicon Focus, versión 6.8.0; este software realiza un apilamiento de enfoque fabricando una nueva fotografía con un solo enfoque, factor necesario para la colocación de hitos en las estructuras de los insectos.



Figura 10: Resultado final del apilamiento de fotografías, con las que se puede proceder a realizar la colocación de hitos.

3.5.2 Colocación de hitos

Para la colocación de hitos se realizaron varios pasos antes de obtener resultados. En primer lugar, se utilizó un fan o abanico sobre el mentón de los individuos con el software MakeFan8, paso necesario debido a que es necesario contar con un sustento matemático del porqué de la colocación de cada variable en esa posición (Klingenberg, 2011; Toro, *et al.*, 2010), como se puede ver en la figura 13, el abanico nace de dos puntos anatómicos de referencia (1 y 12), en este caso se utilizaron las inserciones de las sedas en el mentón, estas partes se encuentran en todos los individuos en la misma posición siendo un punto anatómico tipo 1 como se explicó anteriormente. Se procura generar el mismo número de líneas, así como el número de dientes en el mentón. El paquete informático TPS, que consta de tres aplicaciones tpsUtil64, tpsDig232 y tpsRelw32. Estas imágenes con el abanico sobre posicionado fueron transformadas a un archivo .tps mediante el uso de la primera aplicación tpsUtil.

Para la colocación, generación o edición de hitos se utilizó la segunda aplicación tpsDig232, para que nuestra investigación no tenga un error estadístico grave, se colocó un total de 12 hitos en cada individuo, en 10 individuos por cada sitio de 4 sitios (figura 13), aquí además se ingresó la escala en cada imagen. Mientras que, con la tercera aplicación, podemos realizar los análisis estadísticos de los individuos por cada conglomerado de individuos por sitio, herramienta muy útil que sin embargo no será utilizada en esta investigación.

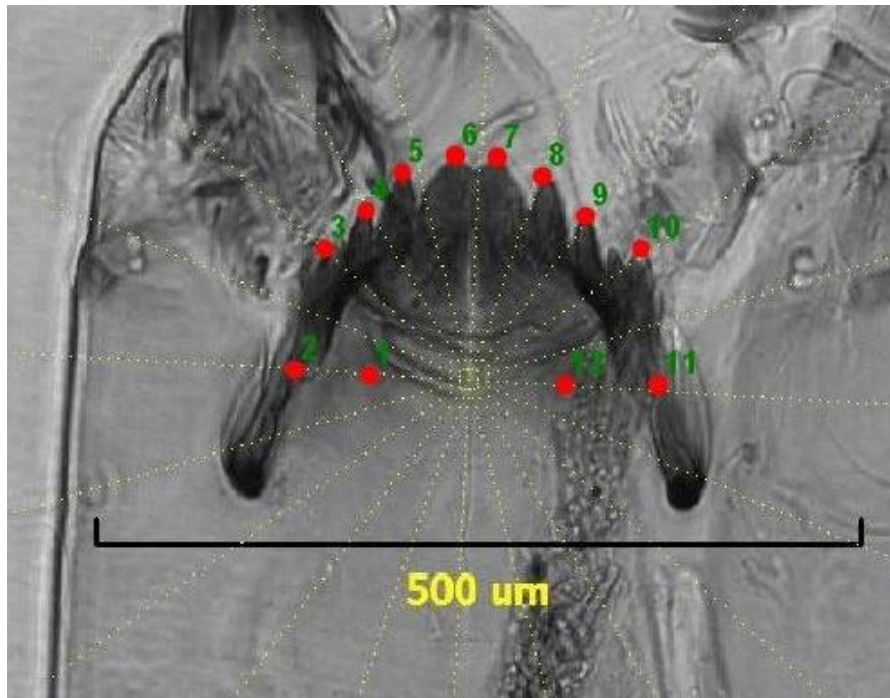


Figura 11: Emplazamiento de los hitos en los puntos anatómicos de referencia de los individuos del género *Parametrioconemus*.

3.6 Análisis estadísticos

3.6.1 Muestreo de agua

Una vez concluidos todos los análisis físicoquímicos del agua se procedió al tratamiento de estos, para lo cual han sido representados según su categorización de uso de suelo (Urbano, Agroganadero, Bosque). Estos datos serán tratados con el software estadístico PRIMER 6 versión 6.1.6, que en primer lugar se realizará una normalización de los datos $[(x-media) / dev std]$ para analizar los componentes principales (PCA) que determinan el estado del sitio de muestreo por el uso de suelo. Este análisis determinará los parámetros dominantes que provocan una perturbación en el sitio.

3.6.2 Identificación de la comunidad Chironomidae

La identificación de la composición de la comunidad de la familia Chironomidae fue realizada en partes, como se indicó anteriormente en este trabajo se realizó la identificación hasta nivel de género. En primer lugar, se identificó cada

género de los sitios de recolección respectivamente, se obtuvo sus abundancias, como se han enlistado en el anexo 2. Por consiguiente, con la información biológica se deben realizar algunos análisis para conocer la comunidad Chironomidae y poder correlacionar sus resultados con los parámetros físicoquímicos. De igual forma, mediante el uso del software Primer 6, se realizaron varios procedimientos y análisis de la información, de antemano se realizó una transformación de datos, que servirá para la normalización de los valores $[\log (x+1)]$, con el resultado de esta transformación procedemos a obtener la semejanza de los datos utilizando la similitud para ecología de Bray-Curtis, a través de una matriz de semejanza triangular inferior, misma que visualiza las proporciones en que los sitios de muestreo son similares. Esta semejanza será también utilizada para llevar a efecto un escalado multidimensional no métrico (nMDS por sus siglas en inglés). La semejanza de los datos también nos permite ejecutar un análisis jerárquico de conglomerados (Cluster), para reconocer las conexiones entre sitios de muestreo. Extendiendo estas conexiones entre los sitios de muestreo también se realizó una prueba SIMPER que permitirá identificar la semejanza entre puntos según su información biológica.

3.6.3 Composición de la comunidad de los quironómidos con relación a las características ambientales

Para representar la relación entre los valores físicoquímicos y la información biológica se realizará un análisis de correspondencia canónica (CCA), este análisis será ejecutado mediante el uso del software estadístico PAST 3, versión 3.20. La correspondencia canónica utilizará el número de parámetros ambientales que se hayan analizado anteriormente versus las abundancias de las taxas. A los datos se los normalizo con las técnicas especificadas anteriormente.

3.6.4 Morfometría geométrica

El análisis morfométrico de los individuos fue desarrollado con el software morfométrico estadístico MorphoJ, versión 1.06d, y CoordGen8, versión 8. Con

este último, se realizó un análisis de aportación de varianza de los puntos ingresados a partir del espacio Procrustes (Torcida & Pérez, 2012). En MorphoJ se ingresó el conglomerado de los puntos de los individuos, para lo cual se generó una matriz de covarianza, esta analiza los cambios morfométricos de los individuos de todos los sitios de muestreo, a partir de ello se realizó un análisis por Componentes Principales (PCA), a diferencia de tener parámetros físico químicos en la morfometría los componentes serán los hitos que presentan una mayor variación, además el PCA analiza los cambios entre individuos sin importar su procedencia (sitio de muestreo/uso de suelo). Se utilizó a 40 sujetos de 4 sitios ya que en uno sitio no se encontró ningún individuo (M2, Anexo 1) y en 3.4 PI no fueron suficientes (Anexo 1), estos contaron con 12 hitos en su mentón, manteniendo la relación explicada por la bibliografía del tema. Estos puntos anatómicos han sido seleccionados según los criterios de identificación taxonómica del género. Adicionalmente, se correlacionó los factores ambientales con los cambios morfológicos mediante una covariación de cuadrados mínimos parciales de dos bloques (PLS-2Block). Para este análisis los valores de los parámetros ambientales deben estar transformados, se cambió de la misma manera que se transformó en el punto 3.6.1, y, por otro lado, se debe utilizar las coordenadas procrustes en el primer bloque que es lo morfométrico.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Usos de suelo en los sitios de estudio

Como podemos apreciar en la figura 10, la cuenca del río Guayllabamba tiene un área total de 8213 km cuadrados, con lo cual se calcularon los siguientes porcentajes de cada uso de suelo, así como también, áreas de las categorías utilizadas para esta investigación, mismas que pueden ser analizadas en la tabla 3. Por otro lado, en la tabla 4 se detalla la estación en la que fueron valorados los puntos en una investigación anterior. En consecuencia, para esta investigación se utilizó 6 sitios (3.2 PI, 3.4 PI, 3.1 SP, 3.2 SP, 3.3 SP, M2) con diferentes estaciones, alterado y referencia, así mismo son sitios con varios

usos de suelo, bosque, agro ganadero y urbano, con sus áreas de drenaje respectivas.

TABLA 2:

Resultados de los usos de suelo dentro de la cuenca del río Guayllabamba.

CATEGORIA	ÁREA TOTAL	% DEL AT
BOSQUE	3542.16	43.13
AGROGANADERO	4201.16	51.15
URBANO	426.76	5.2
NIEVE-HIELO-AGUA	42.91	0.53

Nota: El área total se encuentra expresada en kilómetros cuadrados.

TABLA 3:

Categorización de los sitios estudiados en la cuenca alta del río Guayllabamba.

