



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INFLUENCIA DE VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMÚLIDOS EN DOS SISTEMAS FLUVIALES ANDINOS DE COLOMBIA

LUZ ANGÉLICA CUADRADO ARGEL

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá D.C., Colombia
2017

INFLUENCIA DE VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMÚLIDOS EN DOS SISTEMAS FLUVIALES ANDINOS DE COLOMBIA

LUZ ANGÉLICA CUADRADO ARGEL

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ciencias Biología

Director (a):

Gabriel Antonio Pinilla Agudelo Ph.D

Profesor Asociado

Departamento de Biología

Facultad de Ciencia

Codirector (a):

Ligia Inés Moncada Álvarez Mac

Profesor Asociado

Departamento de Salud Pública

Facultad de Medicina

Línea de Investigación en Ecología

Grupos de Investigación:

Biodiversidad, biotecnología y conservación de ecosistemas

Infecciones y salud en el trópico

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología

Bogotá D.C., Colombia

2017

Alcanzar una meta, es el esfuerzo de quien un día emprendió un reto y buscó su oportunidad. Pero! sin tu voluntad y bendición mi Dios, nada hubiese alcanzado. Tú trazas el camino, presentas nuevas personas y refuerzas el amor de familia y amistad para permitir llegar al final.

Agradecimientos

Gracias a Dios por tan bonita vivencia, sin su permiso y consentimiento nada de esto hubiera logrado.

A mis queridos directores, Ligia Ínes Moncada Álvarez y Gabriel Antonio Pinilla Agudelo por esta oportunidad de academia, su dedicación, enseñanzas, paciencia y amistad.

A los jurados por aceptar serlo y por emplear el tiempo necesario para corregir los resultados de esta investigación.

Profesores Peter Adler y Aitor Larrañaga por todas sus asesorías.

Al grupo de LEMUNEROS-UNAL, Aura, Alexandra, Camilo, Carolina, Sandra y Sebastian por su amistad incondicional, apoyo y compañía en campo y laboratorio.

A la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y Colciencias. Integrantes del laboratorio de Parasitología, Facultad de Medicina-UNAL. Departamento de Biología-UNAL. A la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por permitirnos acceder a los lugares de estudio. Policía Nacional de Colombia por los acompañamientos. Y al Jardín Botánico de Bogotá por su estímulo a la investigación TVDH.

A Doña Esther y Don Gabriel por su amor, confianza y apoyo incondicional de padres, lo que he alcanzado es para ustedes.

A mis hermanos, Katherine y Gabriel, por su apoyo emocional. A mis sobrinos hermosos, Luchy y Yeickofth por ser mis nuevos motores de amor.

A Juan Osorno, por su amor, fuerza y confianza en este recorrido.

A todos mis familiares, todos de algún modo me alentaron y acompañaron a culminar este reto de mi vida.

A todas las personas que contribuyeron a la realización de esta investigación.

RESUMEN

Los Simúlidos son un componente importante de los hábitats de aguas corrientes, no obstante, se conoce poco su relación con varios factores ambientales en Colombia. Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia de variables del agua sobre la composición y abundancia de simúlidos en dos sistemas fluviales andinos ubicados en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá (Colombia). Se estudiaron tres tramos de cada quebrada a diferente altitud y grado de intervención antrópica, en los períodos de lluvia, sequía y transición. En primer lugar se caracterizó de forma físicoquímica e hidrológica las corrientes, y se obtuvo el índices de estado trófico (IET, fósforo total y nitrógeno total). Luego se analizó la riqueza, diversidad y abundancia de Simuliidae (determinación por morfología, amplificación del gen mitocondrial Citocromo Oxidase subunidad 1 – COI y técnica citogenética). Posteriormente se analizó el grado de influencia de las variables ambientales sobre la composición de los taxones de la familia Simuliidae con diferentes características ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja. Esto se realizó utilizando análisis de correspondencia canónica (ACC), modelo lineal generalizado (MLG), índices bióticos (IB) e índice biótico de familia Simuliidae (IBF). Los resultados indican, que el gen COI no permitió diferenciar entre las especies con morfología muy paracida para el género *Gigantodax*, con una divergencia genética inferior a 5%. Por su parte, el análisis de los cromosomas politénicos asintió aclarar el estatus específico de los especímenes colectados en el presente trabajo, estas corresponden a *G. paramorum*. En total, se colectaron 4150 individuos (1760 en La Osa, 2390 en La Vieja), pertenecientes a 10 especies. El género *Simulium* estuvo representado por las especies *S. muiscorum*, *S. furcillatum* y *S. ignescens*. El género *Gigantodax* por *G. basinflatus*, *G. destitutus*, *G. multituberculatus*, *G. osornorum*, *G. wygodzinskyi*, *G. cervicornis* y *G. paramorum*. Las condiciones de las corrientes, cada una mostró sus propias características físicas, químicas e hidrológicas. El índice IET basado en fósforo indicó aguas mesotróficas y eutróficas. Las taxas *G. cervicornis* y *S. ignescens* tuvieron el mayor valor de tolerancia, con un VPT de 2,97; *G. basinflatus* es la especie más sensible a la contaminación (VPT 1,32), lo que indica que las taxas de Simuliidae requieren calidad del agua diferentes. El IB como el IBF, demuestran condiciones de calidad regular y mala en las áreas de estudio. Se concluye que las variables ambientales y la determinación de las especies de la familia permiten caracterizar y determinar las condiciones de calidad de agua de las quebradas La Osa y La Vieja.

Palabras clave: simúlidos, variables ambientales, La Osa, La Vieja, Andes.

ABSTRACT

Blackflies are an important component of running water habitats, however, little is known about its relationship with different environmental factors in Colombia. This research had as main objective to determine the influence of water variables on the composition and abundance of simuliids in two Andean river systems (La Osa and La Vieja) located in the eastern hills of Bogotá city (Colombia). Three sections of each river were studied at different altitude and degree of antropic intervention, during the rainy, dry and transition periods. The rivers were characterized in terms of physical and hydrological variables, as well as trophic state indexes (TSI, total phosphorus and total nitrogen). We then analyzed the richness, diversity and abundance of Simuliidae (morphology, amplification of the mitochondrial gene Cytochrome Oxidase subunit 1 - COI and cytogenetic technique). Finally, the influence of the environmental variables on the composition of Simuliidae species was analysed using canonical correspondence analysis (CCA), generalized linear model (GLM), biotic indices (BI) and family biotic index Simuliidae (FBI). The results indicate that each river showed particular physical, chemical and hydrological characteristics. Also the phosphorus-based TSI index indicated the presene of mesotrophic and eutrophic waters. In total, 4150 individuals (1760 in La Osa, 2390 in La Vieja), belonging to 10 Simuliidae species were collected. The genus *Simulium* was represented by the species *S. muiscorum*, *S. furcillatum* and *S. ignescens*. The genus *Gigantodax* by *G. basinflatus*, *G. destitutus*, *G. multituberculatus*, *G. osornorum*, *G. wygodzinskyi*, *G. cervicornis* and *G. paramorum*. The amplified fragment of COI gene did not allow to differentiate between species of the genus *Gigantodax*, with a genetic divergence less than 5%. However, the analysis of the polytene chromosomes allowed to clarify the identity for the collected individuals of *G. paramorum*. The relation between simuliid species and environmental variables, showed that *G. cervicornis* and *S. ignescens* taxas had the highest tolerance, with a VPT of 2.97 while *G. basinflatus* was the most sensitive species to contamination (VPT 1.32), indicating that Simuliidae species require different water quality. The BI as the FBI, demonstrate conditions of regular and poor quality in the study areas. It was concluded that taxonomical studies to species level are more sensitive to characterize the water quality conditions of the streams, allowing to a better characterization of wather quality conditions of La Osa and La Vieja streams.

Keywords: blackflies, environmental variables, La Osa, La Vieja, Andes.

CONTENIDO

	Pág.
1. RESUMEN	VI
2. ABSTRACT	VII
Lista de figuras	X
Lista de tablas	XII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XIV
INTRODUCCIÓN	1
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1 Generalidades.....	6
3.1.1 Los Andes de Colombia.....	6
3.2 Variables Físicas, Químicas e Hidrológicas.....	7
3.2.1 La Calidad de Agua y los insectos Acuáticos.....	9
3.3 La Familia Simuliidae	10
3.3.1 Ciclo de Vida	10
4. OBJETIVOS	15
4.1 Objetivo General	15
4.2 Objetivos Específicos	15
5. MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1 Área de Estudio.....	16
5.2 Variables físicas, químicas e hidrológicas	19
5.3 Recolección, determinación taxonómica y aspectos morfológicos de organismos de la familia Simuliidae	21
5.4 Extracción de ADN genómico, amplificación y secuenciación	23
5.5 Procedimiento citogenético	24
5.6 Análisis de datos	25
5.6.1 Análisis de variables ambientales de las Quebradas La Osa y La Vieja25	
5.6.2 El estado trófico de las quebradas La Osa y La Vieja	26
5.6.3 Análisis de las secuencias del gen COI	28
5.6.4 Elaboración y análisis de los mapas cromosómicos	29
5.6.5 Análisis de las abundancias de simúlidos en las Quebradas La Osa y La Vieja 29	
5.6.6 Análisis de variables ambientales y su relación con los taxones de la familia Simuliidae en las quebradas La Osa y La Vieja	29
5.7 Cálculo de Índice de Polución de las variables ambientales y de los Valores de Polución de las especies de Simúlidos	30
5.7.1 Índice Biótico (IB) e Índice Biótico de Familias (IBF) para los Simúlidos en las quebradas La Osa y La Vieja.....	31
6. RESULTADOS	33
6.1 Variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá.	33
6.1.1 Análisis de varianza de las variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja	42
6.2 Análisis de Componentes Principales de variables físicas y químicas de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá	44
6.2.1 Análisis de Componentes Principales de las variables hidrológicas de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá	46
6.2.2 Análisis de componentes principales de las variables cualitativas de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá.	48

6.3	El estado trófico de las quebradas La Osa y La Vieja	50
6.4	Análisis de las secuencias del gen COI género <i>Gigantodax</i>	52
6.4.1	Diversidad de secuencias de COI	53
6.5	Resultados de citogenética	54
6.6	Composición de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá	58
6.6.1	Composición y abundancia de simúlidos en los periodos climáticos de lluvia, seca y transición 2015-2016.....	62
6.7	Descriptores ecológicos de diversidad de las comunidades de Simúlidos en las quebradas La Osa y La Vieja.....	64
6.8	Análisis de correspondencia canónica entre las variables ambientales y las especies de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja	67
6.8.1	Análisis de correspondencia canónica de las variables físico-químicas y las especies de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja	69
6.8.2	Análisis de correspondencia canónica de las variables hidrológicas y las especies de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja	71
6.8.3	Análisis de correspondencia canónica de las variables cualitativas y las especies de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja	72
6.9	Modelo Lineal Generalizado de las variables ambientales y la riqueza y abundancia de simúlidos en las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá	74
6.10	Cálculo de Índice de Polución de las variables ambientales y de los valores de polución de las especies de Simúlidos	76
6.10.1	Índice Biótico (IB) e Índice Biótico de la Familia Simuliidae (IBF)	77
7.	DISCUSIÓN	79
7.1	Variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja.....	79
7.2	Índices de estado trófico (IET)	81
7.3	Identificación taxonómica mediante las secuencias del gen COI y citogenética.....	83
7.4	Relación de simúlidos con las variables ambientales.....	87
7.5	Ecología de la Familia Simuliidae	89
7.6	Valor de tolerancia, índice biótico de polución e índice biótico de la familia Simuliidae	93
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
8.1	Conclusiones	95
8.2	Recomendaciones	96
A.	Anexo: Análisis de varianza de las variables abióticas de las quebradas La Osa y La Vieja.....	97
B.	Anexo: Especies de la familia Simuliidae identificadas en las quebradas La Osa y La Vieja.....	99
C.	Anexo. Estimaciones de la Divergencia Evolutiva entre Secuencias de especies del genero <i>Gigantodax</i> colectadas en las corrientes de agua La Osa, La Vieja, Rio Arzobispo y Rio Bogotá.....	100
D.	Anexo.Diferencias significativas de haplotipos <i>G. paramorum</i> de las corrientes de agua 2015-2016.....	101
E.	Diferencias significativas de haplotipos <i>G. paramorum</i> para los periodos climáticos transición, seca y lluvia.	101
9.	BIBLIOGRAFÍA	104

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ciclo biológico de los simúlidos y morfología de cada estado de desarrollo. Fuente: Laboratorio de Entomología, INIA La Platina, 2014. Tomada de http://www.simulidos.cl/?page_id=40	10
Figura 2. Ubicación de las quebradas La Osa y La Vieja en los cerros de la ciudad de Bogotá D.C. Tomado de http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=7&title=Mapa%20Base . Imágenes desde Google Earth. En la parte inferior se presenta una ilustración que muestra el establecimiento de los tres tramos y los tramos altos para las quebradas de estudio.....	18
Figura 3. Variación espacial de las variables hidrológicas: caudal (a), profundidad (b) y velocidad promedio (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.	36
Figura 4. Variación espacial de las variables: oxígeno disuelto (a), oxido reducción (b) y porcentaje de saturación de oxígeno (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.....	37
Figura 5. Variación espacial de las variables: pH (a), temperatura (b) y conductividad (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.....	38
Figura 6. Variación espacial de las variables: nitrito (a), nitrato (b) y ortofosfatos (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.	39
Figura 7. Variación espacial de las variables: nitrógeno total (a), solidos totales disueltos (b) y nitrógeno amoniacal promedio (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.	40
Figura 8. Variación espacial de las variables de contaminación orgánica: demanda biológica de oxígeno (a) demanda química de oxígeno (b) y coliformes fecales (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.....	41
Figura 9. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables físicas y químicas en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican los periodos climáticos secos, lluvia y transición respectivamente.....	46
Figura 10. Análisis de componentes principales (ACP) de variables hidrológicas en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.	48

Figura 11. Análisis de componentes principales (ACP) de variables cualitativas en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.	49
Figura 12. Índice estado trófico basado en el fósforo total, el nitrógeno total y el promedio EIT (N y P) de los tramos altos (A), medios (M) y bajos (B) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.	51
Figura 13. Abundancia relativa de la familia Simuliidae presente en la quebrada La Osa, 2015-2016.	60
Figura 14. Abundancia relativa de la familia Simuliidae presente en la quebrada La Vieja, 2015-2016.	60
Figura 15. Simúlidos asociados diferentes sustratos de la quebrada La Osa, 2015-2016.	61
Figura 16. Simúlidos asociados diferentes sustratos de la quebrada La Vieja, 2015-2016.	62
Figura 17. Distribución de la abundancia relativa de simúlidos en las épocas climáticas, en las quebrada La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvioso y de transición, respectivamente.	64
Figura 18. Diversidad de Shannon ('H'), dominancia de Simpson ('D'), uniformidad de Pielou ('J') y número de especies de Simuliidae en las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016. Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvioso y de transición, respectivamente.	66
Figura 19. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de variables ambientales y las especies de simúlidos en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.	68
Figura 20. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de variables físico-químicas y las especies de simúlidos en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.	70
Figura 21. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de variables hidrológicas y las especies de simúlidos en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente	72
Figura 22. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de variables cualitativas y las especies de simúlidos en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente	73

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Características de los tramos para las quebradas La Osa y La Vieja, Cerros Orientales-Bogotá.	19
Tabla 2. Variables físicas y químicas e hidrológicas medidas y métodos de análisis para las quebradas La Osa y La Vieja.	20
Tabla 3. Estado trófico y sus principales características de las fuentes de aguas según: Lamparelli (2004).	27
Tabla 4. Índice Biotico.....	32
Tabla 5. Interpretación del IBF calculado para los tramos de la quebrada La Osa y La Vieja.....	32
Tabla 6. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk de las variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja.	33
Tabla 7. Estadígrafos descriptivos de variables ambientales de las quebrada La Osa y La Vieja, Cerro Orientales de Bogotá, 2015-2016.	35
Tabla 8. Análisis de varianza de las variables abióticas de las quebradas La Osa y La Vieja.....	43
Tabla 9 . Porcentajes de la media de la varianza general para los factores analizados mediante los ANOVAS de las variables abióticas de las quebradas La Osa y La Vieja...	43
Tabla 10. Valores propios del ACP de las variables físicas, químicas, hidrológicas y cualitativas de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá).	45
Tabla 11. Valores de Índice de Estado Trófico (IET) trófico basado en el fósforo total, en el nitrógeno total y en el promedio EIT (NyP) para los tramos altos, medios y bajos de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.	51
Tabla 12. Taxones de la familia Simuliidae presentes en las quebrada La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.....	59
Tabla 13. Descriptores ecológicos de diversidad para las comunidades de simúlidos de las quebradas La Osa y La Vieja, 2015-2016.....	65
Tabla 14. Valores propios del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las variables físicas, químicas, hidrológicas y cualitativas con mayor correlación con los componentes 1 y 2 del ACP y de las especies de la familia Simuliidae en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V).	67

Tabla 15. Valores propios del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las variables físicas y de las especies de la familia Simuliidae en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V).....	69
Tabla 16. Valores propios del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las variables hidrológicas y de las especies de la familia Simuliidae en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V).	71
Tabla 17. Valores propios del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las variables cualitativas y de las especies de la familia Simuliidae en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V).	73
Tabla 18. Modelo Lineal Generalizado de la riqueza y abundancia de simúlidos de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá, 2015-2016).....	75
Tabla 19. Valores de polución de las variables y de las estaciones de muestreo en las quebradas La Osa y La Vieja, 2015-2016.....	76
Tabla 20. Valores de polución de las especies de simúlidos de las quebradas La Osa y La Vieja. Los registros más altos corresponden a las especies más tolerantes a la contaminación y los índices menores a las especies sensibles.	77
Tabla 21. Índices bióticos -IB de la comunidad de simúlidos	78
Tabla 22. Valores de IBF de las quebradas en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Los registros más altos corresponden a agua con mayor grado de contaminación y los índices menores a aguas de buena calidad. .	78
Tabla 23. Especies del género <i>Gigantodax</i> , sitios de recolección, código de secuencias de COI y rango de valores de divergencia genética intraespecífica basados en Kimura 2 parámetro.....	52

Lista de Símbolos y abreviaturas

A	Tramo alto
ACC	Análisis de correspondencia canónica
ACP	Análisis de componentes principales
AIC	Criterio de información de Akaike
ANOVA	Análisis de varianza
B	Tramo bajo
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
'D'	Dominancia de Simpson
D	Periodo seco
DBO ₅	Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días
DQO	Demanda química de oxígeno
GPS	Sistema de posicionamiento global
'H'	Diversidad de Shannon-Wiener
IB	Índice Biotico
IBF	Índice Biótico de Familias
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
IET	Índice de estado trófico
IP	Índice de Polución
'J'	Uniformidad de Pielou
ln	Logaritmo natural
m	Metro
M	Tramo medio
m ³ s ⁻¹	Metro sobre segundo
mg L ⁻¹	Miligramo sobre litro
MLG	Modelo lineal generalizado
msnm	metros sobre nivel del mar
mV	MiliVoltios
NMP	Número más probable

O	Quebrada La Osa
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PT	Fósforo total
R	Periodo de lluvia
S	Riqueza de especies
T	Periodo de transición
UNAL	Universidad Nacional de Colombia
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
V	Quebrada La Vieja
VPT	Valor de polución de cada especie de la familia Simuliidae
ZCIT	Zona de confluencia intertropical
$\mu\text{S}/\text{cm}$	MicroSiemens sobre centimetro
%	Porcentaje
$^{\circ}\text{C}$	Grado centígrado

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas fluviales se ven afectados por numerosas perturbaciones naturales, tanto hidrológicas (sequías, avenidas) como físicas (aludes, fuegos), respondiendo con un marcado dinamismo (Margalef 1983). Sin embargo, algunas perturbaciones de origen antrópico son permanentes y acaban afectándolos de manera irreversible (Elosegi & Sabater 2009). La destrucción y degradación del hábitat son las principales causas que alteran la condición ecológica de los sistemas acuáticos continentales, así como la modificación del caudal y la invasión por especies no nativas, bien sean invasoras o no (Dudgeon 2010).

En un principio, la calidad del agua se evaluaba utilizando únicamente variables físicas y químicas (Tolkamp & Gardeniers 1988, Kung *et al.* 1992, Dojlido *et al.* 1994, Van Helmond & Breukel 1997). No obstante, éstas sólo muestran información instantánea, tales como los efectos de cambios abruptos debidos a los pulsos de inundaciones (Benetti *et al.* 2012). El concepto de calidad del agua guarda estrecha relación con el uso que se le pretende dar, sea doméstico, industrial, hidroeléctrico, para navegación, agrícola, pecuario, preservación de vida silvestre o recreación, para lo cual cada actividad tiene unas exigencias específicas en cuanto a su calidad, y a su vez, origina cambios en el agua utilizada. Los problemas surgen cuando se afecta la calidad del agua en forma tal, que su valor queda disminuido para otro uso (Beitia, 1989). Autores como Ayers & Wescot (1987) consideran que la calidad se refiere a las características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, es decir, a la relación que exista entre las características del agua y las necesidades de los usuarios. Para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos es recomendable utilizar las comunidades biológicas como indicadoras de las condiciones ambientales, ya que reflejan las características físicas, químicas y bióticas e integran y acumulan los efectos de diferentes presiones sobre los ecosistemas naturales (Barbour *et al.* 1999).

Los insectos acuáticos cumplen un papel muy importante en la transferencia de energía en el ecosistema y son fundamentales en las redes tróficas de estos ambientes (Bunn & Davies 2000, Allan 2004). Por otra parte, las características del hábitat a determinada escala influyen en sus rasgos biológicos (Harper *et al.* 1992, Tomanova & Usseglio-Polatera 2007, Harvey & Clifford 2008). Su uso como indicadores biológicos es adecuado para detectar los cambios a largo plazo que ocurren en los ecosistemas acuáticos (Jackson & Davis 1994, Barbour *et al.* 1999, Linke *et al.* 1999, Barbour *et al.* 2000, Pinilla 2000, Fruget *et al.* 2001), debido a que están integrados al medio hídrico durante toda o la mayor parte de su vida, y de esta forma pueden reflejar las fluctuaciones ecológicas y de contaminación (Alba-Tercedor 1996, Roldán 2003). Además, es importante describir los patrones de abundancia y distribución de las especies e identificar sus mecanismos causales, aspectos básicos para la ecología (Begon *et al.* 2006, Webb *et al.* 2007, Morin 2011). El estudio de estos grupos como potenciales indicadores de la calidad de los ecosistemas ha tenido gran auge, debido a que algunos, además de responder rápidamente a los cambios en las características del agua (Rosenberg & Resh 1993, Rosenberg & Resh 1996, Roldán & Ramírez 2008), tienen una amplia distribución, son diversos y presentan varias adaptaciones.

Aparte de tener una distribución mundial y en muchos países ser importantes económicamente (Maitland & Penney 1967), las poblaciones preimaginales de Simúlidos son un componente importante de los hábitats de aguas corrientes. Cumplen un papel fundamental en la transferencia de energía desde las partículas que filtran (detritus, algas, bacterias) hacia sus depredadores, representados en otros animales como quironómidos, coleópteros y peces. Ocupan hábitats que van desde corrientes temporales hasta ríos grandes y, a menudo, dominan la comunidad de macroinvertebrados de estos sistemas lóticos (Adler & McCreadie 1997). Se consideran bioindicadores de aguas de buena a moderada calidad, ya que en general requieren una buena oxigenación del medio. Si bien las especies de este grupo se catalogan como excelentes

indicadores en algunas zonas del mundo, especialmente en las regiones Paleárticas (Kazanci & Ertunc 2010), sólo pocos estudios recientes abordan el efecto real de la calidad del hábitat en la distribución de Simúlidos en la región Neotropical (Coppo & Lopes 2010, Docile *et al.* 2015), específicamente en Brasil (Grillet & Barrera 1997, Hamada *et al.* 2002, Figueiro *et al.* 2006, Landeiro *et al.* 2009, Figueiro *et al.* 2012, McCreddie *et al.* 2016, Roque *et al.* 2016). Sin embargo, los simúlidos son una familia morfológicamente muy homogénea, es decir, un grupo morfológicamente muy conservado con extensa especiación críptica y evolución reticulada. A parte de su gran importancia médica y veterinaria, no se ha valorado adecuadamente su papel como especies clave en la ecología de las aguas corrientes, el cual se centra en su habilidad para filtrar la materia orgánica particulada fina y transferir esta energía a los eslabones superiores de las cadenas alimentarias. Hay varios problemas taxonómicos con los simúlidos de todo el mundo. En primer lugar, la fauna de simúlidos a nivel regional aún es poco conocida y se necesitan estudios de la biodiversidad y de revisión de los diferentes complejos de especie. En segundo lugar, la clasificación supraespecífica es actualmente inestable y problemática; muchas especies o grupos de especies se colocan en el género equivocado y existen subgéneros que se deben clasificar como grupos de especies o géneros, lo cual es un tema que genera un gran debate. En tercer lugar, los límites de las especies siguen estando mal definidos para muchos taxones debido a la presencia de complejos de especies ("especies hermanas") (Hernández 2010, Shelley *et al.* 2010, <http://blackflies.info/content/key-references-simuliidae>). La delimitación de las especies hermanas o sibilantes que conforman los complejos de especies debe aclararse con diferentes herramientas, como la biología molecular, la citogenética, la ecología y la bioquímica, bajo el punto de vista de la taxonomía integral o integrativa. En general, sin embargo, la tendencia sigue siendo el aumento de taxones en la riqueza de especies con mayor proximidad al Ecuador geográfico (McCreddie *et al.* 2016).

El conocimiento sobre la ecología de los simúlidos en los sistemas fluviales de la región andina de Colombia es insuficiente, aunque se destacan grandes avances en las descripciones taxonómicas para el país (Barreto 1969, Wygodzinsky 1973, Moncada & Bueno 1977, Bueno *et al.* 1979, Wygodzinsky & Coscarón 1982, Muñoz de Hoyos 1995, Coscarón & Muñoz de Hoyos 1995, Muñoz de Hoyos & Miranda, 1997, Muñoz de Hoyos & Coscarón 1999, Moncada *et al.* 2013, Mantilla *et al.* 2013, Adler & Crosskey 2014, Díaz 2014, Díaz *et al.* 2015). Este aspecto es de gran importancia, debido a que la identificación taxonómica de los simúlidos se realiza principalmente con base en los estudios morfológicos de larvas, pupas y adultos (hembras y machos). Aun así, la denominación específica puede ser incorrecta, ya que los estadios de larvas y adultos de varias especies son morfológicamente semejantes (Muñoz de Hoyos *et al.* 1984).

Los patrones climáticos en los Andes tropicales del norte están determinados por las interacciones entre temperatura y precipitación, las cuales controlan las dinámicas de otros factores tales como la humedad y el caudal. Los patrones de variación de la temperatura en los Andes son relativamente homogéneos internamente y presentan una fuerte relación con el gradiente altitudinal. Según Guhl (1982), en las regiones de alta montaña, a diferencia de las tierras bajas, hay variaciones de temperatura diarias muy grandes, y por lo tanto las especies que se encuentran en dichas regiones altas deben adaptarse a tales variaciones. En contraste, los patrones de precipitación son complejos; las variaciones regionales en la precipitación están asociadas con efectos orográficos producidos por la abrupta topografía de los Andes (Josse *et al.* 2009). Los Andes tropicales también albergan las fuentes de agua potable de las grandes ciudades andinas como Quito, Bogotá o La Paz, y proveen el agua y la tierra que permite el sostenimiento de los modos de vida y las estrategias productivas de los sistemas agrícolas andinos (Buytaert *et al.* 2006). Los Andes colombianos son de particular importancia debido a la oferta hídrica que ofrecen. Es una región especialmente productiva en agua debido al efecto orográfico que provoca el ascenso y condensación del vapor a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

Contrariamente a la temperatura, la precipitación en los Andes no sigue un patrón lineal, sino que está determinada por la morfología del relieve y por la influencia de los vientos locales prevaecientes, lo que produce su alta variabilidad temporal y espacial (Buytaert *et al.* 2016). La ubicación de la cordillera andina en la región tropical hace que esté bajo la influencia directa de la banda de confluencia intertropical, lo cual genera ecosistemas únicos, conocidos como sistemas de montaña tropical.

El presente estudio hizo parte del proyecto “RELACIÓN ENTRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMÚLIDOS (DIPTERA) Y LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SISTEMAS LÓTICOS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ”, el cual fue financiado por Colciencias y la Universidad Nacional de Colombia. El documento refleja los resultados obtenidos en la valoración de la relación entre la composición, abundancia y riqueza de especies de la familia Simuliidae (Diptera) –determinados a través de la identificación morfológica, la verificación molecular y citogenética de algunos taxones–, con varios factores ambientales (físicos, químicos e hidrológicos), en dos corrientes de agua de la región andina colombiana.

MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades

Colombia se considera un país megadiverso, pues presenta una ubicación geográfica privilegiada, una variada topografía y un régimen climático que le aporta una de las mayores ofertas hídricas del planeta. Sin embargo, esta oferta no se distribuye uniformemente en el territorio nacional, pues hay zonas donde se presenta déficit de agua y otras donde ocurren inundaciones periódicas de duración considerable (García *et al.* 2001). Según el Estudio Nacional del Agua (ENA 2014), realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM 2014), la oferta hídrica del país es seis veces superior al promedio mundial y tres veces mayor a al promedio de Latinoamérica. De acuerdo con el HIMAT, en 1994 se contaba con cerca de 737.000 cuerpos de agua, entre ríos, quebradas, caños, lagos, lagunas y embalses. Como se mencionó, la oferta hídrica es muy importante en Colombia por la presencia de montañas elevadas, de sabanas y selvas, y por estar ubicada en la región tropical con la influencia directa de la banda de confluencia intertropical, que influye en la abundancia de las precipitaciones con un promedio anual de 3000 mm para todo el país.

3.1.1 Los Andes de Colombia

Los Andes colombianos están ubicados entre el Ecuador geográfico y los 10 °N, mayormente en la franja ecuatorial. La influencia de los vientos alisios y de la zona de confluencia intertropical (ZCIT) generan las condiciones climáticas macroescalares de este territorio. La ecorregión Andes del Norte se considera dentro de los 200 sitios prioritarios para la conservación global de la biodiversidad, debido a su riqueza biológica y al alto grado de amenaza antrópica (Rodríguez-Eraso *et al.* 2010, Mittermeier *et al.* 1999).

La región andina es altamente productiva en agua debido al efecto orográfico que provoca el ascenso y condensación de las masas de aire a diferentes alturas sobre el nivel del mar. Los cinturones de condensación en los Andes colombianos se encuentran por lo general a 1800, 3200 y 4300 msnm (Guhl 1975). El almacenamiento hídrico se da principalmente en las aguas subterráneas y en lagos y lagunas, tanto naturales como artificiales. Sin embargo, muchas fuentes están siendo afectadas por factores antrópicos que modifican los componentes del ciclo hidrológico y la calidad del agua. Algunos de esos procesos antrópicos son: alteraciones de la temperatura, reducción del oxígeno disuelto, aumento de los nutrientes (eutrofización) y de los sólidos suspendidos, adición de materia orgánica, modificaciones hidráulicas, incremento de metales pesados, extinción de especies, afectación de endemismos, introducción de especies invasoras, florecimientos de algas y cambios en la respiración y producción bacterianas, entre otros (Roldán & Ramírez 2008).

3.2 Variables Físicas, Químicas e Hidrológicas

Los parámetros físicos y químicos permiten determinar la calidad del agua desde el punto de vista sanitario, alimenticio e industrial (Sagastizado 2001). La medición de la temperatura es básica, ya que esta variable influye directamente en el metabolismo de los organismos que se encuentran en el ambiente. La alta temperatura disminuye la solubilidad de los gases (especialmente del oxígeno, el cual es importante para la supervivencia de numerosos organismos), modifica varios procesos como la mortalidad de las algas, aumenta la velocidad de los fenómenos de descomposición que se dan en los ecosistemas acuáticos (Wetzel 1981) y puede influir en la turbidez.

El pH es un factor importante en ambientes lóticos y lénticos; se puede encontrar entre 6,5 y 8,5, salvo por contaminación o por condiciones geológicas especiales, en las que el pH puede ser mayor o menor a este intervalo. Esta variable está asociada con el equilibrio entre las tres formas del carbono inorgánico disuelto en

el agua: dióxido de carbono, bicarbonatos y carbonatos (Ramírez & Viña 1998), así como con los procesos de descomposición y fotosíntesis que pueden modificar dicho equilibrio. El oxígeno se considera el más importante de los gases disueltos en el agua, porque determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas que dirigen la dinámica del ecosistema acuático. La concentración de oxígeno en aguas naturales depende de la actividad fotosintética, la respiración, la interacción del agua con la atmósfera y los sedimentos, la temperatura, la salinidad y la turbulencia (Wetzel 1981). El oxígeno disuelto puede usarse como indicador del grado de contaminación orgánica, de la tasa de degradación de sustancias orgánicas e inorgánicas y de la capacidad de autodepuración de las aguas. Las condiciones hidrológicas pueden modificar o cambiar directamente las propiedades físicas y químicas del agua como la temperatura, la transparencia, el pH, la disponibilidad de nutrientes y los tiempos hidráulicos de retención (Wetzel 2001, Hakanson 2005, Jørgensen 2008). La conductividad eléctrica es un reflejo de la cantidad de iones disueltos y depende principalmente de los aportes geológicos y atmosféricos. Sistemas con conductividades altas tienden a ser más productivos. Los nutrientes básicos (nitrógeno y fósforo) son fundamentales para los organismos y permiten clasificar los ambientes acuáticos en un espectro que va desde la falta de estos elementos (oligotrofia) hasta el exceso de los mismos (eutrofia).

Todas las características del agua mencionadas atrás, se han visto cada día más afectadas por las actividades humanas, las cuales, junto con los fenómenos naturales, hacen que sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas varíen notoriamente de un lugar a otro (Gómez-Marín *et al.* 2007). La disponibilidad de agua de buena calidad es una condición indispensable para la propia existencia, y más que cualquier otro factor, condiciona la calidad de vida de las personas (Asvall & Alleyde 1999).

3.2.1 La Calidad de Agua y los insectos Acuáticos

En la evaluación de la calidad del agua se han utilizado diferentes organismos, entre los cuales los macroinvertebrados (tamaños > 500 μ) han sido los más recomendados (Rosenberg & Resh 1993, Hellawell 1986, Roldán 2003, Bonada *et al.* 2006, Roldán & Ramírez 2008, Prat *et al.* 2009), puesto que pueden indicar características específicas, no solo de las condiciones actuales, sino también de las que se han presentado con anterioridad (meses o años atrás) en el medio donde se encuentran. Mediante la valoración de la comunidad de macroinvertebrados se pueden deducir aspectos del ecosistema acuático, tales como los niveles de oxígeno y el grado de contaminación orgánica (Roldán 2003), así como el estado de eutrofización del sistema (Harper *et al.* 1992). Además, estos organismos permiten conocer, con aceptable precisión, el grado de autodepuración y las zonas de mayor o menor grado de saporiedad en los sistemas lóticos (Pinilla 2000).

En los últimos años, los estudios de evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos se han incrementado debido a las ventajas que presentan: su distribución prácticamente universal, sus hábitos relativamente sedentarios, la alta sensibilidad de algunos a las perturbaciones, sus ciclos de vida que tienden a ser largos (es decir, períodos que incluye todas las diferentes generaciones o etapas de una especie) pero no excesivos, sus reacciones rápidas frente a determinados impactos, la existencia de un patrón conocido para muchas especies de estímulo-respuesta ante alteraciones físicas y químicas, la disponibilidad de métodos de evaluación y el conocimiento relativamente aceptable de su taxonomía para algunas regiones del mundo (Rosenberg & Resh, 1996).

En resumen, la calidad del agua se define por la hidrodinámica, los componentes químicos y las características físicas, biológicas y microbiológicas (bacterias, hongos y virus patógenos), obviamente influenciadas por las diferentes

actividades socioeconómicas del hombre. Desde esta perspectiva, es de suma importancia describir los patrones de abundancia, distribución e identificación de las especies acuáticas para tratar de desentrañar los mecanismos que causan sus respuestas ecológicas (Begon *et al.* 2006, Webb *et al.* 2007, Morin 2011).

3.3 La Familia Simuliidae

Los integrantes de la familia Simuliidae Newman, 1834 (orden Diptera, clase Insecta, filo Artropoda), se conocen vulgarmente como moscas negras o jejenes. Constituyen una familia de dípteros nematóceros de pequeño tamaño (de 2 a 5 mm), de color generalmente oscuro y que se diferencian de los mosquitos por tener el cuerpo más rechoncho, boca picadora-chupadora, alas anchas y patas mucho más cortas. Algunas especies actúan como vectores de graves enfermedades como la oncocercosis. Pertenecen a un grupo de insectos de importancia sanitaria ya que se alimentan de sangre de vertebrados, incluyendo al hombre y a otros animales como aves y mamíferos.

