

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas



TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA

“Modelos estadísticos para predecir la presencia de organismos bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del río Guayas”

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

Presentado por:

JAIR ISRAEL VILLO GÓMEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de seguir por el buen camino, logrando una meta más mi vida.

A mi abuelita Martha que me apoyo a lo largo de este camino lleno de obstáculos que con su sabiduría me inspira a no rendirme y seguir cumpliendo mis ambiciones, a mis tías Gina, Taly, Lourdes y Aty que con su apoyo incondicional me enseñaron lo desafiante y hermoso que es la vida, a mi tío Julio que es como un padre me supo guiar a lo largo de mi vida universitaria llevándome por el buen camino, a mis primos y mis demás familiares que dieron su granito de arena para que pueda avanzar con consejos y su apoyo en los momentos difíciles a lo largo de mi vida.

A mis compañeros y amigos que fueron un pilar fundamental tanto dentro como fuera de la universidad, adquiriendo experiencias únicas e imborrables.

A todos los profesores que a lo largo de mi vida estudiantil han sabido guiarme y encaminarme con sus conocimientos, en especial al Ph.D. Luis Domínguez y Ph.D. Francisco Vera quienes me apoyaron a lo largo de este proyecto de graduación de forma minuciosa con críticas constructivas.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, a mi mama Patricia y a mi abuelito Julio que desde el cielo me están guiando y protegiendo en todo aspecto de mi vida. A mi familia y amigos por ser un apoyo constante.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Ph.D. Luis Domínguez

DIRECTOR

.....
Ph.D. Francisco Vera

DIRECTOR

.....
M.sc. Pamela Crow

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora, corresponde exclusivamente a:

Jair Israel Villao Gómez

Y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

.....
Jair Israel Villao Gómez

RESUMEN

Se ha observado un incremento en la contaminación en los distintos cuerpos de agua en el mundo, en nuestro país la cuenca del río Guayas es catalogada la central hidrográfica más importante de América Latina siendo una fuente de biodiversidad biológica, a pesar de sus recursos naturales se ha visto afectada por la contaminación tanto de industrias como contaminantes producidas por las residencias humanas.

Se propuso analizar ciertos organismos bioindicadores de calidad de agua por el motivo de que unos son sensibles y otros tolerantes a la contaminación, los organismos de nuestro estudio fueron: Baetidae, Chironomidae e Hydropsychidae, por ello al encontrarse un tipo de organismo tolerante en un sector se dirá que esta zona está potencialmente contaminada, realizando modelos logísticos aditivos generalizados para predecir la ausencia y presencia de estos organismos en las diferentes zonas de muestreo procediendo al análisis de cada uno.

Se determinó que turbidez, temperatura, total nitrógeno, total de sólidos disueltos, así como el uso del suelo, variación del flujo, limo y arcilla-adoquín afectan en la presencia y ausencia de estos organismos. A un valor bajo de nitrógeno, mayor es la probabilidad de presencia de Baetidae, al aumentar los sólidos disueltos aumenta la probabilidad de que aparezca Chironomidae y a menor temperatura, velocidad de corriente y total nitrógeno mayor es la probabilidad de presencia de Hydropsychidae.

En las zonas por debajo al río Daule se encuentra mayor presencia de Chironomidae, esto indica contaminación en estos sectores.

Palabras Clave: Cuenca del río Guayas, organismos macro invertebrados, modelos aditivos generalizados, GAM en R.

ABSTRACT

There has been an increase in pollution in the different bodies of water in the world. In our country, the Guayas river basin is classified as the most important hydrographic center in Latin America, being a source of biological biodiversity, despite its natural resources. Has been affected by contamination of both industries and pollutants produced by human residences.

It was proposed to analyze certain bioindicators organisms of water quality for the reason that they are sensitive and others tolerant to the contamination, the organisms of our study were: Baetidae, Chironomidae and Hydropsychidae, for that reason when finding a type of tolerant organism in a sector Will say that this area is potentially contaminated, making generalized logistic additive models to predict the absence and presence of these organisms in the different sampling areas proceeding to the analysis of each.

It was determined that turbidity, temperature, total nitrogen, total dissolved solids, as well as soil use, flow variation, silt and cob-clay affect in the presence and absence of these organisms. At a lower nitrogen value, the higher the probability of Baetidae, the higher the dissolved solids increase the probability of Chironomidae, and the lower the temperature, current velocity and total nitrogen, the greater the probability of Hydropsychidae.

In the areas below the Daule river there is a greater presence of Chironomidae, this indicates contamination in these sectors.

Keywords: Guayas river basin, macroinvertebrate organisms, generalized additive models, GAM in R.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ABREVIATURAS	v
SIMBOLOGIA.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del Problema	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Área de estudio	2
1.4 Organismos macro invertebrados	3
1.5 Justificación	5
1.6 Objetivos	5
1.6.1 Objetivo General	5
1.6.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO 2	6
2. METODOLOGÍA	6
2.1 Recolección de los datos	6
2.2 Estadísticas descriptivas	8
2.2.1 Media muestral.....	8
2.2.2 Mediana muestral.....	8
2.2.3 Moda	8
2.2.4 Varianza y Desviación estándar muestral.....	8
2.2.5 Cuartiles	9
2.2.6 Histograma.....	9
2.2.7 Gráfica de barras.....	9
2.2.8 Diagrama de cajas	10
2.3 Modelo Aditivo Generalizado (GAM).....	11
CAPÍTULO 3	16
3. ANALISIS ESTADISTICO	16
3.1 Estadísticas descriptivas uni-variada.....	16