SITIO	ESTACIÓN	USO DE SUELO	CATEGORIA	ÁREA DE DRENAJE
3.2 PI	REFERENCIA	RURAL	BOSQUE	16.65
3.4 PI	ALTERADO	RURAL	AGROGANADERO	15.56
3.1 SP	REFERENCIA	RURAL	BOSQUE	14.19
3.2 SP	ALTERADO	RURAL	AGROGANADERO	14.19
3.3 SP	ALTERADO	RURAL	AGROGANADERO	20.03
M2	ALTERADO	URBANO	URBANO	50.87

Nota: A. Tanto la estación como la categoría del uso de suelo en la que se encuentran los puntos, serán factores para el análisis de los resultados de la relación entre los factores bióticos y abióticos. **B.** información extraída del trabajo de (Checa, 2017).

4.2 Características fisicoquímicas de los ríos

Los parámetros analizados indican el estado del río en el momento de recolección (Tabla 4). Existen varios valores que indican contaminación orgánica (coliformes), sales disueltas (conductividad), y baja calidad (Oxígeno) en el lecho del punto M2. También podemos observar que en los puntos categorizados como agro ganadero presentan valores parcialmente altos de

nitratos, fosfatos confirmando la existencia de contaminación por agroquímicos y aguas grises. En cambio, los valores de los sitios con categoría de bosque, específicamente 3.2 PI, muestra también confirmar su categorización, indicando un alto valor de oxígeno.

El comportamiento de estos parámetros fue examinado con el análisis por componentes principales (Tabla 5) en donde el primer componente nos indica el 92% de la variación inicial de los valores originales, este componente tiene mayores correlaciones negativas excepto por el oxígeno. Esto nos confirma el tipo de contaminación proveniente de cada uso de suelo, contaminación orgánica en este caso. Al ser M2 un sitio altamente contaminado los vectores han tendido a ser atraídos por este punto, con los parámetros correlacionados agrupados, como se puede apreciar de mejor manera en la figura 16, con los parámetros que expresan eutrofización agrupados, así como también los que indican contaminación orgánica.

TABLA 4:

Variables fisicoquímicas analizadas en los sitios de interés.

LOCALIDAD PARÁMETRO	3.1SP	3.2SP	3.3SP	3.2PI	3.4PI	M2
pH	7.830	7.720	7.880	8.420	8.330	8.970
Conduct	111.200	155.600	124.400	160.800	152.200	584.000
SPC_Conduct	164.200	220.900	161.800	216.500	217.900	660.000
TDS	121.800	103.700	79.500	120.200	101.700	388.000
Ox_ppm	6.890	7.340	7.510	10.130	8.530	0.130
Temp_Oxi_C	8.200	9.700	13.100	12.700	10.300	17.400
Turbidez	1.000	7.000	6.000	1.000	2.000	170.000
Nitritos	0.004	0.008	0.022	0.007	0.006	0.547
Nitratos	1.135	0.795	2.346	1.830	2.262	7.357
Amonio	0.179	0.182	0.111	0.044	0.043	1.372
Fosfatos	0.230	0.166	0.412	0.781	0.936	27.526
DBO5	1.000	1.000	1.000	0.001	1.000	68.000
DQO	16.900	6.900	17.500	15.100	14.500	37.300
Cloruros	6.500	7.400	0.500	2.800	4.700	49.300
Sulfatos	8.621	11.293	15.862	22.759	10.517	64.483
AceitesGrasas	0.002	0.003	0.005	0.009	0.003	0.018
Alcalinidad	84.200	56.100	65.500	74.900	74.900	149.700
Coliformes fc	6300.000	280.000	9000.000	535.000	320.000	29000000.000

TABLA 5:

Análisis por componentes principales con sus respectivos puntajes.

PCA	Principal Component Analysis		
Eigenvalues			
PC	Eigenvalues	%Variation	Cum.%Variation
1	16,7	92,9	92,9
2	0,725	4,0	96,9
3	0,274	1,5	98,5
4	0,203	1,1	99,6
Eigenvectors			

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
pH	-0,206	-0,512	0,569	-0,178
Conduct	-0,243	0,027	-0,025	-0,237
SPC_Conduct	-0,241	0,041	0,026	-0,325
TDS	-0,242	0,100	0,150	-0,142
Ox_ppm	0,224	-0,446	0,170	-0,201
Temp_Oxi_C	-0,209	-0,479	-0,582	0,176
Turbidez	-0,243	0,106	-0,087	-0,056
Nitritos	-0,244	0,084	-0,068	-0,008
Nitratos	-0,239	-0,119	-0,017	0,260
Amonio	-0,240	0,216	-0,091	-0,044
Fosfatos	-0,244	0,067	0,002	-0,042
DBO5	-0,243	0,105	-0,027	-0,031
DQO	-0,230	-0,064	0,169	0,701
Cloruros	-0,239	0,206	0,074	-0,210
Sulfatos	-0,241	-0,156	-0,150	-0,093
AceitesGrasas	-0,229	-0,347	-0,168	-0,152
Alcalinidad	-0,236	0,058	0,423	0,266
Coliformes fc	-0,244	0,092	-0,024	-0,040

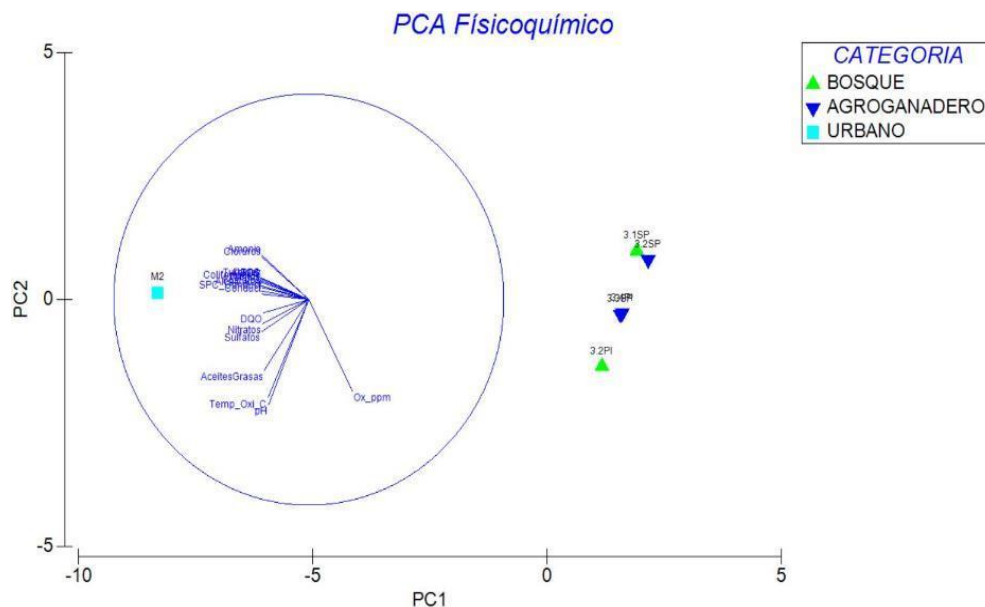


Figura 12: Plot del análisis agrupado por estado del sitio y la similitud que presentan entre ellos.

4.3 Estructura y composición de la familia de quironómidos

Se identificaron un total de 1924 individuos, para los cuales se determinaron dentro de 32 géneros de la familia Chironomidae. De igual forma, se calculó (d) la riqueza de especies (géneros), la diversidad de géneros (H') y la equitatividad dentro la comunidad (J') (Tabla 6). Hay que mencionar que existen géneros que se encuentran en la mayoría de los puntos como: *Polypedilum*, *Cricotopus sp3*, *Parametrioctenemus*, *Corynoneura*, *Parochlus*, y *Género 1*. Estos géneros se encuentran no solo dentro del rango altitudinal que se estableció anteriormente, sino que también se encuentran en dos cuencas diferentes, que son las cuencas del río San Pedro, Pita y Machángara en el caso de *Polypedilum*. Uno de los criterios por los cuales se escogió al género *Parametrioctenemus* para el análisis morfométrico fue su presencia en todos los sitios de muestreo, el número de individuos en cada lugar y sus características taxonómicas muy distintivas (machas debajo del mentón). Los géneros *Lymnophyes* y *Género 11* que, a pesar de no encontrarse en cada sitio estuvieron presentes en cada cuenca, estos pertenecen a la subfamilia Orthoclaadiinae y taxonómicamente se relacionan por sus mentones y la configuración de los dientes. La subfamilia Tanypodinae, depredadores, se

sitúa así mismo en las dos cuencas de los lechos tributarios estudiados, con *Hudsonimyia* en 3.2 SP y 3.2 PI y por otra parte *Larsia* (3.2 y 3.3 SP) y *Pentaneura* (3.1 y 3.2 SP). Hay géneros como *Morfo X* que se ha encontrado solo en los puntos del río Pita, y el género *Alotanypus* del río San Pedro. El río Machángara cuenta solo con el género *Polypedilum*, conocido por ser resistente a la contaminación.