3.3.1 Ciclo de Vida

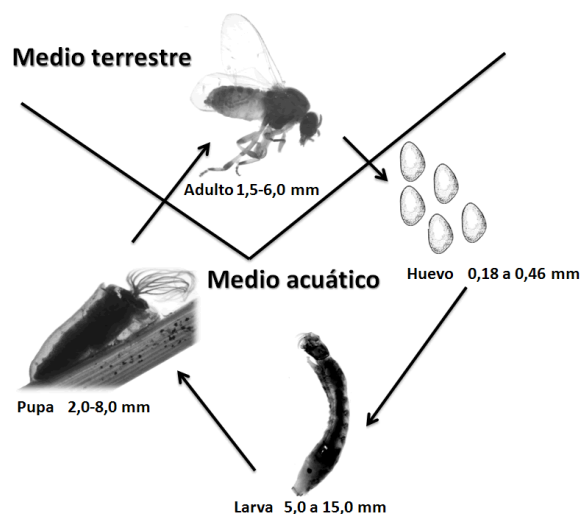


Figura 1. Ciclo biológico de los simúlidos y morfología de cada estado de desarrollo. Fuente: Laboratorio de Entomología, INIA La Platina, 2014. Tomada de http://www.simulidos.cl/?page_id=40

Los simúlidos inmaduros se encuentran en casi todas las corrientes del planeta y son a menudo los macroinvertebrados dominantes en hábitats que van desde caudales temporales hasta ríos grandes (Adler & McCreadie 1997). Las larvas se adhieren a substratos sólidos en la corriente y obtienen alimento por filtración y raspado (Adler *et al.* 2004).

Los adultos son de hábitos predominantemente diurnos y las hembras son hematófagas, dado que necesitan sangre para cumplir con el ciclo reproductivo (Adler & McCreadie 2009) Los machos se alimentan de jugos vegetales. Las hembras, poco tiempo después de emerger de las pupas, son fecundadas y ponen sus huevos en lugares húmedos o próximos a la corriente. Petry *et al.* (2006) dividen la ovipostura de los simúlidos en tres categorías, según la cantidad de huevos y la presencia o no de una matriz gelatinosa que los recubre: 1. ovipostura con huevos dispersos en pequeñas cantidades y poca matriz gelatinosa; 2. ovipostura con huevos superpuestos en dos o tres capas, claramente bordeados y recubiertos por una masa gelatinosa muy notoria y 3. Ovipostura agregada en varias capas superpuestas y no bordeada claramente, con miles de huevos cubiertos por una matriz abundante, en la que toda la masa de huevos es dejada por diferentes hembras. Los autores afirman que estos patrones generalmente corresponden a sitios específicos. Se cree que al ovipositar, las hembras excretan feromonas que atraen a nuevas hembras para que coloquen sus huevos en el mismo sitio (McCall *et al.* 1997). La matriz gelatinosa, además de dar fijación a los huevos, mantiene la humedad, que es un factor muy importante para la embriogénesis y el desarrollo de las larvas (Petry *et al.* 2006).

Las larvas emergen a los pocos días (dependiendo de la temperatura) y se dejan llevar por la corriente, pero se sustentan con un hilo de seda que secretan por la boca y que impide que sean arrastradas. Al encontrar un soporte (hojas, ramas, piedras, etc.) se fijan por la parte posterior con un anillo con ganchos que, a manera de ventosa, les permite mantenerse erguidas sin que las arrastre la

corriente. En su último estadio construyen un capullo y se transforman en pupas. Tras un período de 4 a 20 días, supeditado a la temperatura, emerge la forma alada (Coscarón-Arias 2003).

Los Simúlidos constituyen una de las familias de dípteros acuáticos más importantes de las aguas superficiales, pues en sus fases preimaginales son exclusivos de este medio y son residentes comunes en los hábitats de aguas corrientes (Kazanci & Ertunç 2010). En estudios hechos en diferentes partes del mundo se ha encontrado que los simúlidos presentan la suficiente riqueza y abundancia, entre otros requisitos, para ser considerados como buenos bioindicadores ecológicos y de calidad del agua. En el planeta, la familia Simuliidae está representada por 2232 especies vivientes, distribuidas en 26 géneros y dos subfamilias, la Parasimuliinae, con el género *Parasimulium* y la subfamilia Simuliinae con 25 géneros (Adler & Crosskey 2017). De éstos, el más importante es *Simulium* porque varias de sus especies tienen relevancia desde el punto de vista de la salud humana y animal, ya que son vectores de diferentes agentes patógenos. Para el hombre, los insectos del género *Simulium* son vectores del nemátodo *Onchocerca volvulus*, causante de la oncocercosis (Grillet *et al.* 2005), lo cual los convierte en el segundo grupo en importancia médica después de los Culicidae. Para el Neotrópico se han encontrado ocho géneros: *Araucnephia*, *Cnesia*, *Gigantodax*, *Lutzimulium*, *Paraustrosimulium*, *Pedrowygyomyia*, *Simulium* y *Tlalocomyia* (Martínez-Ruiz & Portillo-Rubio 1999, Adler & Crosskey 2017).

En el territorio colombiano se han registrado solo los géneros *Simulium* y *Gigantodax*. Este último es endémico del continente americano; se distribuye desde Arizona en Estados Unidos hasta la Isla de los Estados (Argentina), en la región más austral del continente suramericano. Colombia es el país que tiene la mayor riqueza de este género con 20 especies, seguido por Argentina, Chile y Ecuador (Adler & Crosskey 2017). Los insectos de la familia Simuliidae se caracterizan porque sus estadios pre-reproductivos (larvas y pupas), se crían en

corrientes de agua, desde pequeños arroyos hasta grandes ríos. En general, requieren un alto contenido de oxígeno. Las larvas son filtradoras de partículas suspendidas en el agua. Presentan una serie de adaptaciones morfológicas y de conducta de gran interés biológico y ecológico. Al igual que otros macroinvertebrados acuáticos, los Simúlidos tienen gran utilidad como bioindicadores a mediano y largo plazo de la calidad de las aguas y complementan los análisis químicos, los cuales indican de forma precisa las condiciones del agua, pero solo del instante en que se tomó la muestra. Los índices basados en organismos como los invertebrados acuáticos, entre ellos los dípteros de la familia Simuliidae, pueden dar por su parte información, no solo del momento de la toma de datos, sino también de la situación en que se encontraba el curso de agua con anterioridad (Martinez-Ruiz & Portillo-Rubio 1999).

Los estudios sobre la indicación de la calidad del agua con base en los Simúlidos son recientes. Gallardo-Mayenco & Toja (2002) relacionaron la distribución de estos dípteros con algunos factores ambientales al sur de la Península Ibérica. Por su parte, Kazanci & Ertunç (2010) determinaron la fauna de simúlidos en el río Yeşilirmak (Turquía) y la analizaron a la luz de la calidad de los hábitats acuáticos. Por su parte, Field *et al.* (2002), en Alemania, encontraron que la riqueza de Simúlidos en tierras bajas fue significativamente menor que en tierras altas. Para el caso de Norte América, la taxonomía y la ecología de las especies de la familia Simuliidae son bien conocidas (Adler *et al.* 2004, Coscarón & Coscarón Arias 2007, Adler & Crosskey 2014). En cambio, los estudios en el Neotrópico sobre la ecología de los Simúlidos son escasos. Los trabajos reportados pertenecen a Brasil y están enfocados en la riqueza y abundancia y su relación con los factores físicos. Docile *et al.* (2015) valoraron la distribución espacial de esta familia en relación con los factores abióticos asociados a la calidad del agua y proporcionaron información de referencia para su utilización como indicadores apropiados de la integridad de los sistemas lóticos. Coppo & Lopes (2010) estudiaron la estructura de la comunidad y la diversidad específica en el parque ecológico de Telêmaco Borba – Paraná (Brasil) y concluyeron que

las áreas de conservación de los sistemas lóticos y los bosque de ribera son áreas de refugio para especies de Simuliidae; también dedujeron que el impacto de las actividades antrópicas interfiere en la dinámica de las especies, favoreciendo a una o más de ellas, lo que hace que proliferen y predominen. Landeiro *et al.* (2009), Figueiro *et al.* (2006) y Figueiro *et al.* (2012) revelaron que la elevación altitudinal no es tan importante en la distribución de las especies de estos dípteros. Hamada *et al.* (2002) encontraron que las asociaciones entre las variables físicas y las abundancias poblacionales de ciertos taxones fueron más importantes que la respuesta de toda la comunidad. A su vez, Grillet & Barrera (1997) y Hamada *et al.* (2002) observaron una relación positiva entre la alta riqueza de especies y un mayor caudal, una velocidad más rápida de la corriente, un dosel denso y una temperatura menor. Por su parte, Figueiro *et al.* (2006) reportaron que la distribución de Simúlidos se relaciona con el tamaño del río y con la intensidad de la luz.

En Colombia es muy poco lo que se conoce sobre los Simúlidos desde el punto de vista ecológico. Existen varias descripciones taxonómicas de las especies. En el departamento de Cundinamarca se dispone relativamente de los mejores registros. Hasta el momento, en el país se han reconocido 74 especies (Wygodzinsky 1973, Moncada & Bueno 1977, Bueno *et al.* 1979, Wygodzinsky & Coscarón 1982, Muñoz de Hoyos 1995, Coscarón & Muñoz de Hoyos 1995, Muñoz de Hoyos & Miranda 1997, Muñoz de Hoyos & Coscarón 1999, Moncada *et al.* 2013, Mantilla *et al.* 2013, Adler & Crosskey 2014, Wolff *et al.* 2016, Adler & Crosskey 2017), distribuidas en dos géneros: *Simulium* (con 54 especies) y *Gigantodax* (con 20 especies). Estos trabajos tienen suma importancia y se fundamentan en la identificación taxonómica de los individuos de la familia con base en su morfología, tanto de larvas y pupas, como de los adultos (hembras y machos). No obstante, se requiere acudir a otras herramientas, como los métodos moleculares y citogenéticos, pues de lo contrario la determinación específica puede ser incorrecta, ya que los estadios de larvas y adultos de varias especies son morfológicamente muy semejantes (Muñoz de Hoyos *et al.* 1984).

OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Relacionar la composición, abundancia y riqueza de especies de la familia Simuliidae (Diptera) con algunos factores ambientales en dos sistemas fluviales de la región andina colombiana.

4.2 Objetivos Específicos

Caracterizar el ambiente físico, químico e hidrológico de los dos sistemas fluviales andinos seleccionados.

Estudiar la composición taxonómica y la abundancia de las especies de la familia Simuliidae en los ríos escogidos.

Analizar el grado de influencia de las variables ambientales sobre la composición de los taxones de la familia Simuliidae y su abundancia en los dos sistemas fluviales elegidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de Estudio

El estudio se realizó en las quebradas La Osa y La Vieja, ubicadas en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá D.C. Los cerros orientales pertenecen al llamado gran sistema Andino Suramericano, específicamente al subsistema Andino norte, por estar ubicado entre los subsistemas Pacífico y Atlántico.

Los sitios escogidos para este estudio corresponden a bosque alto andino y andino, biomas muy importantes como generadores de agua. Se localizan entre los 2100 y los 3800 msnm y se dividen en las siguientes categorías: 1. bosque andino bajo o inferior, que se encuentra aproximadamente entre los 2100 y 2800 msnm, con temperatura promedio entre 15 y 17 °C; y 2. bosque andino alto o superior entre 2800 y 3300 msnm, en el que la temperatura oscila entre 11 y 12 °C. Es importante anotar que los muestreos se realizaron en épocas seca, de lluvias y de transición, en los años 2015 y 2016, con fuerte incidencia del fenómeno de El Niño.

Quebrada La Vieja. Pertenece a la cuenca de las quebradas La Vieja y Los Rosales, las cuales, en conjunto, drenan la franja de los cerros orientales comprendida entre las divisorias de aguas de las quebradas de Las Delicias y El Chicó (tabla 1). La quebrada La Vieja nace de forma independiente en la parte alta del cerro (a una altura de aproximadamente 3.250 msnm) y discurre hasta alcanzar las inmediaciones de lo que actualmente constituye la carrera 7 con calle 72 (<https://www.civico.com/lugar/quebrada-la-vieja-bogota-1>). Inicialmente esta quebrada, junto con Los Rosales, confluían para formar un único curso de agua que eventualmente tributaba al río Salitre. Sin embargo, esto no se puede apreciar de forma natural en la actualidad, ya que los procesos de urbanización han llevado a la canalización de estas quebradas desde puntos anteriores a su

confluencia, convirtiéndolas en sistemas subterráneos que se combinan con las aguas residuales de la ciudad de Bogotá (Corposéptima 2010).

Quebrada La Osa. Hace parte de la cuenca del río San Cristóbal (tabla 1). Limita al norte con las cuencas de los ríos San Francisco y Barro Blanco, al oeste con Bogotá D.C. y el municipio de Usme, al este con el municipio de Ubaque y al sur con el municipio de Usme. La red hidrográfica del río San Cristóbal se inicia a los 3450 msnm, al sureste de la ciudad, en la laguna de Los Patos. Este río en su discurrir se alimenta de varias quebradas, entre ellas La Osa. La Osa presenta una cuenca de aproximadamente 7,8 km², con bosque nativo de *Weinmannia tomentosa* (encenillo), *Myrcianthes leucoxylla* (arrayán grande) y *Chusquea* sp. (chusque), entre otras especies (Olmos 2006).

Con el fin de tener mayor representatividad y abarcar una mayor área, se seleccionaron tres sectores con diferentes estados de conservación en cada corriente: bien conservada-tramo alto (A), moderadamente conservada-tramo medio (M) y con fuerte intervención antropogénica-tramo bajo (B). Cada tramo tuvo una longitud de aproximada de cinco veces el ancho de la sección del lecho del río (Figura 2). En cada tramo se recolectaron los simúlidos de los diferentes sustratos, abarcando de flanco a flanco del lecho de la corriente, y se midieron las variables físicas, químicas e hidrológicas, como se detalla más adelante. También, se anotaron características específicas del tramo como el tipo de vegetación de la cuenca (bosque nativo, bosque intervenido, agricultura, área despejada), los usos actuales de las riberas y la presencia de vertimientos, bocatomas, infraestructura cercana e impactos (McCreadie & Colbo 1991, McCreadie & Adler 1998, Hamada *et al.* 2002).

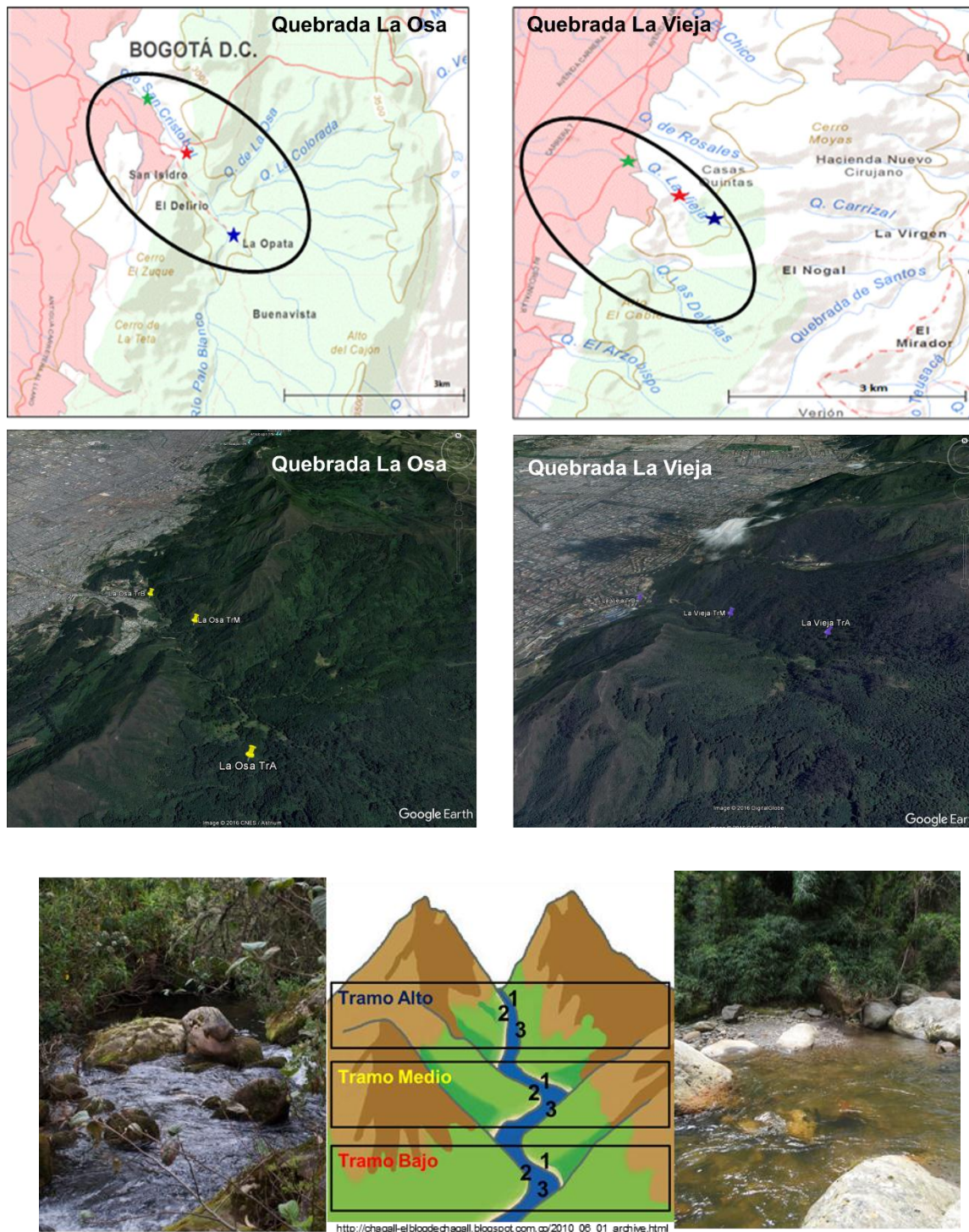


Figura 2. Ubicación de las quebradas La Osa y La Vieja en los cerros de la ciudad de Bogotá D.C. Tomado de <http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=7&title=Mapa%20Base>. Imágenes desde Google Earth. En la parte inferior se presenta una ilustración que muestra el establecimiento de los tres tramos y los tramos altos para las quebradas de estudio.

Tabla 1. Características de los tramos para las quebradas La Osa y La Vieja, Cerros Orientales-Bogotá.

Corriente	Localidad	Tramo	Coordenadas	Altitud (msnm)	Sustrato	Vegetación
La Osa	San Cristóbal (sur de la ciudad de Bogotá)	A	4° 32' 51.6" N; 74° 3' 27.6" W	2970	Rocoso de diferentes tamaños	La especie <i>Pinus patula</i> es dominante.
		M	4° 33' 45" N; 74° 3' 45" W	2850	Rocoso de tamaño grande	La vegetación de ribera tiene especies de chusque (<i>Chusquea</i> sp.), eucalipto (<i>Euclaliptus globulus</i>) y pino (<i>Pinus patula</i>).
		B	4° 34' 5.2" N; 74° 7' 4.1" W	2780	Rocoso de tamaño grande	Arbustales y prados, muy cerca de la zona urbanizada.
La Vieja	Chapinero (norte de la ciudad)	A	4° 38' 34.7" N; 74° 02' 23.8" W	2924	En su mayoría hojarasca y rocas de tamaño mediano	Vegetación propia de bosque andino
		M	4° 38' 42.3" N; 74° 02' 37.0" W	2825	Rocoso de tamaño grande y hojarasca	Bosque nativo con arboloco (<i>Smallanthus pyramidalis</i>), clusia (<i>Clusia murtiflora</i>) y helecho marranero (<i>Pteridium aquilinum</i>) y especies introducidas como eucalipto (<i>Euclaliptus globulus</i>)
		B	4° 39' 0.4" N; 74° 02' 57.7" W	2703	Rocoso de diferentes tamaños	Dominan la acacia japonesa (<i>Acacia melanoxylon</i>), la consuelda (<i>Symphytum officinale</i>), el sauco (<i>Sambucus nigra</i>) y la fucsia (<i>Fuchsia boliviana</i>). Empieza la canalización de la corriente en la zona urbana.

5.2 Variables físicas, químicas e hidrológicas

Se midió el ancho de la sección transversal y la profundidad de al menos seis puntos en varias secciones de cada tramo de las quebradas. Se tomó la velocidad con un correntómetro de hélices Global Water (U.S), para lo cual se seleccionaron lugares libres de obstáculos (sin troncos de árboles, grandes rocas, vegetación, etc.) (IDEAM 2007). La velocidad media (ms^{-1}) multiplicada por el área de la sección transversal (m^2) permitió estimar el caudal del río (m^3s^{-1}) en el

tramo. Para el registro y toma de variables físicas, químicas e hidrológicas se empleó la metodología establecida por UNESCO (1978), OMM (1994) e IDEAM (2010). En cada tramo se midieron variables *in situ* con una sonda multiparamétrica HACH HQ40d (HACH LANGE, Europa). De igual forma, se tomaron muestras de agua en frascos color ámbar de 250 ml para medir otras variables *ex situ* por técnicas de espectrofotometría. Estas muestras se refrigeraron a 4 °C (Elósegui & Pozo 1992) para su análisis en el Laboratorio de Limnología-Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá D.C., en las 24 horas siguientes. Otras variables como coliformes fecales, nitrógeno total, fósforo total, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno se determinaron en un laboratorio externo certificado (Tabla 2).

Tabla 2. Variables físicas y químicas e hidrológicas medidas y métodos de análisis para las quebradas La Osa y La Vieja.

Variable	Unidades	Método	Límite de detección
Coordenadas geográficas	° ' "	Sistema de posicionamiento global (GPS-Garmin)	50 m
Pendiente	%	Inclinómetro (Sunto)	1%
Altitud (msnm)	M	Sistema de posicionamiento global (GPS-Garmin)	10 m
Velocidad	ms ⁻¹	Corrientómetro (Global Water Propeller)	0,1 ms ⁻¹
Profundidad	M	Vara metrada	---
Caudal	m ³ s ⁻¹	Área x velocidad	---
Temperatura del agua*	°C	Oxímetro HACH- HQ40d	+ 0,1 °C
Oxígeno disuelto*	mg/L		0 - 15,0 mg L ⁻¹
Potencial de óxido-reducción *	mV		-
Saturación de oxígeno*	%		-
Conductividad *	µS/cm	Conductivímetro HACH- HQ40d	0,0 – 0,5 µS/cm

Continuación tabla 2.

pH*	units of pH	pH-metro HACH- HQ40d	+ 0,01 Unit.	Variable s tom ada s: * <i>In situ</i> , ** <i>Ex situ</i>
Sólidos disueltos totales TDS *	mg L ⁻¹	Conductivímetro HACH- HQ40d	0,4 – 1,0 mg L ⁻¹	
Nitratos **	mg L ⁻¹ NO ₃ ⁻	Espectrofotómetro HACH	0 a 30,0 mg L ⁻¹	
Nitritos **	mg L ⁻¹ NO ₂ ⁻		0 a 30,0 mg L ⁻¹	
Nitrógeno amoniacal **	mg L ⁻¹ NH ₃		0 a 2,50 mg L ⁻¹	
Ortofosfatos **	mg L ⁻¹ PO ₄ ⁻³		+ 0,01 mg L ⁻¹	
Sulfates **	mg L ⁻¹ SO ₄		0-70 mg L ⁻¹	
Nitrógeno total Kjeldahl	mg L ⁻¹ N	Métodos estándar - APHA, AWWA, WPCF en laboratorio certificado	0 a 150 mg L ⁻¹	
Fósforo total	mg L ⁻¹ PO ₄		0 a 3,50 mg L ⁻¹	
DBO ₅₋₂₀ °C**	mg L ⁻¹ DBO		0-150 mg L ⁻¹	
DQO**	mg L ⁻¹ DQO		+ 0,01 mg L ⁻¹	
Coliformes fecales **	Número más probable (NMP)		1 a 10 NMP	

5.3 Recolección, determinación taxonómica y aspectos morfológicos de organismos de la familia Simuliidae

Los muestreos se llevaron a cabo en septiembre de 2015 (periodo de transición), noviembre de 2015 (periodo lluvioso) y marzo de 2016 (periodo seco). La recolección de larvas y pupas de simúlidos se hizo manualmente con pinzas entomológicas, tomando los especímenes directamente del sustrato disponible dentro de la corriente de agua (rocas, hojas, troncos, raíces de plantas y plástico). La unidad de esfuerzo muestral fue de 60 minutos/persona (McCreadie & Colbo, 1991, Hamada & McCreadie 1999, Hamada & Pepinelli, 2004), para un total de 2 horas por tramo y por muestreo.

Las larvas con histoblasto gris se preservaron en solución de Carnoy (una parte de ácido acético glacial y tres partes de etanol absoluto) en el campo. Este fijador se cambió dos veces durante las siguientes 12 horas. Las larvas con histoblasto negro y las más pequeñas se preservaron en etanol al 80 % (Sabrosky 1957, Vockerot 1966, Pepinelli *et al.* 2005, Coscarón & Coscarón Arias 2007). Las

pupas se fijaron en etanol al 80 % (Hamada *et al.* 2002) y se mantuvieron en refrigeración a 4 °C. Con el fin de obtener adultos, algunas pupas se mantuvieron con vida, para lo cual se colocaron, junto con el sustrato al que se encontraban adheridas, en una bolsa plástica (Hernández 2007). Estas pupas se mantuvieron a temperatura ambiente hasta su emergencia; pasada una semana, las pupas que no emergieron se preservaron en etanol al 80 %. Todas las muestras de simúlidos se llevaron al Laboratorio de Entomología Médica de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia (LEMUN), donde se realizó la identificación, siguiendo las claves taxonómicas de Coscarón (1990), Muñoz de Hoyos (1995), Muñoz de Hoyos & Miranda (1997), Muñoz De Hoyos & Coscarón (1999, 2013), Adler *et al.* (2004), y las descripciones de Bueno *et al.* (1979), Moncada *et al.* (1981), Widgozinsky & coscaron (1987), Cosacaron & Coscaron-Arias (2007) y Díaz *et al.* (2015).

La disección de larvas se realizó siguiendo la metodología propuesta por Adler *et al.* (2004): la cabeza y el esclerito anal se aclararon calentando las estructuras en ácido láctico, luego se montaron en una gota de glicerina y se observaron al microscopio (Nikon, Eclipse E200-LED, Japón). El resto del cuerpo se sometió a deshidratación seriada en etanol al 70 %, 80 % y 100 %. Para la observación de las pupas estas se disecaron previo calentamiento en ácido láctico, como se describió anteriormente. En este estadio son muy importantes los filamentos respiratorios, que son un carácter muy robusto para la separación de las especies, al igual que la presencia o ausencia de tubérculos o tricomas en el cefalotórax y en el frontoclípeo. Con el fin de visualizar mejor los filamentos respiratorios en larvas con histoblasto gris, se agregaron 0,2 µL de mercurio-cromo y formol (en el anexo B se visualizan las formas de los histoblastos).

5.4 Extracción de ADN genómico, amplificación y secuenciación

En las especies (donde las características de los filamentos respiratorios no definían las taxa e indicaban que podrían ser: *G. paramorum* o *G. ortizi*) con alta variación morfológica y cuya identificación no fue posible a través de claves taxonómicas, fue necesario aplicar técnica molecular usando COI, citocromo oxidasa subunidad 1.

La extracción de ADN se realizó a partir de cerebro, glándulas salivales y tejidos blandos de larvas y pupas de los especímenes de simúlidos preservados en etanol al 80 %. El resto de cada espécimen se conservó como voucher. El método de extracción utilizado fue kit Qiagen DNeasy® Sanger para tejidos, adaptado para insectos. El volumen final del extracto fue de 50 µL, que se almacenó a 4°C hasta que se realizó la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Se amplificó un fragmento de 750 bp de la subunidad mitocondrial citocromo oxidasa I (COI) utilizando los cebadores propuestos por Folmer *et al.* (1994) (www.dnabarcoding.ca):

Forward: LCO1490 (5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3')

Reverse: HCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3')

Las condiciones de PCR usadas fueron: 1X PCR buffer, 2 mM de MgCl₂, 0,2 mM de cada dNTP, 0,1µM de cada primer, 0,05 unidades de Taq polimerasa recombinante y 2µl de ADN molde. A su vez, el perfil térmico para la PCR tuvo una temperatura inicial a 94 °C por 1min, una denaturación a 94°C por 30 s, un anillamiento a 45 °C por 1,30 min y una extensión final a 72 °C por 1 min, durante de 5 ciclos. Luego a 94 °C por 30 s, una denaturación a 51 °C por 1,30 min, un anillamiento a 72 °C por 1 min, durante 36 ciclos. Posteriormente, una extensión 72 °C por 1 min, finalmente una extensión final a 72°C por 5 min. Consecutivamente se visualizaron los amplicones en un gel de agarosa al 1 % (Rivera & Currie 2009, Díaz *et al.* 2015).

Todos los productos de PCR exitosos se mandaron a secuenciar a través del servicio de secuenciación de MACROGEN (sequencing service (<http://www.macrogen.com/eng/>: Seoul, Korea), mediante la metodología de sanger dideoxy (Zimmermann *et al.* 1988), utilizando los mismos cebadores que en la PCR.

5.5 Procedimiento citogenético

En la especie en las que se encontró alta variación y cuya identificación no fue segura por la secuenciación de los marcadores moleculares o no había disponible literatura, se utilizó la citogenética, para la identificación de caracteres en los cromosomas politénicos, mediante la coloración de Feulgen de rutina (Rothfels & Dunbar 1953, Adler & Huang 2011), con el fin de allegar otro carácter para diferenciación de especies, siguiendo el concepto de taxonomía integrativa o integral (en el anexo F se presenta el procedimiento para la obtención de cromosomas).

La larva se cortó a partir del séptimo segmento, se expusieron las glándulas salivales mediante un corte longitudinal y luego se pasaron a coloración. La cabeza y el tórax se mantuvieron como voucher. La parte posterior del abdomen de la larva, que contenía las glándulas salivales se colocó en agua destilada por 20 minutos a temperatura ambiente, se removió y se secó sobre un papel. Se sumergió en una solución 5N de HCl por 30 min. Se pasó a un vial con colorante de Feulgen frío, por 1 hora, se reemplazó el colorante con agua sulfurosa por 10 minutos a temperatura ambiente, se retiró el agua sulfurada y se lavó con agua de chorro tres veces. De esta manera, las glándulas pueden permanecer sin daño por aproximadamente 5 días. Se colocó una gota de ácido acético al 50% en una lámina, se quitaron los restos de tejidos que pudieran quedar adheridos a la larva, se colocó una laminilla sobre la preparación y entre un pedazo de papel secante se hizo el squash.

5.6 Análisis de datos

5.6.1 Análisis de variables ambientales de las Quebradas La Osa y La Vieja

Inicialmente, se probó la normalidad de las variables ambientales (físicas, químicas e hidrológicas) a través del test de Normalidad de Shapiro-Wilk (utilizando el programa XLSTAT 2017, el cual es un software estadístico basado en Microsoft Excel, que permite la entrada de los datos y la visualización de los resultados). Las variables que no cumplieron con este supuesto se transformaron con logaritmo natural en base 10 y logaritmo $x+1$ en el programa R, versión 3.3.3 (2017-03-06) (Copyright © The R Foundation for Statistical Computing). La tabla 6 presenta el test de normalidad de las variables para las corrientes de agua La Osa y La Vieja, donde si el P-computado es menor que el nivel de significancia $P=0,05$, la distribución es normal.

La transformación de los datos permitió analizarlos y verificar el tipo de distribución que tuvieron. Además, de esta manera fue posible realizar análisis paramétricos, como regresión, correlación y ANOVA. Es importante resaltar que los análisis de varianza y las correlaciones requieren que los datos sean lineales, normales y que tengan homocedasticidad en su varianza, todo lo cual se logró mediante su transformación logarítmica.

Con la información de todas las variables ambientales se realizaron estadígrafos descriptivos. Este tipo de análisis muestra y describe las tendencias centrales y de dispersión del conjunto de datos abióticos en las quebradas La Osa y La Vieja. De igual forma, se realizaron diagramas de cajas y bigotes para visualizar las características principales de las variables en las dos quebradas con respecto a sus tramos de estudio. En estos diagramas, además, se señalan los datos atípicos.

Los ANOVAs (análisis de varianza) se realizaron para determinar diferencias significativas para cada una de las variables ambientales. Este análisis se ejecutó para cada una de las quebradas, las épocas climáticas, los tramos de estudio y las combinaciones quebrada-época, quebrada-tramo y época-tramo.

Los datos físicos, químicos e hidrológicos, así como las variables cualitativas (tipos de sustrato, cobertura de la vegetación) se utilizaron para hacer análisis exploratorios de componentes principales (ACP) (Guisande *et al.* 2005) y para hallar las agrupaciones más significativas de las variables, los sitios de muestreo y los periodos climáticos. Los pesos más altos de las variables dentro del ACP ("eigenvalores" o valores propios) se utilizaron para seleccionar aquellas con mayor explicación dentro del conjunto de factores ambientales. En los análisis cualitativos se tuvieron en cuenta los porcentajes de organismos de la familia Simuliidae asociados a hojas, troncos, rocas grandes (mayores de 40 cm de diámetro, roca-1) y rocas pequeñas (menores a 40 cm de diámetro, roca-2). Se incluyó la cobertura vegetal del cauce, que se clasificó como despejada, semidespejada y cubierta (categorías 1, 2 y 3, respectivamente).

5.6.2 El estado trófico de las quebradas La Osa y La Vieja

Se calculó el estado trófico de los tramos de las Quebradas La Osa y La Vieja a través del IET. Este índice utiliza los valores de fósforo total y nitrógeno total para establecer el potencial de eutrofización del ecosistema, ya que estos nutrientes actúan como los principales agentes causales de este fenómeno. Las ecuaciones son:

$$1) \quad \text{IET(PT)} = 10\left(6 - \frac{\ln(80,32/\text{PT})}{\ln(2)}\right)$$

$$2) \quad \text{IET(NT)} = 10\left(6 - \ln(1,47/\text{NT})/\ln(2)\right)$$

La ecuación 1, hace referencia al índice de estado trófico para el fósforo total (PT), y es una modificación al índice original de Carlson (1977), adaptada para los sistemas acuáticos subtropicales (Mercante & Tucci-Moura 1999). El PT se expresa en $\mu\text{g L}^{-1}$.

La ecuación 2, corresponde al índice de estado trófico para el nitrógeno total (NT), (Kratzer & Brezonik 1981). El NT se expresa en mg L^{-1} .

Los valores de IET permiten clasificar el estado trófico según una escala numérica, la cual van de 0 a 100. En la siguiente tabla (tabla 3) se muestran las clases posibles:

Tabla 3. Estado trófico y sus principales características de las fuentes de aguas según: Lamparelli (2004), http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx#_ftn1.

Valor del IET	clases de estado trófico	Carácter
= 47	Ultraoligotrófico	Masas de agua muy limpias, con productividad muy baja, y concentraciones insignificantes de nutrientes que no impiden el uso del agua.
47 <= 52 IET	Oligotrófico	Masas de aguas limpias, con baja productividad, que no tienen inconvenientes para su uso ocasionados por la presencia de nutrientes.
52 <= 59 IET	Mesotrófico	Cuerpos de agua con la productividad intermedia, con posibles consecuencias para la calidad del agua, pero a niveles aceptables en la mayoría de los casos.
59 <= 63 IET	Eutróficos	Cuerpos de agua con una alta productividad en relación con las condiciones naturales, con una reducción de la transparencia, generalmente afectados por las actividades humanas. Tienen lugar cambios indeseables en la calidad del agua resultantes de aumento de la concentración de nutrientes, que interfieren con sus múltiples usos.
63 <= 67 IET	Supereutrófico	Cuerpos de agua con una alta productividad en relación con las condiciones naturales, baja transparencia, en general afectados por las actividades humanas. Se producen frecuentemente cambios indeseables en la calidad del agua, como la aparición de episodios de floraciones de algas y la interferencia en sus múltiples usos
> 67	Hipereutróficos	Masas de agua afectadas significativamente por concentraciones de materia orgánica y nutrientes muy elevadas, con deterioro marcado en sus usos, asociados con episodios como floraciones de algas o mortalidades de peces. Los usos múltiples se ven fuertemente restringidos, incluyendo las actividades de ganadería en las regiones costeras.