3.1.1 Organismos macro-invertebrados.....	16
3.1.2 Temperatura.....	18
3.1.3 Turbiedad.....	19
3.1.4 Total de solidos disueltos.....	20
3.1.5 Total Nitrógeno.....	21
3.1.6 Velocidad.....	22
Tabla 7: Estadísticas descriptivas Velocidad.....	22
3.1.7 Variación del flujo.....	23
3.1.8 Uso del suelo (Google).....	24
3.1.9 Adoquín.....	25
3.1.9 Limo y arcilla.....	26
3.2 Estadísticas descriptivas bi-variada.....	27
3.2.1 Comparación entre Organismos y Temperatura.....	27
3.2.2 Comparación entre Organismos y Turbiedad.....	28
3.2.3 Comparación entre Organismos y Total de solidos disueltos.....	30
3.2.4 Comparación entre Organismos y Total Nitrógeno.....	31
3.2.5 Comparación entre Organismos y Velocidad.....	33
3.2.6 Comparación entre Organismos y Variación del flujo.....	34
3.2.7 Comparación entre Organismos y Uso del suelo (Google).....	36
3.2.8 Comparación entre Organismos y Adoquín.....	37
3.2.9 Comparación entre Organismos frente Limo y arcilla.....	39
3.3 Estadística especializada.....	41
3.3.1 Modelo logístico de aditivo generalizado para Baetidae.....	41
3.3.2 Modelo logístico de aditivo generalizado para Chironomidae.....	45
3.3.3 Modelo logístico de aditivo generalizado para Hydropsychidae.....	50
CAPÍTULO 4.....	55
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	55
4.1 Conclusiones.....	55
4.2 Recomendaciones.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GAM	Modelos Aditivos Generalizados
AIC	Criterio de Información Aikake
FTU	Unidad Formalina de Turbidez
NTU	Unidad Nefelometría de Turbidez
TDS	Total de Sólidos Disueltos
OD	Oxígeno Disuelto
COD	Demanda Química de Oxígeno

SIMBOLOGIA

ph	Potencial de Hidrogeno
P	Fosforo
N	Nitrógeno
NO ₃ N	Cantidad de nitrógeno en los nitratos
NO ₂ N	Cantidad de nitrógeno en los nitritos
NH ₄ N	Amonio
m	Metro
mg	Miligramo
g	Gramo
l	Litro
s	Segundo
°C	Grados centígrados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Baetidae	3
Figura 1.2: Chironomidae	4
Figura 1.3: Hydropsychidae.....	4
Figura 2.1: Mapa mostrando los 120 sectores de muestreo	6
Figura 2.2: Representación del diagrama de cajas.....	10
Figura 3.1: Gráfico de barras Baetidae.....	16
Figura 3.2: Gráfico de barras Chironomidae.....	17
Figura 3.3: Gráfico de barras Hydropsychidae	17
Figura 3.4: Diagrama de cajas Temperatura	18
Figura 3.5: Histograma Temperatura.....	18
Figura 3.7: Histograma Turbidez	19
Figura 3.6: Diagrama de cajas Turbidez.....	19
Figura 3.9: Histograma Total de solidos disueltos	20
Figura 3.8: Diagrama de cajas Total de solidos disueltos	20
Figura 3.11: Histograma Total nitrógeno	21
Figura 3.10: Diagrama de cajas Total nitrógeno	21
Figura 3.13: Histograma Velocidad	22
Figura 3.12: Diagrama de cajas Velocidad	22
Figura 3.14: Gráfico de barras Variación del flujo.....	23
Figura 3.15: Gráfico de barras Uso del suelo	24
Figura 3.16: Gráfico de barras Adoquín.....	25
Figura 3.17: Gráfico de barras Limo y arcilla	26
Figura 3.18: Gráfica de barras comparativas entre.....	27
Baetidae y Temperatura.....	27
Figura 3.19: Gráfica de barras comparativas entre.....	27
Chironomidae y Temperatura.....	27
Figura 3.20: Gráfica de barras comparativas entre.....	28
Hydropsychidae y Temperatura.....	28
Figura 3.21: Gráfica de barras comparativas entre.....	28
Baetidae y Turbiedad	28
Figura 3.22: Gráfica de barras comparativas entre.....	29
Chironomidae y Turbiedad	29
Figura 3.23: Gráfica de barras comparativas entre.....	29
Hydropsychidae y Turbiedad.....	29
Figura 3.24: Gráfica de barras comparativas entre.....	30
Baetidae y Total de solidos disueltos	30
Figura 3.25: Gráfica de barras comparativas entre.....	30
Chironomidae y Total de solidos disueltos	30
Figura 3.26: Gráfica de barras comparativas entre.....	31
Hydropsychidae y Total de solidos disueltos	31
Figura 3.27: Gráfica de barras comparativas entre.....	31
Baetidae y Total Nitrógeno	31
Figura 3.28: Gráfica de barras comparativas entre.....	32
Chironomidae y Total Nitrógeno	32
Figura 3.29: Gráfica de barras comparativas entre.....	32

Hydropsychidae y Total Nitrógeno.....	32
Figura 3.30: Gráfica de barras comparativas entre.....	33
Baetidae y Velocidad.....	33
Figura 3.31: Gráfica de barras comparativas entre.....	33
Chironomidae y Velocidad.....	33
Figura 3.32: Gráfica de barras comparativas entre.....	34
Hydropsychidae y Velocidad	34
Figura 3.33: Gráfica de barras comparativas entre.....	34
Baetidae y Variación del flujo	34
Figura 3.34: Gráfica de barras comparativas entre.....	35
Chironomidae y Velocidad.....	35
Figura 3.35: Gráfica de barras comparativas entre.....	35
Hydropsychidae y Variación del flujo.....	35
Figura 3.36: Gráfica de barras comparativas entre.....	36
Baetidae y Uso del suelo (Google)	36
Figura 3.37: Gráfica de barras comparativas entre.....	36
Chironomidae y Uso del suelo (Google)	36
Figura 3.38: Gráfica de barras comparativas entre.....	37
Hydropsychidae vs Uso del suelo (Google).....	37
Figura 3.39: Gráfica de barras comparativas entre.....	37
Baetidae y Adoquín	37
Figura 3.40: Gráfica de barras comparativas entre.....	38
Chironomidae y Adoquín	38
Figura 3.41: Gráfica de barras comparativas entre.....	38
Hydropsychidae y Adoquín.....	38
Figura 3.42: Gráfica de barras comparativas entre.....	39
Baetidae frente Limo y arcilla	39
Figura 3.43: Gráfica de barras comparativas entre.....	39
Chironomidae frente Limo y arcilla	39
Figura 3.44: Gráfica de barras comparativas.....	40
Hydropsychidae frente Limo y arcilla	40
Figura 3.45: Función de suavizado relacionando la presencia de Baetidae con la variable total nitrógeno.	42
Figura 3.46: Pruebas de bondad de ajuste de la variable explicativa del modelo Baetidae	43
Figura 3.47: Mapa de probabilidad de presencia en los puntos de muestreo de Baetidae	44
Figura 3.48: Mapa de error Baetidae.....	44
Figura 3.49: Funciones de suavizado relacionando la presencia de Chironomidae con las variables predictoras.	47
Figura 3.50: Pruebas de bondad de ajuste de la variable explicativa del modelo Chironomidae.....	47
Figura 3.51: Mapa de probabilidad de presencia en los puntos de muestreo de Chironomidae.....	48
Figura 3.52: Mapa de error Chironomidae	49
Figura 3.53: Funciones de suavizado relacionando la presencia de Hydropsychidae con las variables predictoras.	52