TABLA 6:

Índices de Diversidad Univariada

SITIO	S	N	d	J'	H'(loge)
M2	1	2	0	0	0
3.1SP	15	124	2,904	0,8442	2,286
3.2SP	25	392	4,019	0,8384	2,699
3.3SP	14	264	2,331	0,7434	1,962
3.2PI	26	818	3,728	0,6363	2,073
3.4PI	11	324	1,73	0,6028	1,446

Manteniendo la forma de representación de datos que se realizó en el PCA, se ilustra el nMDS (figura 13), en conjunto con los resultados de semejanza y cluster, para lo cual se graficó de la siguiente manera los resultados; cada subcuenca (SP y PI) es similar hasta en un 45% según los individuos de los sitios, estos se correlacionan verticalmente conglomerándose como se muestra en la figura, mientras que M2 queda aislado la ser un río urbano.

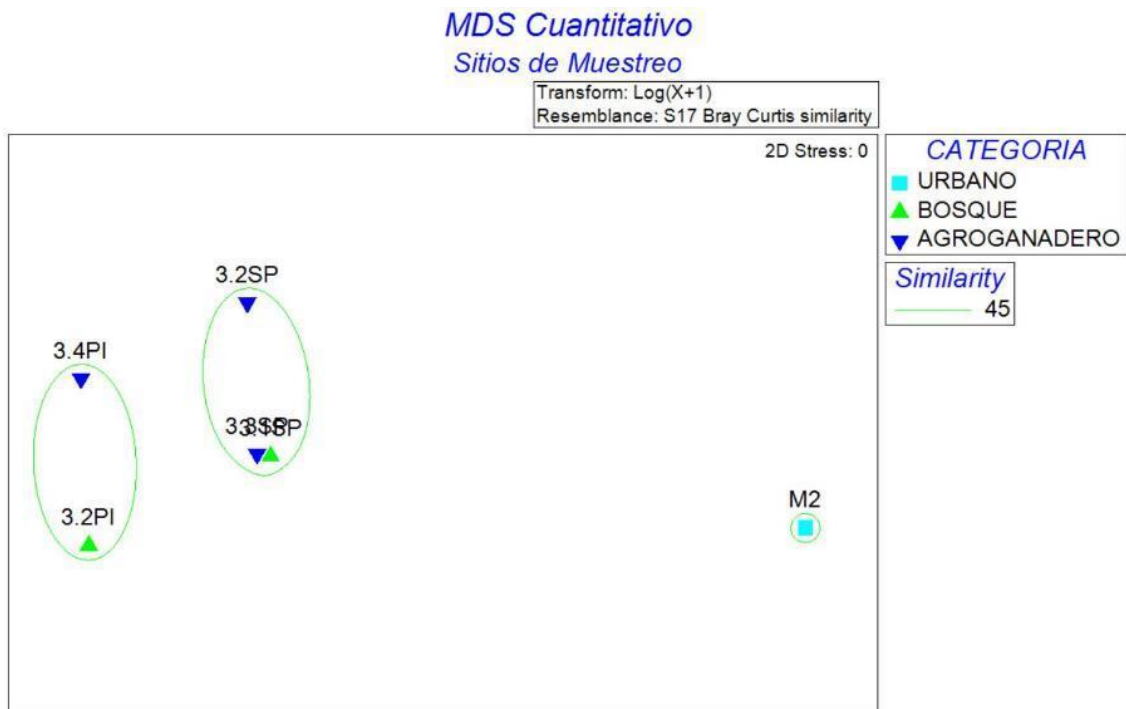


Figura 13: Escalado multidimensional no métrico de los usos de suelo según la información biológica.

Se analizó la semejanza entre los sitios de alterados y los de referencia para identificar las especies que son más dominantes en la comunidad de quironómidos. El Género 1 fue el género con el mayor número de individuos en los puntos, excepto M2, contribuyendo 6.8% siendo el taxón más dominante, seguido por *Corynoneura*, *Parochlus*, *Cricotopus*, *Parametrioctenus*, *Morfo X*, y *Metrioctenus*. Conjuntamente contribuyen casi el 50% de la semejanza entre sitios. Explicando una razón del por qué en el escalado multidimensional no métrico las agrupaciones según la composición de la comunidad se aglomeran de esa manera, otras razones pueden deberse a que a pesar de ser cuencas diferentes sus ubicaciones son relativamente cercanas, estas presentan barreras físicas pequeñas que han facilitado el intercambio de información, además los ríos tanto, San Pedro y Pita, parten de diferente formación geológica.

TABLA 7:

Análisis SIMPER

Group ALTERADO & Group REFERENCIA

Species	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Genero 1	2,37	3,29	4,03	1,22	6,83	6,83
Corynoneura	1,65	3,65	3,86	1,14	6,55	13,38
Parochlus	1,20	2,87	3,40	1,00	5,76	19,14
Cricotopus cricotopus	1,13	2,80	3,30	1,07	5,59	24,73
Cricotopus fl 6	1,81	2,40	3,22	1,29	5,46	30,19
Cricotopus sp3	2,84	3,78	2,94	0,74	4,98	35,17
Parametricnemus	2,55	3,38	2,77	0,83	4,69	39,86
Morfo X	0,58	2,15	2,73	1,05	4,63	44,49
Metriocnemus	0,81	1,61	2,62	1,96	4,44	48,93
Lymnophyes	1,12	1,82	2,39	1,03	4,05	52,97
Tanytarsus	1,31	1,76	2,26	1,43	3,84	56,81
Larsia	1,80	0,00	2,22	0,83	3,76	60,57
Grupo Harnischia	0,69	1,52	2,08	0,95	3,52	64,09
Onconeura	0,62	1,63	2,04	1,11	3,46	67,55
Polypedilum	1,67	1,32	1,91	1,44	3,23	70,78
Pentaneura	0,27	0,80	1,62	0,80	2,74	73,52
Podonomus	0,40	1,15	1,42	0,97	2,41	75,93
Parakiefferiella	0,90	0,55	1,32	0,92	2,24	78,16
Hudsonimyia	0,35	1,04	1,28	0,98	2,17	80,33
Rheotanytarsus	0,85	0,80	1,27	1,14	2,16	82,49
Thienemanniella	0,17	1,04	1,25	0,97	2,12	84,61
Oliveireilla	0,45	0,69	1,23	2,32	2,08	86,69
Cricotopus fl 4	0,58	0,80	1,19	1,01	2,01	88,70
Paracladius	0,27	0,90	1,14	1,02	1,93	90,63
Camptocladius	0,68	0,35	1,01	1,27	1,71	92,33
Cardiocladius	0,45	0,35	0,89	0,79	1,50	93,84
Genero 11	0,72	0,00	0,87	0,90	1,48	95,31
Macropelopiini Alotanypus	0,27	0,35	0,79	0,93	1,34	96,65
Podonomopsis	0,00	0,55	0,65	0,89	1,09	97,74
Nanocladius	0,00	0,55	0,65	0,89	1,09	98,84
Rheocricotopus	0,00	0,35	0,41	0,89	0,69	99,53
Cricotopus Isocladius	0,27	0,00	0,28	0,53	0,47	100,00

4.4 Composición de la comunidad de los quironómidos con relación a las características ambientales

Se determinó la composición de la comunidad de quironómidos en relación a las variables ambientales donde los sitios alterados como 3.2 SP y 3.3 SP se

han correlacionado con los géneros más dominantes. Mientras que fueron más frecuentes los géneros raros en los sitios identificados como de referencia. Como se puede ver en el cuarto cuadrante el río urbano está en la dirección de los factores ambientales que indican contaminación y el género que comúnmente se encuentra en sitios contaminados (*Polypedilum*).

Nota: Anexo 1: Análisis de Correspondencia Canónica entre la información ambiental y biológica.

4.5 Cambios morfométricos del género *Parametriocnemus*

El análisis de los cambios morfométricos en el género *Parametriocnemus*, compara a los 40 individuos de los ríos San Pedro y Pita entre su uso de suelo. A partir de esta información, se analizó el aporte de varianza según el hito o landmark, el punto que presenta mayor variación es el punto número 7, de los dientes centrales, este punto tiene el solo 0.00275 de la varianza. Para el análisis por componentes principales, figura 2, la deformación en la parte superior puede ser visualizada con los vectores de los puntos (6 y 7), la cuadrícula ayuda a mejorar el entendimiento de cómo la zona de los dientes ha tendido a moverse en forma vertical. La magnitud de los vectores no ha sido exagerada para su representación. Los valores propios de este análisis presentaron que con los dos componentes principales se analizaban el 50% de todos los datos (Anexo 3). La varianza total obtenida por el PCA es de 0.00314, esto quiere decir la varianza de todos los individuos.

Tabla 8:

Varianza morfométrica de cada hito.