5.6.3 Análisis de las secuencias del gen COI

Inicialmente se realizó edición y ensamblaje de las secuencias con CAP3-program for Sequence Assembly (<http://biosrv.cab.unina.it/webcap3/>), y obtener secuencias consenso. Para el alineamiento múltiple se utilizaron 35 secuencias de COI de las especies trabajadas y de un conjunto de especies taxonómicamente relevantes descargadas de GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>, secuencias curadas en taxonomy: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/taxonomy/>). Posterior se analizó la distancia de las secuencias obtenidas. Para ello se utilizó el método Kimura -2- Parámetros con el programa Mega versión 7 (Kumar *et al.* 2016). El soporte de los nodos de esta hipótesis se evaluó con un análisis de bootstrap (Felsenstein 1985, Tamura *et al.* 2011) usando 1.000 iteraciones. Aunque se usan herramientas filogenéticas, no se pretende hacer inferencias filogenéticas, solamente se quieren establecer los valores de distancia entre las especies. Se realizaron igual forma análisis de diversidad de secuencias utilizando el programa Arlequin versión 3.5.2.2 (An Integrated Software for Population Genetics Data Analysis. News. 02.08.2015).

Para el análisis de las especies trabajadas fue necesario hacer BLAST, esta es una herramienta de búsqueda de alineación local básica para encontrar regiones de similitud local entre secuencias. Su fundamento radica en comparar las secuencias de nucleótidos o proteínas con bases de datos de secuencias y calcula la significación estadística de las coincidencias. Luego se escogió un conjunto de especies taxonómicamente relevantes descargadas de GenBank, se seleccionaron tres secuencias de la especie *G. willei* (KP252938.1; KP252900.1; KP252882.1) puesto que presentaban mayor porcentaje de similitud a *G. paramorum* y una muestra raíz, para este caso la especie *S. tunja* (KU986867.1) (tabla 12).

5.6.4 Elaboración y análisis de los mapas cromosómicos

Las láminas preparadas se observaron al microscopio y se tomaron fotografías con ayuda de un microscopio Olympus BX40 con cámara C35AD2, para la elaboración del mapa cromosómico, luego se identificaron los marcadores principales y su ubicación, las inversiones y la presencia del segmento sexual, teniendo en cuenta los criterios de Adler *et al.* (2004).

5.6.5 Análisis de las abundancias de simúlidos en las Quebradas La Osa y La Vieja

Con los registros de abundancias por especie de Simuliidae se estimó su riqueza y diversidad en cada quebrada, para lo cual se calcularon los respectivos descriptores ecológicos: riqueza de especies (S), diversidad de Shannon-Wiener ('H'), dominancia de Simpson ('D') y uniformidad de Pielou ('J') (Moreno, 2001). Se utilizó el programa Past.exe- Paleontological Statistics versión 2.17, software libre (Hammer *et al.* 2001).

5.6.6 Análisis de variables ambientales y su relación con los taxones de la familia Simuliidae en las quebradas La Osa y La Vieja

Con las matrices ambientales y bióticas se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) para establecer, de manera prospectiva, la relación entre las especies de simúlidos y las variables ambientales (Peres-Neto *et al.* 2006).

Consecutivamente se realizó el modelo lineal generalizado (MLG) usando la distribución de Poisson para las variables físicas, químicas, hidrológicas y cualitativas de las quebradas La Osa y La Viejas, referente a riqueza y abundancia de las especies de simúlidos reportadas (López-González & Ruiz-Soler 2011). Es decir, se construyeron dos modelos, uno para la riqueza y otro para la abundancia. El modelo de Poisson es apropiado cuando la variable dependiente es un conteo, que depende de otras variables; los sucesos tienen

que ser independientes. El MLG ejecuta un análisis de regresión y uno de varianza para una variable dependiente mediante uno o más factores o variables independientes (los factores dividen la población en grupos). Con este procedimiento se pueden contrastar hipótesis acerca de los efectos de una o más variables sobre la media de una única variable dependiente.

Para el análisis MLG se procedió de la siguiente forma: se utilizaron todas las variables ambientales en el programa RWizard software versión 2.3 (Copyright © University of Vigo, Spain, 2014/1262). El software escoge el menor número de variables con mayor poder explicativo mediante el AIC (criterio de información de Akaike-AIC); se obtiene entonces la significancia de las variables, como se observa en la tabla 21 de los resultados; de igual forma, se obtiene la relación positiva o negativa que tienen las variables con el factor. En la última columna, el análisis arroja los p-valores. Finalmente se adquiere el r cuadrado, que es el porcentaje de casos correctamente clasificados con el modelo, lo que deja ver si se ajusta o no a una distribución de Poisson. A continuación se presenta la ecuación:

$$\lambda = e^{P(X_i)}$$

Siendo $P(X_i)$ una función lineal de las variables explicativas.

5.7 Cálculo de Índice de Polución de las variables ambientales y de los Valores de Polución de las especies de Simúlidos

Para calcular valor de polución de las especies (Jiang & Shen 2005), primero se hallaron los índices de polución (IP) de las variables físicas y químicas en cada uno de los tramos de las quebradas en estudio. Para ello, se tomaron 10 variables teniendo en cuenta los valores permisibles del acuerdo número 43 del 17 de octubre de 2006 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, y la Resolución Número 2115 de 22 junio de 2007 de la legislación colombiana. La fórmula es la siguiente:

$$IP = \sum_{i=1}^n \frac{C}{CL}$$

Donde C es el valor medido de la variable en el tramo de cada quebrada y CL es el valor límite de dicha variable según el acuerdo y la resolución anteriormente mencionados. La sumatoria del IP de cada una de las variables físicas y químicas permite obtener un IP propio de cada sitio de muestreo.

Posteriormente se computó el valor de polución de cada especie de la familia Simuliidae (VPT Simúlidos) según la siguiente fórmula:

$$VPT = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\ln^{10} \frac{IP}{n} \right)}{N}$$

Donde n es el número de variables físicas y químicas consideradas, IP corresponde al valor calculado anteriormente y N es el número de especies. La ocurrencia de cada especie en cada sitio se representa con i. El VPT es único para cada especie y depende de su presencia en los lugares de muestreo y de las características físicas y químicas de estos sitios.

5.7.1 Índice Biótico (IB) e Índice Biótico de Familias (IBF) para los Simúlidos en las quebradas La Osa y La Vieja

Como un ejercicio inicial de bioindicación, se utilizaron los VPT (datos de presencia-ausencia de los taxones calculados para las especies de simúlidos como se indicó atrás) y se calculó el índice biótico (IB, Jiang & Shen 2005) de la comunidad de simúlidos para los tramos estudiados en las quebradas La Osa y La Vieja. La fórmula es:

$$IB = \sum VPT/N$$

Donde N es el número de taxones.

Para el IB de Jiang & Shen (2005), se utilizó la técnica de cuartiles calculados sobre la matriz de VPT de las especies de simúlidos a fin de proponer unos rangos de calidad (tabla 4).

Tabla 4. Índice Biótico

Rango	Calidad
0 - 2,61	Buena calidad
2,62 - 2,80	Regular calidad
2,81 – 2,83	Mala calidad

Los VPT calculados para las especies de simúlidos se emplearon en la ecuación del índice biótico de familias de Hilsenhoff (IBF, Hilsenhoff 1988). La ecuación es:

$$IBF = (\sum n_i * a_i) / N$$

Donde n_i es el número de individuos de cada taxón y a_i es el puntaje de tolerancia de cada taxón. N es el número total de individuos de la muestra. El IBF calculado para cada sitio de muestreo se interpreta de acuerdo a los rangos de la tabla 5.

Tabla 5. Interpretación del IBF calculado para los tramos de la quebrada La Osa y La Vieja.

Valores del índice	Calidad del agua
< 3,75	Excelente
3,76-4,25	Muy buena
4,26-5,00	Buena
5,01-5,75	Regular
5,76-6,50	Relativamente mala
6,51-7,25	Mala
> 7,26	Muy mala

RESULTADOS

6.1 Variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá.

Los valores de los parámetros físicos, químicos e hidrológicos, y las anotaciones cualitativas de los tramos seleccionados en las quebradas La Osa y La Vieja, cuenca alta del Río Bogotá, se realizaron en tres periodos climáticos (lluvia, sequía y transición) entre los años 2015 y 2016. En los datos registrados se puede observar que los valores de algunas condiciones abióticas fluctuaron de manera importante para cada sistema y por épocas, lo que indica que algunas variables ambientales fueron más determinantes y diferenciadoras que otras (tabla 6, figuras 3, 4, 5, 6, 7, y 8).

Tabla 6. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk de las variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja.

Variables Quebrada La Osa	Shapiro-Wilk	P- valor	Variables Quebrada La Vieja	Shapiro- Wilk	P- valor
Altitud (msnm)	0,804	0,023	Altitud (msnm)	0,854	0,083
Pendiente (%)	0,617	0,000	Pendiente (%)	0,755	0,006
Temperatura (°C)	0,896	0,231	Temperatura (°C)	0,958	0,777
Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)	0,950	0,695	Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)	0,943	0,611
Oxido Reducción (mV)	0,864	0,105	Oxido Reducción (mV)	0,934	0,516
Porcentaje Saturación (%)	0,988	0,993	Porcentaje Saturación (%)	0,936	0,541
Conductividad (μS cm ⁻¹)	0,887	0,186	Conductividad (μS cm ⁻¹)	0,887	0,187
pH (unidades)	0,852	0,079	pH (unidades)	0,772	0,010
Solidos Totales Disueltos (mg L ⁻¹)	0,883	0,169	Solidos Totales Disueltos (mg L ⁻¹)	0,857	0,088
Profundidad (m)	0,833	0,048	Profundidad (m)	0,929	0,473
Velocidad (m s ⁻¹)	0,931	0,487	Velocidad (m s ⁻¹)	0,581	< 0,0001
Caudal (m ³ s ⁻¹)	0,958	0,773	Caudal (m ³ s ⁻¹)	0,583	< 0,0001
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,882	0,163	Nitrato (mg L ⁻¹)	0,915	0,350
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,770	0,009	Nitrito (mg L ⁻¹)	0,831	0,045

INFLUENCIA DE VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMÚLIDOS EN DOS SISTEMAS FLUVIALES ANDINOS DE COLOMBIA

Nitrógeno Amoniacal (mg L ⁻¹)	0,886	0,182	Nitrógeno Amoniacal (mg L ⁻¹)	0,880	0,155
Ortofosfatos (mg L ⁻¹)	0,857	0,088	Ortofosfatos (mg L ⁻¹)	0,864	0,106
Sulfatos (mg L ⁻¹)	0,658	0,000	Sulfatos (mg L ⁻¹)	0,390	< 0,0001
Coliformes Fecales (NMP)	0,420	< 0,0001	Coliformes Fecales (NMP)	0,546	< 0,0001
Demanda Biológica de Oxígeno (mg L ⁻¹ O ₂)	0,780	0,012	Demanda Biológica de Oxígeno (mg L ⁻¹ O ₂)	0,855	0,084
Demanda Química de Oxígeno (mg L ⁻¹ O ₂)	0,808	0,025	Demanda Química de Oxígeno (mg L ⁻¹ O ₂)	0,839	0,057
Fosforo total (mg L ⁻¹)	0,748	0,005	Fosforo total (mg L ⁻¹)	0,676	0,001
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	0,760	0,007	Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	0,390	< 0,0001

Si el valor-p computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, se rechaza el supuesto de que la variable en cuestión sigue una distribución normal.

Los estadígrafos descriptivos (tabla 7), indican los valores máximos, mínimos, la media, la mediana, la varianza, la desviación típica y el coeficiente de variación de dichas variables en los periodos climáticos estudiados. En los datos registrados se observa que los valores fluctuaron entre las corrientes de agua, aunque se presentaron ciertas similitudes en algunas variables. Por ejemplo, el oxígeno disuelto mostró concentraciones similares para las dos quebradas, ambas con media de 7,64 (La Osa) y 7,73 (La Vieja). Este comportamiento también se ve reflejado en las variables porcentaje de saturación, con media de 101,56 % (La Osa) y 100,07 % (La Vieja), y demanda biológica de oxígeno con 2,33 y 2,56 mg L⁻¹ de DBO₅ para La Osa y La Vieja respectivamente.

Tabla 7. Estadígrafos descriptivos de variables ambientales de las quebrada La Osa y La Vieja, Cerro Orientales de Bogotá, 2015-2016.

Quebradas	La Osa							La Vieja						
	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Varianza (n)	Desviación típica (n)	Coefficiente variación	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Varianza (n)	Desviación típica (n)	Coefficiente variación
Altitud (msnm)	2780	2970	2850	2866,7	6155,6	78,5	0	2703	2924	2825	2843,2	19054,4	138,04	0,05
Pendiente (%)	0,06	0,09	0,09	0,08	0	0,01	0,18	0,05	0,18	0,15	0,15	0	0,04	0,26
Temperatura (°C)	10,87	16,73	12,93	12,99	2,67	1,63	0,13	11,3	13,13	12,13	12,1	0,24	0,49	0,04
Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)	7,08	8,17	7,67	7,64	0,08	0,28	0,04	7,51	7,95	7,7	7,73	0,02	0,14	0,02
Oxido Reducción (mV)	31,43	276,47	224,27	184,2	7512,29	86,67	0,47	74,2	355	262	225,5	8598,22	92,73	0,41
Porcentaje Saturación de Oxígeno (%)	99,6	103,3	101,43	101,56	1,2	1,09	0,01	97,9	102,93	100,03	100,07	2,29	1,51	0,02
Conductividad (µS cm ⁻¹)	16,57	59,6	28,6	33,39	211,25	14,53	0,44	4,61	12,77	9,56	8,83	8,2	2,86	0,32
pH (unidades)	6,31	7,62	6,74	6,81	0,15	0,39	0,06	4,48	6,57	6,13	6,01	0,36	0,6	0,1
Sólidos Totales Disueltos (mg L ⁻¹)	10,57	36,77	17,21	20,33	75	8,66	0,43	3,13	7,74	5,92	5,51	2,89	1,7	0,31
Profundidad (m)	0,19	0,48	0,25	0,31	0,01	0,11	0,36	0,05	0,21	0,14	0,13	0	0,05	0,41
Velocidad (m s ⁻¹)	0,13	0,4	0,23	0,26	0,01	0,09	0,33	0,1	1	0,2	0,27	0,07	0,26	0,97
Caudal (m ³ s ⁻¹)	0,14	2,4	1,1	1,138	0,379	0,615	0,541	0,13	1,13	0,23	0,329	0,083	0,289	0,879
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,1	0,7	0,6	0,467	0,044	0,211	0,452	0,2	0,7	0,5	0,478	0,028	0,169	0,353
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,001	0,03	0,008	0,009	0	0,008	0,838	0	0,02	0,002	0,006	0	0,006	1,112
Nitrógeno Amoniacal (mg L ⁻¹)	0,01	0,52	0,15	0,218	0,033	0,181	0,831	0	0,07	0,04	0,038	0,001	0,027	0,703
Ortofosfatos (mg L ⁻¹)	0,12	1,01	0,39	0,466	0,088	0,296	0,637	0,18	0,45	0,26	0,3	0,01	0,1	0,333
Sulfatos (mg L ⁻¹)	0	17	2	3,556	24,691	4,969	1,398	0	1	0	0,111	0,099	0,314	2,828
Coliformes Fecales (NMP)	20	400000	2400	47733,33	1.55E+10	124634,11	2,611	20	1700	61	280,11	262262,32	512,12	1,83
Demanda Biológica de Oxígeno (mg L ⁻¹ O ₂)	1	6	1	2,333	2,889	1,7	0,728	1	5	2	2,56	1,8	1,34	0,53
Demanda Química de Oxígeno (mg L ⁻¹ O ₂)	5	32	16	16,778	130,617	11,429	0,681	5	20	15	12,67	32,67	5,72	0,45
Fósforo total (mg L ⁻¹)	0,05	0,43	0,12	0,166	0,021	0,146	0,88	0,05	0,16	0,05	0,08	0	0,04	0,55
Nitrógeno Total (mg L ⁻¹)	0,27	1,11	0,27	0,533	0,107	0,327	0,613	0,27	0,54	0,27	0,3	0,01	0,08	0,28

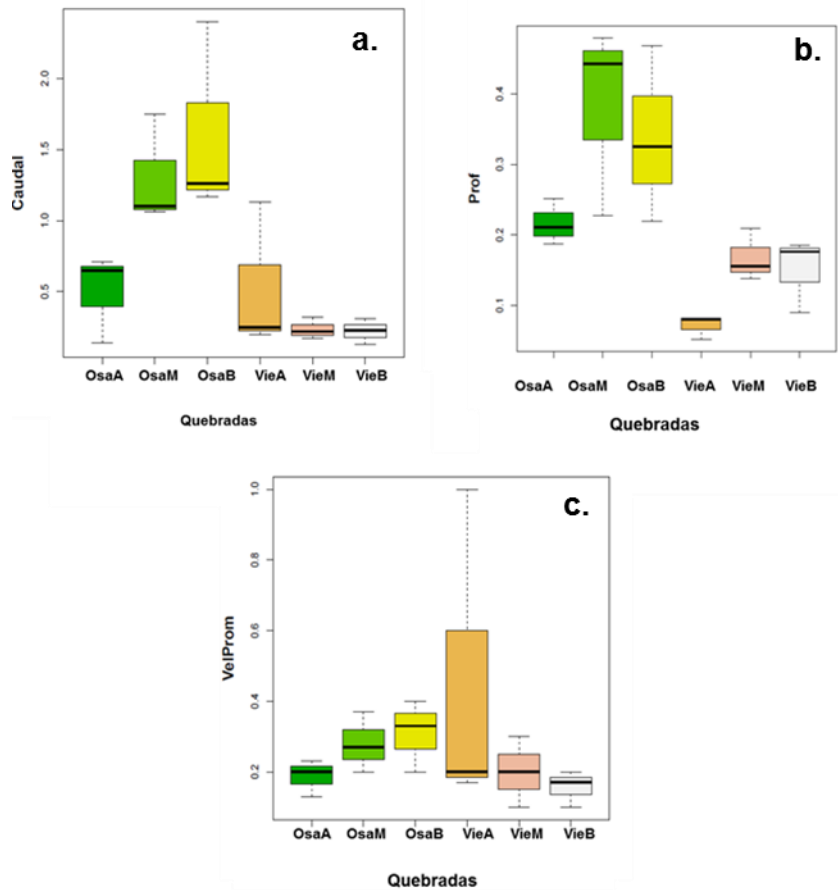


Figura 3. Variación espacial de las variables hidrológicas: caudal (a), profundidad (b) y velocidad promedio (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

Los diagramas de cajas y bigotes de la figura 3 muestran que la quebrada La Vieja mantuvo valores muy homogéneos de caudal en los tramos medios y bajos de este estudio. Por el contrario, los datos de velocidad promedio fueron muy heterogéneos, especialmente para el tramo alto en La Vieja (figura 3a). El caudal fue mayor en La Osa, la cual tuvo mayor profundidad (figura 3b). En esta quebrada la velocidad se incrementó en los tramos medio y bajo, contrario a lo hallado en La Vieja, donde el agua tuvo mayor velocidad en el tramo alto (figura 3c).

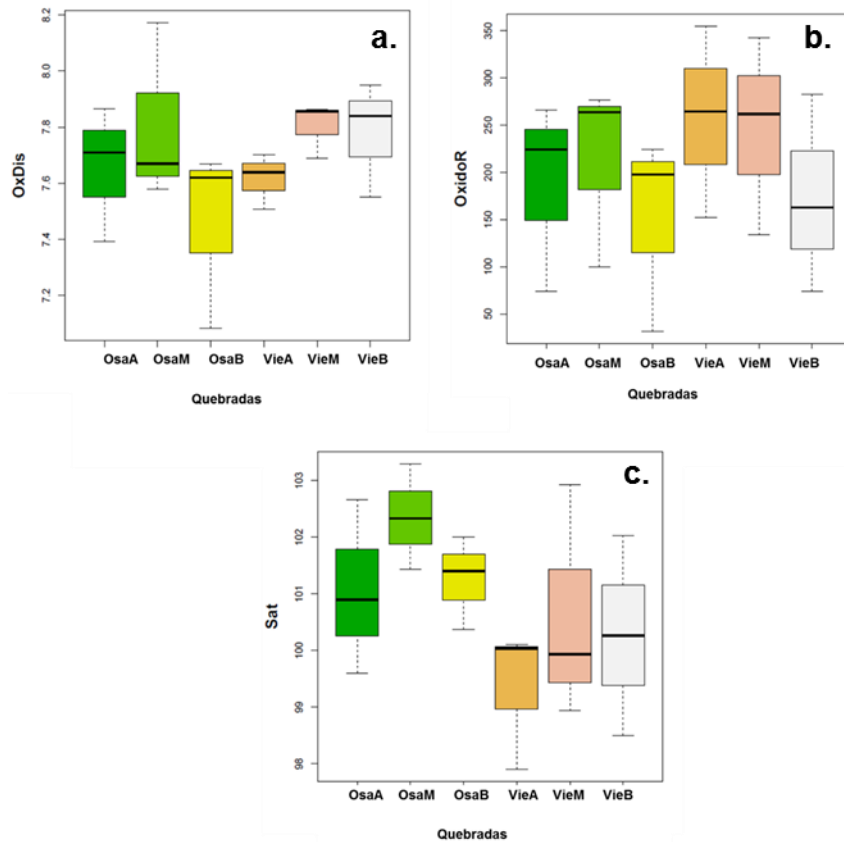


Figura 4. Variación espacial de las variables: oxígeno disuelto (a), oxido reducción (b) y porcentaje de saturación de oxígeno (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

Como se observa en la figura 4a, las concentraciones de oxígeno disuelto fueron altas (7,4 a 8,2 mg L-1O₂), en todos los sitios de estudio, con valores un poco menores en el tramo bajo de la quebrada La Osa. El potencial de óxido reducción, que en promedio osciló entre 74 y 350 mV, tuvo un comportamiento opuesto, con el valor mínimo (31 mV) en La Osa tramo bajo (figura 4b). El porcentaje de saturación de oxígeno evidenció valores bajos para La Osa en el tramo bajo; sin embargo, en La Vieja el tramo alto presentó datos muy heterogéneos y el menor registro (figura 4c).

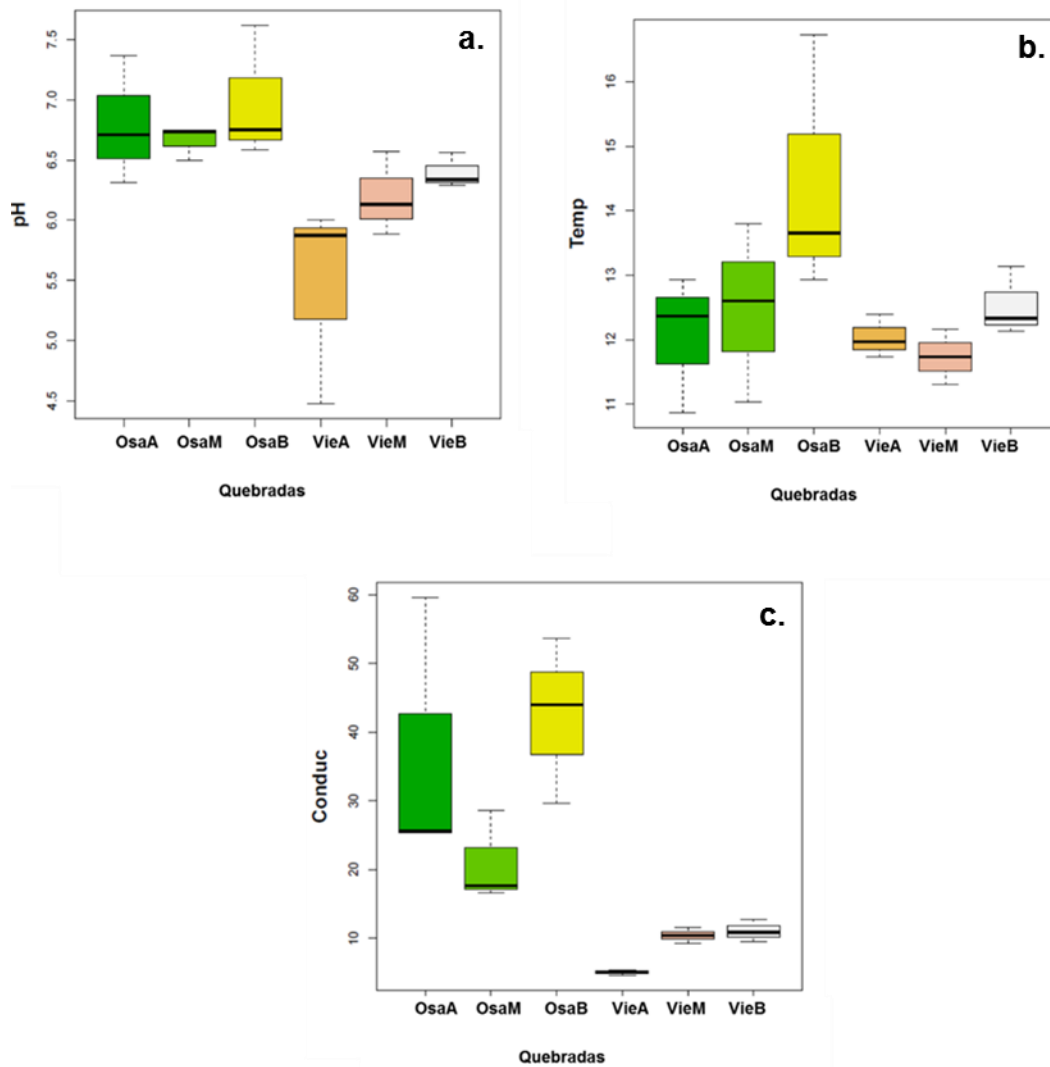


Figura 5. Variación espacial de las variables: pH (a), temperatura (b) y conductividad (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

Los datos de pH para La Osa fueron notoriamente más altos, mayores a 6,5 unidades, si se comparan con los de la quebrada La Vieja, que presentó registros menores a 6,5 unidades de pH (figura 5a). La temperatura también fue mayor en La Osa, pero con una variabilidad más amplia de los datos (figura 5b). De igual forma, la conductividad fue más variable en esta quebrada, la cual, a su vez, tuvo los datos más altos de esta variable (por encima de $17 \mu\text{S cm}^{-1}$) (figura 5c).

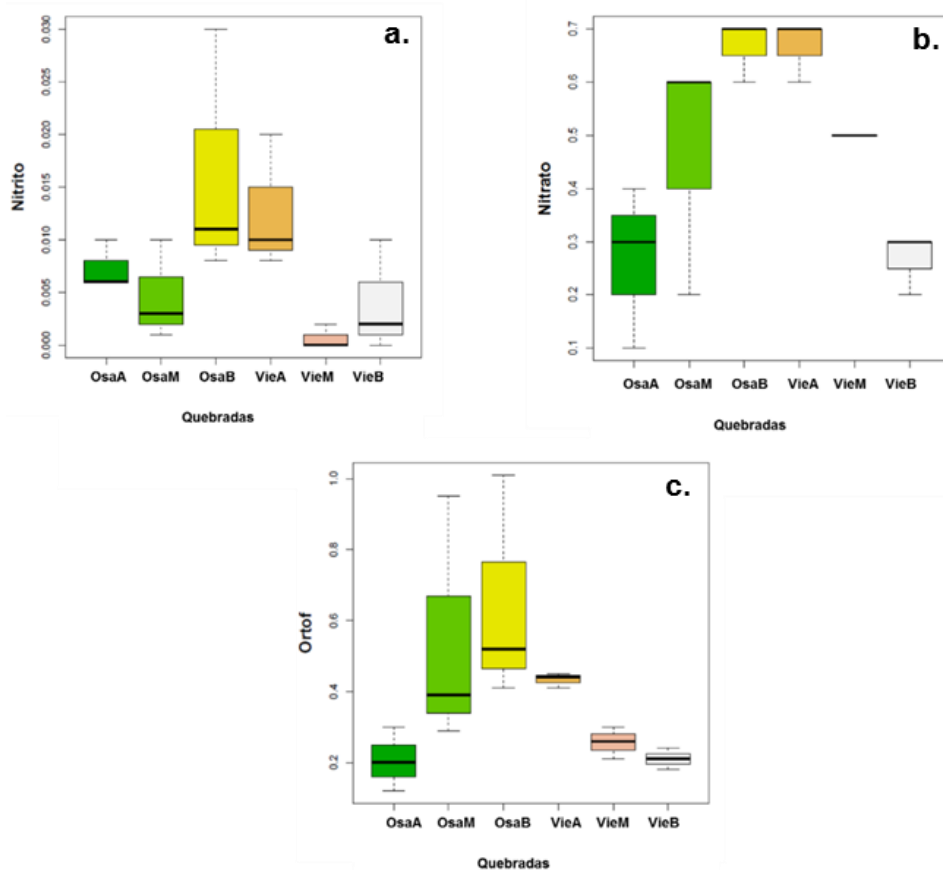


Figura 6. Variación espacial de las variables: nitrito (a), nitrato (b) y ortofosfatos (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

La Osa bajo y La Vieja alto fueron los lugares con valores de nitritos más altos (0,03 y 0,02 mg L⁻¹ NO₂, respectivamente) (figura 6a). El gráfico de nitratos refleja datos heterogéneos, con igual y mayor valor de para La Osa baja y La Vieja alta (0,7 mg/LNO₃, figura 6b). Es progresivo el aumento de ortofosfatos para los tres tramos de La Osa (figura 6c).

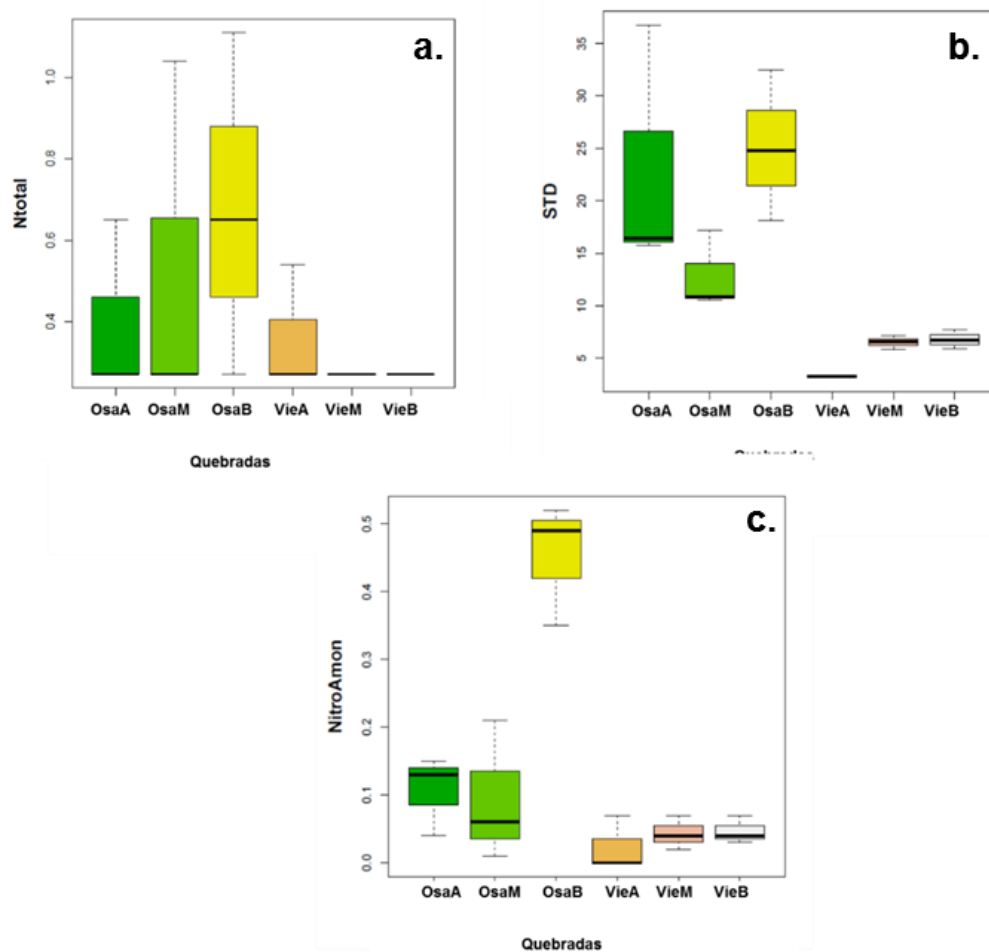


Figura 7. Variación espacial de las variables: nitrógeno total (a), sólidos totales disueltos (b) y nitrógeno amoniacal promedio (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

El nitrógeno total evidenció variaciones notables, aunque en la quebrada La Osa tendió a aumentar desde el tramo alto hasta el tramo bajo; este último mostró el valor más alto ($1,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$) (figura 7a). Los sólidos totales disueltos mantuvieron valores bajos en los tres tramos de la quebrada La Vieja, sin alcanzar los 10 mg L^{-1} , al contrario de lo ocurrido en La Osa, en la que fueron mucho más elevados (figura 7b). Para el nitrógeno amoniacal, La Osa presentó concentraciones

comparativamente altas en el tramo bajo ($0,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ NH}_3$), en relación con las demás tramos, tanto de la misma quebrada como de La Vieja (figura 7c).

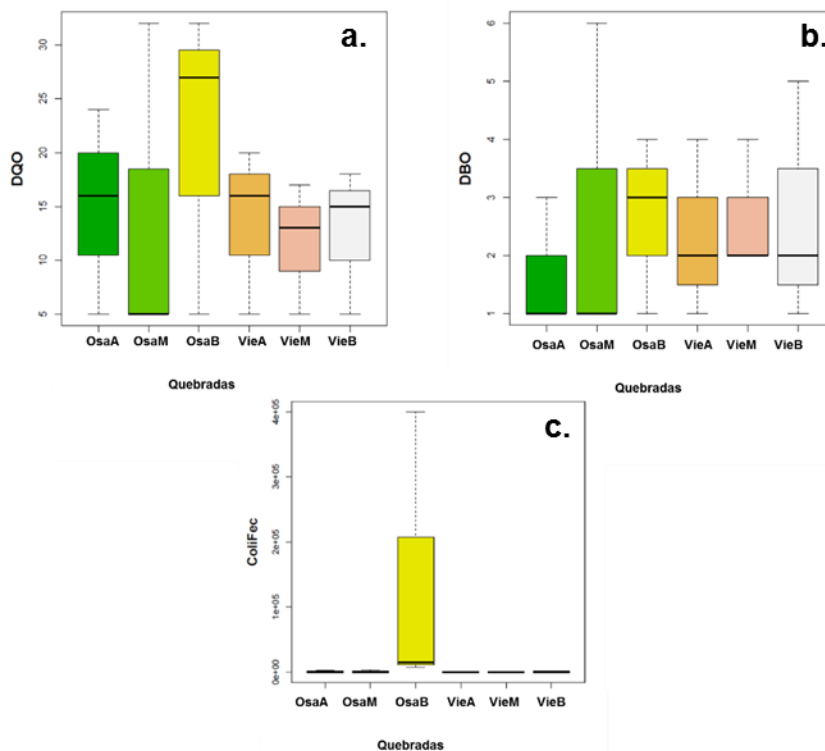


Figura 8. Variación espacial de las variables de contaminación orgánica: demanda biológica de oxígeno (a) demanda química de oxígeno (b) y coliformes fecales (c) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

La demanda química de oxígeno (DQO) mostró fuertes variaciones en todos los tramos de las dos corrientes estudiadas, como se indica en la figura 8a. La Osa tuvo un máximo de 32 mg L^{-1} de DQO en sus sectores medio y bajo. La DBO_5 también tuvo un comportamiento heterogéneo en los diferentes tramos, pero con cargas relativamente bajas y registros que no superaron los $6 \text{ mg L}^{-1} \text{ DBO}_5$. Sin embargo, La Osa sector bajo tuvo un promedio de DBO_5 un poco mayor (figura 8b). Las coliformes fecales fueron notablemente elevadas en el tramo bajo de La Osa (figura 8c); esto se podría deber principalmente a vertimientos puntuales de aguas residuales que es posible observar en este tramo. Las concentraciones de

enterobacterias en este sitio superaron el valor permisible de 1000 NMP establecido en el acuerdo 43-2006 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) para aguas de Clase II. Dicho acuerdo establece los valores máximos permisibles de las variables de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá que se quieren lograr en el año 2020.

6.1.1 Análisis de varianza de las variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja

Los ANOVAs (análisis de varianza) permitieron determinar diferencias significativas en las variables ambientales entre quebradas, épocas climáticas, tramos de estudio y las combinaciones: quebrada-época, quebrada-tramo y época-tramo. De esta manera, se observan diferencias significativas para la variable oxido reducción entre los tramos y entre las épocas, es decir, este parámetro está altamente influenciado por los periodos climáticos y por las características propias que presentan los tres tramos de las quebradas. Un caso particular lo constituye el nitrato, que exhibió diferencias significativas para la combinación quebrada-tramo (se presentan las variables que mostraron significancia en la tabla 8, el resto de variables en el anexo A). Otros parámetros que tuvieron diferencias significativas fueron: conductividad, pH, solidos totales disueltos, nitrógeno amoniacal y profundidad para el factor quebradas.