Figura 3.54: Pruebas de bondad de ajuste de la variable explicativa del modelo Hydropsychidae	52
Figura 3.55: Mapa de probabilidad de presencia en los puntos de muestreo de Hydropsychidae	53
Figura 3.56: Mapa de error Hydropsychidae.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Medición de variables	7
Tabla 2: Variables de estudio	14
Tabla 3: Estadísticas descriptivas Temperatura	18
Tabla 4: Estadísticas descriptivas Turbidez	19
Tabla 5: Estadísticas descriptivas Total de sólidos disueltos.....	20
Tabla 6: Estadísticas descriptivas Total nitrógeno.....	21
Tabla 7: Estadísticas descriptivas Velocidad.....	22
Tabla 8: Selección de las variables predictoras Baetidae	42
Tabla 9: Resumen del modelo Baetidae	42
Tabla 10: Coeficientes del modelo Baetidae	53
Tabla 11: Tabla de confusión Baetidae	45
Tabla 12: Selección de las variables predictoras Chironomidae	42
Tabla 13: Resumen del modelo Chironomidae.....	42
Tabla 14: Coeficientes del modelo Chironomidae	53
Tabla 15: Tabla de confusión Chironomidae	45
Tabla 16: Selección de las variables predictoras Hydropsychidae.....	42
Tabla 17: Resumen del modelo Hydropsychidae	51
Tabla 18: Coeficientes del modelo Hydropsychidae	53

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del Problema

A lo largo de los años se ha incrementado la contaminación en los diversos cuerpos de agua superficiales, tanto en ríos como en los océanos del mundo, por lo cual las organizaciones internacionales como la Convención de las Naciones Unidas, sobre el derecho del mar definió la contaminación del medio marino como:

La introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía en el medio marino incluidos los estuarios, que produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana (Naciones unidas, Art. 1.4, 1970).

Por ende, es necesario analizar lo que ocurre en el medio marino ecuatoriano para tener una perspectiva clara y proyectar soluciones que beneficien a la población e indirectamente a la economía del país.

En el contexto hidrográfico ecuatoriano, la cuenca del río Guayas es la más importante de la costa del Pacífico en América del Sur, posee una gran capacidad de producción agrícola, generando recursos para el país. A pesar de su valor natural se ha visto afectada por la contaminación de actividades humanas tanto productivas como de ocio, por ello el proyecto se propone analizar la presencia de tres organismos, uno de ellos es sensible a la contaminación y los otros dos presentan tolerancia ante esta.

A partir del modelado de las variables significativas, que impactan a la presencia de los organismos estudiados en las diferentes zonas de la cuenca del río Guayas, se determinaron los sectores en donde hay contaminación.

1.2 Antecedentes

El ser humano a medida que obtiene poder sobre el ecosistema en el que vive, lo adapta y modifica según sus necesidades. Las constantes necesidades del hombre, el crecimiento demográfico, los cultivos intensivos la industrialización, entre otros han provocado impactos negativos sobre la calidad ambiental, esta circunstancia ha conducido al estudio de las causas de las alteraciones del medio ambiente en que vivimos.

El agua que es un componente clave en las actividades humanas exige el estudio permanente de su calidad, tanto de sus características químicas, físicas y biológicas. Es necesario precisar que “la calidad del agua de los ríos y lagos por lo general se encuentra relacionada con la utilización del suelo, procesos industriales y la población” (Universidad Agraria del Ecuador, 2009).

Las industrias ecuatorianas tienen la obligación de tratar sus desechos líquidos antes de verterlas al río u océanos, pero algunos no cumplen con la ley; otro contaminante son los desechos domésticos, que en muchos ocurre por la falta de la recolección sistemática de estos y son arrojados al río, esto ha provocado la alteración de los ecosistemas marinos, como aparición de enfermedades y de organismos Macro-invertebrados.

Los estudios previos sobre macro-invertebrados para analizar la calidad del agua en la cuenca del río Guayas, se han basado sus análisis en zonas húmedas, otros estudios se elaboraron para determinar indicadores de calidad de agua en base a estos organismos (Ambarita, 2013).

1.3 Área de estudio

La cuenca del río Guayas tiene una extensión aproximada de 34500 km^2 , con 1662 mm de precipitación media anual, se ubica entre las provincias de Guayas, Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Chimborazo, Santo Domingo, Manabí y Los Ríos. “El área de la cuenca corresponde aproximadamente al 13% del territorio Nacional”. La cuenca “está conformada por 7 sub-cuencas, nacen al occidente de las Cordillera de los Andes y en la

vertiente oriental de la Cordillera Chongón-Colonche conformados por los ríos Daule y Babahoyo, los cuales unen sus caudales dando origen al río Guayas” (como se citó en Modelización Hidrológica de un área experimental en la Cuenca del Río Guayas, Cap3, s.f.).

1.4 Organismos macro invertebrados

Los organismos macro invertebrados carecen de columna vertebral y viven en los diferentes habitats acuáticos, los insectos, crustáceos, entre otros conforman este grupo. “Estos organismos se han convertido en grupos biológicos usados frecuentemente para determinar la calidad del agua” (como se citó en Cárdenas M., 2013).