Hito	Varianza
7	0.00275
6	0.00283
10	0.00295
8	0.00307
3	0.00312

9	0.00313
5	0.00314
4	0.00317
12	0.00319
1	0.00320
2	0.00352
11	0.00358

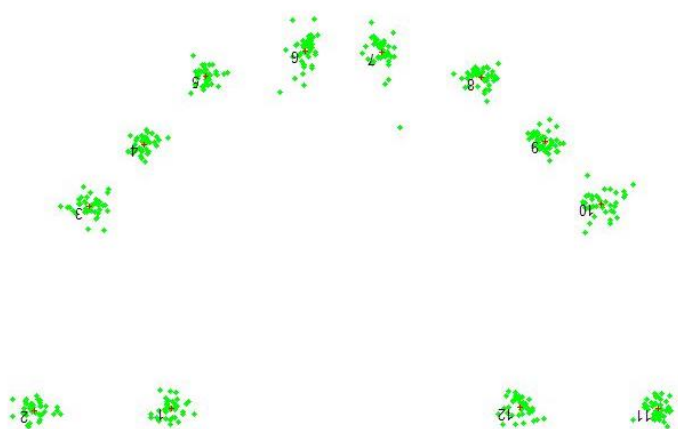


Figura 19: Conglomerados PAR mediante el espacio Procrustes de las larvas de Parametricnemus, configuración realizada por el software CoordGen8

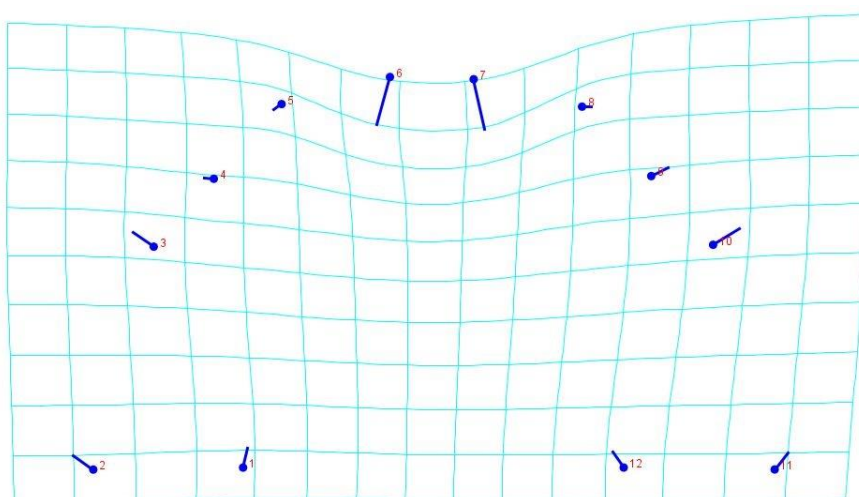


Figura 20: Coordenadas de los conglomerados de Componentes principales en una cuadrícula de transición.

El uso de esta herramienta para el análisis de la morfometría es de aplicación sencilla. La figura 21 nos muestra los cambios dentro del grupo y se puede comparar entre grupos de igual manera. Estos valores nos indican las diferencias del grupo, que pueden ser relacionados según su variación, es decir, los individuos del uso de suelo de bosque si son morfométricamente diferentes a los individuos del uso de suelo agro-ganadero. Los valores fisicoquímicos de los sitios de agro-ganaderos presentan valores altos en conductividad, cloruros y sulfatos, que presumiblemente podemos relacionar la variación morfométrica dispersa como podemos apreciar en la figura 21

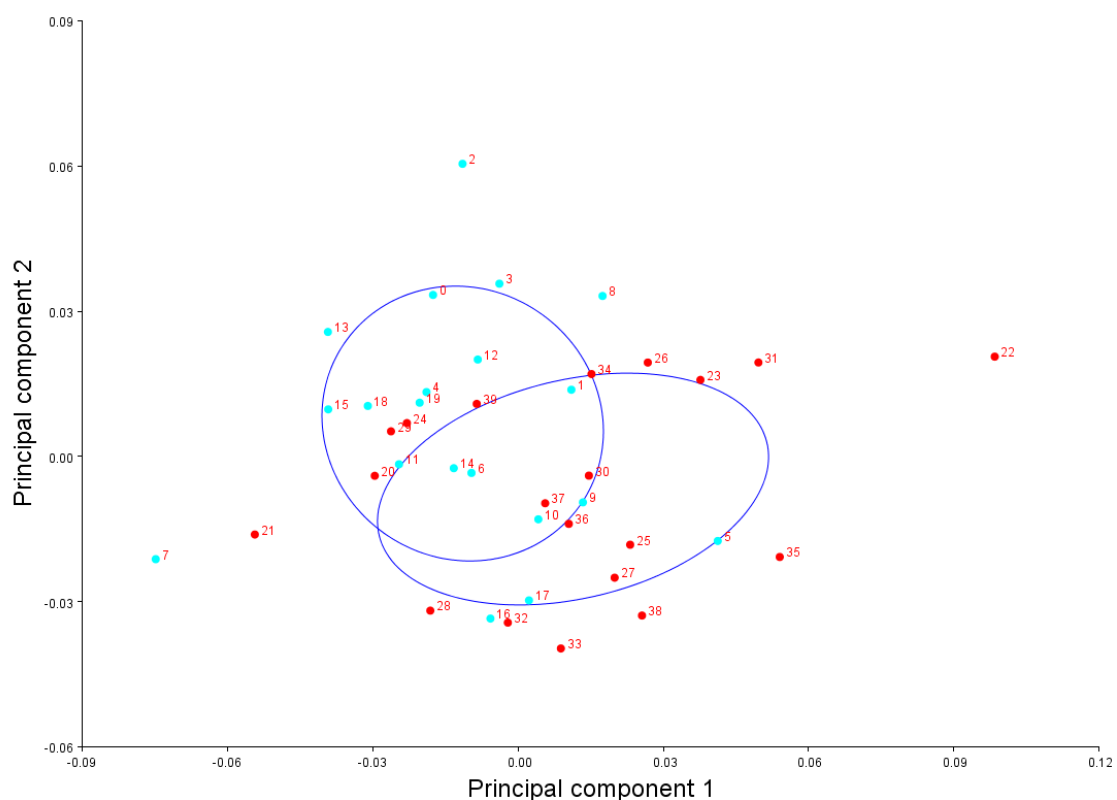


Figura 21: Variación entre individuos según el uso de suelo y elipses de confianza del 50% a partir del PCA. Puntos color azul: Bosque, color rojo: Agro-ganadero.

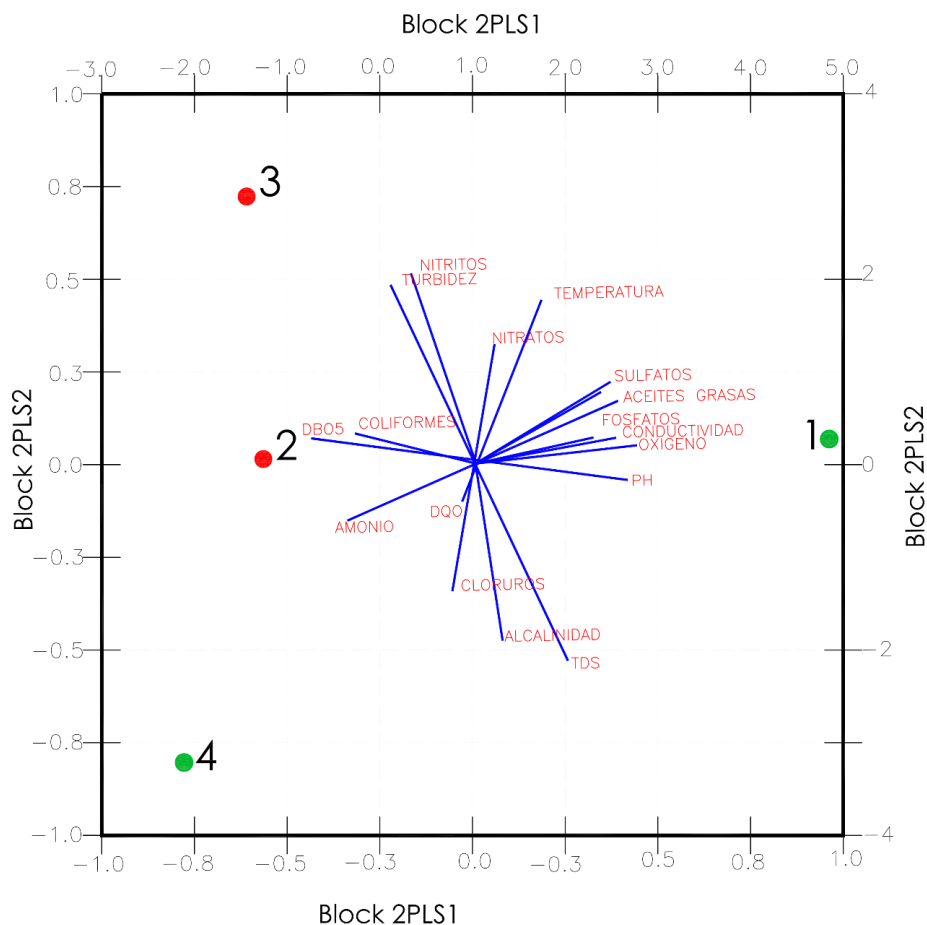


Figura 22: Sobreposición del gráfico de cuadrados mínimos parciales, tienen diferentes escalas y por eso se la colocó de esa manera. Los puntos de color verde pertenecen a uso de Bosque (#1 y #4) y los puntos de color rojo a Agro-ganadero (#3 y #2)

A partir del gráfico que se muestra en la figura 22, podemos visualizar que factores ambientales se relacionan con el sitio de muestreo. Por ejemplo, los resultados fisicoquímicos de esta investigación indican que parámetros como la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto expresan calidad en el lecho, con este análisis de bloque los vectores de estos parámetros se encuentran en la misma dirección hacia el punto prístino. De la misma manera sucede con los sitios y parámetros más incidentes en el uso agro-ganadero.