Promediando los valores de varianza, o los porcentajes de variación que arrojaron los ANOVAs de cada variable, se obtuvieron los porcentajes de la media de la varianza general (tabla 9) de los ítems mencionados. De esta manera, el factor quebrada presenta el porcentaje medio de la varianza más alto (23 %), seguido de la época climática (17 %). Las combinaciones quebrada-época y quebrada-tramo reflejaron un porcentaje de varianza del 15%. Esto indica que las condiciones de los tramos de las quebradas no son homogéneas y que el periodo climático influye también en dichas variaciones.

**INFLUENCIA DE VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMÚLIDOS EN
DOS SISTEMAS FLUVIALES ANDINOS DE COLOMBIA**

Tabla 8. Análisis de varianza de las variables abióticas de las quebradas La Osa y La Vieja. Con asteriscos se indican las diferencias significativas: 0'***'0.001'***'0.01'***'0.05'0.1'0.1'

	Oxido Reducción			Conductividad			pH			Profundidad		
	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign
Quebrada	50,278	0,0016	**	726,524	0,0003	***	385,200	0,0093	**	518,145	0,0009	***
Época	746,797	0,0000	***	42,146	0,1112		233,973	0,0527	.	116,049	0,0358	*
Tramo	108,232	0,0010	***	75,905	0,0473	*	129,463	0,1225		196,168	0,0147	*
Quebrada: Época	77,441	0,0018	**	13,392	0,3741		0,2965	0,9201		71,271	0,0758	.
Quebrada: Tramo	12,006	0,0503	.	109,329	0,0261	*	91,453	0,1871		12,712	0,4630	
Época: Tramo	0,1775	0,7343		11,619	0,7110		87,228	0,4167		58,587	0,2365	
Residuals	0,3471			21,086			69,718			27,069		
Sumatoria	100			100			100			100		
	Solidos Totales Disueltos			Nitrato			Nitrógeno Amoniacal					
	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign
Quebrada	584,922	0,0050	**	0,1942	0,5820		34.2524	0,0085	**			
Época	63,098	0,2941		79,568	0,0459	*	0.067	0,9777				
Tramo	70,157	0,2662		0,3916	0,7176		29.0428	0,0285	*			
Quebrada: Época	49,408	0,3626		133,747	0,0195	*	2.2839	0,5195				
Quebrada: Tramo	96,317	0,1910		704,593	0,0009	***	24.3578	0,0380	*			
Época: Tramo	61,322	0,5739		54,534	0,1969		4.1004	0,6332				
Residuals	74,775			21,700			5.8958					
Sumatoria	100			100			100					

Tabla 9 . Porcentajes de la media de la varianza general para los factores analizados mediante los ANOVAS de las variables abióticas de las quebradas La Osa y La Vieja.

Factores	% Media de Varianza
Quebrada	23
Época	17
Tramo	12
Quebrada: Época	15
Quebrada: Tramo	15
Época: Tramo	10
Residuals	9
Sumatoria	100

6.2 Análisis de Componentes Principales de variables físicas y químicas de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá

La estacionalidad marcada por las épocas seca, lluviosa y de transición determinaron cambios significativos en las variables físicas y químicas de las corrientes de agua estudiadas. Estas variables y los datos climáticos se ordenaron mediante un análisis de componentes principales (ACP), para lo cual se escogieron parámetros cuyo coeficiente de variación fuese mayor a 0,8 ($CV \geq 0,8$). En este análisis también se omitieron las variables que mostraron colinealidad.

La ordenación de los datos físicos y químicos en el ACP explicó el 76,47 % de la varianza en los tres primeros ejes (tabla 10). Al primer eje correspondió al 40 %, y a él se asociaron las siguientes variables (entre paréntesis se indican los eigenvalores o valores propios): conductividad (0,809), nitrito (0,971), nitrógeno amoniacal (0,786), fósforo total (0,730), oxígeno disuelto (-0,785) y temperatura (0,883). El segundo eje explicó el 21,49 % de varianza, con las siguientes variables asociadas: coliformes fecales (0,611), DQO (0,841) y DBO_5 (0,720). El tercer eje representó el 14,8 % de la varianza, con los sulfatos (0,661) y el pH (0,610) como variables asociadas.

Teniendo en cuenta las correlaciones de Pearson con valores $\alpha=0,05$, se evidenciaron relaciones positivas significativas entre la conductividad y el nitrógeno amoniacal (0,628), los sulfatos (0,690), las coliformes fecales (0,506), la temperatura (0,566) y el pH (0,628). Además, la conductividad se correlacionó negativamente con el oxígeno disuelto (-0,484). El nitrito se correlacionó con el nitrógeno amoniacal (0,505), el fósforo total (0,734), el oxígeno disuelto (-0,776) y la temperatura (0,727). Las coliformes fecales se relacionaron con el nitrógeno amoniacal (0,587), y el oxígeno disuelto con el fósforo total (-0,595) y la temperatura (-0,817). Por último, la DQO se correlacionó con la DBO_5 (0,668).

Tabla 10. Valores propios del ACP de las variables físicas, químicas, hidrológicas y cualitativas de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá).

Variables Físicas y Químicas	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5
Valor propio	4,412	2,365	1,635	1,047	0,534
Variabilidad (%)	40,112	21,498	14,865	9,519	4,858
% acumulado	40,112	61,61	76,475	85,994	90,852
Variables Hidrológicas	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5
Valor propio	2,241	1,327	1,043	0,251	0,138
Variabilidad (%)	44,816	26,538	20,866	5,022	2,758
% acumulado	44,816	71,354	92,22	97,242	100
Variables Cualitativas	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5
Valor propio	2,742	1,244	0,656	0,311	0,047
Variabilidad (%)	54,832	24,887	13,118	6,216	0,948
% acumulado	54,832	79,719	92,837	99,052	100

El gráfico del ACP de las variables físicas y químicas permite ver claramente la separación de dos grupos. El primero muestra a la quebrada La Osa en el periodo seco, asociada a valores altos de temperatura, fósforo total, sulfatos y nitritos, y valores bajos de oxígeno. En contraste, el segundo grupo correspondió a valores altos de DQO, DBO₅ y coliformes fecales, asociados principalmente al tramo bajo de la quebrada la Osa en los periodos de lluvia y transición. La quebrada La Vieja se ubicó en el sector opuesto a los vectores de las demandas de oxígeno, las coliformes, el pH, el amonio y la conductividad, lo que indica que dichos parámetros tuvieron registros menores en este río (figura 9).

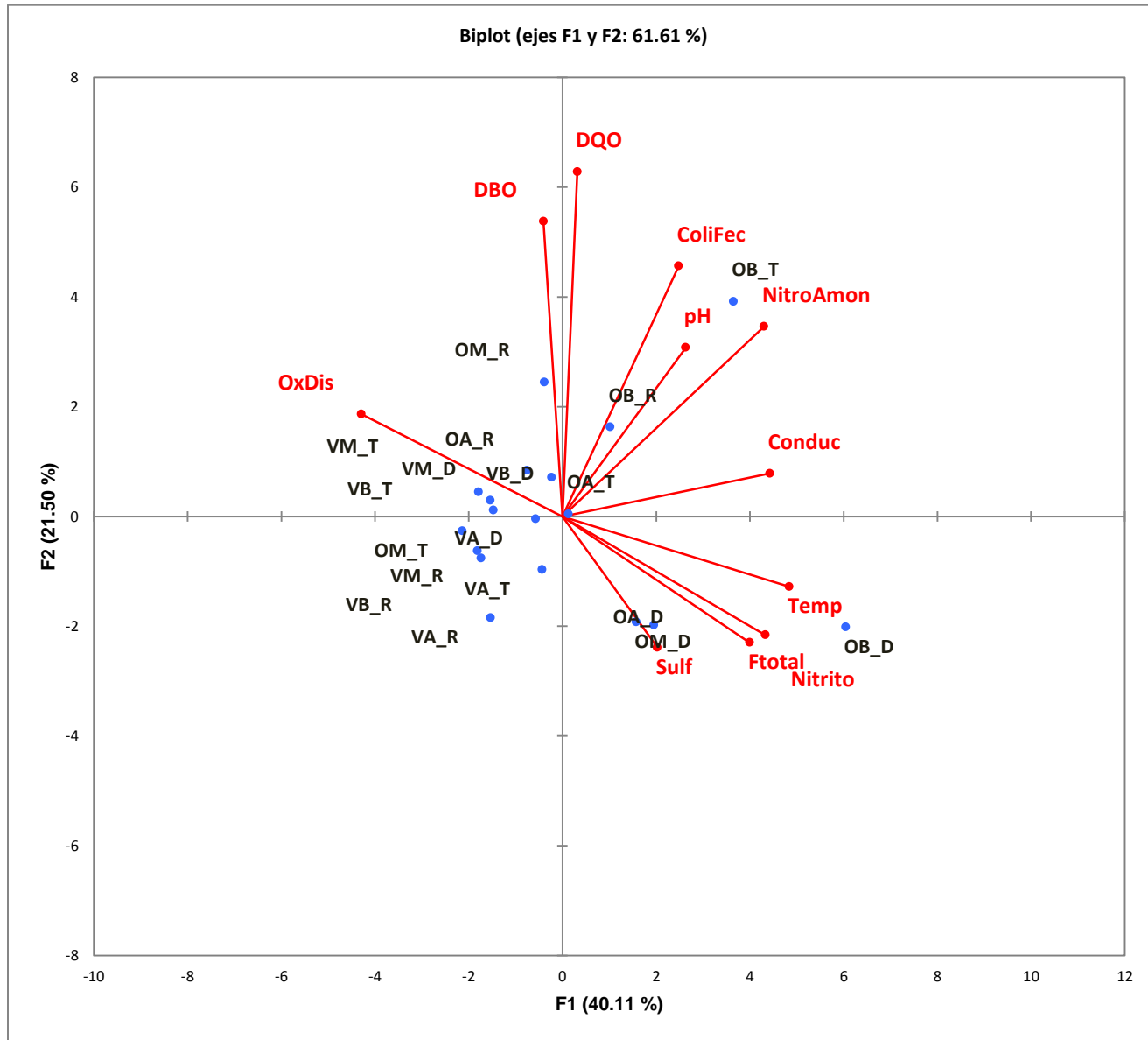


Figura 9. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables físicas y químicas en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican los periodos climáticos secos, lluvia y transición respectivamente.

6.2.1 Análisis de Componentes Principales de las variables hidrológicas de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá

El ACP correspondiente a las variables hidrológicas de las quebradas La Osa y La Vieja tuvo una varianza explicada para los dos primeros ejes del 71,35 %

(tabla 10). Las variables relacionadas al primer eje (que explicó el 44,8 %) fueron: velocidad promedio (0,720) y altitud (msnm, -0,672). Las variables asociadas al segundo eje (cuya explicación fue del 26,5 %) fueron: pendiente (-0,820), profundidad (0,850) y caudal (0,886).

La matriz de correlaciones de Pearson arrojó asociaciones estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) de la siguiente manera: la pendiente se asoció negativamente con la profundidad (-0,636) y el caudal (-0,550); el caudal se correlacionó de forma positiva con la profundidad (0,625) y con la velocidad promedio (0,475).

En síntesis, el ACP permitió diferenciar dos grupos principales, los cuales incluyen los tres periodos climáticos considerados. El primero comprendió los tramos medio y bajo de la quebrada La Osa en los periodos climáticos lluvioso y de transición, asociados a valores más altos de caudal y profundidad, y menores de pendiente. El segundo grupo abarcó los tramos de la quebrada la Vieja en todos los periodos climáticos, con valores muy bajos de caudal y profundidad, pero con pendientes más altas (figura 10).

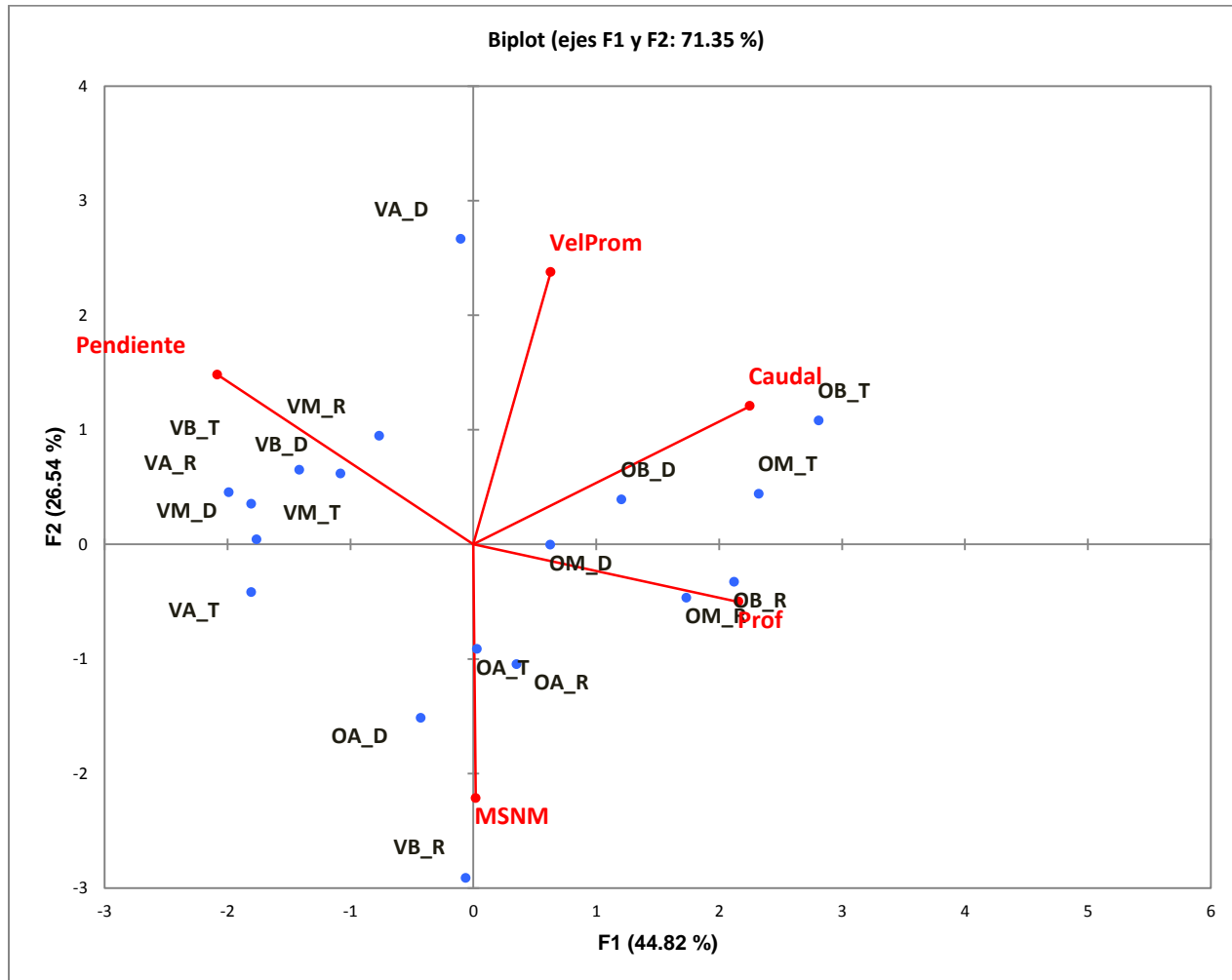


Figura 10. Análisis de componentes principales (ACP) de variables hidrológicas en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.

6.2.2 Análisis de componentes principales de las variables cualitativas de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá.

El ACP correspondiente a las variables cualitativas de las quebradas La Osa y La Vieja (figura 11), tuvo un 92,8 % de varianza explicada por los tres primeros ejes de la ordenación (tabla 10). Las variables relacionadas con primer eje (que explicó el 54,8 %) fueron los troncos (-0,507) y la cobertura vegetal (0,454). Con el segundo eje (cuya explicación fue del 24,8 %) se relacionó la cobertura vegetal

(-0,765). Por su parte, al componente tres (con un 16,9 % de varianza explicada) se asociaron las variables roca-2 (0,703) y hojas (0,617).

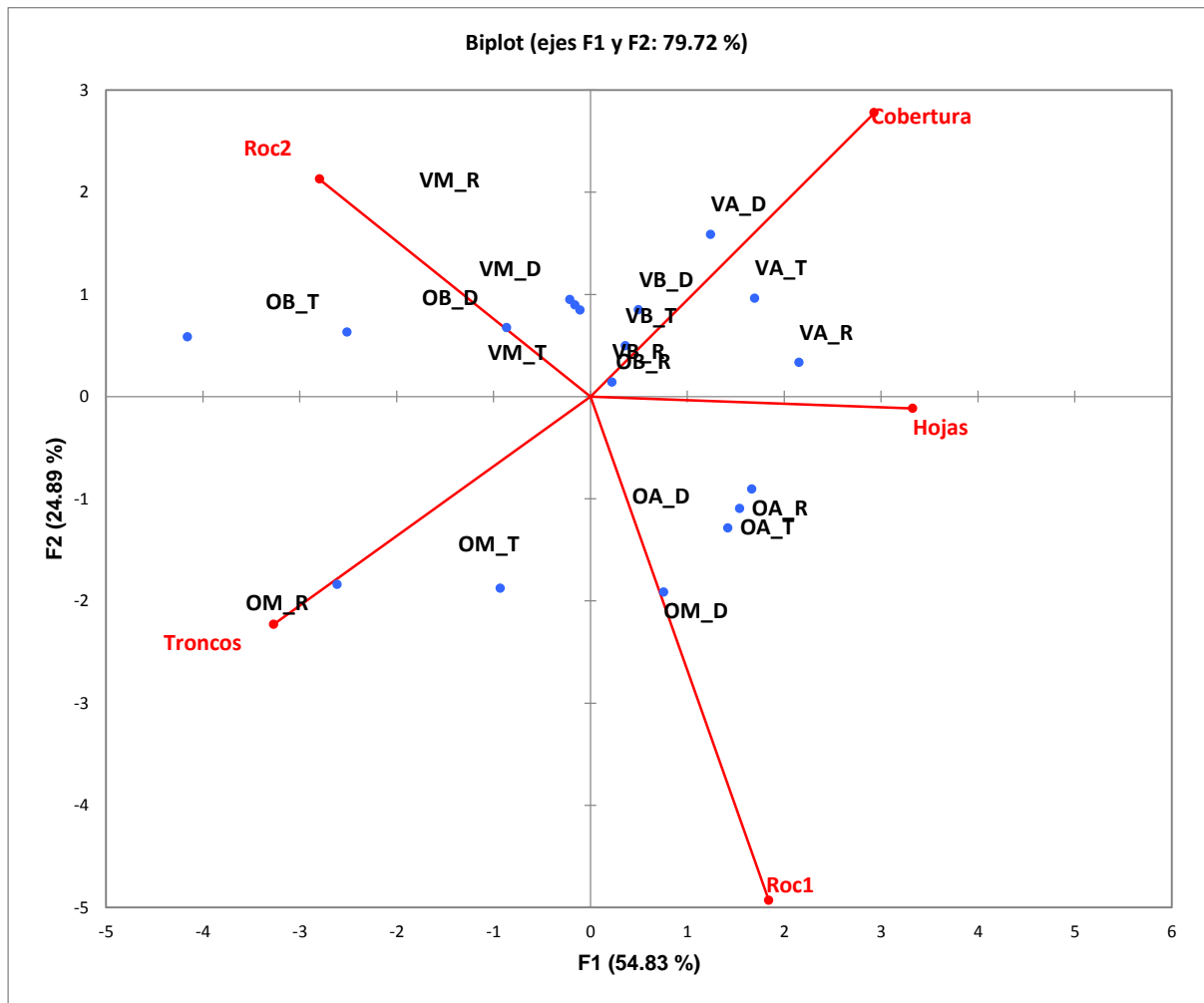


Figura 11. Análisis de componentes principales (ACP) de variables cualitativas en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.

La matriz de Pearson mostró las siguientes correlaciones significativas: roca-1 con roca-2 (-0,544), roca-1 con hojas (0,489), hojas y troncos (-0,724) y troncos con cobertura (-0,662).

En resumen, el ACP diferencia dos grupos principales, los cuales representan los tres períodos climáticos y las características de cobertura y sustrato propias de

cada quebrada en sus respectivos tramos. El primero comprende las zonas con cobertura completa, es decir, donde la vegetación ribereña es densa, lo cual ocurre en la quebrada La Vieja tramo alto; allí hay gran influencia de hojas y poca presencia de troncos en el cauce. Se resalta que en el tramo medio de La Osa, en los períodos de transición y seco, los simúlidos aumentaron su presencia sobre los troncos dentro de la corriente de agua. El segundo grupo reunió rocas de mayor tamaño y tramos semi-despejados y despejados, características propias de los tramos medio y bajo de La Osa y del tramo medio de La Vieja, en los tres periodos climáticos (figura 11).

6.3 El estado trófico de las quebradas La Osa y La Vieja

El estado trófico de las quebradas estudiadas, según Lamparelli (2004), refleja los resultados de los índices calculados a partir de los valores de fósforo total y nitrógeno total. El IET promedio (de NT y PT) revela de forma general para la quebrada La Osa condiciones oligotrofia, mesotrofia y eutrofia para sus respectivos tramos altos, medio y bajo. De igual forma, muestra aguas mesotróficas (tramo alto) y ultraoligotróficas (tramos medio y bajo) en la quebrada La Vieja. El IET del NT muestra valores menores a 52, lo que indica masas de agua muy limpias, con productividad muy baja, y que no tienen inconvenientes para su uso ocasionados por la presencia de este nutriente. Caso contrario refleja IET del PT, en el que todos los valores estuvieron por encima de 52, evidenciando aguas mesotróficas (Osa alto y Vieja medio y bajo) y aguas con una alta productividad en relación con las condiciones naturales, baja transparencia, en general afectadas por las actividades humanas, donde se producen frecuentemente cambios indeseables en la calidad del agua, como la aparición de episodios de floraciones de algas y la interferencia en sus múltiples usos, como parece ser el caso de la quebrada La Osa en los tramos medio y bajo (Tabla 11, Figura 12).

Tabla 11. Valores de Índice de Estado Trófico (IET) trófico basado en el fósforo total, en el nitrógeno total y en el promedio EIT (N y P) para los tramos altos, medios y bajos de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

Quebradas/Tramos	PT ($\mu\text{g L}^{-1}$)	IET(PT)	NT(mgL^{-1})	IET(NT)	EIT (P:N)
Osa Tramo Alto	73,3	59 (M)	0,4	41 (U)	50 (O)
Osa Tramo Medio	173,3	71 (HE)	0,5	45 (U)	58 (M)
Osa Tramo Bajo	250,0	76 (HE)	0,7	49 (O)	63 (E)
Vieja Tramo Alto	140,0	68 (SE)	0,4	40 (U)	54 (M)
Vieja Tramo Medio	50,0	53 (M)	0,3	36 (U)	44 (U)
Vieja Tramo Bajo	50,0	53 (M)	0,3	36 (U)	44 (U)

U: Ultraoligotrófico, **O:** oligotrófico, **M:** mesotrófico, **E:** eutrófico, **SE:** supereutrófico y **HE:** hipereutrófico

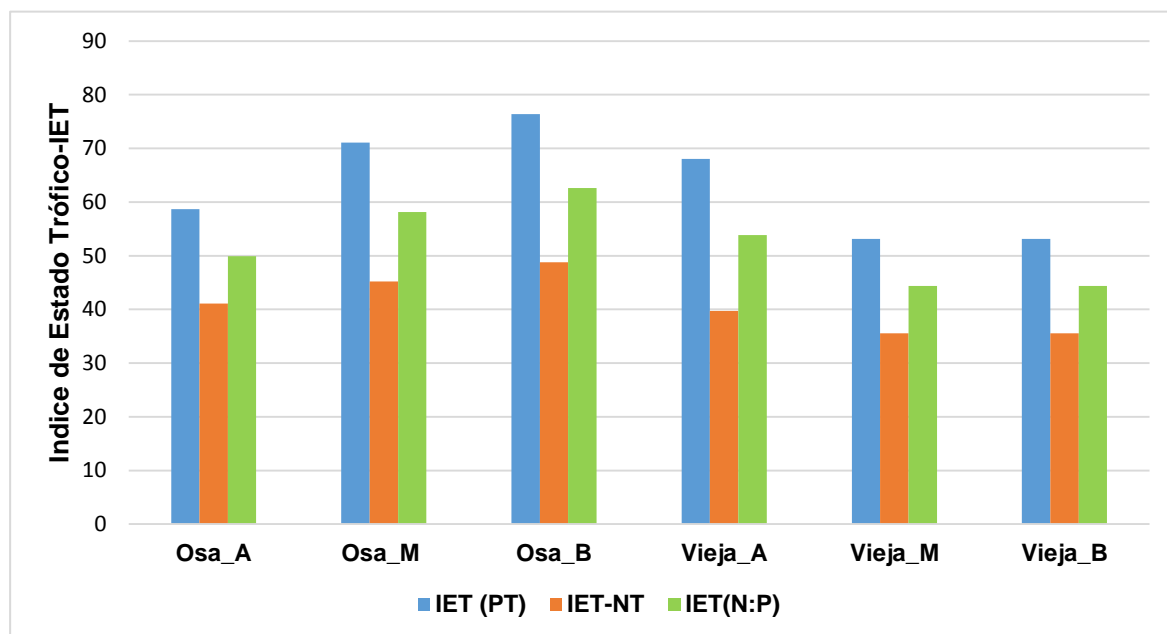


Figura 12. Índice estado trófico basado en el fósforo total, el nitrógeno total y el promedio EIT (N y P) de los tramos altos (A), medios (M) y bajos (B) de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

6.4 Análisis de las secuencias del gen COI género *Gigantodax*

Para el análisis de distancia genética se consideraron un total de 31 muestras del género *Gigantodax*. Se tomaron también cuatro secuencias del GenBank, tres pertenecientes al género *Gigantodax* del taxón *G. willei* (KP252938.1, KP252900.1, KP252882.1) y una del género *Simulium* (*S. tunja*; KU986867.1). Es importante resaltar que además de las muestras de las quebradas La Osa y La Vieja, lugares de este trabajo, se incluyeron especímenes de los Ríos Bogotá y Arzobispo, áreas de estudio también consideradas en el proyecto general, del cual hizo parte la presente investigación (tabla 12).

Tabla 12. Especies del género *Gigantodax*, sitios de recolección, código de secuencias de COI y rango de valores de divergencia genética interespecífica basados en Kimura-2-Parámetros.

Especies	Lugar/Fuente	Código	Rango (%)
<i>G. paramorum</i>	Rio Arzobispo, Rio Bogotá (Guacheneque), quebradas La Osa y La Vieja	1A, 3E, 5F, 6A, 8A, 9E, 10F, 12F, 13F, 14F, 15F, 16F, 17F, 21F, 22F, 29F, 35E, 43E, 44E, 53E, 57E, 58E	-
<i>G. destitutus</i>	Quebrada La Osa	34E	0,2-3,1
<i>G. osornorum</i>	Rio Arzobispo, Río Bogotá	7E, 8E	2,0-4,1
<i>G. basinflatus</i>	Rio Bogotá, Quebrada La Osa	1E, 31E	10,2-11,8
<i>G. cervicornis</i>	Rio Arzobispo, Quebrada La Osa	2E, 11F, 33E	10,8-13,7
<i>G. multituberculatus</i>	Quebrada La Vieja	1A	10,1-10,4
<i>S. tunja</i>	GenBank	KU986867.1	16,6-17,8
<i>G. willei</i>	GenBank	KP252938.1 KP252900.1 KP252882.1	7,8-9,9

La distancia genética interespecífica entre *G. paramorum* y *G. destitutus* fue 0,2-3,1 % y con *G. osornorum* fue de 2,20-4,1 %. Aunque *G. willei* no se colectó en las áreas mencionadas, los valores de distancia interespecífica estaban en el rango de 7,8 - 9,9 %. Los taxones más alejados de las muestras de *G. paramorum* fueron *G. basinflatus*, *G. cervicornis*, *G. multituberculatus* y *S. tunja*, Para estas secuencias los rangos fueron mayores al 10% (tabla 12 y anexo C).

La distancia intraespecífica, teniendo en cuenta solo los especímenes de *G. paramorum* para las corrientes de agua de esta investigación se encuentran en la tabla 13, Según los análisis de divergencia genética interespecífica e intraespecífica utilizando Kimura -2- parámetros, las secuencias de *G. paramorum* presentaron el rango mínimo de divergencia genética intraespecífica, con valores de 0,0 – 3,17 %..

Tabla 13. Distancia genética intraespecífica de los individuos de *G. paramorum* colectados en las corrientes de agua en estudio, se resaltan las quebradas La Osa y La Vieja, valor en porcentaje (%).

Corrientes	Osa	Arzobispo	Vieja	Bogotá
Osa	0 - 1,09			
Arzobispo	0 - 3,17	0,15 - 3,01		
Vieja	0 - 2,05	0 - 3,16	0 - 2,05	
Bogotá	0,15 - 1,25	0 - 2,84	0 - 1,73	0 - 0

6.4.1 Diversidad de secuencias de COI

Se obtuvo un total de 22 secuencias de la especie *G. paramorum*. La composición de nucleótidos (valores relativos) base del COI se presenta de la siguiente forma: A: 26, 93 %, T: 37,15 %, C, 18,79 % y G: 17,12 %. Dentro de las secuencias se obtuvieron 16 haplotipos, **4 para la quebrada La Osa**, 9 para el río

Arzobispo, **8 para La Vieja** y 1 para el río Bogotá (tabla 14). Sin embargo, la significancia de estos haplotipos para las quebradas (anexo D, nivel de significación = 0,05) y para las épocas de colecta (anexo E, nivel de significación = 0,05) de los especímenes no fueron significativas.

Tabla 14. Frecuencias de haplotipos en poblaciones de simúlidos de las corrientes de agua, se resaltan las quebradas La Osa, y La Vieja.

Haplotype:	Osa (4)	Arzobispo (9)	Vieja (8)	Bogotá (1)
h1	0	0	1	0
h2	2	1	2	0
h3	0	0	1	0
h4	0	1	0	0
h5	0	1	0	0
h6	0	1	0	0
h7	0	1	1	1
h8	0	1	0	0
h9	0	1	0	0
h10	0	1	0	0
h11	0	1	0	0
h12	1	0	0	0
h13	1	0	0	0
h14	0	0	1	0
h15	0	0	1	0
h16	0	0	1	0

6.5 Resultados de citogenética

Debido a la variación intraespecífica observada y a los datos contradictorios, se hizo citogenética de la especie *Gigantodax paramorum*, en la que se observaron los siguientes resultados: en total se analizaron 27 larvas procedentes de las

corrientes de agua La Vieja de las cuales 20 correspondieron a La Veja: 10 hembras y 10 machos. El análisis citogenético fue pertinente, ya que evidenció que el patrón de bandeamiento cromosómico fue igual al hallado por Roza en la quebrada La Vieja en el año 2013. La identificación del centrómero se determinó por infrecuentes pareamiento ectópicos.

Cromosoma I. Es el más largo de los tres cromosomas del complemento, está dividido en 42 secciones, el centrómero se ubica en la sección 19. El brazo corto (IS) consta de 17 secciones (1-17) y el brazo largo (IL) tiene 25 secciones (18-45). Se identificó el “marker” en la sección 28 (Figura 13).

Cromosoma II. Los cromosomas sexuales se diferenciaron morfológicamente. El X y el Y tuvieron una expresión diferencial en la región del centrómero II. Se asume que la secuencia X representa la secuencia estándar. Las hembras son típicamente X0X0 y los machos son X0Y1. En el 40% de las cuatro hembras, se presentó algún grado de asinapsis en la sección 53 de CII. Al parecer, las dos bandas casi simétricas, fuertes y adyacentes en esta sección están invertidas, o las diferencias entre los homólogos solo se expresan a nivel molecular. Los machos consistentemente no parearon en la región CI, del marcador trapezoidal, cerca de la mitad de la sección 57. La región centromérica en cualquier lado del cromosoma fue algunas veces floculenta, pero la primera banda en la sección 57 se vio más engrosada en el cromosoma X y dos bandas claras y delgadas en el Y (figura 14).

Cromosoma III. *Gigantodax paramorum* es casi monomórfico. Se presentaron dos polimorfismos raros, cada uno en una hembra de La Vieja. Uno ocurrió en una región consistentemente no pareada de CI y el otro en una heterobanda en la sección 80 del cromosoma IIIS, la que se expresó como una banda levemente más ancha en uno de los homólogos. Un polimorfismo más común fue una heterobanda más prominente en la sección 80 (la primera banda), que se presentó en todas las combinaciones zigóticas, aunque con una escasez de

heterocigotos ($\chi^2 = 6,34$, $df = 1$, $p < 0,05$). En el mapa obtenido se observa la expresión homocigota de la heterobanda (figura 15).

Lo cual ratifica que los especímenes colectados corresponden a la misma especie, que por tener el patrón de bandeamiento similar al reportado por Rozo (2013), se considera como *G. paramorum*.

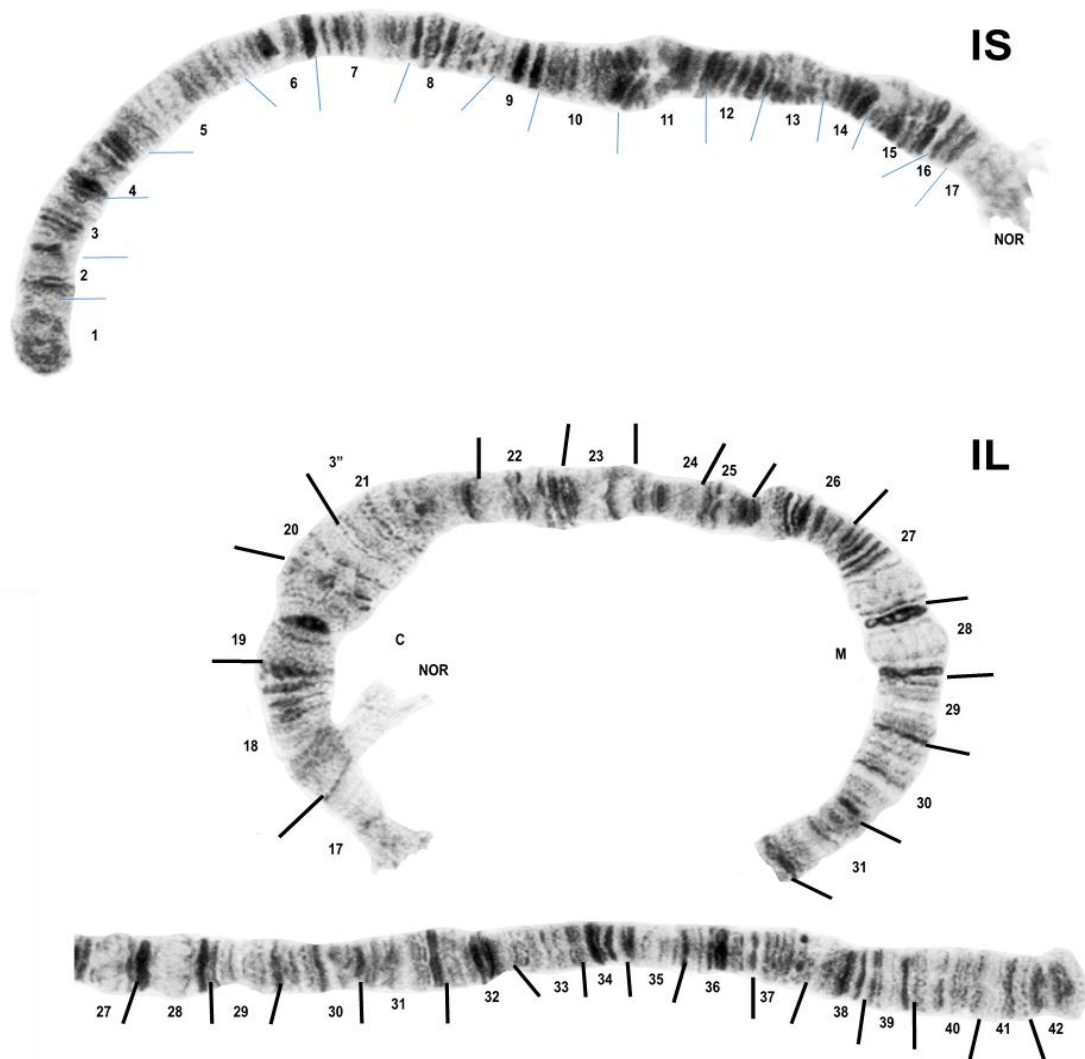


Figura 13. Cromosoma I, Brazo corto (IS) y Brazo largo (IL). NOR: Región nuclear organizadora; C: centrómero.