Los macro-invertebrados acuáticos, en su mayoría habitan en el fondo del lago o río siendo afectados por la variación de la calidad ambiental en el sistema acuático. Son visibles a simple vista por lo que son fáciles de muestrear, se caracterizan por ser sedentarios. Algunos de ellos son sensibles a la contaminación siendo excelentes bio-indicadores de calidad ambiental.

Para el proyecto se estudiarán 3 organismos:

- ✓ Baetidae: Su tamaño varía entre 4 a 10 mm, la mayoría de las especies poseen largas alas delanteras (Flowers, 1985). Este organismo es sensible a la contaminación, ya que en lugares contaminados estos tienden a desaparecer.



Figura 1.1: Baetidae

Fuente: bugguide.net

- ✓ Chironomidae: Comúnmente se los conocen como mosquitos que no pican, ninguna especie se alimenta de sangre, delgados, de patas largas, sus larvas son alargadas y cilíndricas (EcuRed,2017). Organismos tolerantes a la contaminación, se encuentran presentes en zonas con contaminación baja, media y alta.



Figura 1.2: Chironomidae

Fuente: bugguide.net

- ✓ Hydropsychidae: Conocidos como hidropsíquidos de tamaño variado de 5 a 30 mm, variadamente coloreado dependiendo de la especie, las antenas son largas al igual que sus alas. Las larvas son fácilmente reconocibles por tener notos torácicos esclerotizados (Flint, 1978). Este organismo tolera bajos niveles de contaminación.



Figura 1.3: Hydropsychidae

Fuente: bugguide.net

1.5 Justificación

El cambio climático ha producido que los seres humanos se preocupen y concienticen por la naturaleza realizando estudios ambientales para determinar el impacto ambiental en ciertos sectores de interés.

La cuenca del río Guayas se ha visto afectada por la contaminación, por ende, se pretende analizar los factores biológicos y fisicoquímicos que afectan a la aparición de los organismos motivo de nuestro estudio, en los distintos sectores de la cuenca, que se encuentran en diferentes situaciones ambientales.

Antes los problemas de contaminación de fuentes de agua se ha incrementado el uso del análisis de regresión en los modelos ecológicos aplicando Modelos Aditivos Generalizados (GAM), desarrollando investigaciones enfocadas al estudio ambiental, ligadas a factores sociales, políticos y económicos, que ayudan a determinar la evolución de cada ecosistema. Una condición fundamental para la elaboración de los modelos es conocer y entender profundamente el problema para aplicar un método que logre predecir lo que ocurre en el ecosistema y posibilite la toma de decisiones de manera eficiente y sustentable.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Desarrollar Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para predecir la presencia de organismos bioindicadores de calidad del agua en la Cuenca del río Guayas.

1.6.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar las variables de calidad ambiental que influyen en la aparición de los organismos.
- ✓ Determinar la presencia o ausencia de los organismos mediante un modelo aditivo generalizado.
- ✓ Explorar datos para hallar lugares estratégicos en la cuenca del río Guayas con el fin de asegurar la calidad ambiental óptima.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Recolección de los datos

Las muestras se recogieron en 120 sectores desde el 23 de octubre hasta el 26 de noviembre de 2013 en la cuenca del río Guayas. En el embalse Daule-Peripa se ubicaron 32 sitios de muestreo y los restantes, dentro en la cuenca del río Guayas (Ambarita et al., 2016).