4.6 Discusión

Dentro del área de estudio en la cuenca del río Guayllabamba, se han realizado varios estudios con el uso de los valores fisicoquímicos del agua en conjunto con la información biológica para conocer el estado ecológico y de calidad de un río (Giacometti & Bersosa, 2006; Ríos-Touma, et al., 2014). Las diferencias fisicoquímicas han ido variando en función de las actividades y del incremento de la mancha urbana. Los cambios de uso de suelos que se han ido sufriendo en los últimos años ha alterado los factores fisicoquímicos de los diferentes puntos. Existen datos de investigaciones anteriores Ríos-Touma, B, et al. (2014) donde se muestran como estos puntos han ido variando y cambiando con el tiempo. A partir de ello, se utilizó los datos y resultados de la investigación de Checa (2017) provisto que son los mismos sitios de muestreo, parámetros analizados y macroinvertebrados, con los cuales se realizó un análisis de una familia de los dípteros. En estas dos investigaciones anteriores ya se demuestra que hay un cambio a nivel fisicoquímico, lo que quiere decir que la calidad del lecho ha ido decreciendo en estos puntos. Esto ha hecho que estas variaciones influyan también en la comunidad, Checa (2017) en su estudio ya menciona que existe un cambio un uso de suelo y un decrecimiento en la calidad de los ríos. Si bien es cierto, la información obtenida de Checa (2017) menciona a la toda la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y todas sus familias. En esta investigación se utilizó la familia Chironomidae, a la cual se identificó hasta nivel de género. Dentro de nuestros análisis, se ha demostrado que la comunidad ha ido variando en función de las características fisicoquímicas, donde hay algunos grupos, especialmente los más raros y poco abundantes, con una mayor frecuencia de estos en lugares de referencia. A medida que va cambiando el uso de suelo empiezan a parecer otros grupos dominantes. Esta composición tiende a variar conforme la altitud, por lo tanto, hay familias más dominantes en partes altas y otras en partas bajas, esta investigación se centró únicamente en un rango altitudinal. Al parecer con un estudio similar realizado en el DMQ (Mejía, *et al.*, 2014) la composición a nivel de subfamilia es similar (Tabla 8, Anexo 1) la familia Orthocladiinae es dominante y esta comunidad va variando en función de las características

ambientales. En otra investigación similar para conocer la composición de la comunidad de quironómidos realizada en ríos altoandinos de Perú (Acosta, *et al.*, 2009) se encontró un total de 38 géneros en un rango altitudinal de 2553 a 4425 msnm, nosotros hemos podido identificar 5 subfamilias y 32 géneros en un rango más estrecho, eso nos demuestra la cantidad de riqueza biológica que contienen nuestros ríos. Se han realizado estudios para reconocer la distribución espacio temporal de quironómidos en un arroyo andino en Argentina (Scheibler & Paggi, 2008) que a través de un análisis de correspondencia canónica establecieron los rangos fisicoquímicos en los que varios géneros Chironomidae se presentaban. El género *Parametrioctenus* en esa investigación solía preferir ubicarse a gran altura desde los 2236 msnm hacia arriba, así como también con amplios rangos de tolerancia a los factores ambientales tales como la temperatura del agua y conductividad, soportando hasta 22.9 °C y 793 uS/cm. Ambas investigaciones mencionadas anteriormente concluyen que las variaciones en la composición de la comunidad son producidas por el cambio continuo que tiene la gradiente debido a las variables físicas lo que refleja los ajustes bióticos que deben realizar las comunidades y poder sobrevivir en el medio. Según los investigadores la composición de la comunidad se ve influenciada por la temperatura, la velocidad de la corriente, la disponibilidad de alimento y el tipo de sustrato. Nosotros también hemos encontrado cambios en la composición dentro del rango altitudinal, que podemos ver con la presencia de un solo género en M2 y 26 géneros en 3.2 PI (Figura 17) y las similitudes de géneros entre los puntos de cada cuenca.

A partir de la investigación de Checa (2018) los valores de las cuencas de los ríos (San Pedro y Pita) no muestran tener una gran diferencia a nivel de comunidad, donde la calidad del agua está bien, a nivel de familia Chironomidae podemos ver que, si se diferencian en su composición, porque hemos visto que los géneros que son más raros tienden a estar en los lugares que se consideraban como de referencia, esto se convierte en información ecológica que se está perdiendo. Las áreas aledañas a los sitios de muestreo han modificado su uso de suelo con el pasar de los años, aumentando el porcentaje de uso agrícola ganadero que al parecer los quironómidos si llegan

a detectar esta diferencia lo que no sucede con la comunidad entera. También queda demostrado que los quironómidos son sensibles a cambios, que el hecho de que sean abundantes cuando existe un incremento en la materia orgánica, no quiere decir que solo sirvan para eso, porque a nivel de género si podemos ver unas variaciones de la composición de la comunidad. Los resultados obtenidos concuerdan con la contaminación esperada según el de suelo. Sin duda el cambio más distintivo de estas investigaciones son el uso de suelo durante la época de la investigación.

Una de las debilidades de este estudio fue que no se encontraron individuos de *Parametriocnemus* en los lugares más alterados, en M2 no se encontró ningún individuo y en 3.4 PI no existían suficientes individuos para realizar la morfometría. Pero cuando analizamos los datos de morfometría se pudo ver dos cosas importantes. Por una parte, con el análisis canónico de varianza que compara los individuos del grupo y entre grupos, hace discriminación que es significativa, discrimina a los grupos de una cuenca y dentro de la cuenca también separa a los sitios de referencia de los contaminados. Siendo similar la respuesta a nivel de comunidad entera, como podemos observar en la figura 17, la separación los puntos por cuencas y los puntos de referencia de los alterados. En investigaciones similares (Odume, *et al.*, 2012) las malformaciones en las larvas de Chironomidae han sido analizadas de larvas en microhábitats puntuales como del fondo del lecho, vegetación acuática o sedimentos. El análisis morfométrico indico que los sujetos expuestos a gran cantidad de estrés por contaminación mostraron deformaciones, pero este análisis pudo ser concluido al utilizar una especie de quironómido. Sin embargo, se expresa en ese estudio que las deformaciones en condiciones de campo no pueden ser completamente atribuidas por un grupo de productos químicos, ya que las influencias en el medio, bosque de ribera y uso de suelo del área de drenaje, también influyen en la degradación, sinergia e interacciones antagónicas. De la misma manera explica Paggi (1999) que los análisis morfométricos tienen el potencial de indicar los efectos subletales de la contaminación. Así mismo podemos identificar con nuestros resultados, donde 3.2 SP presenta la mayor variación morfométrica, con resultados fisicoquímicos

que no indican contaminación grave y que las deformaciones se pueden deber a la disponibilidad de alimento o el tipo de sustrato en el fondo del lecho. Por esta razón, el conocimiento taxonómico de esa familia debe ser incentivado con el objetivo de conocer el estado de referencia de las especies conocidas, para de esta manera analizar la morfometría con metodologías estandarizadas y encontrar patrones de referencia.

5. CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación presentada, es posible concluir que las variaciones en la comunidad de Chironomidae están influenciadas tanto por las presiones antropogénicas como las variaciones naturales que existen en un sitio (Climatología, Ecología, Geomorfología) ya que al establecer un rango altitudinal pudimos conocer cuáles son los géneros que presentan un mayor tolerancia a la contaminación, su distribución espacial, además de identificar el tipo de agua en el que habitan (*Parametriocnemus*, Tabla 8) y también, cuáles son los géneros que tienen requerimientos específicos para encontrarse dentro de una gradiente altitudinal, una zona biogeográfica (Morfo X, Tabla 8). La relación de las variables fisicoquímicas como el oxígeno y nitratos con los géneros Chironomidae ayudan a desarrollar ese criterio en donde los géneros tienen preferencias y son tolerantes para habitar. Sin lugar a duda los sitios en los que se desarrolló esta investigación mantienen una alta semejanza que se puede deber a la geografía de las áreas.

Al encontrar con el análisis de varianza canónica (figura 21) grupos de individuos que geográficamente se encuentran en distintos sitios pero que morfológicamente se relacionan abre paso para nuevas investigaciones en el tema. Se puede deducir que el género *Parametriocnemus* tiene algunas variantes internas del género, si bien es cierto, pueden verse influidas por la contaminación y disponibilidad de alimento, pero justamente la morfometría nos ayuda a encontrar esas variantes dentro de cada grupo y entre grupos.

Para mejorar los resultados obtenidos se debería realizar una recolección de individuos como lo detallado en Odume, O, (et al., 2012) ya que al puntualizar el microhábitat se conoce el tipo de daño que podría recibir el sujeto. Al realizar esta investigación hasta el nivel de género se obtiene información necesaria para futuras investigaciones para conocer mejor la ecología de esta familia.