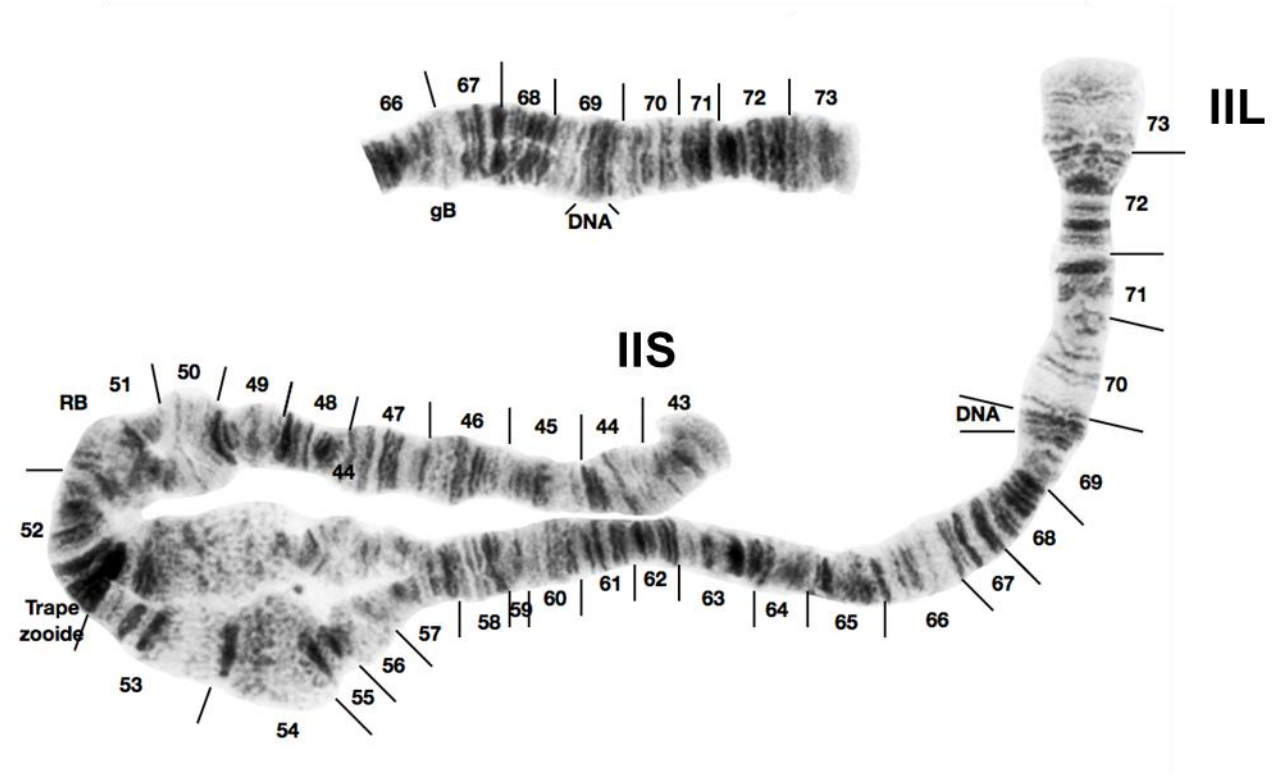
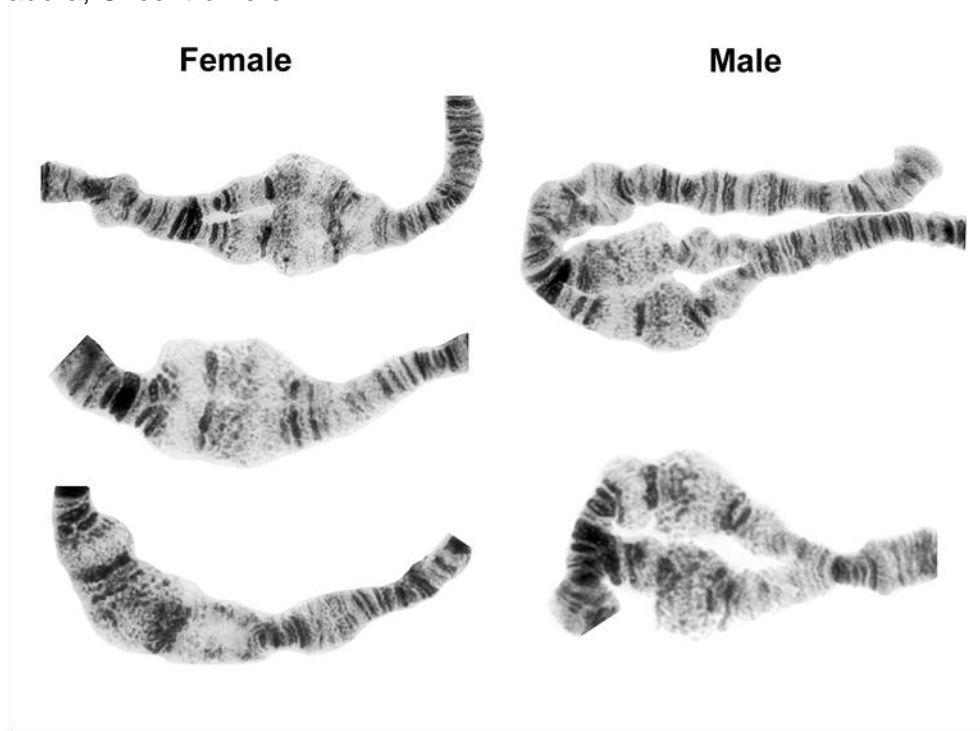


Figura 14. Cromosoma II. Brazo corto (IIS) y Brazo largo (IIL).

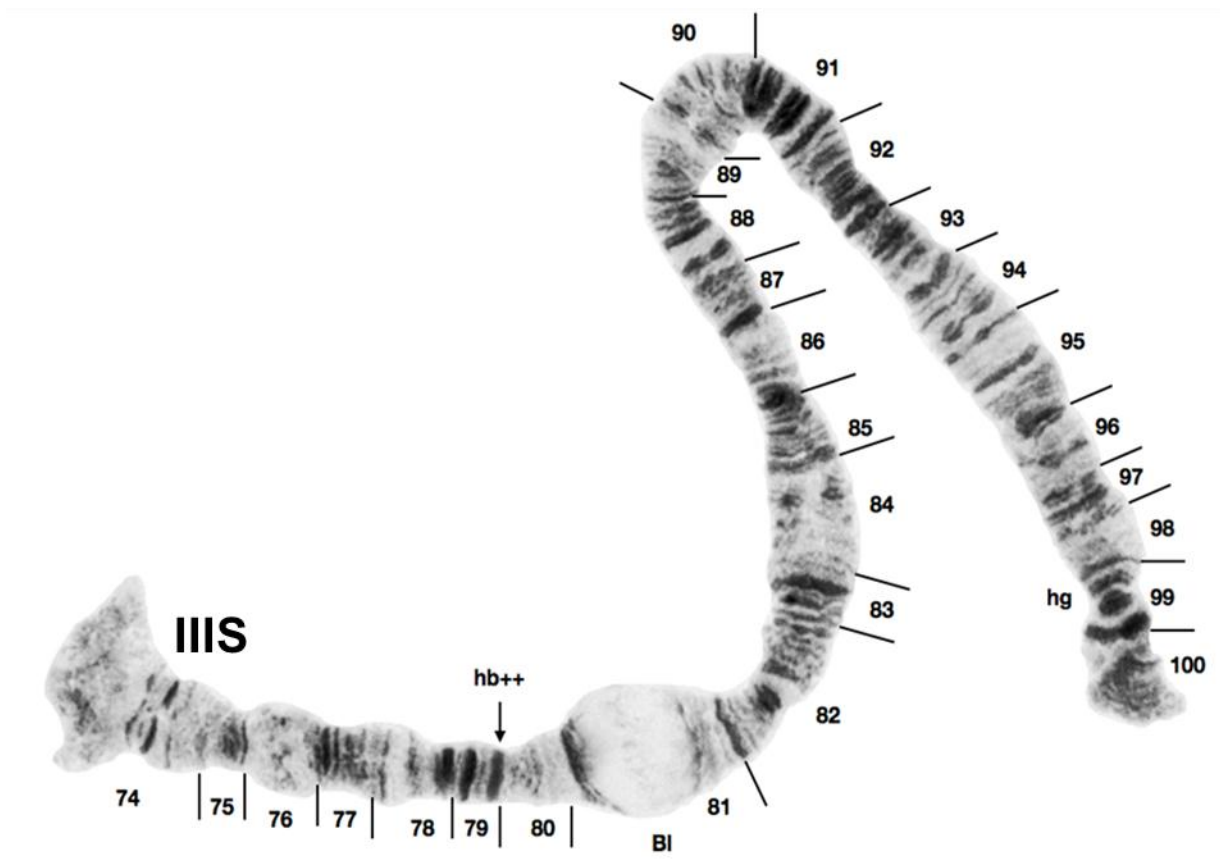


Figura 15. Cromosoma III. Brazo corto (IIIS) y Brazo largo (IIIL). hb: heterobanda; BL: Blíster

6.6 Composición de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá.

A continuación, se presentan los taxones de simúlidos para cada corriente de agua (tabla 15). Parte del material colectado estuvo compuesto por ejemplares cuyas características morfológicas no estaban completamente desarrolladas para determinar su taxonomía. Estos especímenes se determinaron hasta género y subgénero. Los indeterminados del género *Simulium* se catalogaron en los

subgéneros *Trichodagmia* sp. y *Psilopelmia* sp.; los no identificados del género *Gigantodax* se denominaron *Gigantodax* sp.

Tabla 15. Taxones de la familia Simuliidae presentes en las quebrada La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016.

Género	Grupo o Subgénero	Especie	La Osa	La Vieja
<i>Gigantodax</i> Enderlein, 1925	<i>Cilicinus</i>	<i>Gigantodax basinflatus</i> Wygodzinsky y Coscarón, 1989	X	X
		<i>Gigantodax destitutus</i> Wygodzinsky y Coscarón, 1989	X	X
	<i>Cormonsi</i>	<i>Gigantodax wygodzinskyi</i> Moncada, Muñoz de Hoyos y Bueno, 1981	X	-
	<i>Brophi</i>	<i>Gigantodax paramorum</i> Wygodzinsky & Coscarón, 1989	X	X
		<i>Gigantodax multituberculatus</i> Wygodzinsky y Coscarón, 1989	-	X
		<i>Gigantodax osornorum</i> Muñoz de Hoyos, Martínez, Mejía y Bueno, 1994	X	X
	<i>Wrighti</i>	<i>Gigantodax cervicornis</i> Wygodzinsky, 1973	X	X
<i>Simulium</i> Latreille, 1802	<i>Trichodagmia</i>	<i>Simulium muiscorum</i> Bueno, Moncada y Muñoz de Hoyos, 1979	X	X
		<i>Simulium ignescens</i> Coscarón y Wygodzinsky, 1960	X	X
	<i>Psilopelmia</i>	<i>Simulium furcillatum</i> Wygodzinsky y Coscarón, 1982	X	-

En total se recolectaron 4150 individuos (1760 para La Osa, 2390 para La Vieja). El género *Simulium* estuvo representado por las especies *S. muiscorum*, *S. furcillatum* y *S. ignescens*. Del género *Gigantodax* se hallaron *G. basinflatus*, *G. destitutus*, *G. multituberculatus*, *G. osornorum*, *G. wygodzinskyi* y *G. cervicornis* y *G. paramorum* (tabla 15).

Los taxones más abundantes para la quebrada La Osa fueron *S. muiscorum* (48%) y *Gigantodax* sp. (22%). Les siguieron el subgénero *Trichodagmia* (9 %), la especie *S. ignescens* (8 %) y el taxón *G. paramorum* (6 %) (Figura 16).

Gigantodax sp. mostró casi el 80 % de la abundancia total de los individuos reportados para la quebrada La Vieja, seguida por el *G. paramorum* (11%). Los

representantes del género *Simulium* más abundantes fueron *S. muiscorum* (5 %) y *S. ignescens* (3 %, figura 17).

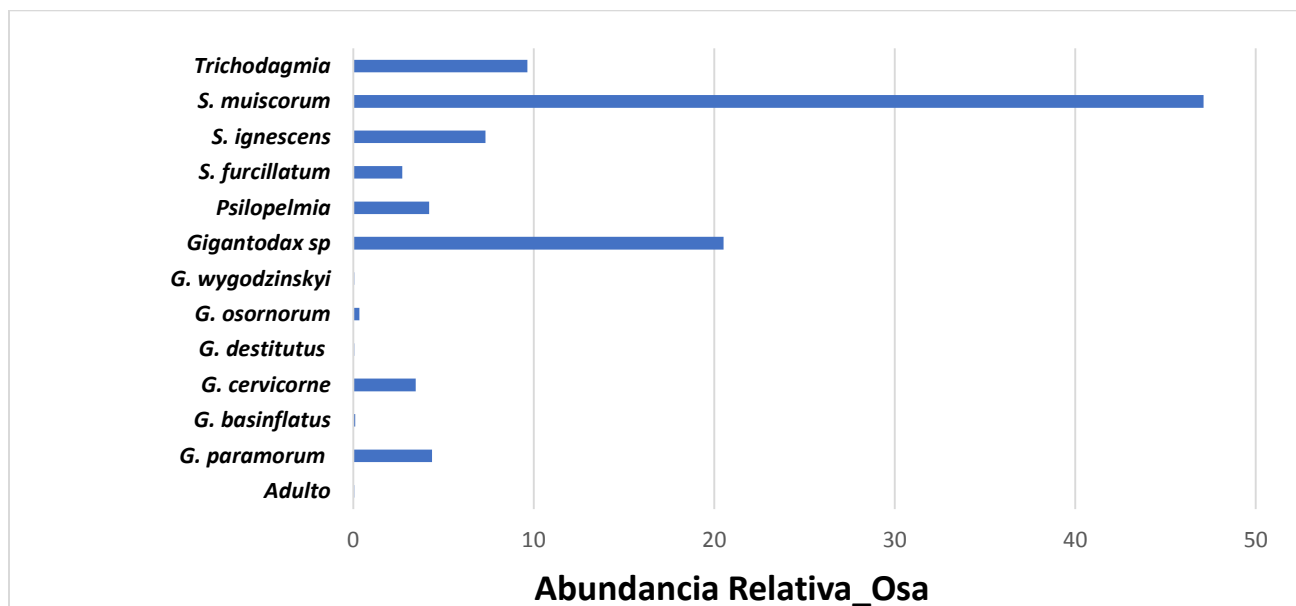


Figura 16. Abundancia relativa de la familia Simuliidae presente en la quebrada La Osa, 2015-2016.

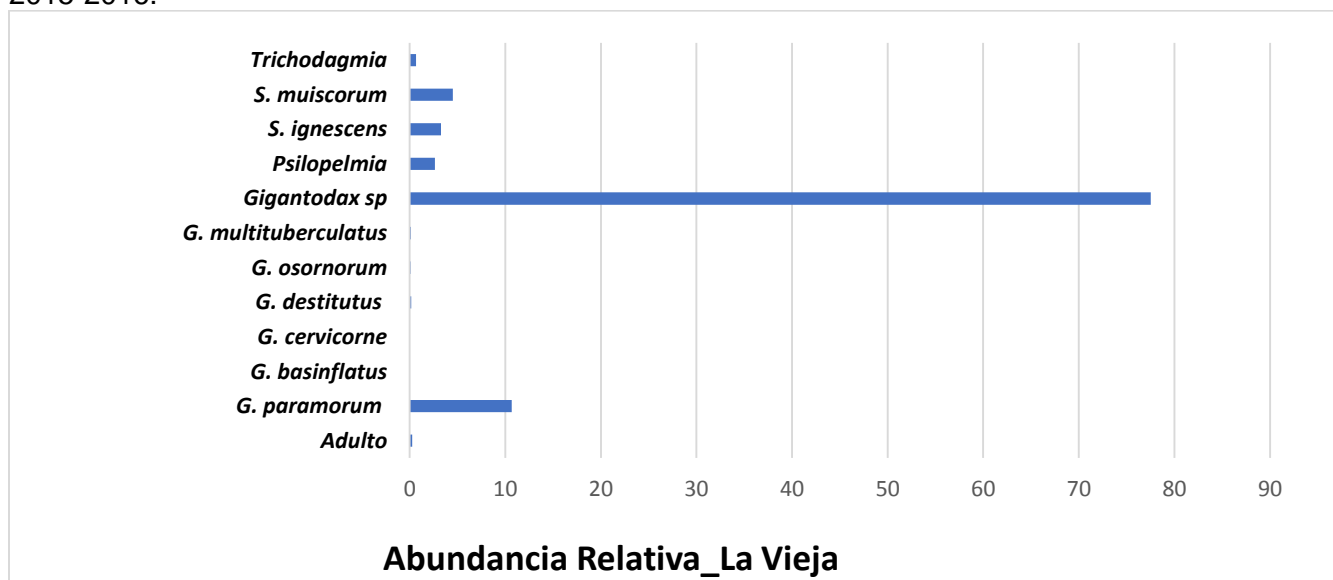


Figura 17. Abundancia relativa de la familia Simuliidae presente en la quebrada La Vieja, 2015-2016.

Las figuras 18 y 19 representan las preferencias de sustrato de los simúlidos para cada especie, género y subgénero. Para la quebrada La Osa los taxones *G. paramorum* (5 %) y *Gigantodax* sp. (39 %) estuvieron asociados mayormente a la hojarasca de la quebrada; *G. cervicornis* no mostró una marcada preferencia por algún tipo de sustrato (figura 18). La especie *S. muiscorum* evidenció mayor asociación con el sustrato rocoso (53 %).

En La Vieja, los individuos de *Gigantodax* sp. estuvieron asociados principalmente a la hojarasca (81%), aunque en rocas su porcentaje también fue alto (75 %). Para *G. paramorum* los porcentajes en hojarasca y en rocas fueron muy similares (9 % y 10 %, respectivamente). *S. muiscorum* y *S. ignescens* reflejaron una leve preferencia por las rocas para la quebrada La Vieja (figura 19).

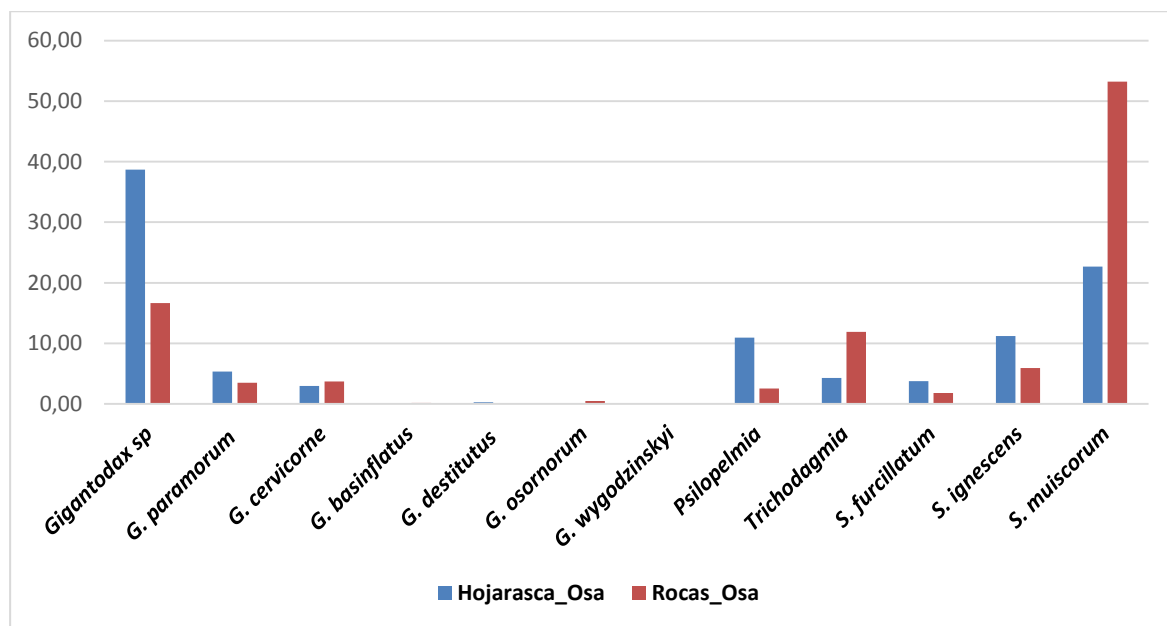


Figura 18. Simúlidos asociados diferentes sustratos de la quebrada La Osa, 2015-2016

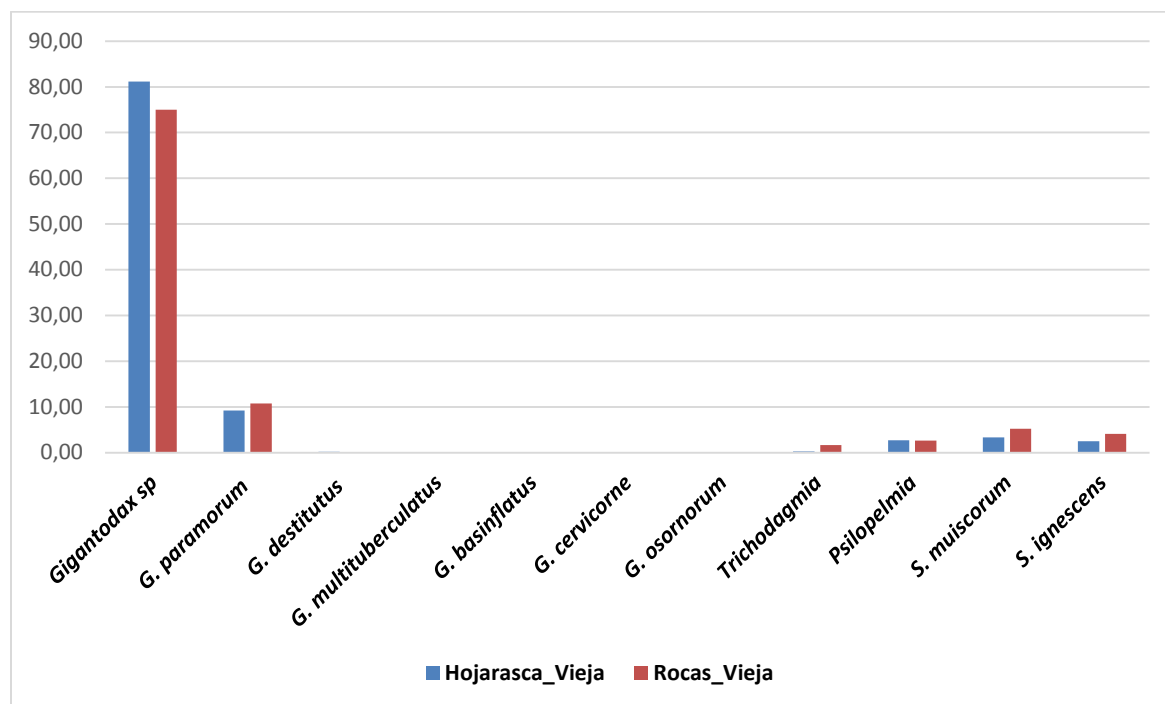


Figura 19. Simúlidos asociados diferentes sustratos de la quebrada La Vieja, 2015-2016

6.6.1 Composición y abundancia de simúlidos en los periodos climáticos de lluvia, seca y transición 2015-2016

El género mejor representado en la quebrada La Vieja fue *Gigantodax*. Esto concuerda con las abundancias de *G. paramorum*. Este taxón predominó en las diferentes épocas y sus cantidades fueron muy similares. La especie *G. basinflatus* se halló sólo en época de lluvia en ambas quebradas. Por su parte, *G. cervicornis* tuvo mayor presencia en La Osa, especialmente en la temporada seca; registró pocos individuos para la época lluviosa y únicamente se halló un individuo en el periodo de transición. Los especímenes de *G. destitutus* fueron muy escasos en la estación lluviosa, pero en el periodo seco estuvieron mejor representados en La Vieja. *G. multituberculatus* estuvo presente en La Vieja en las épocas de lluvia y transición. *G. osornorum* se encontró en ambas corrientes en los meses secos y de transición. El taxón *G. wygodzinskyi* se puede

considerar como una especie rara, ya que se colectó un único individuo en este estudio, lo cual ocurrió en el periodo seco en la quebrada La Osa (figura 20).

Las larvas inmaduras del subgénero *Psilopelmia*, tanto para La Osa como para La Vieja, se hallaron en las temporadas de lluvia y sequía. La especie *S. furcillatum* fue uno de los taxones exclusivos de la quebrada La Osa; se encontró en todos los periodos climáticos, pero con una disminución de su abundancia en la época seca. Por el contrario, la especie *S. ignescens*, presente también en todos los periodos de estudio, aumentó su abundancia en La Osa en la época seca y en La Vieja en el periodo de transición. Los individuos del grupo *Trichodagmia* se incrementaron en el periodo seco, especialmente en La Osa, donde se halló un porcentaje apreciable de larvas inmaduras que no se pudieron identificar hasta especie (Posiblemente sean de la especie *S. muiscorum* porque esta fue la única especie del subgénero que se encontró en esta corriente de agua). *S. muiscorum* mostró abundancias representativas para ambas quebradas, pero con registros notablemente mayores en La Osa, tanto en la época de lluvias como en las fases seca y de transición; en La Vieja este taxón fue más abundante en el periodo de transición (figura 20).

INFLUENCIA DE VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMÚLIDOS EN DOS SISTEMAS FLUVIALES ANDINOS DE COLOMBIA

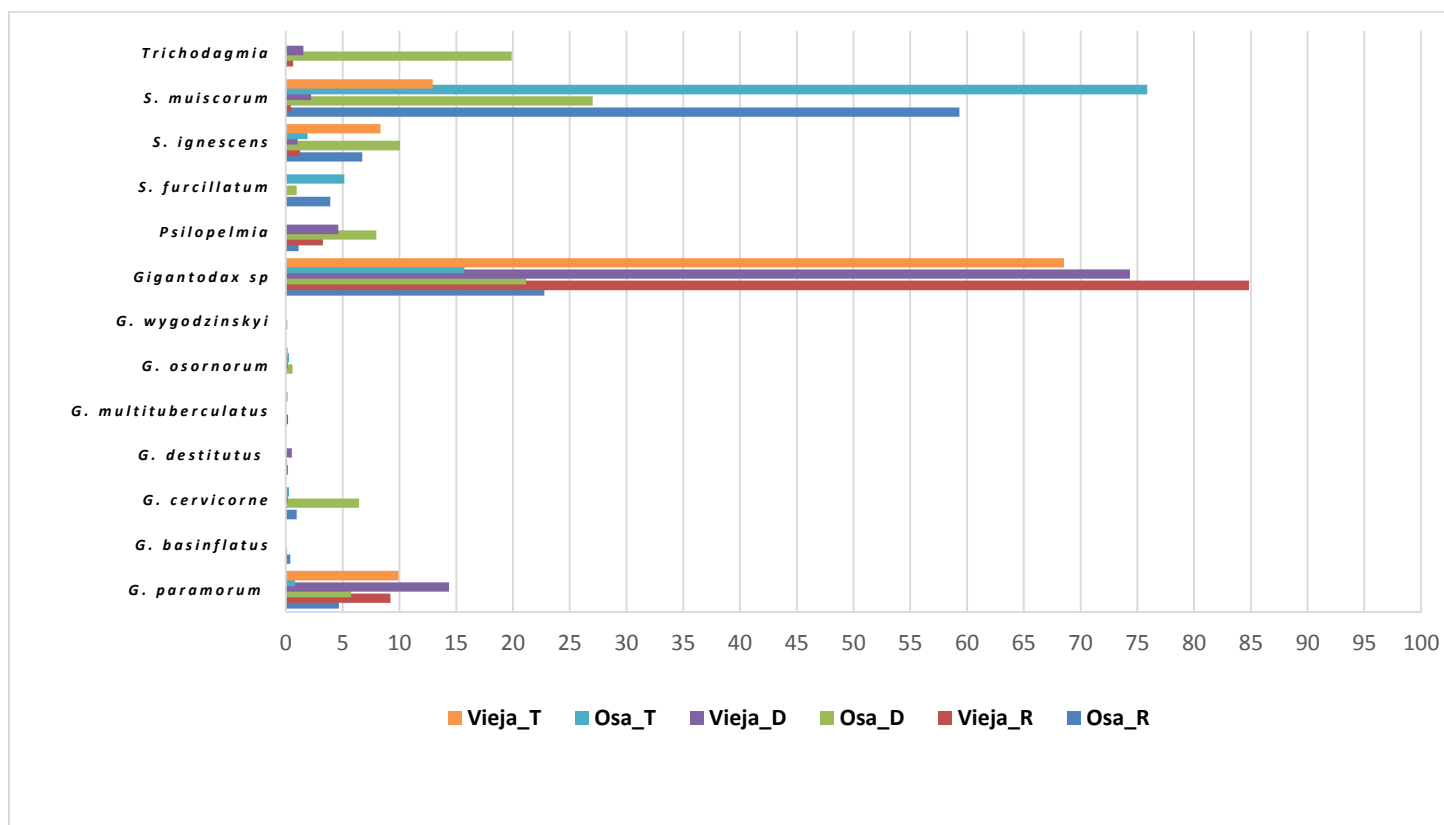


Figura 20. Distribución de la abundancia relativa de simúlidos en las épocas climáticas, en las quebrada La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvioso y de transición, respectivamente.

6.7 Descriptores ecológicos de diversidad de las comunidades de Simúlidos en las quebradas La Osa y La Vieja

Para los análisis de diversidad se tuvieron en cuenta los últimos estadios larvales, en los que fue posible la observación de los filamentos respiratorios de las pupas y larvas.

En La Osa se reportaron 9 taxones con una abundancia de 1154 individuos identificados ($H'=1,00$, $D'=0,53$, $J'=0,45$). La Vieja tuvo 8 taxones con un total de 452 individuos ($H'=1,09$, $D'=0,40$, $J'=0,52$, tabla 16).

Tabla 16. Descriptores ecológicos de diversidad para las comunidades de simúlidos de las quebradas La Osa y La Vieja, 2015-2016

	La Osa	La Vieja
Taxa_S	9	8
Abundancia	1154	452
Dominancia_'D'	0,5376	0,4053
Shannon_'H'	1,001	1,094
Equitatividad_'J'	0,4558	0,5263

La quebrada La Osa, en el tramo medio y en la época seca, reveló una mayor diversidad de Shannon ('H'=1,5). La Vieja mantuvo valores de diversidad muy parecidos para sus tres tramos en esa misma época (aproximadamente 'H'=0,6). En la temporada de lluvias, La Osa en el tramo medio y La Vieja en el tramo alto, mostraron valores de 'H'=1,0 y 'H'=1,1 respectivamente. En el tramo alto de La Osa se registró la diversidad más baja ('H'=0,01) en la época de transición. En el tramo medio de La Osa la dominancia de Simpson fue mayor ('D'=0,9) en la época de transición y menor en la temporada seca. El índice de Pielou, el cual muestra la equitatividad de las comunidades de simúlidos, tuvo un comportamiento muy semejante al de la diversidad de Shannon, es decir, una mayor equitatividad para La Osa en su tramo medio en la temporada seca ('J'=0,9) y para la Vieja en su tramo alto en la época de lluvias ('J'=1,0). Igualmente, el menor índice de Pielou fue para el tramo alto de La Osa en el periodo de transición, donde se registró la dominancia de Simpson más alta ('J'=0,2, figura 21).

INFLUENCIA DE VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMULIIDAE EN DOS SISTEMAS FLUVIALES ANDINOS DE COLOMBIA

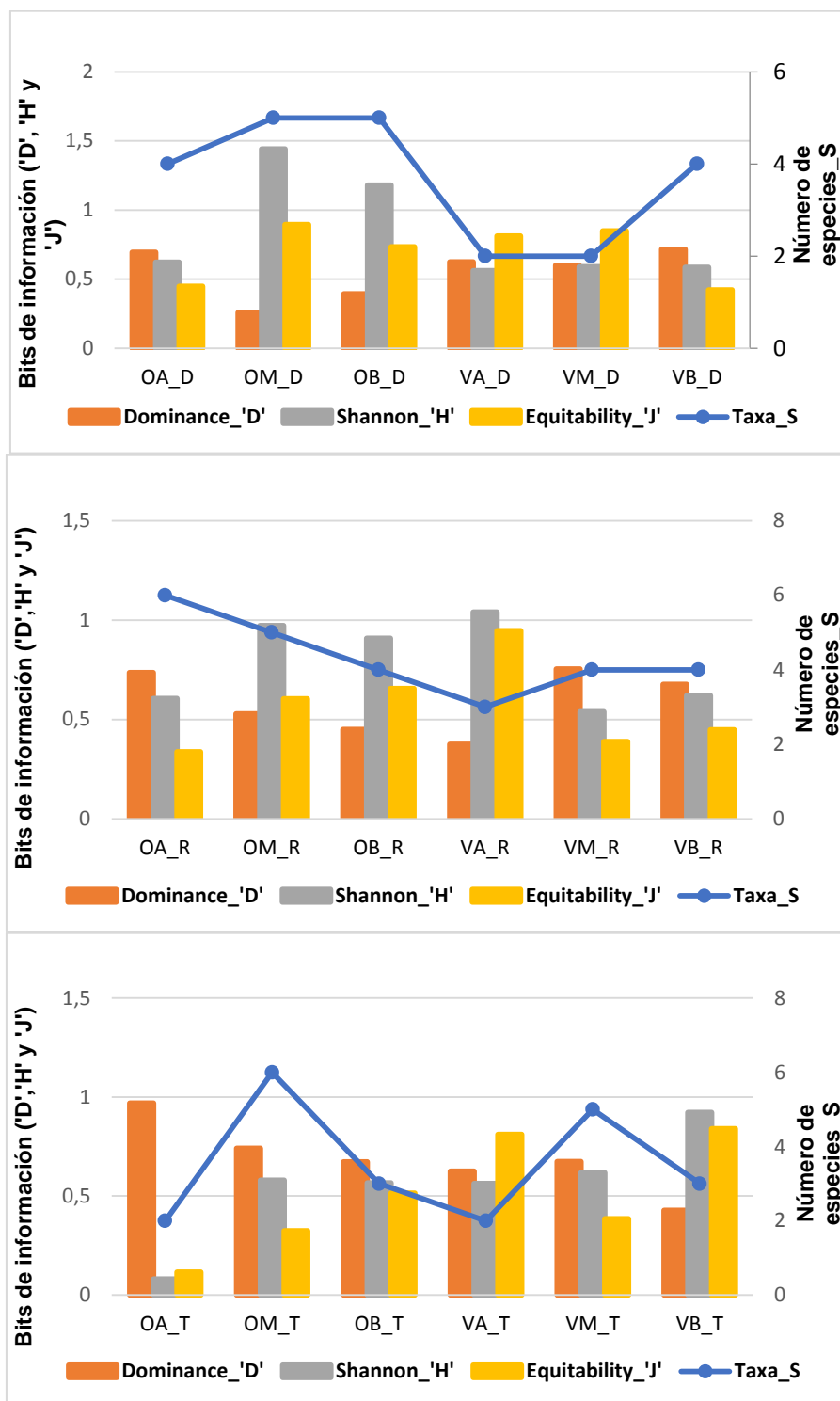


Figura 21. Diversidad de Shannon ('H'), dominancia de Simpson ('D'), uniformidad de Pielou ('J') y número de especies de Simuliidae en las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá), 2015-2016. Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvioso y de transición, respectivamente.

6.8 Análisis de correspondencia canónica entre las variables ambientales y las especies de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja

El análisis de correspondencia canónica (ACC) permite explorar la relación de los taxones de la familia Simuliidae con las variables físicas, químicas, hidrológicas y cualitativas. Para ello se tomaron las variables con mayor correlación con los dos primeros componentes del ACP. Las variables que explican mejor el comportamiento del ordenamiento son la pendiente, la profundidad del cauce y el caudal, dentro del componente hidrológico. Estas variables tuvieron el mayor coeficiente de variación. Del conjunto de variables físicas, químicas y de calidad se seleccionaron la conductividad, el nitrito, la temperatura, la DBO₅, la DQO y los coliformes fecales como las más influyentes en el análisis. Del grupo de variables cualitativas se escogieron el sustrato troncos, la cobertura de la vegetación y el sustrato hojas. La tabla 17 presenta los valores propios, los porcentajes de inercia y los porcentajes acumulados de dicho análisis ACC. El análisis explica para los tres primeros ejes el 87 % del comportamiento de las especies de simúlidos con respecto a las variables abióticas. El primer componente del ACC representa el 52 % de la varianza, el segundo el 22 % y el tercero el 13 %.