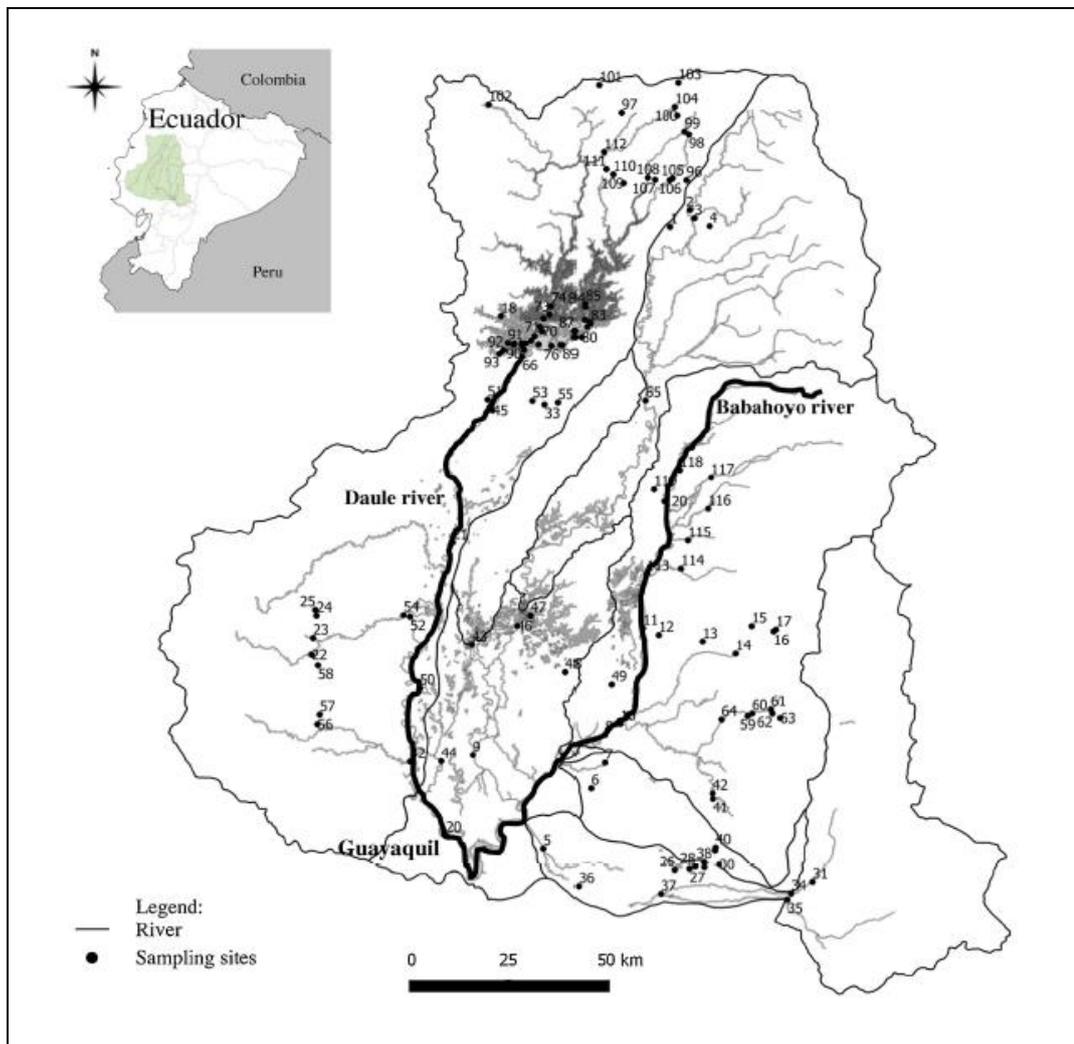


Figura 2.1: Mapa mostrando los 120 sectores de muestreo

Fuente: Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices (Ambarita et al.,2016

Como se muestra en la Tabla 1, se midieron diferentes tipos de variables, unas se midieron manualmente, en otras se utilizaron materiales como: sondas, cubetas, redes entre otras.

Tabla 1: Medición de variables

Variable	Medición
Temperatura, Conductividad, Total de solidos disueltos, pH, Clorofila, Cloruro, Oxígeno Disuelto (OD), Saturación de OD y Turbidez.	Se midieron en el lugar, utilizando dos sondas multiparámetro YSI 6920-V2. Las sondas contenían diferentes electrodos, el valor de cada variable se las observo cuando la lectura era estable.
Nitrógeno total, Fosforo total, Nitrato, Nitrito y Amonio	Se midieron fuera de las zonas de muestreo. Se tomaron muestras de agua de los diferentes sitios de muestreo, analizándolas en laboratorio con un espectrofotómetro
Profundidad	Se lo realizo de forma manual.
Elevación	Mediante el dispositivo Garmin GPSMap.
Velocidad del flujo	Método de flotación, con una longitud estándar de 5 m, se describe en el protocolo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2012)
Macro invertebrados	Método de kit-net estandarizada. El muestreo se llevó a cabo por 5 min.
Forma del valle, forma del canal, plantas acuáticas, sombra, capa de lodo, uso del suelo, entre otras.	Se las midió en el momento, un tramo aproximado entre 10-20 m. mediante un protocolo realizado para el muestreo.

Fuente: Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices (Ambarita et al.,2016).

Elaboración propia

2.2 Estadísticas descriptivas

2.2.1 Media muestral

De un conjunto de observaciones de una muestra con tamaño n , tomadas de una población, la media de la muestra \bar{x} se define: (Zurita, 2010).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

Este es el valor promedio de las observaciones de la variable analizada.

2.2.2 Mediana muestral

Sea un conjunto de observaciones con tamaño n ordenadas crecientemente, tomadas de una población, la mediana de la muestra \tilde{x} se define: (Zurita, 2010).

$$\text{Si } n \text{ es impar: } \tilde{x} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad (2.2)$$

$$\text{Si } n \text{ es par: } \tilde{x} = \frac{x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}}{2} \quad (2.3)$$

Este es el valor central de las observaciones ordenadas crecientemente de la variable analizada.

2.2.3 Moda

Sea un conjunto de observaciones con tamaño n tomada de una población de interés, la moda es el valor de la observación x_i que más se repite. Se dice que no existe valor de moda cuando no hay valores que se repiten (Zurita, 2010).

2.2.4 Varianza y Desviación estándar muestral

De un grupo de observaciones con tamaño n , tomadas de una población de interés, la varianza de la muestra s^2 se define:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.4)$$

La desviación estándar de la muestra s es la raíz cuadrada de la varianza, se define (Zurita, 2010):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

La varianza y la desviación estándar establece la variabilidad de los datos de la variable analizada. La desviación estándar establece dos límites: superior e inferior, con respecto al valor promedio que proporciona la media.

2.2.5 Cuartiles

Los cuartiles son números se dividen en grupos de aproximadamente igual cantidad de datos recogidos de un conjunto de observaciones de una muestra de tamaño n ordenada crecientemente.

En el primer cuartil, Q_1 , a la izquierda de este valor, se encuentran valores menores o iguales que corresponden un 25% de los datos. El segundo cuartil, Q_2 , igual a la mediana divide al grupo de datos en dos partes iguales, cada uno con el 50% de las observaciones. En el tercer cuartil, Q_3 , a la izquierda de este valor, se encuentran valores menores o iguales que corresponden al 75% de las observaciones (Zurita, 2010).

2.2.6 Histograma

Es una representación gráfica de una variable cuantitativa en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados ya sea en forma diferencial o acumulada, las mediciones se incluyen en una clase o intervalo previamente establecido. En el eje vertical se coloca las frecuencias de una variable y en el eje horizontal se establecen los intervalos (Zurita, 2010).

2.2.7 Gráfica de barras

Es una gráfica que se puede utilizar para contar y comparar la cantidad de observaciones que tienen los factores de una variable cualitativa, cada barra representa la magnitud de los valores (Soporte de Minitab 17, 2016).

2.2.8 Diagrama de cajas

Describe gráficamente el rango de los datos, el rango intercuartil, los valores extremos y la ubicación de los cuartiles, por lo tanto, es una herramienta útil para comparar grupos de datos. El rango intercuartil, $R.IC = Q_3 - Q_1$, nos permite determinar los límites en el gráfico $1.5(R.IC)$ por debajo de Q_1 y arriba de Q_3 , los valores que sobrepasen estos límites son considerados valores aberrantes o atípicos.