REFERENCIAS

- Acosta, 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. *Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Doctorado*, 153.
- Acosta, R., & Prat, N. (2010). Chironomid assemblages in high altitude streams of the Andean region of Peru. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv Für Hydrobiologie*, 177(1), 57–79. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2010/0177-0057>
- Acosta, R., Reos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2008). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú, 27(281), 195–210. <https://doi.org/10.1042/BJ20130013>
- Armitage, P.; Cranston, P.s.; Pinder, I.c.v. (1995): The chironomidae: the biology and ecology of non-biting midges. Chapman & hall, Londres. 572 pags.
- Bervoets, L., Solis, D., Romero, A. M., Damme, P. V. A. N., & Ollevier. (1998). Trace metals in chironomids larvae and sediments from a Bolivian River: Impact of mining activities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 41(41), 275–283.
- CAF Cooperación Andina de Fomento. (2000) Ecuador, Nota de análisis sectorial: agricultura y desarrollo rural. Roma, Italia. 67 pp.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Naeem, S. (2012). Corrigendum: Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 489(7415), 326–326. <https://doi.org/10.1038/nature11373>
- Carrera, C. Fierro, K. (2001). Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. EcoCiencia. Quito
- Cañedo-Argüelles, M., Bogan, M. T., Lytle, D. A., & Prat, N. (2016). Are Chironomidae (Diptera) good indicators of water scarcity? Dryland streams as a case study. *Ecological Indicators*, 71, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.002>
- Checa, J (2017) Calidad ambiental y diversidad acuática de los ríos de la zona urbana de Quito. Universidad de las Américas.

- Cranston, P, Armitage P.D., Pinder, L. C. The Chironomidae: Biology and ecology of non-biting midges. Springer Netherlands. DOI 10.1007/978-94-011-0715-0
- Cortelezzi, A; Paggi, A; Rodríguez, M; Rodrigues, A, (2011) Taxonomic and nontaxonomic responses to ecological changes in an urban lowland stream through the use of Chironomidae (Diptera) larvae. *Science of the Total Environment*. Vol. 409 (7), (1344-13350) doi:10.1016/j.scitotenv.2011.01.002
- Dauvin, J. C., Bakalem, A., Baffreau, A., Delecrin, C., Bellan, G., Lardicci, C., Grimes, S. (2017). The well sorted fine sand community from the western Mediterranean Sea: A resistant and resilient marine habitat under diverse human pressures. *Environmental Pollution*, 224, 336–351. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.013>
- De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macia, M., Balslev, H., (2008) Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador. Herbario QCA & Herbario AAU. Quito & Aarhus.
- Di Veroli, A; Santoro, F; Pallottini, M; Selvaggi, R; Scardazza, F; Cappelletti, D; Goretti, E. (2014) Deformities of chironomid larvae and heavy metal pollution: From laboratory to field studies. *Chemosphere*, Vol. 112, (9-17) <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.053>
- Donato, M; Massaferró, J; Brooks, S; (2008) Estado del conocimiento taxonómico de la fauna de Chironomidae (Diptera : Nematocera) de la Patagonia. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* Vol. 68 (6), (187-192)
- Encalda, A, Rieradevall, M, Ríos-Touma, B, Garcia, N, Prat, N (2011) Protocolo simplificado y guía de evaluación de calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S)
- Epler, J, (2001). Identification Manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North And South Carolina.
- Erdős, L., Bátori, Z., Penksza, K., Dénes, A., Kevey, B., Kevey, D., ... Tölgyesi, C. (2017). Can naturalness indicator values reveal habitat degradation? A test of four methodological approaches. *Polish Journal of Ecology*, 65(1), 1–13. <https://doi.org/10.3161/15052249PJE2017.65.1.001>
- FAO Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. (2000) Ecuador, Nota de análisis sectorial: agricultura y desarrollo rural. Roma, Italia. 67 pp.
- Giacometti, J. Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi.

Escuela de Biología Universidad central del Ecuador. 1(2),18.
Recuperado de <https://bit.ly/2MhXX7P>

- GeoEcuador. (2008). Estado del suelo, recuperado el 8 de junio de 2018 de:
<https://bit.ly/2pTzpbz>
- González-Trujillo JD, Prat N, Ospina-Torres R (2014) Clave para la determinación de exuvias pupales de los quironómidos (Diptera: Chironomidae) de ríos altoandinos tropicales. *Rev Biol Trop* 62: 1385–1406
- IICA Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (2012) Agricultura en números, indicadores socioeconómicos y sectoriales. Costa Rica. Recuperado el 8 mayo de 2018 de <http://webiica.iica.ac.cr/2015/indicadores/RegionAndina/ecuador.pdf>
- Jaramillo, N. (2011). Morfometría geométrica: Principios teóricos y métodos de empleo. Grupo de biología y Control de enfermedades infecciosas. Universidad de Antioquia
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353–357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>
- Konig, R. Santos, S. (2013). Chironomidae (Insecta: Diptera) of different habitats and microhabitats of the Vacacaí-Mirim River microbasin, Southern Brazil. *SciELO*. 85(3). 975-976.
- Leal del Castillo, G., (2010). Ecourbanismo: ciudad, medio ambiente y sostenibilidad. 2da Ed. Eco Ediciones. Bogotá-Colombia.
- Lindegaard, C., Brodersen, K., (1995). *Distribution of Chironomidae (Diptera) in the river continuum*. Chironomids from Genes to Ecosystems, CSIRO, Melbourne, pp. 257-271.
- Letovsky, E; Myers, I; Canepa, A; McCabe, D; (2012) Differences between kick sampling techniques and short-term Hester-Dendy sampling for stream macroinvertebrates. Biological Society. Vermont, USA
- MAE Ministerio del Ambiente, (2015). Mapa de cobertura y uso de suelo y de la tierra. Quito, Ecuador. Recuperado el 1 junio de 2018 de <http://www.sigtierras.gob.ec/cobertura-y-uso-de-la-tierra/>
- MAGAP Ministerio de Agricultura y Pesca, (2015). Mapa de cobertura y uso de suelo y de la tierra. Quito, Ecuador. Recuperado el 1 de junio de 2018 de <http://www.sigtierras.gob.ec/cobertura-y-uso-de-la-tierra/>

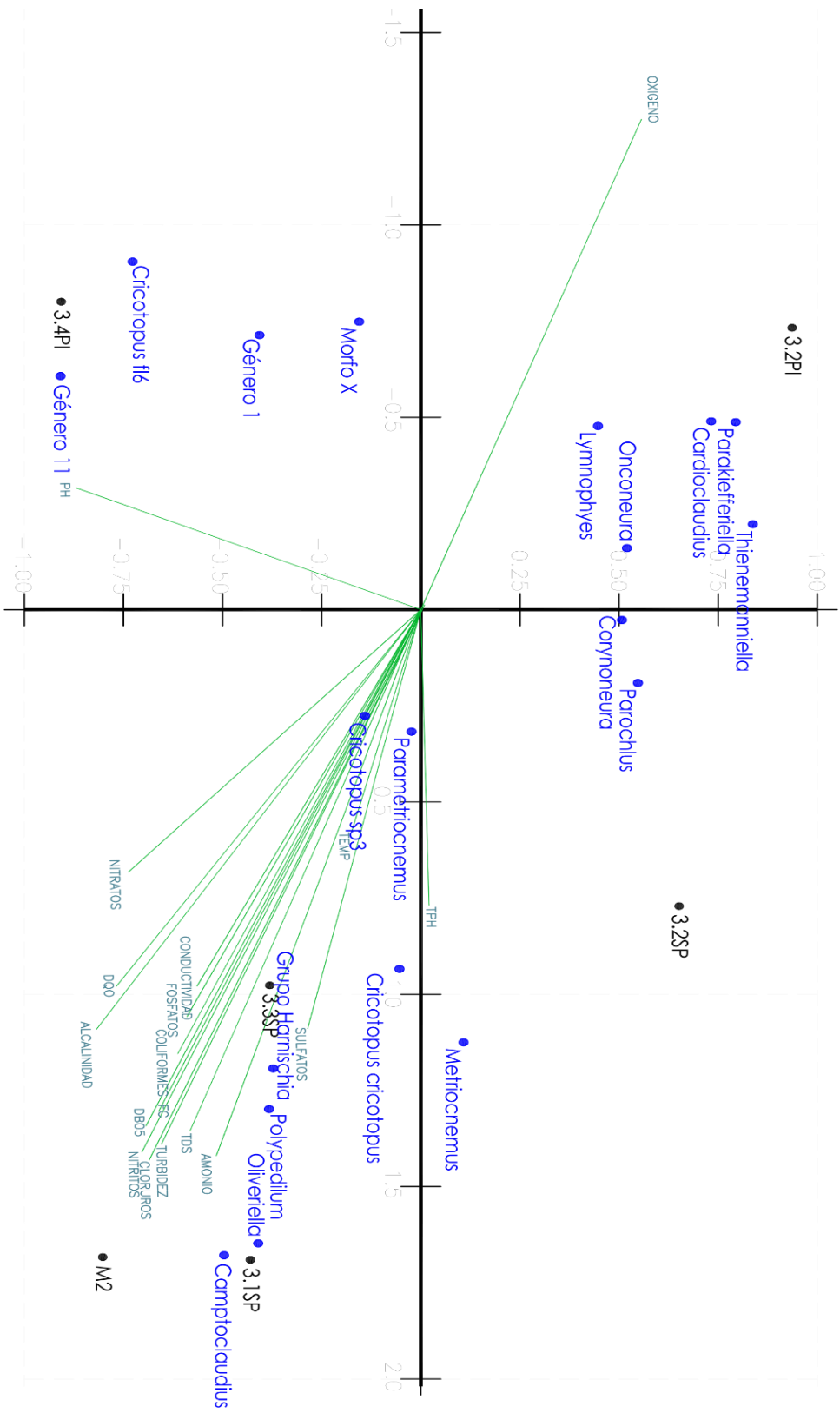
- Mejia, J; Villamarín, C; Villamarín, S, (2014) Distribución y diversidad altitudinal de Quironómidos (Diptera:CHIRONOMIDAE) en los ríos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Conference paper.
- Odume, O. N., Muller, W. J., Palmer, C. G., & Arimoro, F. O. (2012). Mentum deformities in Chironomidae communities as indicators of anthropogenic impacts in Swartkops River. *Physics and Chemistry of the Earth*, 50–52, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2012.08.005>
- Oleas, N. H., Rios-Touma, B., Peña Altamirano, P., & Bustamante, M. (2016). Plantas de las quebradas de Quito: Guía práctica de identificación de plantas de ribera.
- Oscoz, J. (2009). Guía de campo Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. (1. ed). [versión electrónica] Recuperado 25 de mayo de 2018 de <https://bit.ly/2JHuyph>
- Paggi, A. C. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 58(January 1999), 202–207.
- Paggi, A. (2003). Los Quironómidos (Diptera) y su empleo como bioindicadores. *Biología Acuática*. Instituto de Limnología “Dr. Raul A. Ringuelet. 21. 50,51
- Porta, J. (2013). Edafología: uso y protección de suelos. (3.^a ed.). Madrid, España: Mundi Prensa. 607 pp.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2006). Los Macroinvertebrados Como Indicadores De Calidad De Las Aguas. *Macroinvertebrados bentonicos Sudamericanos*, 645. <https://doi.org/10.3390/w1010003>
- Prat, N; Rieradevall, M; (2011) GUÍA PARA EL RECONOCIMIENTO DE LAS LARVAS DE CHIRONOMIDAE (DIPTERA) DE LOS RÍOS ALTOANDINOS DE ECUADOR Y PERÚ. Clave para la determinación de los géneros.
- Prat, N., Gonzales-Trujillo, J., Ospina-Torres, R., (2014). Clave para la determinación de exuvias pupales de los quironómidos (Diptera: Chironomidae) de ríos altoandinos tropicales. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 62 (4): 1385-1406.
- Prat, N., Paggi, A., Ribera, C., Acosta, R., Ríos-Touma, B., Villamarín, C., Rieradevall, M. (2017). The *Cricotopus* (*Oliveiriella*) (Diptera: Chironomidae) of the High-Altitude Andean Streams, with Description of a New Species, *C. (O.) rieradevallae*. *Neotropical Entomology*. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0548-5>