Tabla 17. Valores propios del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las variables físicas, químicas, hidrológicas y cualitativas con mayor correlación con los componentes 1 y 2 del ACP y de las especies de la familia Simuliidae en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V).

	CC1	CC2	CC3
Valor propio	0,544	0,233	0,136
Inercia restringida (%)	52,265	22,375	13,056
% acumulado	52,265	74,640	87,696

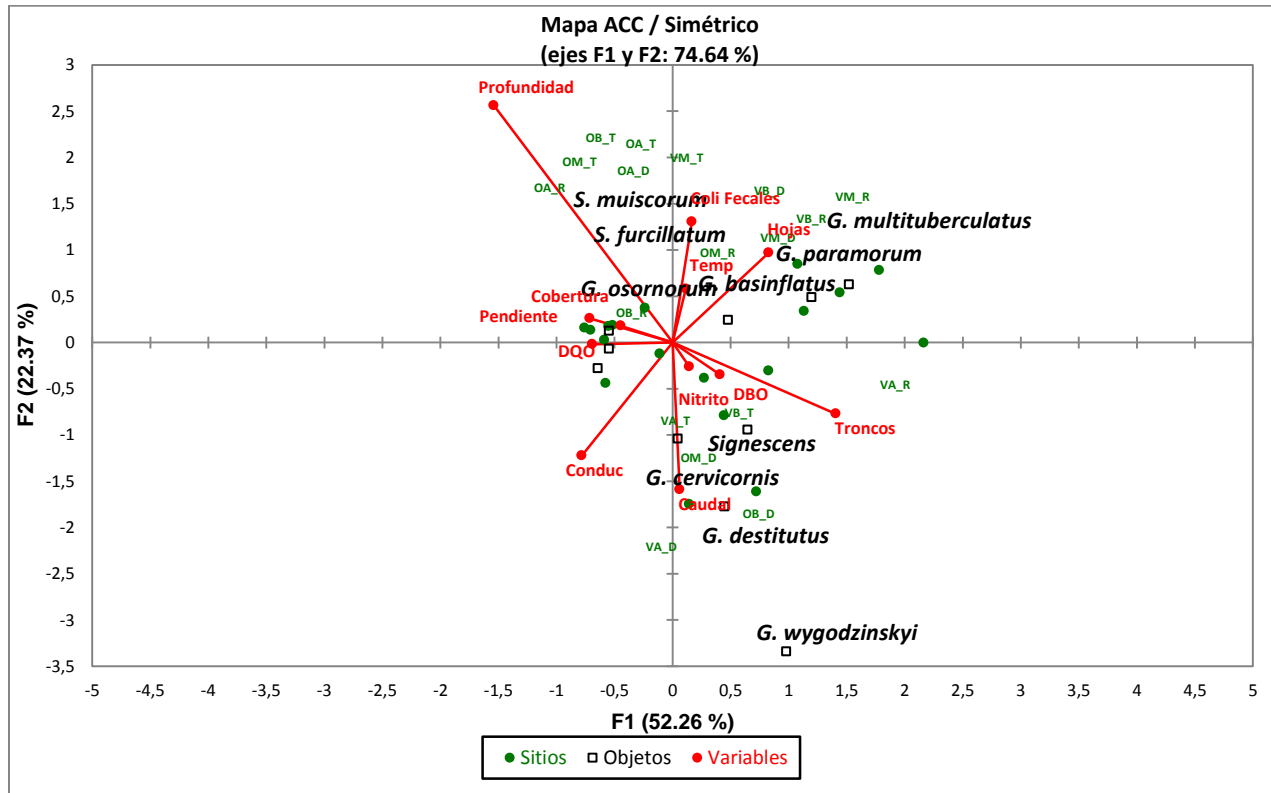


Figura 22. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de variables ambientales y las especies de simúlidos en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.

El ordenamiento ACC evidencia de forma clara que la profundidad es la variable que tiene mayor peso dentro del conjunto de parámetros. Sin embargo, esta variable no se asocia tan estrechamente con las especies de simúlidos de los sitios estudiados. Las coliformes fecales parecen explicar el comportamiento de los taxones *S. muiscorum* y *S. furcillatum* de la quebrada La Osa en el tramo medio y de la quebrada La Vieja en los tramos medio y bajo. La DBO y los nitritos presentan cierta relación con la especie *S. ignescens* en el tramo bajo de La Vieja. De las variables cualitativas, la más predominante es el sustrato troncos; sin embargo, no se visualiza ninguna asociación con alguna especie en particular. No obstante, el sustrato hojas explica la presencia de los taxones *G. multituberculatus* y *G. paramorum* en los tramos medio y bajo de La Vieja. Es notorio que el caudal parece determinar la presencia de las especies *S.*

ignescens, *G. cervicornis* y *G. wygodzinskyi* en el periodo seco de las dos quebradas. A su vez, *G. multituberculatus* y *G. basinflatus* se relacionan con el sustrato hojas y con temperatura altas en la quebrada La Vieja (figura 22).

Con la finalidad de observar mejor la influencia de las distintas variables ambientales, se realizaron ACC para cada tipo parámetros, es decir ACC con las variables hidrológicas, ACC para las variables físico-químicas y ACC para las cualitativas (Tabla 18, 19 y 20, figuras 23, 24, 25).

6.8.1 Análisis de correspondencia canónica de las variables físico-químicas y las especies de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja

Los valores propios, los porcentajes de inercia y los porcentajes acumulados del análisis ACC se presentan en la tabla 18. Los tres primeros componentes presentan el 85 % de la varianza para el conjunto de variables físico-químicas medidas en esta investigación. El primer eje representa el 49 %, el segundo el 23 % y el tercer eje un 11 %.

Tabla 18. Valores propios del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las variables físicas y de las especies de la familia Simuliidae en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V).

	CC1	CC2	CC3
Valor propio	0,536	0,257	0,128
Inercia restringida (%)	49,499	23,743	11,844
% acumulado	49,499	73,242	85,086

Del conjunto de variables físicas, son determinantes según el ACC, la temperatura, los ortofosfatos y el fósforo total. Estos tres parámetros se asocian particularmente con la especie *G. wygodzinskyi*. Los taxones *S. ignescens* y *G. cervicornis* están relacionados con los nitratos, los nitritos y el porcentaje de

saturación. *G. osornorum* es afín al potencial oxido-reducción y al oxígeno disuelto. Por su parte, los taxones *S. muiscorum* y *S. furcillatum* se asocian con las coliformes fecales. La DBO₅ explica la presencia de *G. paramorum*, pero las otras especies del género *Gigantodax* (*G. basinflatus*, *G. destitutus* y *G. multituberculatus*) no evidenciaron relación con estas variables (figura 23).

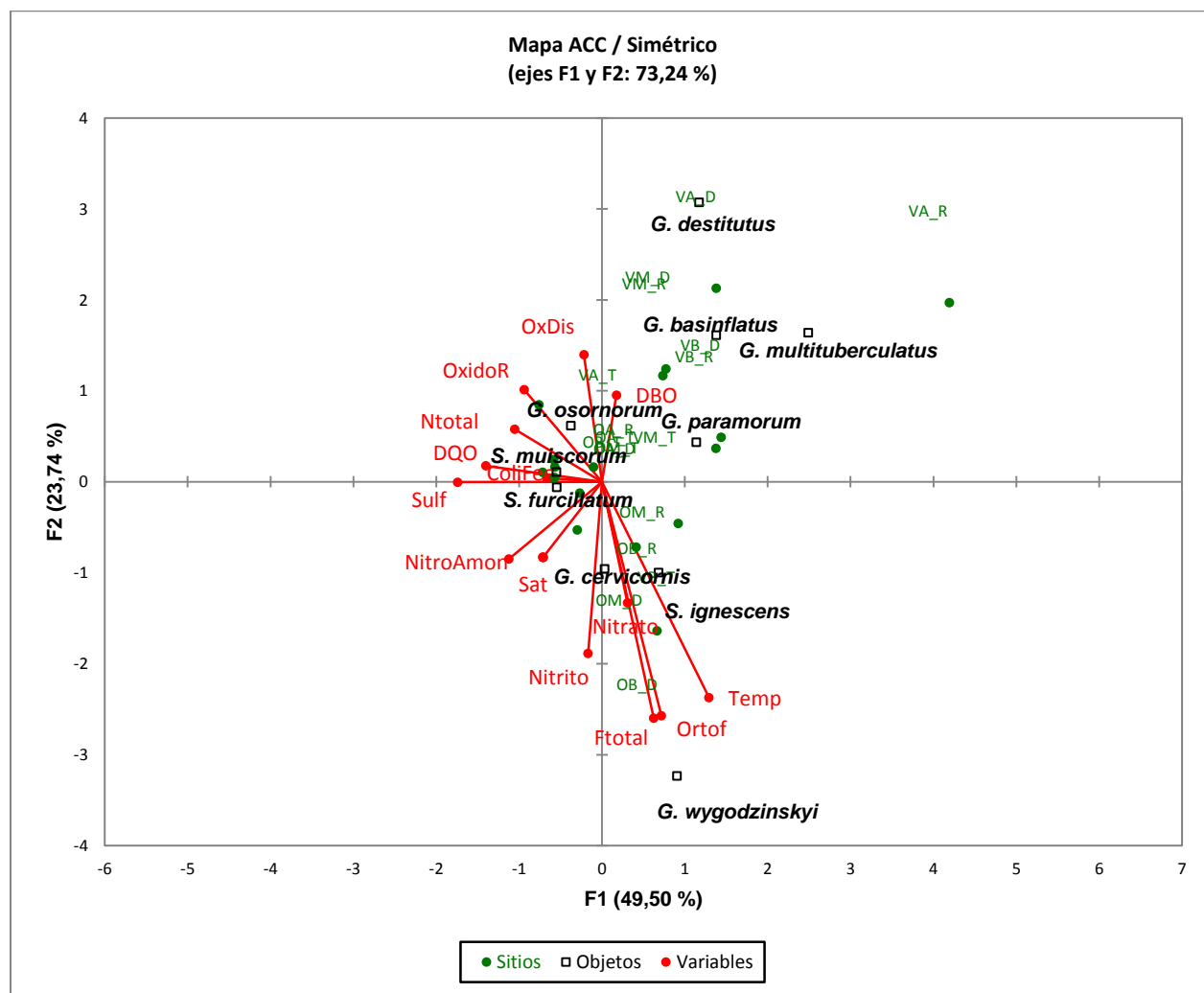


Figura 23. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de variables físico-químicas y las especies de simúlidos en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.

6.8.2 Análisis de correspondencia canónica de las variables hidrológicas y las especies de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja

El análisis explica para los tres primeros ejes el 97 % del comportamiento de las especies de simúlidos con respecto a las variables hidrológicas. El primer componente del ACC representa el 79 % de la varianza, el segundo el 13 % y el tercero el 4 % (tabla 19).

Tabla 19. Valores propios del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las variables hidrológicas y de las especies de la familia Simuliidae en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V).

	CC1	CC2	CC3
Valor propio	0,515	0,089	0,026
Inercia restringida (%)	79,997	13,777	4,015
% acumulado	79,997	93,773	97,788

El ordenamiento ACC demuestra de forma clara que la altitud y caudal son las variables que tiene mayor peso dentro del conjunto de parámetros. La primera se asocia con la especie *G. basinflatus*, en La Osa tramo alto, en los periodo de transición y sequía. La segunda, el caudal, está fuertemente asociada con *S. furcillatum*. Los taxones *G. cervicornis* y *S. muiscorum* están levemente relacionados con la velocidad promedio y la profundidad. Sin embargo, las variables pendiente, profundidad y velocidad promedio no se asocian tan estrechamente con las especies reportadas de este estudio (figura 24).

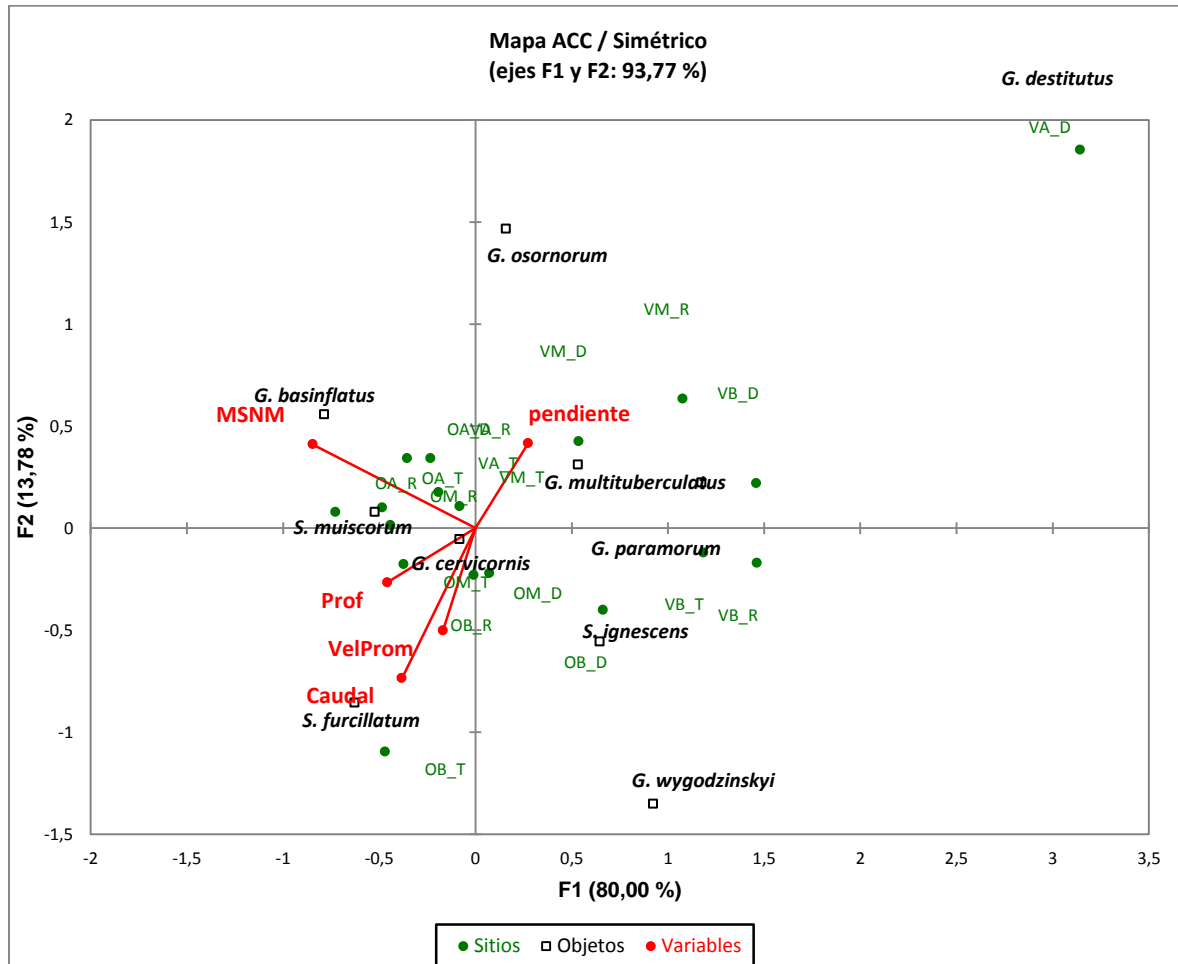


Figura 24. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de variables hidrológicas y las especies de simúlidos en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente.

6.8.3 Análisis de correspondencia canónica de las variables cualitativas y las especies de la familia Simuliidae de las quebradas La Osa y La Vieja

El análisis explica para los tres primeros ejes el 97 % del comportamiento de las especies de la familia Simuliidae con respecto a las variables cualitativas. El primer componente del ACC representa el 44 % de la varianza, el segundo componente 42 % y el tercero el 11 % (tabla 20).

Tabla 20. Valores propios del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las variables cualitativas y de las especies de la familia Simuliidae en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V).

	CC1	CC2	CC3
Valor propio	0,313	0,300	0,080
Inercia restringida (%)	44,159	42,295	11,253
% acumulado	44,159	86,454	97,708

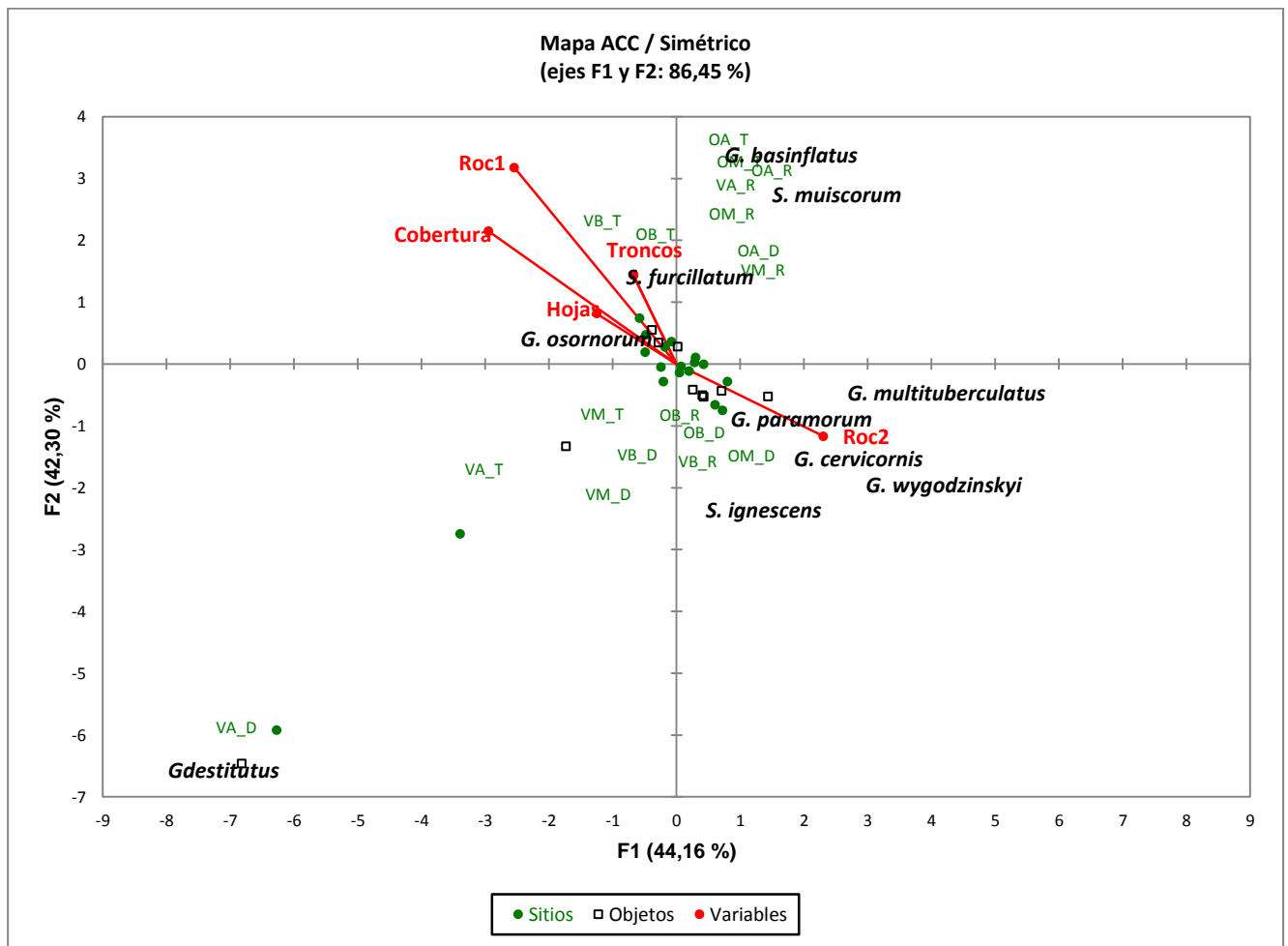


Figura 25. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de variables cualitativas y las especies de simúlidos en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La

Osa (O) y La Vieja (V). Las letras D, R y T indican el periodo climático seco, lluvia y transición respectivamente

De las variables cualitativas, las más predominantes son las rocas y la cobertura; sin embargo, no se visualiza ninguna asociación de cobertura y rocas¹ con algunas de las especies. Los taxones *S. muiscorum* y *G. basinflatus* no presentan relación con los parámetros cualitativos reportados. En tanto, *S. furcillatum* de los tramos bajos de las dos quebradas se asocia con los trocos. Las rocas de diámetro mayor a 40 cm (Roc2) es la que explica la preferencia de sustrato de los taxones *S. ignescens*, *G. paramorum*, *G. multituberculatus*, *G. cervicornis* y *G. wygodzinskyi* (figura 25).

6.9 Modelo Lineal Generalizado de las variables ambientales y la riqueza y abundancia de simúlidos en las quebradas La Osa y La Vieja de la cuenca alta del río Bogotá

El MLG para la riqueza indica que las variables que más explican la presencia de las especies de simúlidos son el oxígeno disuelto, la conductividad, los ortofosfatos y las coliformes fecales. Se resalta la variable oxígeno disuelto con una significancia de 0,05. También se destaca la relación negativa de las coliformes fecales con la riqueza de Simuliidae; las concentraciones de este parámetro sobrepasaron los 1000 NMP, que es el valor máximo permisible indicando aguas contaminadas (tabla 21).

De las variables ambientales que explican las abundancias de los simúlidos, es notable que todas son significativas. No obstante la época de lluvia, porcentaje de saturación, conductividad, nitrato, DBO₅ y DQO restringen la abundancia relativa de simúlidos en las quebradas. El resto de variables ambientales favorecen su abundancia.

Variabes como el oxígeno disuelto y la conductividad se pueden considerar como importantes, tanto para la riqueza como para la abundancia de las especies de simúlidos en las quebradas La Osa y La Vieja de los Cerros Orientales de Bogotá.

INFLUENCIA DE VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMÚLIDOS EN
DOS SISTEMAS FLUVIALES ANDINOS DE COLOMBIA

Tabla 21. Modelo Lineal Generalizado de la riqueza y abundancia de simúlidos de las quebradas La Osa y La Vieja (Cerros Orientales de Bogotá, 2015-2016).

Riqueza de simúlidos				
	Estimado	Std. Error	Z-value	Pr(> z)
Intersecto	-1,059e+01	5,531e+00	-1,941	0,0557
Oxígeno Disuelto.	1,43e+00	6,867e-01	2,116	0,0344*
Conductividad	1,861e-02	1,059e-02	1,757	0,0789
Ortofosfatos	9,193e-01	5,743e-01	1,601	0,1094
Coliformes Fecales	-2,330e-06	1,716e-06	-1,358	0,1746

Abundancia relativa de simúlidos				
	Estimado	Std. Error	Z-value	Pr(> z)
Intersecto	-79,30545	9,15795	-8,660	< 2e-16***
Época lluviosa	-4,74174	0,50978	-9,302	< 2e-16***
Época transición	1,861e-02	1,059e-02	1,757	< 2e-16***
Temperatura	2,76443	0,48338	5,719	0,107 e-08 ***
Oxígeno Disuelto.	8,83062	0,95145	9,281	< 2e-16***
Oxido Reducción	0,03139	0,00413	7,601	2,94e-14***
Porcentaje Saturación	-0,32752	0,08416	-3,892	9,96e-05***
Conductividad	-2,54528	0,63917	-3,982	6,83e-05***
pH	2,28846	0,38899	5,883	4,03e-09***
Solidos Totales Disueltos	4,06228	1,01230	4,013	6,00e-05***
Nitrato	-4,04227	0,32820	-12,316	< 2e-16***
Amonio	9,65207	2,46797	3,911	9,19e-05***
Sulfato	0,16783	0,04351	3,858	0,000115***
DBO₅	-0,16954	0,04437	-3,821	0,000133***
DQO	-0,10706	0,03243	-3,301	0,000964***

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

6.10 Cálculo de Índice de Polución de las variables ambientales y de los valores de polución de las especies de Simúlidos

El registran los valores de polución (IP) calculados para cada una de las variables de los tramos alto medio y bajo de las quebradas La Osa y La Vieja (tabla 22). Los valores de polución de los taxones de simúlidos (VPT Simúlidos) hallados en este estudio se representan en la tabla 23. Para el cálculo de este índice se descartaron las especies que tuvieron solo un individuo en los sitios de muestreo.

Tabla 22. Valores de polución de las variables y de las estaciones de muestreo en las quebradas La Osa y La Vieja, 2015-2016.

INDICES DE POLUCIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS

	IP Cond	IP Sol Dis	IP Ox Dis	IP pH	IP Sulf	IP ortof	IP Nitritos	IP Nitratos	IP DBO	IP ColFec	IP DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO	NUMERO DE VARIABLES
Osa Alto	0,03684	0,0459	0,5224	0,9709	0,0208	1,0333	0,0007	0,0266	0,2380	0,8600	3,7558	10
Osa Medio	0,0209	0,0257	0,5123	0,9512	0,0025	2,7166	0,0004	0,0466	0,3809	1,3730	6,0308	10
Osa Baja	0,0423	0,0502	0,5363	0,9979	0,0033	3,2333	0,0016	0,0666	0,3809	140,9666	146,2795	10
Vieja Alta	0,0050	0,0064	0,5251	0,7788	0,0008	2,1666	0,0012	0,0666	0,3333	0,0200	3,9042	10
Vieja Medio	0,0104	0,0130	0,51260	0,8850	0,0000	1,2833	0,0001	0,05	0,3809	0,1403	3,2757	10
Vieja Baja	0,0110	0,01357	0,5141	0,9138	0,0000	1,0500	0,0004	0,0266	0,3809	0,6800	3,5906	10

Los valores de polución de los taxones de simúlidos de las corrientes de agua La Osa y La Vieja (tabla 23), reflejan los efectos de las condiciones limnológicas de las quebradas sobre la presencia de las especies. Las especies *G. cervicornis* y *S. ignescens* presentan el valor de tolerancia mayor, con un índice de polución de 2,97 correspondiente probablemente a aguas ligeramente contaminadas. Los taxones *G. paramorum*, *G. multituberculatus*, *S. furcillatum* y *S. muiscorum* muestran un valor de polución de 2,70, posiblemente indicador de aguas más limpias. Las especies *G. osornorum*, *G. destitutus* y *G. basinflatus* parecen ser las

más sensibles a la polución, pues sus VPT fueron los más bajos (1,56, 1,48 y 1,32 respectivamente). Estas especies, por lo tanto, podrían ser indicadoras de las mejores condiciones de calidad del agua que es posible encontrar en las quebradas estudiadas. Al parecer, *G. basinflatus* es la especie menos tolerante a la polución y estaría presente cuando los valores de las variables indican excelente calidad del agua, es decir, adecuada para el consumo humano después de un proceso de desinfección simple. Esto se sustenta en que el VPT de este taxón refleja los valores permisibles para uso potable establecidos por las autoridades ambientales.

Tabla 23. Valores de polución de las especies de simúlidos de las quebradas La Osa y La Vieja. Los registros más altos corresponden a las especies más tolerantes a la contaminación y los índices menores a las especies sensibles.

TAXONES Simúlidos	VPT Simúlidos
<i>G. cervicornis</i>	2,97
<i>S. ignescens</i>	2,97
<i>G. paramorum</i>	2,70
<i>G. multituberculatus</i>	2,70
<i>S. furcillatum</i>	2,70
<i>S. muiscorum</i>	2,7
<i>G. osornorum</i>	1,56
<i>G. destitutus</i>	1,48
<i>G. basinflatus</i>	1,32

6.10.1 Índice Biótico (IB) e Índice Biótico de la Familia Simuliidae (IBF)

Los resultados del cálculo del índice biótico IB propuesto por Jiang & Shen (2005) y su respectiva interpretación de la calidad del agua se muestran en la tabla 24. El índice muestra que La Vieja alto es el sitio con menor polución y se clasifica

como de calidad buena. Osa alto, Vieja alto y Vieja medio presentaron calidad de agua buena. Osa medio y bajo, al igual que La Vieja en el tramo bajo, evidenciaron calidad mala y regular. A partir de las observaciones realizadas en campo, se evidenció que estos tramos tienen una mayor influencia antrópica.

Tabla 24. Índices bióticos -IB de la comunidad de simúlidos

INDICE BIÓTICO	Osa_A	Osa_M	Osa_B	Vieja_A	Vieja_M	Vieja_B
IB-Simulidos	2,30	2,81	2,84	2,24	2,47	2,771
Calidad	Buena	Mala	Mala	Buena	Buena	Regular

El índice de familias de Hilsenhoff- IBF y su respectiva calidad de agua se muestra en la tabla 25. Los tramos altos, medio y bajo de la quebrada La Osa se mantuvieron entre 5,01 y 5,75 (tabla 5 análisis de datos) del índice, indicando agua de calidad regular. En la quebrada La Vieja solo el tramo alto presentó agua de buena calidad (4,63), y los tramos medio y bajo fueron de aguas de regular calidad.

Tabla 25. Valores de IBF de las quebradas en los tramos alto (A) medio (M) y bajo (B) de las quebradas La Osa (O) y La Vieja (V). Los registros más altos corresponden a agua con mayor grado de contaminación y los índices menores a aguas de buena calidad.

	Osa_A	Osa_M	Osa_B	Vieja_A	Vieja_M	Vieja_B
IBF	5,40	5,54	5,61	4,63	5,38	5,55
Calidad	Regular	Regular	Regular	Buena	Regular	Regular

DISCUSIÓN

7.1 Variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja

Para determinar la influencia de variables ambientales sobre la composición y abundancia de simúlidos en dos sistemas fluviales andinos (Colombia), se tuvieron en cuenta varios aspectos metodológicos y de análisis. El primero consistió en determinar las características físicas, químicas, hidrológicas y cualitativas de las corrientes de agua en estudio. En segundo lugar, se midieron la abundancia y diversidad de las especies de la familia Simuliidae. Luego, se relacionó la composición de estos insectos acuáticos con las variables ambientales de las quebradas La Osa y La Vieja y se obtuvieron índices de calidad, tanto fisicoquímicos (IET), como biológicos (IB e IBF). Estos últimos se deben tomar como un primer ejercicio de bioindicación basado en los taxones de la familia.

El acuerdo número 43 del 17 de octubre de 2006 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, establece los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá que se quieren lograr en el año 2020, con el fin de llegar a las condiciones que podrían considerarse ideales para el río Bogotá. Este acuerdo expone los valores máximos permisibles de las variables según los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, la preservación de flora y fauna, el uso agrícola y el uso pecuario. Sin embargo, comparando las variables anotadas en dicho acuerdo con el listado de variables medidas en esta investigación, sólo pocas concuerdan. Entre ellas se tienen las siguientes con su valor más restrictivo entre paréntesis: oxígeno disuelto (4 mg L⁻¹), sulfatos (400 SO₄²⁻), nitritos (10 mg L⁻¹), nitratos (10 mg L⁻¹), DBO₅ (7 mg L⁻¹ DBO₅) y coliformes fecales (1.000 NMP).

En concordancia con el acuerdo 43 de 2006, en las quebradas estudiadas el oxígeno disuelto superó el valor mínimo restrictivo. Esto evidencia que las

quebradas son de aguas muy oxigenadas, pues sus valores fueron mayores de 7 mg L⁻¹, incluyendo los tramos bajos, en donde la intervención antropogénica es notoria. El sulfato no superó el valor permisible y en los tramos medio y bajo de La Vieja incluso tuvo registros de 0, mientras que para el tramo alto fueron menores a 1. Los nitratos no superaron en promedio valores de 0,7 mg L⁻¹, al igual que los nitritos, que fueron menores a 0,02 mg L⁻¹, incluso en los tramos bajos de las dos quebradas. Similar comportamiento tuvo la DBO₅, pues no se superó el valor permisible de 7 mg L⁻¹ y los registros más altos fueron de 2,6 mg L⁻¹. No obstante, en algunos sitios los coliformes fecales sobrepasaron lo establecido por el acuerdo 43 de 2006 de la CAR (1.000 NMP) correspondiente a valores del uso del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario. La quebrada La Osa en sus tramos medio y bajo tuvieron 1.373,33 NMP y 140.966,67 NMP respectivamente, revelando vertimientos domésticos puntuales en dichos tramos.

En tanto, el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, en la Resolución Número 2115 de 22 junio de 2007, señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. En la presente investigación, las variables (con sus respectivos valores permisibles) consideradas también en la mencionada resolución, fueron: conductividad, valor máximo hasta 1000 microsiemens/cm; pH para consumo humano entre 6,5 y 9,0; nitritos con 0,1 mg L⁻¹ de NO²⁻; nitratos con 10 mg L⁻¹ de NO³⁻; sulfatos con 250 mg L⁻¹ de SO⁴²⁻; y fosfatos con 0,5 mg L⁻¹ de PO⁴³⁻. Esta última variable es más flexible en la resolución 2115, si se compara con el acuerdo 43/2006 de la CAR, en el que el valor es 0,2 mg L⁻¹ de PO⁴³⁻. En los tramos medio y alto de La Osa se sobrepasó el límite de fosfatos, pues los valores fueron 0,54 y 0,64 mg L⁻¹, respectivamente.

El oxígeno disuelto (que se expresa también como porcentaje de saturación), influye en el desarrollo de los organismos y en la degradación de la materia

orgánica. Esta variable mostró para los tres periodos climáticos en las zonas de estudio valores promedios mayores a los 7 mg L⁻¹ y de saturaciones superiores al 96 %. El valor de saturación de oxígeno ideal para cada altura y temperatura debe ser del 100%. Por debajo de este porcentaje se dice que el agua está subsaturada (caso que presentó la quebrada La Vieja en tramo alto) y por encima sobresaturada de oxígeno (exceptuando La Vieja en el tramo alto, todas los demás sitios sobrepasó el 100 %) (Roldán 1992). Los porcentajes obtenidos manifiestan que las dos quebradas presentaron las condiciones de ligeras subsaturación y saturación. Por otro lado, una menor concentración de oxígeno en estos sistemas puede estar estimulada por la presencia de mayores cantidades de materia orgánica, cuya descomposición consume este gas, lo cual produce una desoxigenación en el agua (Roldán 1992). Como se vio en los resultados del MLG, el oxígeno disuelto y la conductividad fueron importantes para explicar la riqueza y la abundancia de las especies de simúlidos en las quebradas La Osa y La Vieja de los Cerros Orientales de Bogotá.

Esta investigación tuvo en cuenta muchas variables ambientales, entre ellas los parámetros más utilizados para determinar la calidad de agua: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el oxígeno disuelto (OD), los coliformes fecales, el pH, los nitratos (NO₃⁻), los cambios de temperatura, los sólidos disueltos totales (SDT) y el fósforo total (Samboni *et al.* 2007, Pinilla 2016). También, se midieron variables de tipo cualitativo, como la cobertura vegetal (McCreadie & Adler 1998), pues se ha visto que las variaciones de vegetación y de altitud juega un papel muy importante en la distribución de los subgéneros de *Simulium* y de los grupos de *Gigantodax* (Muñoz de Hoyos & Miranda- Esquivel 1997).

7.2 Índices de estado trófico (IET)

Los intervalos de las variables físicas y químicas medidas (pH, nitritos, nitratos, etc.) se encuentran en los niveles normales reportados por autores como Roldán (1992, 2003) y Roldán *et al.* (2001) para aguas naturales neotropicales. Cumplen,

además, con los requisitos, desde el punto de vista físico-químicos, exigidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 813 de 1994 para el agua potable. Se podría decir, en términos generales, que las condiciones físicas y químicas de los tramos medios y bajos de estos cuerpos de agua corresponden a ambientes oligotróficos. No obstante, el IET basado en el fósforo revela que ambas quebradas están afectadas significativamente por altas concentraciones de este nutriente, pues el índice sobrepasa el valor 63 IET (Lamparelli 2004). Esto concuerda en términos amplios con lo señalado por Donato & Galvis (2008), quienes aseveran que los ríos de montaña en Colombia presentan condiciones oligotróficas, con concentraciones iónicas bajas, cantidades bajas de nitrógeno, pero con valores de fosfatos altos provenientes del lavado de las cuencas y de la descomposición parcial de la materia orgánica (turbera).

Se conoce que nutrientes como el fósforo presentan una alta concentración en el periodo de mayor caudal y velocidad más rápida de la corriente. En las épocas más críticas de caudales bajos se registran descensos significativos, debido a la descomposición de la materia orgánica y al aprovechamiento por parte de la microbiota acuática. Como indica Lamparelli (2004), entre las variables establecidas para el cálculo del IET (PT), el fósforo total es la más importante porque es el nutriente que con mayor frecuencia es el factor limitante para la producción primaria. En el análisis del IET (PT), los resultados para el fósforo total deben entenderse como una medida del potencial de eutrofización, lo que indica para esta investigación existe un alto riesgo de eutrofización por fósforo en las quebradas La Osa y La Vieja. Cuando las concentraciones de fósforo soluble (ortofosfatos) son mayores a $0,014 \text{ mg L}^{-1}$, el cuerpo de agua se encuentra en un estado eutrófico (Vásquez *et al.* 2006, citado por Castro-Roa 2009), y esto concuerda en los tramos de las quebradas que evidentemente sobrepasaron este valor. Coincide de igual forma con lo expuesto por Pinilla *et al.* (2010), quienes señalan que por encima de $0,1 \text{ mgL}^{-1}$ de ortofosfato se presenta eutrofia. No obstante, en aguas tropicales la tendencia es a que el nitrógeno sea más limitante; las diferencias latitudinales en los factores que afectan el ciclo del

nitrógeno podrían explicar la mayor probabilidad de deficiencia de este nutriente (Lewis 2002).