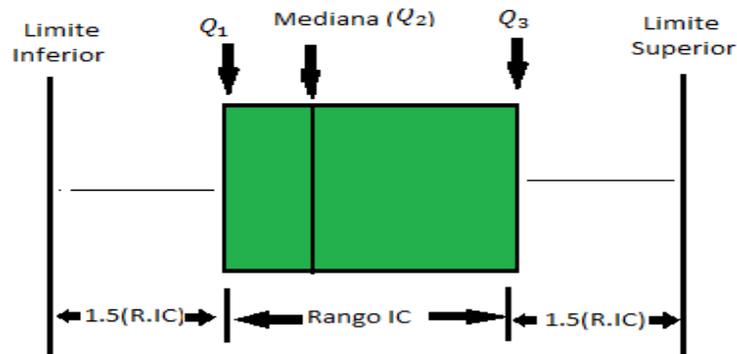


Figura 2.2: Representación del diagrama de cajas

Fuente: Estadística y Bioestadística

Elaboración propia

2.3 Modelo Aditivo Generalizado (GAM)

Un Modelo Aditivo Generalizado es una extensión de los modelos lineales generalizados, para el análisis de los datos se asumen errores normales incorporando la no linealidad de los datos y la regresión no paramétrica. Se determina los parámetros correspondientes a cada uno de las variables predictoras, x_i , sustituyendo la clásica $\sum \beta_i x_i$ de los modelos lineales por una suma de funciones $\sum f_i(x_i)$, cada una de las funciones, f_i , es estimada de manera flexible mostrando el efecto no lineal de la relación (Quintas, s.f).

El modelo de regresión múltiple se expresa de la siguiente manera:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + e \quad (2.6)$$

Para la construcción de un modelo aditivo, la ecuación anterior se sustituye por un modelo no lineal y no paramétrico:

$$y = f_0 + f_1(X_1) + f_2(X_2) + \dots + f_n(X_n) + e \quad (2.7)$$

Siendo:

y : variable respuesta

X_i : Variables explicativas; $i = 1, 2, \dots, n$

$f_i(X_i)$: funciones polinómicas por tramos de las variables explicativas.

f_0 : Intercepto

La forma de la función quedará determinada por los datos disponibles en cada variable explicativa y por un parámetro de suavizado que establece que tan cerca la función tiene que ajustar los datos.

2.3.1 Spline cúbico

Un spline cúbico es una curva construida por la unión de los extremos de las secciones de polinomios cúbicos, generando una función continua para determinar la función que mejor se ajusta a los datos.

Un problema es la elección de los nodos, la cual influye notablemente en el resultado, para esto se introduce un parámetro de suavizado λ , para minimizar la suma de los cuadrados de los errores incluyendo la curvatura de la función (Quintas, s.f):

$$\text{Min } \sum |f(x_i) - \hat{y}_i|^2 + \lambda \int \hat{f}(x_i) \quad (2.8)$$

Si λ es muy pequeño, se hace más importante el primer término de la expresión.

2.3.2 Modelo logístico de aditivos generalizados

El análisis de modelos logísticos es una técnica multivariada de uso predictivo que permite modelar la presencia o ausencia de un determinado evento, que será explicado a través de un conjunto de variables explicativas x_i de tipo cualitativa o cuantitativa, mientras que la variable "y" de respuesta será una variable binaria con dos posibles opciones opuestas entre sí (Sí-No, 0-1, Presencia-Ausencia, etc.).

$$y = \begin{cases} 1 & \text{con probabilidad } p(x) \\ 0 & \text{con probabilidad } 1 - p(x) \end{cases}$$

donde $x = (x_1, \dots, x_p)$ es un vector de covariables.

La idea básica es remplazar el predictor lineal por uno aditivo (Liu H, 2008):

$$\ln \left(\frac{p(x)}{1-p(x)} \right) = f_0 + \sum_{j=1}^p f_j(x_{ij}) \quad (2.9)$$

Por lo tanto, tendremos que:

$$p(x) = \frac{\exp(f_0 + \sum_{j=1}^p f_j(x_{ij}))}{1 + \exp(f_0 + \sum_{j=1}^p f_j(x_{ij}))} \quad (2.10)$$

La estimación en modelos logit se realiza mediante el método de Máxima Verosimilitud.

2.4 Criterio de Información Aikake (AIC)

La selección basada en modelos de mayor probabilidad es generalmente insatisfactoria, ya que el modelo con más parámetros siempre explica mejor la variable de interés (Simon, s.f). Para solucionar este problema, se utiliza el criterio de AIC el cual selecciona el mejor modelo en base al análisis de la pérdida de información, ya que ofrece.

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (2.11)$$

K: número de parámetros en el modelo

L: valor de la función de verosimilitud del modelo

El mejor modelo es el que tiene el menor AIC, ya que indicara una pérdida de información menor que el resto.

2.5 Validación cruzada k interacciones

Es un método de evaluación del modelo cuyo conjunto de datos se divide en k subconjuntos que se utilizarán como datos de prueba y los otros subconjuntos como datos de entrenamiento, este proceso se repetirá durante k interacciones (Schneider, 1997).

Se obtiene la media aritmética de los errores resultantes de las k interacciones según la fórmula:

$$E = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K E_i \quad (2.12)$$

La media aritmética se obtiene sumando todos los valores de los errores de las interacciones dividiéndolas para K, este sería nuestro valor de error del modelo (Gutiérrez, s.f).

2.6 Selección de los modelos.

En este proyecto se utilizaron diferentes técnicas para elegir las variables que influyen en la presencia de los organismos bioindicadores de calidad de agua motivo de nuestro estudio.

2.6.1 Variables utilizadas para el estudio

En la Tabla 2, se mencionan las variables que serán analizadas, para incluirlas o no en los modelos.