- Puntí, T., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Environmental factors, spatial variation, and specific requirements of Chironomidae in Mediterranean reference streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 28(1), 247–265. <https://doi.org/10.1899/07-172.1>
- Ramírez, A. (2010) Capítulo 2 Métodos de recolección. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 58 (Suppl. 4): 41-50.
- Ramírez, A., Gutierrez-Fonseca, P., (2014) Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 62 (Suppl. 2): 9-20.
- Rebecchi, D., & Navarro-Silva, M. A. (2012). Setting the reference for the use of *Chironomus sancticaroli* (Diptera: Chironomidae) as bioindicator: Ontogenetic pattern of larval head structures. *Zoologia (Curitiba)*, 29(2), 167–171. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702012000200009>
- Rebecchi-Baggio, D; Richardi, Vinicius S. Vicentini, Maiara Guiloski, Izonete C. Assis, Helena C Silva de Navarro-Silva, Mário A. (2016) Factors that alter the biochemical biomarkers of environmental contamination in *Chironomus sancticaroli* (Diptera, Chironomidae) *Revista Brasileira de Entomologia*, Vol. 60 (4), 341-346 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rbe.2016.07.002>
- Rios-Touma, B. y Guerrero-Latorre, L. (2016). Ecological and microbiological status of the Upper Guayllabamba River Basin, historic trends, biodiversity threats and health risks. Quito, Ecuador.
- Rodríguez, J; Castaño, J; Marulanda, J, (2016) Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia *Hidrobiológica*, vol. 26, núm. 3, 2016, pp. 359-371 Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa Distrito Federal, México
- Roldan-Pérez, G (2016) Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155):254-274. DOI: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Sánchez-Millarvela, N; Cañedo-Argüelles, M & Rieradevall, M. (2009) Estudio de la biodiversidad de macroinvertebrados del embalse del Foix y evaluación de su estado ecológico mediante el uso de las exuvias de quironómidos como bioindicadores. *II Monografías del Foix*, p. 81-87. Grupo de investigación FEM (Freshwater Ecology and Management). Parque Científico. Universidad de Barcelona. Diputación de Barcelona.

- Soeáñez, M. (1999). Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Madrid, España. Mundi Prensa. 352 pp.
- SOT Superintendencia de Ordenamiento Territorial, (2017). Encuentros Territoriales 2017. Quito, Ecuador. 36 pp
- Tejerina, E. Molineri, C. (2007). Comunidades de Chironomidae (Diptera) en arroyos de montaña del NOA: comparación entre Yungas y Monte. *Rev.Soc.Entomol.* 66(3-4), 170.
- Thienemann, A. (1954). Chironomus. Leben, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung der Chironomiden. *Binnengewässer*, 20: 1-834
- Torcida, S., & Pérez, S. I. (2012). Análisis de procrustes y el estudio de la variación morfológica. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 14(1), 131–141.
- Toro, M. Manriquez, G. Suazo, I. (2010). Morfometría geométrica de y el estudio de las formas biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *Int.J.Morphol.* 28(4).977.
- Thani, I., & Prommi, T. O. (2017). Mentum Deformities in Chironomidae (Diptera, Insecta) as Indicator of Environmental Perturbation in Freshwater Habitats. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 10(4), 229–233.
- Villamarín, C; Acosta, R; Prat, N; Rieradevall, M, (2012) GUÍA PARA EL RECONOCIMIENTO DE LAS LARVAS DE CHIRONOMIDAE (DIPTERA) DE LOS RÍOS ALTOANDINOS DE ECUADOR Y PERÚ. Clave para la determinación de los principales morfotipos larvarios”
- Villamarín, C; Rieradevall, M; Paul, M; Barbour, M; Prat, N; (2013) A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA index. *Ecological Indicators*. Vol. 29, (79-92) <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.006>
- Villamarín, C; Prat, N; Rieradevall, M; (2014) Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*. Vol. 42 (5), (1072-1086) DOI: 10.3856/vol42-issue5-fulltext-12

ANEXOS

Anexo 1



Anexo 2

M2					
Metodo	Altitud	Fecha	Subfamilia	Genero	Abundancia
Surber 1	2824	10-ago-	<i>Chironomini</i>	<i>Polypelidilum</i>	1
Surber 3		17	<i>Chironomini</i>	<i>Polypelidilum</i>	1

3.1 SP

Metodo	Altitud	Fecha	Subfamilia	Genero	Abundancia
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	2
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus cricotopus</i>	1
Surber 2			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	4
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametrioctenus</i>	5
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus cricotopus</i>	3
Surber 3			<i>Chironomini</i>	<i>Grupo Harnischia</i>	2
Surber 3			<i>Chironomini</i>	<i>Polypelidilum</i>	6
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	4
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Corynoneura</i>	1
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Metrioctenus</i>	2
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Camptocladus</i>	1
Surber 3	2786	01-ago-	<i>Podonomiinae</i>	<i>Parochlus</i>	1
Surber 3		17	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Oliveiriella</i>	1
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Corynoneura</i>	19
Patada			<i>Chironomini</i>	<i>Grupo Harnischia</i>	4
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	12
Patada			<i>Podonomiinae</i>	<i>Parochlus</i>	20
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametrioctenus</i>	7
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus cricotopus</i>	10
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	1
Patada			<i>Tanytarsini</i>	<i>Tanytarsus</i>	1
Patada			<i>Tanypodinae</i>	<i>Pentaneura</i>	4
Patada			<i>Tanypodinae</i>	<i>Macropelopiini Alotanypus</i>	1
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Metrioctenus</i>	2
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl6</i>	10

3.2 SP

Metodo	Altitud	Fecha	Subfamilia	Genero	Abundancia
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus cricotopus</i>	2
Surber 1	2794	01-ago-	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametrioctenus</i>	1
Surber 1		17	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Thiennemanniella</i>	1
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	3

Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Metriocnemus</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus cricotopus</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Lymnophyes</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parochlus</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametriocnemus</i>	1
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus Isocladius</i>	2
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Corynoneura</i>	40
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametriocnemus</i>	27
Patada	<i>Tanypodinae</i>	<i>Pentaneurinii Larsia</i>	21
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	69
Patada	<i>Tanytarsinii</i>	<i>Tanytarsus</i>	8
Patada	<i>Tanypodinae</i>	<i>Pentaneura</i>	2
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parakiefferiella</i>	35
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Metriocnemus</i>	24
Patada	<i>Podonominae</i>	<i>Parochlus</i>	18
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl6</i>	18
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Lymnophyes</i>	42
Patada	<i>Podonominae</i>	<i>Podonomus</i>	4
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	Genero 11	5
Patada	<i>Tanypodinae</i>	<i>Macropelopiini Alotanypus</i>	2
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl4</i>	9
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Oliveriella</i>	5
Patada	<i>Chironomiinae</i>	<i>Rheotanytarsus</i>	9
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Onconeura</i>	5
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	Genero 1	27
Patada	<i>Tanypodinae</i>	<i>Hudsonimya</i>	3
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Camptocladus</i>	4
Patada	<i>Chironomini</i>	Grupo <i>Harnischia</i>	1