7.3 Identificación taxonómica mediante las secuencias del gen COI y citogenética

Como ha sido expuesto por varios autores (Pramual & Adler, 2014), la taxonomía basada solamente en caracteres morfológicos tiene limitaciones, debidas a la existencia de complejos de especies y a que muchas veces las descripciones se basaban en diferencias morfológicas que no tienen en cuenta la variabilidad de los caracteres. Por esta razón, surge el concepto de taxonomía integral o integrativa, en la que se plantea que una correcta identificación taxonómica debe tener en cuenta diferentes “caracteres”, como los marcadores moleculares, las particularidades citogenéticas, los aspectos ecológicos, entre otros, bien sea para la identificación de especies o para la inferencia filogenética.

Según Rivera & Currie (2009), los estados inmaduros de los simúlidos abarcan una amplia variedad de hábitats de aguas corrientes, y debido a su pequeño tamaño (típicamente entre 2 y 4 mm) y a su homogeneidad estructural, constituyen un grupo taxonómicamente difícil. Este fue el caso particular de *Gigantodax paramorum* en la presente investigación. El taxón *G. paramorum* presentó una variación morfológica grande, lo cual ameritó tratar de dilucidar si corresponde a un complejo de especies crípticas o sencillamente presenta una alta variación fenotípica intraespecífica, para lo cual se utilizaron dos aproximaciones metodológicas. La primera fue mediante el uso de Barcode, específicamente con la utilización del gen COI y la segunda la citogenética. Esta última se considera el “Gold standard” para lograr la identificación a nivel específico (McCreadie *et al.* 2017) y de ella solo existen pocas experiencias en Colombia (Duque *et al.* 1988, Wygodzinsky & Coscarón 1982, Muñoz de Hoyos 1990, Moreno 1990, Rozo 2013, Pramual & Adler 2014, Colorado-Garzón *et al.* 2017, McCreadie *et al.* 2017).

El marcador molecular COI es muy útil para algunas especies, especialmente las del género *Simulium*, puesto que discrimina muy bien entre estos taxones, como sugirieron Hebert *et al.* (2003). Estos autores afirman que la región codificadora de códigos de ADN del gen mitocondrial COI es el marcador molecular principal para la identificación de especies de animales en general, y posiblemente para el descubrimiento de la diversidad críptica. No obstante, para las especies del género *Gigantodax* reportadas para este estudio, no permitió dilucidar la taxonomía. Aunque en la actualidad existe controversia sobre el porcentaje de distancia genética que se puede considerar como punto de corte, la mayoría de autores sugieren que está entre el 3 y el 5%. No obstante, otros autores han encontrado diferencias superiores a este valor (Pramual *et al.* 2011, Low *et al.* 2015, Pramual *et al.* 2016).

En la variación interespecífica de los simúlidos hallados en las corrientes estudiadas, se encontró que todas las especies presentaron distancias genéticas entre 0,0% y 17,8%, menor a lo informado por Pramual & Adler (2014), quienes hallaron divergencias interespecíficas entre 0,34% y 28,6%. Las variaciones intraespecíficas del presente trabajo estuvieron entre 0,0% y 3,1% y no superaron el 5%. Estos valores están en un rango similar al reportado por Colorado-Garzón *et al.* (2017). De acuerdo con lo anterior, lo que parece ser un conjunto de organismos con una alta variación morfológica, realmente correspondería al mismo taxón.

Cuando se comparan los taxones del grupo *G. paramorum* con las otras especies halladas en las corrientes, los valores de divergencia interespecífica varían del 10,2 al 10,4 %. Por ello, se puede sugerir en principio que los individuos de este taxón, colectados en las corrientes consideradas en este trabajo, corresponden a *G. paramorum*. Según Pramual & Adler (2014), los taxones sospechosos de hacer parte de complejos de especies se determinan por altos valores de divergencia genética intraespecífica, es decir mayores al 5 %. De igual forma, otros estudios de insectos e invertebrados han considerado una variación

intraespecífica máxima entre 3,0 y 3,9 % para concluir que hay discriminación entre especies (Cywinska *et al.* 2006, Smith *et al.*, 2006; Rivera-Castillo 2008).

La divergencia del 0,0-0,31 % en las especies de *G. paramorum*, así como la discrepancia del 0,2-3,1%, con *G. destitutus*, dejan ver que la distribución de las distancias genéticas interespecíficas se superponen completamente en el rango de variación dentro de las especies. Es evidente que las distancias genéticas son iguales a las halladas para *G. paramorum*, lo que posiblemente podría indicar grupos muy parecidos genéticamente, o que la diferenciación de las especies ocurrió de forma similar con los taxones *G. destitutus* (0,2-3,1%) aunque morfológicamente las dos especies son bien diferenciables, especialmente con base en los filamentos respiratorios de la pupa o histoblasto de las larvas maduras, que es un carácter muy robusto en la determinación de las especies. Entre *G. paramorum* con *G. osornorum*, se encontró una distancia de 2,2-4,1 %, que se encuentra dentro del rango establecido como variación intraespecífica. Pramual & Wongpakan (2010) y Colorado-Garzón *et al.* (2017), reportan distancias intraespecíficas de hasta 8,6 % y 9,28%. Por lo tanto, el punto de corte establecido previamente por Hebert *et al.* (2003) para distinguir las especies diferentes es controvertido. Como se ve, aunque parece ser que los taxones que supuestamente son diferentes dentro del grupo *G. paramorum* corresponden a una misma especie, los resultados no son aún concluyentes. Para aclarar estas discrepancias sería necesario un estudio encaminado a resolver estos aspectos genéticos dentro del grupo, con otros instrumentos y con más muestreos, especialmente con individuos colectados en la localidad tipo. Actualmente se usan otros marcadores, como el gen PC3 que codifica para una cistein-proteasa, los cuales se tendrán que evaluar en próximas investigaciones sobre este tema (Panjanda & Pramual, 2017).

En resumen, en este trabajo el gen COI no parece diferenciar entre las especies *G. paramorum* y *G. destitutus*, pero sin que los resultados sean definitivos. No obstante, estas dos especies pueden identificarse por sus caracteres morfológicos, especialmente por la forma y disposición de los filamentos

respiratorios. Además, la diferencia interespecífica con *G. osornorum*, que también pertenece al grupo Brophyi fue de 2,0 – 4,1%, la cual alcanza a sobrelaparse con la encontrada para *G. paramorum*. Esta especie y *G. osornorum* pertenecen al grupo Brophyi y *G. destitutus* al grupo Cilicinus (Pinto, 2004; Adler & Crosskey, 2017). Otras especies diferentes a los complejos mencionados se identificaron fácilmente mediante la morfología y el análisis molecular del gen mitocondrial COI.

Por su parte, al hacer un análisis de los cromosomas politénicos, la otra herramienta para aclarar el estatus específico de los especímenes colectados en el presente trabajo, se observó que hay una concordancia muy alta con los resultados reportados por Rozo (2013) para la quebrada La Vieja. Sin embargo, al comparar con los datos de *G. ortizi* hallados por Moreno (1990), la única diferencia significativa es la posición del RON. Según el patrón de bandeamiento descrito por Rozo (2013), la especie corresponde a *G. paramorum* y difiere de *G. ortizi* y *G. osornorum*. Este autor describe el asinapsamiento del cromosoma IIS y no reporta la heterobanda en la región 80 del cromosoma IIII. De acuerdo a lo planteado por Muñoz de Hoyos (1995), la ubicación del segmento diferencial del sexo se encuentra en el cromosoma II, tanto en *G. ortizi*, como en *G. osornorum*, e involucran la región centromérica, a diferencia de *G. chilensis*, que tiene la región ligada al sexo en el cromosoma I. Es de resaltar que la posición de esta región se correlaciona con el proceso de especiación. Tanto Muñoz de Hoyos (1995) como Coscarón-Arias (1998), sugieren que el grupo Brophyi tiene dos subgrupos, uno que corresponde a las especies del norte de Sur América y otros a la región sur, según la posición del segmento sexual. *G. paramorum* se responde con esta hipótesis, ya que el segmento sexual se encuentra en el cromosoma IIS.

En síntesis, para establecer con certeza si *G. paramorum* corresponde a un sinónimo de *G. ortizi* se deberán estudiar otros marcadores distintos al analizado en este trabajo, como mencionó anteriormente. Además, se requerirá coleccionar

ejemplares de *G. ortizi* en la localidad tipo o a la informada por Moreno (1990) a fin de hacer las comparaciones necesarias.

7.4 Relación de simúlidos con las variables ambientales

A pesar de que se encuentran en el mismo bioma de bosque andino, es notorio que las quebradas estudiadas presentan algunas características ambientales que las diferencian entre sí, como lo expresaron los análisis de componentes principales. Tal vez esto se deba a diferencias geológicas locales y a la influencia de los distintos usos del suelo. Los cambios vegetacionales (plantas nativas, exóticas, bosques, praderas) también pueden causar estas variaciones. Por otra parte, hay concordancia en que los ríos altoandinos son muy variables y muestran fluctuaciones importantes en sus características físicas, químicas, hidrológicas y cualitativas (González *et al.* 2004, Jacobsen 2004, Jacobsen & Brodersen 2008).

El ACP de las variables ambientales destaca los siguientes parámetros como características que logran diferenciar en algún grado los lugares de estudio: conductividad, nitrito, nitrógeno amoniacal, fósforo total, oxígeno disuelto, temperatura, coliformes fecales, DQO, DBO, sulfatos, pendiente, profundidad, caudal, velocidad promedio, altitud (msnm), troncos, cobertura vegetal, sustrato roca-2 y hojas. Sin embargo, la diferenciación no es tan marcada, de manera que es difícil establecer con total seguridad cómo es la dependencia de los simúlidos con respecto a la calidad del agua y al hábitat. De cierta manera, se comprueba lo propuesto por Lautenschläger & Kiel (2005), quienes establecen que se necesita información más detallada acerca de la calidad del hábitat, incluyendo el análisis de parámetros adicionales para identificar los factores que determinan la distribución de los simúlidos en los lugares de estudio. No obstante, investigaciones como las McCreadie *et al.* (2016) establecen que para América del Sur la riqueza de simúlidos está afectada por algunos parámetros similares a los hallados en el presente trabajo, entre ellos tamaño del arroyo (profundidad,

caudal, velocidad), condiciones riparias (cubierta del dosel) y condiciones de la columna de agua (conductividad, pH, temperatura).

Se conoce que los ríos de alta montaña están influenciados principalmente por la precipitación. Las variables físicas, químicas y biológicas responden a este patrón condicionado por el clima local, al igual que los índices fisicoquímicos se ven fuertemente influenciados por las condiciones climáticas (Margalef 1983, Martínez & Donato 2003, Pinilla 2016). El caudal fue una variable que al parecer determinó la presencia de las especies *S. ignescens*, *G. destitutus*, *G. cervicornis* y *G. wygodzinskyi* en el periodo seco de las dos quebradas, según el ACC. Dentro de las relaciones que arrojó este análisis, algunos de los nutrientes parecen estar muy asociado con la presencia de las especies reportadas. Otros estudios desarrollados en la quebrada La Vieja han registrado que se requiere de eventos extremos en la intensidad de la precipitación para producir variaciones significativas en la magnitud del caudal (Vargas 2003, Gutiérrez 2006, Rodríguez-Barrios *et al.* 2007). Posiblemente el periodo de El Niño durante el cual se desarrolló este estudio pudo afectar el comportamiento hidrológico normal de estas quebradas.

El en MLG una de las variables ambientales que tiene efectos restrictivos sobre las abundancias de los simúlidos es la época de lluvias, en tanto que el periodo de transición favorece su abundancia. Por otra parte, la riqueza de simúlidos en estas corrientes de agua es explicada por el oxígeno disuelto, la conductividad, los ortofosfatos y las coliformes fecales, de acuerdo con el MLG. Esto difiere a lo encontrado por Grillet & Barrera (1997) y Hamada *et al.* (2002), quienes observaron una relación positiva entre la alta riqueza de especies y un mayor caudal, una velocidad más rápida de la corriente, un dosel denso y una temperatura menor. Otros autores han encontrado que factores tales como el área de la cuenca, la elevación, la latitud, el tamaño de la muestra y la estación climática pueden influir en la riqueza (Magurran 2004, Hawkins 2012, citado en McCreddie *et al.* 2016). No hay relación entre la riqueza de especies y la

velocidad, el dosel ni la temperatura, pero esta última sí influye en las abundancias. Posiblemente este resultado se deba a los patrones de variación de la temperatura en los Andes, que son relativamente homogéneos internamente, y presentan una fuerte relación con el gradiente altitudinal (Josse *et al.* 2009).

De otro lado, como ya ha sido registrado por otros autores (Adler *et al.* 2004), el oxígeno disuelto juega un papel preponderante para la presencia de simúlidos, ya que se califican como organismos reofílicos. A su vez Hamada *et al.* (2002) relacionan la biodiversidad con la altura. Estos mismos autores señalan que hay una relación inversa entre altura y temperatura. Sin embargo, en este estudio se encontró que en el tramo medio de La Vieja la temperatura fue menor que en el punto alto. Esto podría deberse a que en el punto medio el ancho del cauce es muy pequeño y, por tanto, puede estar menos influenciado por la radiación solar.

7.5 Ecología de la Familia Simuliidae

En Colombia se reportan a la fecha 74 especies de simúlidos distribuido en varios departamentos. Con esta investigación, se aumentan los registros de riqueza de simúlidos en la cuenca alta del río Bogotá, en corrientes influenciadas por zonas urbanas. La riqueza para La Osa fue de 9 taxones, con una abundancia de 1154 individuos plenamente identificados; en La Vieja se hallaron 8 taxones, con un total de 452 individuos. El rango altitudinal estuvo entre 2703 msnm (Vieja bajo) y 2970 msnm (Osa alto). Comparativamente con otras regiones del mundo como la zona templada, la riqueza de especies de Simúlidos en las quebradas estudiadas en el presente trabajo es baja (McCreadie & Adler 1998, Malmqvist *et al.* 2004). En un estudio realizado en Colombia, en un transecto del río Otún en la cordillera Central, se determinaron 16 especies de la familia, pertenecientes también a los géneros *Gigantodax* y *Simulium* (Lotta *et al.* 2016). Es posible que nuevos estudios en el país permitan incrementar los registros de biodiversidad de estos insectos, no solo de especies ya descritas, sino posiblemente de nuevas especies, en la medida en que se incluyan más regiones geográficas.

Los sistemas lóticos, en su dinámica natural, presentan cambios, los cuales pueden ser de carácter funcional y estructural. Es decir, las comunidades acuáticas cambian a través de los tramos alto, medio y bajo de un río (Allan & Castillo 2007, Passy & Blanchet 2007, Donato & Galvis 2008). De esta manera, se puede afirmar que hay especies que se restringen a cada zona. En este estudio las especies de la familia Simuliidae se vieron afectadas según las condiciones ambientales y algunos taxones se limitaron a tramos específicos. Probablemente sus límites de tolerancia son estrechos. Este parece ser el caso de *G. basinflatus*, cuyos individuos se presentaron en aguas de mejor calidad. Otras especies tuvieron un comportamiento más generalista, es decir, de menor exigencia con respecto a los valores de los factores ambientales. La especie *G. cervicornis*, que parece ser altamente tolerante, es un ejemplo de esta estrategia. En síntesis, existen diferencias en los tramos de muestreo, los cuales se caracterizan por la presencia de ciertas especies de simúlidos y por condiciones particulares de algunos parámetros ambientales.

Varios autores han señalado que factores como el área, la elevación, la latitud, el tamaño de la muestra y la estación climática pueden influir en la riqueza de simúlidos (Gotelli & Colwell 2001, Magurran 2004, Hawkins 2012, McCreadie *et al.* 2016). Es probable que la presencia de la especie *G. basinflatus* sólo en la época de lluvia en ambas quebradas obedezca a la influencia climática. Este taxón se halló a una altitud menor a lo registrada por Muñoz de Hoyos (1995) y Mantilla *et al.* (2013), quienes la encontraron a 3700 y 4000 msnm respectivamente. Es importante anotar que no sólo las características ambientales mencionadas afectan la distribución de las especies, pues la presión antrópica también provoca modificaciones en la presencia de los simúlidos, especialmente en los tramos bajos de las quebradas, más cercanos a la actividad urbana.

Dentro de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos registrados en algunas corrientes de aguas de la región andina de Colombia, el orden Diptera

tiene gran importancia. Se ha reportado como uno de los órdenes más representativos debido a su alto porcentaje de individuos en la mayoría de las comunidades bénticas. Donato & Galvis (2008) aseguran que el género *Simulium* representa un número importante dentro del orden y que está ampliamente distribuido a lo largo de los ríos, información que concuerda con lo establecido por autores como Adler & McCreadie (1997). Estos investigadores afirman que los simúlidos se encuentran en casi todas las corrientes del planeta y son a menudo los macroinvertebrados dominantes en hábitats que van desde caudales temporales hasta ríos grandes. En las corrientes de agua La Osa y La Vieja, sistemas andinos que se internan en la zona urbana de la ciudad de Bogotá, no sólo se reporta el género *Simulium*, sino también el género *Gigantodax* con un mayor número de taxones a los hallados en otros trabajos (Muñoz de Hoyos 1994, Muñoz de Hoyos 1995). Consecuentemente, parece confirmarse que, pese a los pocos estudios de simulidofauna en Colombia, la región norandina es la que posee más especies de simúlidos en Sur América (Coscarón & Coscarón-Arias 1995).

Simulium es un género que presenta una amplia distribución altitudinal, mientras que *Gigantodax* es un género restringido a las zonas de alta montaña (Muñoz de Hoyos & Miranda- Esquivel 1997). Moncada *et al.* (1981) catalogan a *Simulium* como un género neotropical andino, que se extiende desde la Patagonia hasta Guatemala y México. *Gigantodax*, por su parte, posee numerosas especies y al parecer su distribución es más amplia, ya que las diferentes especies se encuentran incluso en corrientes de agua pequeñas y ocasionales, que facilitan el desarrollo de sus formas inmaduras. En esta investigación *Gigantodax* mostró más tolerancia a las condiciones climáticas en las cuales se llevó a cabo el estudio, periodo comprendido entre julio de 2015 y febrero de 2016, cuando se presentó el segundo fenómeno de “El Niño” más fuerte que se ha registrado los últimos 50 años en Colombia (IDEAM 2016). Por lo tanto, se puede considerar que las corrientes de agua analizadas estaban bajo un fuerte estrés hídrico y, como lo han planteado Fisher *et al.* (1982) y Boulton (2003), las alteraciones

hidrológicas como sequías o inundaciones pueden influir grandemente en la composición de las poblaciones de simúlidos.

La presente investigación se centró en las condiciones ambientales del agua que afectan a los simúlidos, pero no hay que olvidar que la abundancia de los organismos no sólo depende las características abióticas del hábitat, sino también de las interacciones entre las especies, tales como la competencia, el parasitismo, la depredación y la simbiosis (Begon *et al.* 1990).

En las quebradas La Osa y La Vieja algunas especies dominaron sobre otras. Los porcentajes de los subgéneros fueron muy altos, ya que en muchos individuos no fue posible determinar su taxonomía con base en la morfología, dado que las estructuras diagnosticas eran inmaduras. Asimismo, los indicios de preferencia por determinado sustrato indican que probablemente cada especie tiene estrategias ecológicas particulares, asociadas a sus destrezas para colonizar las zonas de rápidos y la cantidad de huevos que colocan en una postura. Todos estos temas abren nuevas perspectivas que deberán investigarse en el futuro cercano.

Para un estudio ecológico adecuado se necesita tener la identificación taxonómica a nivel de especies. El conocimiento previo sobre los taxones fue importante porque permitió la identificación relativamente rápida de larvas y pupas hasta especies, principalmente a través de los caracteres morfológicos. Así, la denominación de las especies fue aceptablemente correcta, pero no se puede afirmar que estuvo exenta de dificultades, ya que los estadios inmaduros de varias especies son morfológicamente semejantes. Se aclara que esta fue la forma como se procedió para establecer la taxonomía de los individuos recolectados en las quebradas La Osa y La Vieja y que solo pocos espécimen alcanzaron el estado adulto (Muñoz de Hoyos *et al.* 1984).

La investigación tuvo un reto en la determinación taxonómica, pues parte del material colectado pertenecía a un complejo de especies. No obstante, al menos para esta familia de dípteros, se superó lo expuesto por Jacobsen (2004), quien trabajó familias y especies bentónicas en los Andes ecuatorianos y señaló que la taxonomía de los macroinvertebrados acuáticos en esta región neotropical solo se puede hacer a nivel de familias.

La taxonomía de los Simúlidos está relativamente bien desarrollada en el Neártico y en algunas zonas del Neotrópico, como ciertas regiones de Brasil. En Colombia, los estudios se han enfocado a la sistemática y taxonomía de la familia. Actualmente en el país se han reportado 64 especies, 17 del género *Gigantodax* y 47 del género *Simulium* (Woff *et al.* 2016), lo que supera las 67 especies señaladas por Adler & Crosskey en 2015. El departamento de Cundinamarca es uno de los de mayor riqueza (Wolf *et al.* 2016), a lo cual ha contribuido la integración de los enfoques morfológico, citogenético y molecular (Adler & McCreadie 1997). En el grupo de investigación dentro del cual se realizó este estudio, la identificación taxonómica del complejo de especies se está afrontando a través de pruebas moleculares.

7.6 Valor de tolerancia, índice biótico de polución e índice biótico de la familia Simuliidae

Los VPT de las especies *G. cervicornis* y *S. ignescens* señalan que fueron los taxones más tolerantes en las quebradas La Osa y La Vieja, mientras *G. basinflatus* fue la especie más sensible, por lo que posiblemente es indicadora de aguas de mejor calidad. Los valores de tolerancia pueden ser una herramienta valiosa para determinar la salud de las corrientes de agua (Hilsenhoff 1977, Lenat 1993). Según Carle *et al.* (2015), el uso de valores de tolerancia a la contaminación a nivel genérico de los simúlidos no refleja adecuadamente la respuesta ecológica de las especies, ya que, como se vio en este trabajo, pueden existir taxones congénéricos que tienen respuestas diferentes ante la polución. De igual manera, la identificación al nivel subgenérico o de grupo de especies

también carece de resolución. Empero, existe una alta variación en los valores de tolerancia entre las especies. Los autores mencionados concluyen que los Simuliidae deben identificarse a nivel de especie para obtener la mejor precisión en este tipo de índices. Carle *et al.* (2015) utilizaron el IBF como una variable ecológica para predecir la proliferación de determinados taxones, ya que los simúlidos requieren hábitats de aguas corrientes muy estables (Adler *et al.* 2004).

El IBF (Hilsenhoff 1988) utiliza las abundancias de las especies, en tanto que el IB (Jiang & Shen, 2005) solo emplea la presencia o ausencia de las especies en los lugares de interés. Sin embargo, ambos usan los valores de polución de los taxones (VPTs). Estos índices clasificaron de forma semejante los tramos altos, medio y bajo de las quebradas La Osa y La vieja. Lo anterior permite confirmar que ciertos taxones presentan una respuesta que no necesariamente es la de toda la familia (Hamada *et al.* 2002). En los trabajos disponibles sobre la indicación de los simúlidos se considera que en términos generales los miembros de esta familia son indicadores de aguas de buena a regular calidad. Nuestros resultados muestran que a nivel de especies las respuestas pueden diferir de esta generalización.

El trabajo de Roldán (2003) clasifica a los insectos de la familia Simuliidae con un valor de sensibilidad de 8, lo cual significa que son indicadores de aguas de buena calidad. Anteriormente Hilsenhoff (1988) y Lenat (1993), establecieron que la familia tiene un índice de tolerancia de 6, es decir, que resiste la contaminación en un grado más que moderado. Sin duda, la información a nivel de especies es más precisa, pues la ecología como tal de la familia es poco conocida y aun no es posible establecer si la presencia (presencia/ausencia) son aleatorias y predecibles (Hamada *et al.* 2002). Si bien la mayoría de las especies denotaron preferencia por aguas con mayor concentración de oxígeno disuelto, similar a lo señalado por Coscaron (2001), otras parecen preferir ambientes con más nutrientes y ligera contaminación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Las corrientes de agua La Osa y La Vieja se encuentran en procesos de meso a eutrofia. Los índices con base en las variables ambientales y los índices bióticos de simúlidos así lo sugieren.

En Colombia se han reportado hasta la fecha 74 especies de simúlidos distribuidos en varios departamentos. Con esta investigación (en la que se registran 10 especies, 7 del género *Gigantodax* y 3 del género *Simulium*), se aumentan los registros de riqueza de simúlidos en corrientes influenciadas por zonas urbanas. Se resalta que es el primer trabajo en Colombia y en la alta montaña neotropical.

La identificación de las taxas de simúlidos mediante una perspectiva integral (morfológica, molecular y citogenética) permitió acercarse a la determinación taxonómica de forma más clara. No obstante, aún persisten ciertos problemas en la identificación de algunos complejos de especies que requieren mayores esfuerzos hacia el futuro.

La medición de las variables ambientales y la determinación taxonómica de las especies de la familia Simuliidae permitieron caracterizar y determinar las condiciones de calidad del agua de los ríos para los periodos de lluvia, transición y sequía en el periodo 2015-2016, el cual estuvo influenciado por el fenómeno de El Niño más fuerte en Colombia en los últimos 50 años. Es probable que estos resultados cambien en otros periodos menos secos o en años muy húmedos.

Los resultados de la presente investigación pueden ser útiles no solo para comprender mejor la ecología de las especies de la familia Simuliidae, sino para las entidades encargadas del manejo y conservación de los recursos acuáticos de Bogotá. Los índices construídos y el conocimiento sobre la taxonomía y ecología de estos dípteros acuáticos constituyen instrumentos que permitirán evaluar, monitorear y la optimizar la recuperación de los ríos de la región.

Las especies de la familia Simuliidae en las quebradas en estudios de los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, exhiben requerimientos de calidad de agua diferentes. Es así que la especie más resistente a condiciones de menor calidad del agua fue *G. cervicornis*, en tanto que *G. basinflatus* fue el taxón más sensible.

La composición de especies de Simúlidos en los dos sistemas lóticos estudiados es relativamente poco compleja y de discreta diversidad. Se confirma la presencia de solo los dos géneros reportados para Colombia hasta la fecha. Sin embargo, la riqueza de especies en el rango altitudinal estudiado (entre 2073 y 2970 msnm) es notable y podría incrementarse, ya que algunas de ellas hacen parte de complejos de especies de los cuales es necesario aclarar su taxonomía.

8.2 Recomendaciones

Se conoce que las variables físicas, químicas y biológicas responden a patrones condicionado por el clima. Por lo tanto, es necesario seguir monitoreando las corrientes de estudio en diferentes años, ya que este estudio se llevó a cabo en el periodo de El Niño.

Se debe incluir la valoración de otros factores de gran importancia para los ríos y que caracterizan algunas condiciones únicas de los ríos andinos, tales como la radiación solar, la nubosidad, la precipitación y los vientos locales. Se sabe que estos factores son importantes en los estudios relacionados con la ecología de la familia Simuliidae. Así se ampliaría el conocimiento sobre la biología y la ecología de las especies de Colombia.

Es necesario caracterizar otras corrientes de agua de los cerros orientales de Bogotá para encontrar relaciones más generales que ayuden a mejorar la explicación de la riqueza y abundancia de simúlidos en estos ambientes.

Como los simúlidos aún presentan inconvenientes de identificación taxonómica de los complejos de especies por falta de claves completas para el Neotrópico, es necesario afianzar las técnicas moleculares y citogenéticas para determinar su taxonomía.

A. Anexo: Análisis de varianza de las variables abióticas de las quebradas La Osa y La Vieja.

	Temperatura			Oxígeno disuelto			Oxido Reducción			Saturación		
	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign
Quebrada	11,3157	0,0560	.	4,0933	0,1979		5,0278	0,0016	**	24,0394	0,0206	*
Época	25,7457	0,0393	*	47,2517	0,0162	*	74,6797	0,0000	***	23,4221	0,0527	.
Tramo	27,6936	0,0349	*	13,5093	0,1140		10,8232	0,0010	***	11,9204	0,1364	
Quebrada: Época	10,9963	0,1344		6,1935	0,2771		7,7441	0,0018	**	27,6535	0,0406	*
Quebrada: Tramo	8,5356	0,1824		12,6851	0,1238		1,2006	0,0503	.	1,3458	0,7029	
Época: Tramo	9,3501	0,3591		9,3820	0,3858		0,1775	0,7343		4,6380	0,6492	
Residuals	6,3629			6,8851			0,3471			6,9809		
Sumatoria	100			100			100			100		

	Conductividad			pH			Solidos Totales Disueltos			Nitrito		
	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign
Quebrada	72,6524	0,0003	***	38,5200	0,0093	**	58,4922	0,0050	**	0,1942	0,5820	
Época	4,2146	0,1112		23,3973	0,0527	.	6,3098	0,2941		7,9568	0,0459	*
Tramo	7,5905	0,0473	*	12,9463	0,1225		7,0157	0,2662		0,3916	0,7176	
Quebrada: Época	1,3392	0,3741		0,2965	0,9201		4,9408	0,3626		13,3747	0,0195	*
Quebrada: Tramo	10,9329	0,0261	*	9,1453	0,1871		9,6317	0,1910		70,4593	0,0009	***
Época: Tramo	1,1619	0,7110		8,7228	0,4167		6,1322	0,5739		5,4534	0,1969	
Residuals	2,1086			6,9718			7,4775			2,1700		
Sumatoria	100			100			100			100		

	Nitrito			Nitrógeno Amoniacal			Ortofosfatos			Sulfatos		
	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign
Quebrada	6,0726	0,0431	*	34,2524	0,0085	**	12,2805	0,0721	.	19,3089	0,0565	.
Época	16,2716	0,0221	*	0,0670	0,9777		17,3155	0,1055		10,9704	0,2491	
Tramo	22,0933	0,0130	*	29,0428	0,0285	*	3,7716	0,4738		20,3737	0,1219	
Quebrada: Época	10,0705	0,0485	*	2,2839	0,5195		12,6688	0,1573		12,3368	0,2207	
Quebrada: Tramo	23,5207	0,0116	*	24,3578	0,0380	*	36,1434	0,0351	*	16,9180	0,1541	
Época: Tramo	19,1273	0,0459	*	4,1004	0,6332		9,4906	0,4512		9,1621	0,5658	
Residuals	2,8439			5,8958			8,3297			10,9302		
Sumatoria	100			100			100			100		

	Coliformes Fecales			Demanda Biológica de Oxígeno			Demanda Química de Oxígeno			Fosforo Total		
	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign
Quebrada	6,7581	0,3339		0,5235	0,6815	.	4,9210	0,2002		19,2459	0,1142	
Época	11,1665	0,4457		8,1151	0,3243		11,2648	0,1820		21,2412	0,2225	
Tramo	13,1560	0,3973		4,1885	0,5174		3,4575	0,5012		2,3645	0,7906	
Quebrada: Época	11,2552	0,4434		58,3771	0,0241	*	63,7574	0,0135	*	10,7777	0,4065	
Quebrada: Tramo	12,9326	0,4023		1,0470	0,8301		3,0693	0,5358		8,1618	0,4887	

**INFLUENCIA DE VARIABLES AMBIENTALES SOBRE LA COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE SIMÚLIDOS EN
DOS SISTEMAS FLUVIALES ANDINOS DE COLOMBIA**

Época: Tramo	22,3004	0,5022	17,0157	0,3331	5,1475	0,6759	19,2459	0,4944
Residuals	22,4311		10,7331		8,3825		18,9631	
Sumatoria	100		100		100		100	

	Nitrógeno total			Profundidad			Velocidad			Caudal		
	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign	Var%	Pr(>F)	Sign
Quebrada	19,2459	0,1142		51,8145	0,0009	***	2,5887	0,5564		45,7821	0,0251	*
Época	21,2412	0,2225		11,6049	0,0358	*	9,0914	0,5401		1,5104	0,8256	
Tramo	2,3645	0,7906		19,6168	0,0147	*	1,1638	0,9137		3,0993	0,6871	
Quebrada: Época	10,7777	0,4065		7,1271	0,0758	.	23,4827	0,2680		9,0045	0,3908	
Quebrada: Tramo	8,1618	0,4887		1,2712	0,4630		26,7568	0,2353		21,6326	0,1679	
Época: Tramo	19,2459	0,4944		5,8587	0,2365		11,7110	0,7619		3,9538	0,8878	
Residuals	18,9631			2,7069			25,2055			15,0173		
Sumatoria	100			100			100			100		

Los asteriscos indican las diferencias significativas:

0'***'0.001'***'0.01'*'0.05'.'0.1''1

B. Anexo: Especies de la familia Simuliidae identificadas en las quebradas La Osa y La Vieja.



Pupa de *Gigantodax*



Larva *Gigantodax*



Pupa de *Simulium*



Larva *Simulium*



Histoblasto de *G. cervicornis*



Histoblasto de *Gigantodax ortizi complex*



Histoblasto de *G. basinflatus*



Histoblasto de *G. destitutus*

D. Anexo. Diferencias significativas de haplotipos *G. paramorum* de las corrientes de agua 2015-2016

	Osa	Arzobispo	Vieja	Bogotá
Osa		-	-	-
Arzobispo	-		-	-
Vieja	-	-		-
Bogotá	-	-	-	

E. Diferencias significativas de haplotipos *G. paramorum* para los periodos climáticos transición, seca y lluvia.

	Transición	Seca	Lluvia
Transición		-	-
Seca	-		-
Lluvia	-	-	

F. Procedimiento para coloración de cromosomas politénicos y gónadas de larvas de Simuliidaelluvia.

1. Colecte larvas vivas con histoblasto blanco en carnoy (1:3 ácido acético glacial: etanol 95-100%); cuidado: no ponga más de una larva por cada ml de fijador. Decante el fijador y reemplácelo con fijador fresco al menos una vez inmediatamente después de la recolección y después de una hora. Mantenga los viales en el congelador hasta que las larvas se vayan a trabajar.
2. en una caja de Petri pequeña, corte la porción posteroventral del abdomen, con alfileres, esto es a partir del séptimo segmento. Retenga las otras partes como voucher, con el fin de asociar la morfología con los cromosomas.
3. Ponga la larva en agua destilada por 20 minutos a temperatura ambiente.

4. Descarte el agua y ponga la larva en una solución de HCl 5N por 30 minutos a temperatura ambiente. Se deben tapar los frascos. Cuidado: el tiempo debe ser exacto y permanece el vial todo el tiempo tapado.
 5. Descarte el ácido y remplace por la solución de Feulgen (Fuchsin básica) por una hora a temperatura ambiente. Cuidado: el colorante debe estar frío en el refrigerador.
 6. Remplace el colorante con agua sulfurada por 10 minutos a temperatura ambiente. Este procedimiento remueve el colorante que no se ha fijado y fortalecerá los cromosomas.
 7. Descarte el agua sulfurada con agua de chorro dos veces, por 10 segundos cada una. Cuidado: evite que el chorro caiga muy fuerte sobre la muestra. Tape y refrigere el material hasta su uso. Cuidado: en este paso no puede permanecer por más de cinco días.
- Acá se pueden observar las gónadas.
8. Se pone una gota de ácido acético al 50% en el centro de una lámina. Ponga una larva en una gota de agua fría en un lado de la lámina. Remueva las glándulas salivares, remueva rápidamente el resto de tejidos. Cuidado: la lámina debe limpiarse con una chuchilla para quitar cualquier partícula y con el dedo, porque la grasa ayuda a la fijación.
 9. Poner una laminilla y una toalla de papel para hacer el squash. Cubrir alrededor con carmín acético al 2% para sellar la lámina.

Preparación de los reactivos

Colorante de Feulgen

Adicionar 4 gramos de fuchsin básica a 800 gramos de agua destilada que ha sido previamente calentada a 80°C. Mezcle bien agitando el recipiente.

Enfríe la solución a 60°C. Y adicione 8 gramos de metasulfito de potasio. Mezcle bien agitando el recipiente.

Enfríe la solución a 50°C. Y adicione 40 ml de HCl 1N. Mezcle bien agitando el recipiente.