Tabla 2: Variables de estudio

Variables Explicativas			
Temperatura (°C)	Cantidad de Nitrógeno en los nitratos, NO ₃ N (mg/l)	Forma del canal	Forma de la ribera
Conductividad (μ S/cm)	Cantidad de Nitrógeno en los nitritos, NO ₂ N (mg/l)	Variación del ancho	Pendiente de la ribera
Total de Sólidos Disueltos, TDS (g/l)	Amonio, NH ₄ N (mg/l)	erosión	Compactación del yacimiento
pH	Velocidad corriente	Curvatura de la erosión	Matriz de sedimentos
Clorofila (μ g/l)	Elevación	Anchura de la erosión	Angularidad del sedimento
Anión cloruro, Cl (mg/l)	Tipo de corriente	Perfil de la ribera	Roca
Oxígeno Disuelto, DO (mg/l)	Principales usos del suelo	Variación del flujo	Adoquín
Oxígeno Disuelto Saturado, DO Sat (%)	Sombra	Capa de lodo	Arena
Turbiedad (FTU/NTU)	Abundancia de plantas acuáticas	Ramitas	Cascajo
Demanda Química de Oxígeno, COD (mg/l)	Platas acuáticas principales	Troncos	Limo y arcilla
Total Nitrógeno, N (mg/l)	Jacinto de agua (mala hierba)	Ramas	Tipo de sedimento principal
Total fósforo, P (mg/l)	Forma del valle	Charco	Uso de la tierra por Google

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia

2.6.2 Técnicas de selección

Para la selección de las variables que influyen en la presencia o ausencia de los organismos motivos de nuestro estudio, se empezó con el análisis de modelos que contengan una variable explicativa, es decir se realizó modelos logísticos aditivos con una sola variable de explicación:

$$\text{logit}(p(x)) = f_0 + f_i(x_i); i = 1, 2, \dots, n \quad (2.13)$$

Posteriormente se seleccionan los modelos en donde las variables son significativas, es decir, las variables que tengan un valor p menor a 0.10 luego se calcula el AIC de los diferentes modelos seleccionando el que tenga el menor valor. Luego, a ese modelo se le aumenta uno a uno las variables restantes formando nuevos modelos con 2 variables explicativas, se selecciona los modelos que contengan ambas variables significativas y se procede al cálculo del AIC, nuevamente seleccionando el menor valor.

Este procedimiento se realiza hasta que al aumentar variables al modelo ya no sean significativas, por lo tanto, se selecciona el último modelo que cumple con la significancia de las variables, con la menor pérdida de información.

Al analizar cada uno de los modelos seleccionados, se procede a elegir según el criterio del experto los modelos definitivos de cada organismo estudiado.

CAPÍTULO 3

3. ANALISIS ESTADISTICO

Se desarrollará el análisis de las variables esenciales mediante técnicas descriptivas, luego se explicarán los modelos resultantes de cada uno de los tres organismos macro-invertebrados usando GAM con sus respectivos gráficos y tablas.

Para realizar el análisis descriptivo, se utilizó los softwares: Minitab y Microsoft Excel luego se procedió a utilizar R studio para el análisis especializado en donde se utilizó paquetes como: mgcv, readxl, maps para los mapas de error entre otros.

3.1 Estadísticas descriptivas uni-variada

Se desarrolló las estadísticas de las variables más relevantes, aquellas que salieron significativas en los modelos y gráficas de los organismos utilizados para el proyecto.

3.1.1 Organismos macro-invertebrados

Se elaboró gráficos de barras para analizar la presencia y ausencia de cada organismo de estudio.

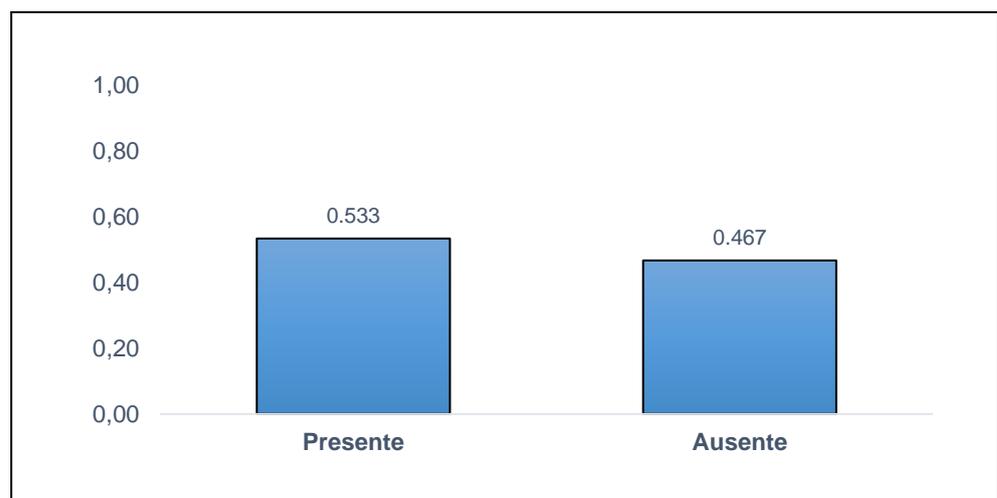


Figura 3.1: Gráfico de barras Baetidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

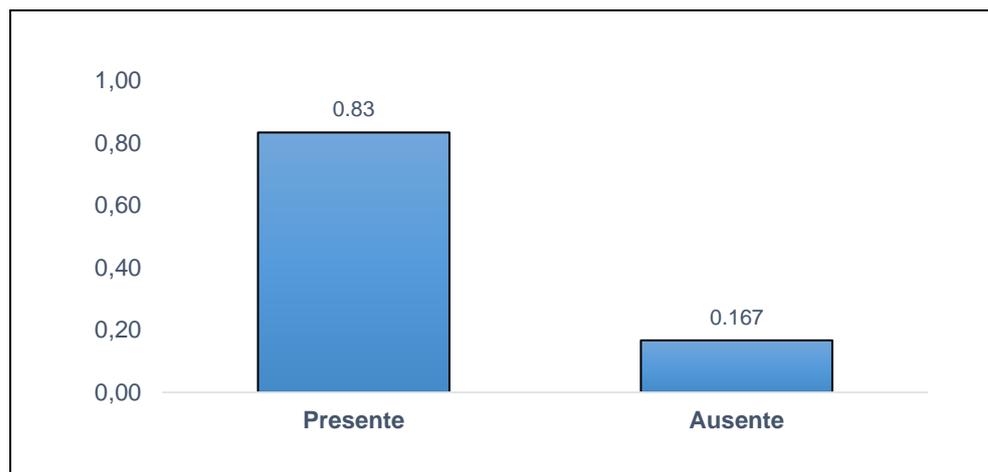


Figura 3.2: Gráfico de barras Chironomidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