3.3 SP

Metodo	Altitud	Fecha	Subfamilia	Genero	Abundancia
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametriocnemus</i>	3
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	Genero 1	1
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	2
Surber 2	2872	02-ago-	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametriocnemus</i>	2
Surber 2		17	<i>Chironomini</i>	<i>Polypedilum</i>	1
Surber 2			<i>Chironomini</i>	Grupo <i>Harnishchia</i>	1
Surber 2			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	2
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus cricotopus</i>	6

Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametricnemus</i>	10
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Onconeura</i>	1
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametricnemus</i>	53
Patada	<i>Chironomini</i>	<i>Polypedilum</i>	52
Patada	<i>Tanypodinae</i>	<i>Pentaneurini</i> <i>Larsia</i>	60
Patada	<i>Tanytarsini</i>	<i>Tanytarsus</i>	20
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus cricotopus</i>	16
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	15
Patada	<i>Podonominae</i>	<i>Parochlus</i>	1
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Paracladius</i>	2
Patada	<i>Chironomini</i>	<i>Grupo Harnischia</i>	6
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Camptocladus</i>	2
Patada	<i>Tanytarsini</i>	<i>Rheotanytarsus</i>	2
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Corynoneura</i>	5
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	1

3.2 PI

Metodo	Altitud	Fecha	Subfamilia	Genero	Abundancia
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Morfo X</i>	8
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametricnemus</i>	20
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Corynoneura</i>	7
				<i>Pentaneurini</i>	1
Surber 1			<i>Tanypodinae</i>	<i>Hudsonimyia</i>	
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	96
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Lymnophyes</i>	24
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Onconeura</i>	4
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	9
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 6</i>	8
Surber 1	2789	27-jul-17	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 4</i>	3
Surber 1			<i>Tanytarsini</i>	<i>Tanytarsus</i>	1
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Thienemanniella</i>	1
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Rheocricotopus</i>	1
Surber 1			<i>Tanytarsini</i>	<i>Rheotanytarsus</i>	3
Surber 1			<i>Podonominae</i>	<i>Parochlus</i>	1
Surber 1			<i>Podonominae</i>	<i>Podonomus</i>	1
Surber 2			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Morfo X</i>	19
Surber 2			<i>Tanytarsini</i>	<i>Rheotanytarsus</i>	1
Surber 2			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	46
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Lymnophyes</i>	12

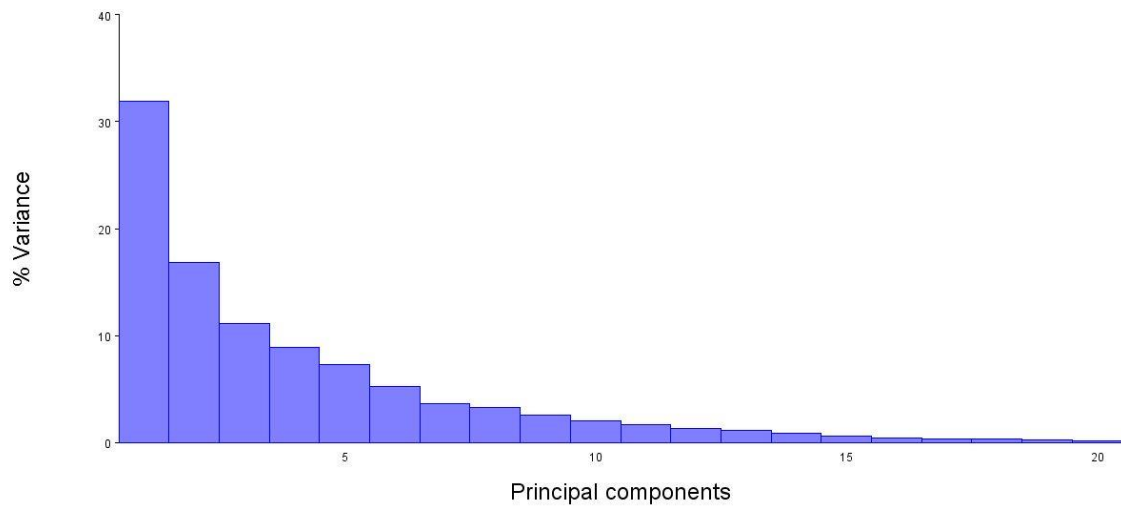
Surber 2	<i>Podonominae</i>	<i>Podonomopsis</i>	2
Surber 2	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Corynoneura</i>	1
Surber 2	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Thienemanniella</i>	1
Surber 2	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametricnemus</i>	7
Surber 2	<i>Tanytarsinii</i>	<i>Tanytarsus</i>	2
Surber 2	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Onconeura</i>	1
Surber 2	<i>Podonominae</i>	<i>Parochlus</i>	2
Surber 2	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	4
Surber 2	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 6</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parakiefferiella</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Morfo X</i>	5
Surber 3	<i>Podonominae</i>	<i>Parochlus</i>	1
Surber 3	<i>Podonominae</i>	<i>Podonomus</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Thienemanniella</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	25
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cardiocladius</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	6
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Lymnophyes</i>	1
Surber 3	<i>Tanytarsinii</i>	<i>Tanytarsus</i>	1
Surber 3	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Onconeura</i>	1
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Morfo X</i>	40
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametricnemus</i>	38
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Onconeura</i>	19
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Corynoneura</i>	62
Patada	<i>Podonomiae</i>	<i>Parochlus</i>	9
Patada	<i>Podonomiae</i>	<i>Podonomus</i>	7
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	192
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	63
Patada	<i>Chironomini</i>	<i>Grupo Harnischia</i>	2
Patada	<i>Tanytasinii</i>	<i>Tanytarsus</i>	12
		<i>Pentaneurinii</i>	6
Patada	<i>Tanypodinae</i>	<i>Hudsonimyia</i>	
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus cricotopus</i>	17
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Thienemanniella</i>	4
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Nanocladius</i>	2
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Paracladius</i>	5
Patada	<i>Chironomini</i>	<i>Polypedilum</i>	1
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Metriocnemus</i>	4

Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 4</i>	1
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parakiefferiella</i>	1
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 6</i>	1
Patada	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Oliveireilla</i>	1

3.4 PI

Metodo	Altitud	Fecha	Subfamilia	Genero	Abundancia
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 11</i>	2
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Morfo X</i>	4
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	26
Surber 1			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 6</i>	15
Surber 2			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Lymnophyes</i>	1
Surber 2			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	18
Surber 2			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	5
Surber 2			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 6</i>	5
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Morfo X</i>	2
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 6</i>	1
Surber 3	2823	09-ago- 17	<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametriocnemus</i>	2
Surber 3			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	30
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Corynonuera</i>	2
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus sp3</i>	53
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Morfo X</i>	3
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Genero 1</i>	83
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cricotopus fl 6</i>	51
Patada			<i>Chironominii</i>	<i>Polypedilum</i>	4
Patada			<i>Podonominae</i>	<i>Parochlus</i>	2
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Cardiocladius</i>	5
Patada			<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Parametriocnemus</i>	10

ANEXO 3



2.1 Porcentaje de varianza analizada según su componente.

Principal Component Analysis: PCA: CovMatrix, all, Procrustes coordinates

	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1.	0.00100171	31.873	31.873
2.	0.00052914	16.836	48.709
3.	0.00035007	11.139	59.848
4.	0.00028088	8.937	68.785
5.	0.00022923	7.294	76.078
6.	0.00016435	5.229	81.308
7.	0.00011554	3.676	84.984
8.	0.00010284	3.272	88.256
9.	0.00007959	2.532	90.789
10.	0.00006360	2.024	92.812
11.	0.00005375	1.710	94.522
12.	0.00004184	1.331	95.854
13.	0.00003662	1.165	97.019
14.	0.00002713	0.863	97.882
15.	0.00001976	0.629	98.511
16.	0.00001454	0.463	98.974
17.	0.00001122	0.357	99.331
18.	0.00000968	0.308	99.639
19.	0.00000696	0.221	99.860
20.	0.00000440	0.140	100.000

Total variance: 0.00314284

Variance of the eigenvalues: 0.0000000556222

Eigenvalue variance scaled by total variance: 0.00563

Eigenvalue variance scaled by total variance and number of variables: 0.11855

Note: throughout all calculations of eigenvalue variances, the dimensionality used was 20.

Please double-check because this dimensionality may not be appropriate for all situations.

2.2 Análisis de componentes principales

Overall strength of association between blocks:
RV coefficient: 0.1747

Singular values and pairwise correlations of PLS scores between blocks:

	Singular value	% total covar.	Correlation
PLS1	0.03481446	49.752	0.46253
PLS2	0.03227127	42.749	0.64813
PLS3	0.01351696	7.500	0.53422

2.3 Análisis de covariación de cuadrados mínimos parciales entre dos grupos