Tape el frasco con parafilm y póngalo en el mesón por 24 horas. La fuchsin retendrá un color que varía de rosado oscuro a marrón debido a las impurezas disueltas.

24 horas más tarde, se adicionan 12 grs de carbón activado y se agita fuertemente. Rápidamente se filtra la solución. El filtrado resultante será sin color e indistinguible en apariencia del agua. Ponga la solución en una botella plástica oscura y manténgalo refrigerado (se degrada con la luz y el calor). Cuidado: tenga mucho cuidado cuando esté manipulando el carbón activado y el colorante, porque ambos manchan.

Agua Sulfurada

Adicione 2 grs de metabisulfito de potasio a 400 ml de agua destilada en una botella de vidrio con una tapa de vidrio. Agite el recipiente para mezclar la solución, pero tenga cuidado que la solución no toque el tapón (pegará el tapón). Finalmente adicione 20 ml de HCl 1N y rápidamente tape el frasco de solución para evitar que el SO₂ se escape. Todas las preparaciones se hacen a temperatura ambiente.

Para usar larvas preservadas en carnoy para biología molecular, estas deben pasarse primero por etanol al 80% y luego se siguen los pasos de la extracción, común y corriente.

BIBLIOGRAFÍA

- ADLER P.H. & R. W. CROSSKEY. 2017. World blackflies (Diptera: Simuliidae): a comprehensive revision of the taxonomic and geographical inventory [2017]. <http://www.clemson.edu/cafls/biomia/pdfs/blackflyinventory.pdf>
- ADLER, P. H., & J. W. MCCREADIE. 2009. Medical and Veterinary Entomology.
- ADLER, P. H., & J. W. MCCREADIE. 1997. Insect life: the hidden ecology of black flies: sibling species and ecological scale. *American Entomologist*, 43(3), 153-162. In: McCreadie, J. W., y Adler, P. H. (1998). Scale, time, space, and predictability: species distributions of preimaginal black flies (Diptera: Simuliidae). *Oecologia*, 114(1), 79-92.
- ADLER, P.H, CURRIE D.C, & D. M. WOOD. 2004. The Black Flies (Simuliidae) or North America. Cornell University Press. 941pp.
- ADLER, P.H. & R. W. CROSSKEY. 2014. World blackfly (Diptera: Simuliidae). A comprehensive revision of the taxonomic and geographical inventory [2014]. <http://www.clemson.edu/cafls/biomia/pdfs/blackflyinventory.pdf>
- ADLER, P.H. & Y. T. HUANG. 2011. Integrated systematics of the Simuliidae (Diptera): evolutionary relationships of the little-known Palearctic black fly *Simulium acrotrichum*. *Canadian Entomologist* 143: 612–628.
- ALBA-TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de aguas de los Ríos. IV Simposio en Andalucía (SIAGA). Almería. Vol. 2, PP. 205-213
- AILAN, J. D., & M. M. CASTILLO. 2007. Stream ecology: structure and function of running waters. Springer Science y Business Media
- ÁLVAREZ, J. 2010. Caracterización limnológica de las ciénagas de Arcial, El Porro y Cintura (río San Jorge) y Bañó, Charco Pescao y Pantano Bonito (río Sinú), departamento de Córdoba. En: Colombia Diversidad Biótica IX: Ciénagas de Córdoba. Biodiversidad, Ecología y Manejo Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. pp. 509 – 558.
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales. Traducción del Standard Methods. Barcelona, España: Editorial Díaz de Santos. S.A.
- ASVALL, J. E. & G. ALLEYDE. 1999. Agua y salud. Washington, Estados Unidos: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. 20 p.

- AYERS, R.S. & D. N. WESCOT. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Roma Italia, FAO, 180 p
- BARBOUR, M.T., GERRITSEN, J., SNYDER, B.D., & J. B. STRIBLING. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. 2nd Edition. EPA Document No. 841-B-99-002, Washington, D.C
- BARBOUR, M.T., SWIETLIK, W.F., JACKSON, S.K., COURTEMANCH, D.L., DAVIES, S.P. & C. O. YODER. 2000. Measuring the attainment of biological integrity in the USA: A critical element of ecological integrity. *Hydrobiologia*. 422/423:453-464.
- BARRETO, P. 1969. The species of black flies found in Colombia (Díptera: Simuliidae). *Journal of the New York Entomological Society*, 31-35.
- BEGON M., HARPER J.L. & C.R TOWNSEND. 1990 *Ecology: Individuals, Populations, and Communities*. Blackwell Scientific Publications, Cambridge, MA.
- BEGON, M., TOWNSEND, C.R., & J. L. HARPER. 2006. *Ecology: from Individuals to Ecosystems*. Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey. En: Hamada, N., McCreadie, J. W., & Adler, P. H. (2002). Species richness and spatial distribution of blackflies (Diptera: Simuliidae) in streams of Central Amazonia, Brazil. *Freshwater Biology*, 47(1), 31-40.
- BEITIA, M.A. 1989. Análisis de la problemática de la calidad del agua y formulación de recomendaciones en la cuenca alta del río Chiriquí Viejo. Panamá. Tesis Mag. Sc, Turrialba, Costa Rica. CATIE. 242 p.
- BENETTI, C.J., PÉRES-BILBAO, A. & J. GARRIDO. 2012. Macroinvertebrates as Indicators of Water Quality in Running Waters: 10 Years of Research in rivers with different degrees of anthropogenic impacts. In: Tech, Accesible en: <http://www.intechopen.com/books/ecological-water-quality-water-treatmentandreuse/macroinvertebrates-as-indicatorsof-water-quality-in-running-waters-10-years-ofresearch-in-rivers>. Consultado 15 abril de 2014.
- BONADA, N., PRAT, N., RESH, V. H. & B. STATZNER. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 495-523.
- BOULTON, A. J. 2003. Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology*, 48(7), 1173-1185.

- BUENO, M., MONCADA L. & P. MUÑOZ DE HOYOS. 1979. Simuliidae (Insecta: Diptera) de Colombia. I. Nueva especie de Simulium (Hemicnectha). *Caldasia*, 12 (60): 581-594.
- BUYTAERT, W., CÉLLERI, R., DE BIÈVRE, B., CISNEROS, F., WYSEURE, G., DECKERS, J. & R. HOFSTEDE. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1), 53-72.
- CARLE, D. M., ADLER, P. H., & M. G. ROBSON. 2015. Pollution Tolerance Values for Predicting the Spread of Black Flies (Diptera: Simuliidae) in New Jersey, with Implications for Control. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21(8), 2273-2291.
- CARLSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22:361-380.
- CASTRO-ROA, D. 2009. Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales de Bogotá. Trabajo de investigación de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- COLORADO-GARZÓN, F.A., ADLER, P.H., GARCÍA, L.F., MUÑOZ DE HOYOS, P., BUENO, M.L., & N. E. MATTA. 2017. Estimating diversity of Black Flies in the *Simulium ignescens* and *Simulium tunja* complexes in Colombia: chromosomal rearrangements as the core of integrative taxonomy. *American Genetic Association*. 108(1):12-24.
- COPPO, T.L.W. & J. LOPES. 2010. Simuliidae diversity (Diptera: Nematocera) of three water courses in Klabin's ecological park – Telêmaco Borba, State of Paraná. *Semina: Ciências Biológicas da Saúde, Londrina*, v. 31, n. 1, p. 03-14, jan./jun.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, CAR (2006). Acuerdo No. 43 del 17 de Octubre de 2006. Bogotá. <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad//acuerdo-no-43-del-17-de-octubre-de-2006>.
- CORPOSÉPTIMA. 2010. Proyecto Recuperación Integral de las Quebradas de Chapinero. In Informe Final Proyecto Recuperación integral de las quebradas de la Localidad de Chapinero. Primera etapa de sensibilización, diagnóstico y formulación de proyectos desde la visión comunitaria.
- COSCARÓN, C.L. 2001. Díptera: Simuliidae. En: Fernández H. y Domínguez E. editores. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos.

- Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo. (Argentina) 2001. p. 195-219.
- COSCARÓN, S. & P. MUÑOZ DE HOYOS. 1995. Blackfly novelties from the área near the "Paramo de los Valles" in the department of Tolima, Colombia (Diptera: Simuliidae) en Colombia. *Rev.Acad.Colomb.Cienc.*, 19 (74):587-592.
- COSCARÓN, S., SARANDON, C.L., COSCARÓN-ARIAS, C. & E. DRAGO. 1996. Analisis de factores ambientales que influyen en la distribucion de los Simuliidae (Diptera: Insecta) en el cono Austral de America del Sur. *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas Y Naturales*, 20, 549-573.
- CYWINSKA, A., HUNTER, F.F. & P. D. HEBERT. 2006. Identifying Canadian mosquito species through DNA barcodes. *Medical and veterinary entomology*, 20(4), 413-424.
- DIAZ, S. A. 2014. Taxonomia integrativa de la especie *Simulium* (*Trichodagmia*) *muiscorum* Bueno, Moncada & Muñoz de Hoyos, 1979 (Díptera: simuliidae) Presente en el Parque Nacional Natural Chingaza (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- DIAZ, S. A., MONCADA, L. I., MURCIA, C. H., LOTTA, I. A., MATTA, N. E., & P. H. ADLER. 2015. Integrated taxonomy of a new species of black fly in the subgenus *Trichodagmia* (Diptera: Simuliidae) from the Páramo Region of Colombia. *Zootaxa*, 3914(5), 541-557.
- DOCILE, T.N., FIGUEIRÓ, R., GIL-AZEVEDO, L. H. & J. L. NESSIMIAN. 2015. Water pollution and distribution of the black fly (Diptera: Simuliidae) in the Atlantic Forest, Brazil. *Revista de Biología Tropical*, Septiembre-Sin mes, 683-693
- DOJLIDO, J., RANISZEWSKI, J. & J. WOYCIECHOWSKA. 1994. Water quality index applied to river in the Vistula River Basin in Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*. 33:33-42.
- DONATO-RONDÓN, J.C. & G. GALVIS. 2008. Tipología de ríos colombianos - Aspectos generales. En: Donato-Rondón JC, ed. *Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (río Tota, Boyacá)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. p. 27-52.
- DUDGEON, D. 2010. Requiem for a river: extinctions, climate change and the last of the Yangtze. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 20(2): 127-131.

- DUQUE, S., MUÑOZ DE HOYOS, P., ROTHFELS, K. 1988. The polytene chromosomes of *Simulium* (*Ectemnaspis*) *ignescens* Roubaud and the related species *Simulium* "C" both from Colombia. *Canadian Journal of Zoology*. 66(2):300-309.
- ELOSEGI, A. & S. SABATER. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Separata del capítulo 2. El río como ecosistema. Fundación BBVA. ISBN 978-84-96515-87-1.
- ELÓSEGUI, A. & J. POZO. 1992. Physico-chemical characteristics of the Agüera river (Spain) during an unusual hydrologically period. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 28, No. 1, pp. 85-96). EDP Sciences.
- ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA. 2014. Estudio Nacional del Agua y de Huella Hídrica. http://www.ideam.gov.co/web/sala-deprensa/noticias/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-aguainformacion-para-la-toma-de-decisiones.
- FELSENSTEIN, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution* 39:783–791
- FISHER, S. G., GRAY, L. J., GRIMM, N. B., & BUSCH, D. E. 1982. Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding. *Ecological monographs*, 52(1), 93-110.
- FOLMER, O., BLACK, M., HOEH, W., LUTZ, R. & R. VRIJENHOEK. 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*. 3(5):294-299.
- FRUGET, J. F., CENTOFANTI, M., DESSAIX, J., OLIVIER, J. M., DRUART, J. C., & P. J. MARTINEZ. 2001. Temporal and spatial dynamics in large rivers: example of a long-term monitoring of the middle Rhone River. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*. Vol. 37, No. 3, pp. 237-251. EDP Sciences.
- GALLARDO-MAYENCO, Y. & J. TOJA. 2002. Spatio-temporal Distribution of Simuliids (Diptera) and Associated Environmental Factors in two Mediterranean Basins of Southern Spain. *Limnetica* 21 (1-2): 47-57 (2002) © Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 02 13-8409.
- GARCÍA, M., SÁNCHEZ, F.D., MARTÍN, R., GUZMÁN, H., VERDUGO, N., DOMÍNGUEZ, E., VARGAS, O., PANIZZO, L., SÁNCHEZ, N., GÓMEZ, J. & G. CORTÉS. 2001. El agua. En: *El Medio Ambiente en Colombia*. Leyva P. (Ed), 2ª. Edición, pp. 114-189.

- GÓMEZ-MARÍN, A.M., NARANJO-FERNANDEZ, A.A. & D. J. GALLEGO. 2007. Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y el Salado (Girardota - Antioquia, Colombia). Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín. 60(1): 3735-3749.
- GONZÁLEZ, E.J., V. CARRILLO & C. PEÑAHERRERA. 2004. Características físicas y químicas del embalse agua fría (Parque Nacional Macarao, Estado Miranda, Venezuela). Acta Cient. Venez., 55: 225-236.
- GOTELLI, N. J., & R. K. COLWELL. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. Ecology letters, 4(4), 379-391.
- GRILLET, M. E., VILLAMIZAR, N. J., CORTEZ, J., FRONTADO, H. L., ESCALONA, M., VIVAS-MARTINEZ, S., & M. G. BASANEZ. 2005. Diurnal biting periodicity of parous Simulium (Diptera: Simuliidae) vectors in the onchocerciasis Amazonian focus. Acta tropica, 94(2), 139-158.
- GRILLET, M.E. & R. BARRERA. (1997) Spatial and temporal abundance, substrate partitioning and species cooccurrence in a guild of Neotropical blackflies (Diptera: Simuliidae). Hydrobiologia, 345, 197±208.
- GUHL, E. 1975. Colombia: Bosquejo de su geografía tropical. Vol. 1. Instituto Colombiano de Cultura, Bogotá. 266 p.
- GUHL, E. 1982. Los páramos circundantes de la sabana de Bogotá. Bogotá, Jardín Botánico José Celestino Mutis. Litografía Arco. 1982.
- GUISANDE, C., BARREIRO, A., MANEIRO, I., RIVERO, I. & A. VERGARA. 2005. Tratamiento de datos. Universidad de Vigo. Vigo. 277p.
- GUTIÉRREZ, J.D. 2006. Caracterización del metabolismo y de la oferta de recursos de materia orgánica para la fauna de macroinvertebrados bentónicos en una quebrada de montaña de orden menor. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.
- HAKANSON, L. 2005. The importance of lake Morphometry for the structure and function of lakes. International Review of Hydrobiology 90(4): 433–461.
- HALL, T. A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis. <http://www.mbio.ncsu.edu/BioEdit/bioedit.html>
- HAMADA, N., & M. PEPINELLI. 2004. Simulium (Chirostilbia) bifenestratum (Diptera, Simuliidae), a new black-fly species from the Atlantic forest, State of São Paulo, Brazil. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 99(1), 45-52

- HAMADA, N., MCCREADIE, J. W. & P. H. ADLER. 2002. Species richness and spatial distribution of blackflies (Diptera: Simuliidae) in streams of Central Amazonia, Brazil. *Freshwater Biology*, 47(1), 31-40.
- HAMMER, Ø., HARPER, D. A. T., & P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis *Palaeontol. Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- HARPER, D.M., SMITH, C.D. & P. J. BARHAM. 1992. Habitat as the building blocks for river conservation assessment. In Elosegi A, Diez J. y M. Mutz. 2009. Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. *Hydrobiologia* .DOI 10.1007/s10750-009-0083-4.
- HARVEY, G.L. & N. J. CLIFFORD. 2008. Distribution of biologically functional habitats within a lowland river, United Kingdom. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 11: 465–473.
- HEBERT, P.D., CYWINSKA, A., BALL, S.L. & J. R. DEWAARD. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc Biol Sci* 270: 313–321. doi:10.1098/rspb.2002.2218. PubMed: 12614582.
- HELLAWELL, J. M. 1986. *Biological Indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier Applied Science, London
- HERNÁNDEZ, L. M. 2007. Systematics and taxonomy of blackflies. www.blackflies.info/ accediso 02.febrero.2017.
- HILSENHOFF, W. 1988. Rapid field assesment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 65-68
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2007. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2010. Protocolo demuestras de aguas superficiales-Red IDEAM. Subdirección de Hidrología. Grupo Laboratorio de calidad Ambiental. Bogotá.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2014. Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 páginas. ISBN: 978-958-8067-70-4

- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2016. COLPRENSA, 2016: <http://www.elcolombiano.com/colombia/fenomeno-de-el-nino-actual-es-el-segundo-mas-fuerte-en-50-anos-ideam-JB3407139>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 2016 <http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=7ytitle=Mapa%20Base>, Accedido enero de 2016.
- JACKON, S.K. & W. DAVIS. 1994. Meeting the goal of biological integrity in water-resource programs in the U S Environmental Protection Agency. *Journal of the North American Benthological Society*. 13:592-597.
- JACOBSEN, D. & K. P. BRODERSEN. 2008. Are altitudinal limits of equatorial stream insects reflected in their respiratory performance? *Freshwater Biol.*, 53: 2295-2308.
- JACOBSEN, D. 2004. Contrasting patterns in local and zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biol.*, 49(10): 1293-1305.
- JIANG, J. G. & F. SHEN. 2005. Use of the aquatic protozoa to formulate a community biotic index for an urban water system. *Science of the Total Environment* 346: pp. 99-111.
- JØRGENSEN, S. 2008. Overview of the model types available for development of ecological models. *Ecological Modelling* 215(1-3): 3–9.
- JOSSE, C., CUESTA, F., NAVARRO, G., BARRENA, V., CABRERA, E., CHACÓN-MORENO, E., & A. TOVAR. 2009. *Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Secretaría General de la Comunidad Andina, Lima.
- KAZANCI & ÖZGE ERTUNÇ. 2010. Use of Simuliidae (Insecta, Diptera) species as indicators of aquatic habitat quality of Yeşilirmak River Basin (Turkey). *Review of Hydrobiology*, www.reviewofhydrobiology.com. 3,1: 27-36 (2010).
- KEARSE, M., MOIR, R., WILSON, A., STONES-HAVAS, S., CHEUNG, M., STURROCK, S., BUXTON, S., COOPER, A., MARKOWITZ, S., DURAN, C., THIERER, T., ASHTON, B., MENTJES, P. & A. DRUMMOND. 2012. Geneious Basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data. *Bioinformatics*, 28(12), 1647-1649.

- KRATZER, C. R. & P. L. BREZONIK. 1981. A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 17(4), 713-715.
- KUMAR, S., STECHER, G. & K. TAMURA. 2016. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular biology and evolution*, msw054.
- KUNG, H., YING, L. & YV. LIU. 1992. A complementary tool to water quality indices: fuzzy clustering analysis. *Water Resource Bulletin*. 28:525-533.
- LAMPARELLI, M. C. 2004. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, São Paulo. 235 pp.
- LAUTENSCHLÄGER, M. & E. KIEL. 2005. Assessing morphological degradation in running waters using Blackfly communities (Diptera, Simuliidae): Can habitat quality be predicted from land use?. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 35(4), 262-273.
- LENAT, D. R. 1993. A biotic index for the southeastern United States: derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(3), 279-290.
- LEWIS, W. M. 2002. Causes for the high frequency of nitrogen limitation in tropical lakes. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Verhandlungen*, 28(1), 210-213.
- LINKE, S., BAILEY, R. C. & J. SCHWINDT. 1999. Temporal variability of stream bioassessments using benthic macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 42(3), 575-584.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, E. & M. RUIZ-SOLER. 2011. Análisis de datos con el Modelo Lineal Generalizado. Una aplicación con R. *Revista Española de Pedagogía*, 59-80.
- LOTTA, A., PACHECO, A., ESCALANTE, A., GONZÁLEZA, A.D., MANTILLA, J. S., MONCADA, L.I., ADLER, P.H. & N.E. MATTA. 2016. Leucocytozoon Diversity and Possible Vectors in the Neotropical highlands of Colombia. *Protist*. Accepted for publication.
- LOW, V.; ADLER, P.H., SAFIAN-AZIRUM, M., SRISUKA, W., SAEONG, A., HUANG, Y.T., HADI, V. K., PHARM, X.D., & H. TAKAOKA. 2015. Tests of conspecificity for allopatric vectors: *Simulium nodosum* and *Simulium shirakii* (Diptera: Simuliidae) in Asia. *Parasites and Vectors*. 8(1): art 297.

- MAGURRAN, A.E. 2004 *Measuring Biological Diversity*. Blackwell, Oxford.
- MAITLAND, P. S. & M.M. PENNEY. 1967. THE ecology of the Simuliidae in a Scottish river. *The Journal of Animal Ecology*, 179-206.
- MALMQVIST, B., STRASEVICIUS, D., HELLGREN, O., ADLER, P.H. & S. BENSCH. 2004. Vertebrate host specificity of wild caught blackflies revealed by mitochondrial DNA in blood. *Proceedings of the Royal Society* 271(S4):S152-S155.
- MANTILLA, J.S., MONCADA, L.I., MATTA, N.E. & P.H. ADLER. 2013. Two new species of black flies (Diptera: Simuliidae) from the high Andes of Colombia. *Zootaxa*. 3700(3):423-434.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología* (p. 1010). Barcelona: Omega.
- MARTÍNEZ RUIZ, R.E. & M. PORTILLO RUBIO. 1999. Estudio faunístico y ecológico de los simúlidos (Diptera, Simuliidae) del río Cidacos a su paso por La Rioja. *Zubía. Monográfico*, 11: 61-80.
- MARTINEZ, L. & J. DONATO. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá-Colombia). *Caldasia*; 25(1):337-354.
- MCCALL, P. J., WILSON, M. D., DUEBEN, B. D., DE CLARE BRONSVOORT, B. M. & R. R. HEATH. 1997. Similarity in oviposition aggregation pheromone composition within the *Simulium damnosum* (Diptera: Simuliidae) species complex. *Bulletin of Entomological Research*, 87(06), 609-616.
- MCCREADIE, J. W. & M. H. COLBO. 1991. Spatial distribution patterns of larval cytotypes of the *Simulium venustum/verecundum* complex (Diptera: Simuliidae) on the Avalon Peninsula, Newfoundland: factors associated with occurrence. *Canadian Journal of Zoology*, 69(10), 2651-2659. In: McCreadie, J. W., y Adler, P. H. (1998). Scale, time, space, and predictability: species distributions of preimaginal black flies (Diptera: Simuliidae). *Oecologia*, 114(1), 79-92.
- MCCREADIE, J. W. & P. H. ADLER. 1998. Scale, time, space, and predictability: species distributions of preimaginal black flies (Diptera: Simuliidae). *Oecologia*, 114(1), 79-92.
- MCCREADIE, J. W., HAMADA, N., GRILLET, M. E., Y ADLER, P. H. (2016). Alpha richness and niche breadth of a widespread group of aquatic insects in Nearctic and Neotropical streams. *Freshwater Biology*.

- MCCREADIE, J.W., HAMADA, N. & M. E. GRILLET. 2017. Alpha richness and niche breadth of a widespread group of aquatic insects in Nearctic and Neotropical streams. *Freshwater Biology*. 62:329-339.
- MERCANTE, C. T. J. & A. TUCCI-MOURA. 1999. Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11(1), 1-14.
- MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2007. Resolución Número 2115. Bogotá, D. C
- MITTERMEIER, R. A. M., MITTERMEIER, N. G. & C. R. GIL. 1999. Biodiversidad amenazada las ecorregiones terrestres prioritarias del mundo (No. 574.529 M5). <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=sibe01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=026505>
- MONCADA, L. & M. BUENO. 1977. Inventario específico y algunos aspectos biológicos de los simúlidos del río Teusacá. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología.
- MONCADA, L.I., MANTILLA, J.S., LOTTA, I.A., MATTA, N. E. & P. H. ADLER. 2013. *Simulium cormonsi* Wygodzinsky: First record, Egg and larval descriptions, and bionomics. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 115(1):103-106.
- MONCADA, L.I., MUÑOZ DE HOYOS, P. & M.L. BUENO. 1981. Simuliidae (Insecta: Diptera) de Colombia. III - Descripción de una nueva especie de *Gigantodax* Enderlein, 1925. *Caldasia* 13(62): 301-311.
- MORENO, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. MyT–Manuales y Tesis SEA, (1), Zaragoza, 84 p.
- MORENO, R.C. 1990. Estudio citogenético de *Gigantodax ortizi* Wygodzinsky, 1973 (Diptera: Simuliidae) de la región de Chisacá. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Departamento de Biología.
- MORIN, P.J. 2011. *Community Ecology*. Blackwell Science, Malden, Massachusetts
- MUÑOZ DE HOYO, P. & D. R. MIRANDA. 1997. Simúlidos (Diptera: Simuliidae) presentes en las vertientes magdalenense y orinocense, en un sector al centro de Colombia. *Caldasia*. 19 (1:2): 297-310.

- MUÑOZ DE HOYOS P.1990. La importancia de los cromosomas politénicos en la determinación taxonómica de los simúlidos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*. 16(66):511-520
- MUÑOZ DE HOYOS, P. & S. COSCARÓN. 1999. Claves para la identificación de simúlidos (Diptera: Simuliidae) presentes en las vertientes magdalenense y orinocense, en un sector al centro de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 23 (suplemento especial): 181-214. ISSN 03703908.
- MUÑOZ DE HOYOS, P. 1995. Género *Gigantodax* (Diptera: Simuliidae) en Colombia. *Rev.Acad.Colomb.Cienc.*, 19(74): 607-630.
- MUÑOZ DE HOYOS, P., BUENO, M. L. & L.I. MONCADA. 1984. Simuliidae (insecta: diptera) de Colombia. IV-Clave gráfica para la identificación de los simúlidos de la región de la Calera, Cundinamarca. *Biomédica*, 4(1), 14-24.
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC) 813. 1994. Normas oficiales para la calidad del agua en Colombia. Segunda revisión. Consejo directivo del instituto 94-10-19.
- OLMOS, C. F. G. 2006. Regulación hídrica bajo tres coberturas vegetales en la cuenca del Rio San Cristóbal, Bogotá DC. *Colombia Forestal*, 10(20), 127-147.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). 1994. Guía de Prácticas Hidrológicas. Adquisición y procesos de datos, predicción y otras aplicaciones. 5° edición OMM-N°168.
- PANGJANDA, S. & P. PRAMUAL. 2017. Tests of conspecificity for closely related black fly (Diptera: Simuliidae) species of the *Simulium striatum* group in Thailand. *Zootaxa*. 4231(3):421-430.
- PASSY, S. & G. BLANCHET. 2007. Algal communities in human-impacted stream ecosystems suffer beta-diversity decline. *Diversity and Distributions* 13: 670-679.
- PEPINELLI, M., HAMADA, N. & S. TRIVINHO-STRIXINO. 2005. *Simulium* (*Thyrsopelma*) *duodenicornium*, a new black fly species (Diptera: Simuliidae) from the Southeast Region of Brazil. *Zootaxa*, 1040(1), 17-29.
- PERES-NETO, P. R., LEGENDRE, P., DRAY, S., & D. BORCARD. 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology*, 87(10), 2614-2625.
- PETRY, F., LOZOVEI, A.L. & S. CHAHAD-EHIERS. 2006. Eggs fertility and biological aspects of the life cycle in natural populations of *Simulium* (Diptera, Simuliidae). *Brazilian archives of Biology and Technology*. 49(5):799-805.

- PINILLA, G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 63 pp.
- PINILLA, G. A. 2016. Algunas experiencias en el uso de índices limnológicos en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 21(1Supl), 241.
- PINILLA, G. A., COY, J. D., & L. V. MORA. 2010. Índice de estado limnológico (IEL) para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del Canal del Dique. *Acta Biológica Colombiana*, 15(2), 169.
- PINTO, N. R. 2004. Phylogenetic analysis of *Gigantodax* (Diptera: Simuliidae). Tesis. Universidad industrial de Santander. Facultad de Ciencias, escuela de Biología. Bucaramanga. 75pp.
- PRAMUAL, P. & P. H. ADLER. 2014. DNA barcoding of tropical black flies (Diptera: Simuliidae) of Thailand. *Molecular Ecology Resources*, 14(2), 262-271.
- PRAMUAL, P., THAIJAREM, J., WONGPAKAM, K. 2016. DNA barcoding of human-biting black flies (Diptera: Simuliidae) in Thailand. *Acta Tropica*. 164:33-40.
- PRAMUAL, P., WONGPAKAM, K., & P. H. ADLER. 2010. Cryptic biodiversity and phylogenetic relationships revealed by DNA barcoding of Oriental black flies in the subgenus *Gomphostilbia* (Diptera: Simuliidae). *Genome*, 54(1), 1-9.
- PRAMUAL, P., WONGPAKAN, K., & P. H. ADLER. 2011. Cryptic biodiversity and phylogenetic relationships revealed by DNA barcoding of Oriental black flies in the subgenus *Gomphostilbia* (Diptera: Simuliidae). *Genome* 54:1-9.
- PRAT, N., RÍOS, B., ACOSTA, R., & M. RIERADEVALL. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En: *Macroinvertebrados Sudamericanos: Sistemática y Biología* (Eds.) H.R. Fernández y E. Domínguez. Fundación Miguel Lilo, Tucumán, Argentina, pp. 656.
- RAMÍREZ GONZÁLEZ, A., & G. VIÑA VIZCAÍNO. 1998. *Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- RAO, C. R. 1964. The use and interpretation of principal component analysis in applied research. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A*, 329-358.
- RIVERA CASTILLO, J. M. 2008. Utility of the cytochrome oxidase I (COI) for species identification and phylogeographic analysis in black flies Diptera: Simuliidae) (Doctoral dissertation, MSc Thesis, Toronto).

- RIVERA, J. & D. C. CURRIE. 2009. Identification of Nearctic black flies using DNA barcodes (Diptera: Simuliidae). *Molecular Ecology Resources*, 9(s1), 224-236.
- RODRÍGUEZ-BARRIOS, J., OSPINA-TORRES, R., GUTIÉRREZ, J. D., & H. OVALLE. 2007. Densidad y biomasa de macroinvertebrados acuáticos derivantes en una quebrada tropical de montaña (Bogotá, Colombia). *Caldasia*, 29(2), 397-412.
- RODRÍGUEZ-ERASO N., PABÓN-CAICEDO J.D., BERNAL-SUÁREZ N.R. & MARTÍNEZ-COLLANTES J. 2010. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, D. C., Colombia. 80 p.
- ROLDÁN, G, 1992. "Fundamentos de limnología neotropical, Medellín. Editorial Universidad de Antioquia, 529 p.
- ROLDÁN, G. & J. RAMÍREZ. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. 2ª edición. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín. 440 p
- ROLDÁN, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, uso del método BMWP/Col. Edit. Universidad de Antioquia. p 170
- ROLDÁN, G., J. POSADA & J. GUTIÉRREZ. 2001. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. *Revista Academia Colombiana Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. Colección Jorge Álvarez Lleras N° 9. 152p.
- ROSENBERG, D.M. & V.H. RESH. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman Hall Publ. p. 488
- ROSENBERG, D.M. & V.H. RESH. 1996. Use of aquatic insects in biomonitoring. In: Merritt R.W., Cummins W.K. (Eds.). *Aquatic insects of North American*. 3ª ed. Kendall / Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa. pp. 87-97.
- ROTHFELS, K.H. & R. W. DUNBAR. 1953. The salivary gland chromosomes of the black fly *Simulium vittatum* Zett. *Canadian Journal of Zoology* 31: 226–241.
- ROZO, D.R. 2013. Caracterización citogenética de *Gigantodax paramorum* Wygodzinsky y Coscarón 1989 (Diptera: Simuliidae) presente en la Quebrada La Vieja de la ciudad de Bogotá. M. Sc. thesis. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. 64 pp.
- SABROSKY, C. W. 1957. On mounting Diptera from fluid. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 3(1), 38-38.
- SAGASTIZADO, M.E. 2001. Impacto del uso de la tierra en la calidad del agua en la cuenca del Río Talnique, El Salvador. Tesis de grado CATIE.

- SAMBONI RUIZ, N. E., CARVAJAL ESCOBAR, Y. & J. C. ESCOBAR. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*; Vol. 27, núm. 3 (2007); 172-181 *Ingeniería e Investigación*; Vol. 27, núm. 3 (2007); 172-181 2248-8723 0120-5609.
- SHELLEY, A. J., HERNÁNDEZ, L. M., MAIA-HERZOG, M., LUNA DIAS, A. P. A., & P.R. GARRITANO. 2010. The blackflies (Diptera: Simuliidae) of Brazil. *Aquatic Biodiversity in Latin America*, 6, 821. By Luis M. Hernández, The Natural History Museum; 20.April.2010. <http://blackflies.info/content/key-references-simuliidae>.
- SMITH, M. A., N. E. WOODLEY, D. H. JANZEN, W. HALLWACHS, & P. D. N. HEBERT. 2006. DNA barcodes reveal cryptic host-specificity within the presumed polyphagous members of a genus of parasitoid flies (Diptera: Tachinidae). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 3657-3662.
- TAMURA, K., PETERSON, D., PETERSON, N., STECHER, G., NEI, M., & S. KUMAR. 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular biology and evolution*, 28(10), 2731-2739.
- THOMPSON, J. D. & T. J. GIBSON. 2000. Clustal X. Multiple Sequence Alignment Program. Version 1.81
- TOLKAMP, H.H. & J.P. GARDENIERS. 1988. The development of biological water quality assessment in the Netherlands. *Hydrobiological Bulletin*. 22:87-91
- TOMANOVA, S. & P. USSEGLIO-POLATERA. 2007. Patterns of benthic community traits in neotropical streams: relationships to mesoscale spatial variability. *Fundamental and Applied Limnology* 170: 243–255.
- TOMANOVA, S., E. GOITIA & J. HELEŠIĆ. 2006. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 556:251-264.
- UNESCO, WHO. 1978. Water Quality Surveys. Studies and reports in hydrology. Paris.
- VAN DER HAMMEN, T. & G. J. OTERO. 2007. Los páramos: archipiélagos terrestres en el norte de los Andes. M. Morales et al., Atlas de páramos de Colombia. Bogotá. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. En. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, y

- Morales, M. R. (2007). Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- VAN HELMOND, C.A. & R.M. BREUKEL. 1997. Physico-chemical water quality indices. En: Ottens JJ, Claessen FAM, Stoks PG, Timmerman JG, Ward RC (Edits). Monitoring, tailormade II. Proceedings of an International workshop on information strategies in water management, Nunspeet, The Netherlands. pp. 475-479.
- VARGAS, J.P. 2003. Análisis de un bosque altoandino con énfasis en la precipitación del mantillo: quebrada La Vieja, Bogotá Colombia. Tesis en Biología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.
- VAZQUEZ, G., CASTRO, G., GONZALEZ, I., PEREZ, R. & T. CASTRO. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. ContactoS 60, 41 – 48. EN: Castro-Roa, D. 2009. Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales de Bogotá. Trabajo de investigación de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- VOCKEROTH, J. R. 1966. A method of mounting insects from alcohol. The Canadian Entomologist, 98(01), 69-70. DOI: <https://doi.org/10.4039/Ent9869-1>
- WEBB, T.J., NOBLE, D. & R. P. FRECKLETON. 2007. Abundance-occupancy dynamics in a human dominated environment: linking interspecific and intraspecific trends in British farmland and woodland birds. Journal of Animal Ecology, 7, 123–134.
- WETZEL R.G. 1981. Limnología. Omega, Barcelona. 679 pp.
- WETZEL, R. 2001. Fundamental processes within natural and constructed wetland ecosystems: short-term versus long-term objectives. Wetland Systems for Water Pollution Control 2000 44(11-12): 1–8.
- WOLFF, M. I., MIRANDA-ESQUIVEL, D. R. & L. I. MONCADA-ALVAREZ. 2016. Family Simuliidae. Zootaxa, 4122(1), 154-177.
- WYGODZINSKY, P. & S. COSCARÓN. 1982. Description of three unusual species of the black fly subgenus Simulium (Ectemnaspis) from the Andes of Colombia (Diptera: Simuliidae). Am Mus. Novitates, (2736): 1-13.
- WYGODZINSKY, P. 1973. A black fly of the suggenus Simulium (Psaronicompsa) from the high Andes of Colombia. Am Mus. Novitates, (2513): 1-11.
- ZIMMERMANN, J., VOSS, H., SCHWAGER, C., STEGEMANN, J. & W. ANSORGE. 1988. Automated Sanger dideoxy sequencing reaction protocol. FEBS letters, 233(2), 432-436.

Referencias de Internet

- <http://www.embl.org/>
- <http://www.macrogen.com/eng/>
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>
- <https://www.civico.com/lugar/quebrada-la-vieja-bogota-1>. (n.d.). Quebrada La Vieja _ Parques _ Las Acacias _ Chapinero _ Bogotá. 22/01/2017
- http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx#_ftn1. 28/04/2017
- http://www.simulidos.cl/?page_id=40. 22/01/2017