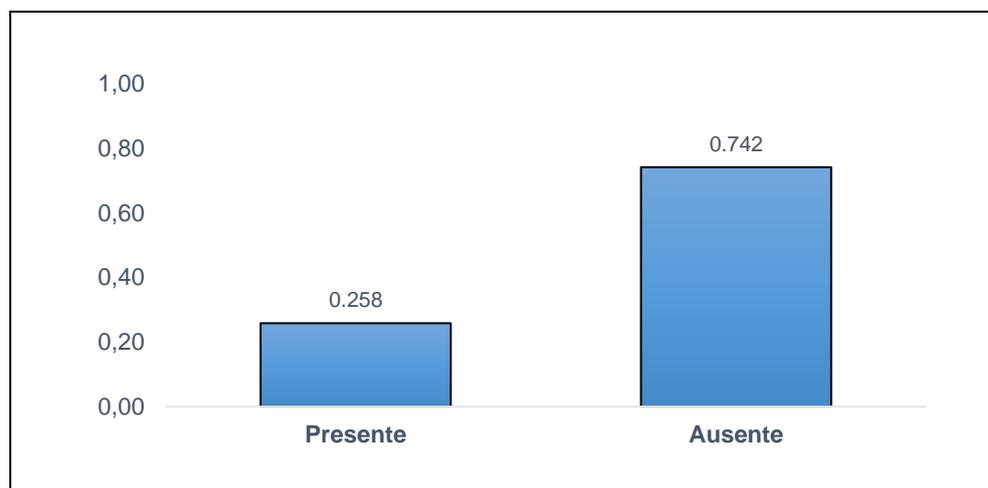


Figura 3.3: Gráfico de barras Hydropsychidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Al graficar el porcentaje de presencia de los organismos en las observaciones, determinamos que el organismo Baetidae aparece aproximadamente en la mitad de las zonas de muestreo (Figura 3.1) mientras que Chironomidae tiene mayor presencia ya que se encuentran en un 83% de estas (Figura 3.2) contrario a lo que sucede con Hydropsychidae, ya que este organismo está ausente en un 74% de los sitios de muestreo (Figura 3.3).

3.1.2 Temperatura

Tabla 3: Estadísticas descriptivas Temperatura

Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Moda
25.98	2.48	19.036	24.75	26.037	27.37	34	25.6433

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

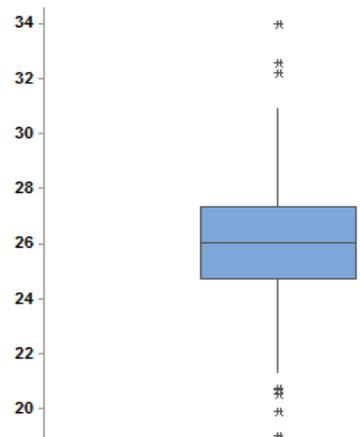


Figura 3.4: Diagrama de cajas Temperatura

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

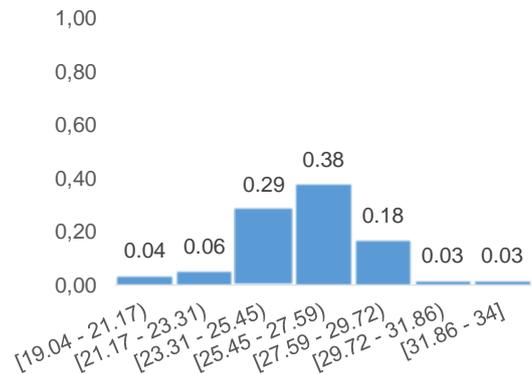


Figura 3.5: Histograma Temperatura

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

En la Tabla 3, se muestra las estadísticas básicas de la temperatura en grados centígrados donde el promedio en las zonas de muestreo es aproximadamente de 26°C con una variación de 2.48, la máxima temperatura registrada en las zonas fue de 34°C. El 38% de los sitios de muestreo tienen una temperatura entre 25 y 27°C mostrada en la Ilustración 3.5 y en la Tabla 3. Existen valores aberrantes (Figura 3.4) por debajo y encima del rango intercuartil.

3.1.3 Turbiedad

La turbiedad se mide en FTU/NTU donde NTU es Unidad nefelometría de turbiedad y FTU: Unidad formazina de turbiedad.

Tabla 4: Estadísticas descriptivas Turbiedad

Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Moda
9.82	35.09	0	1.37	3.38	6.05	355.63	0.825

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

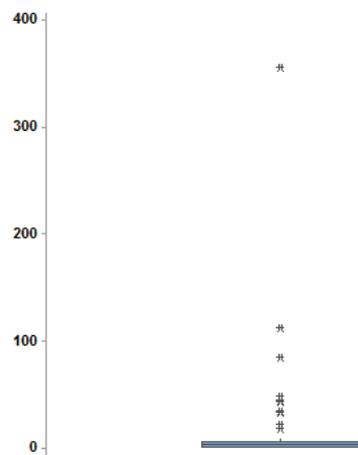


Figura 3.6: Diagrama de cajas Turbiedad

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

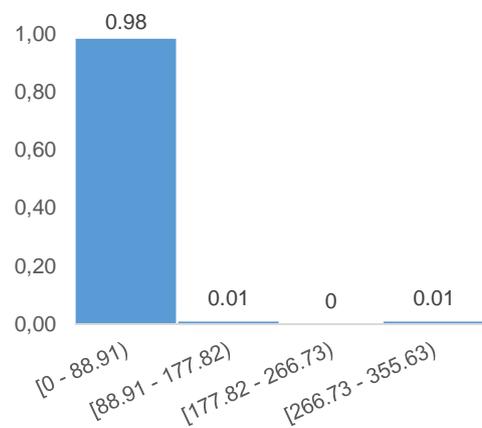


Figura 3.7: Histograma Turbiedad

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

La turbiedad mide la transparencia del agua determinando las partículas de suspensión, la zona de muestreo tiene una turbiedad promedio de 9.82 FTU/NTU con una variabilidad alta de 35, se determinó que el máximo valor de turbiedad en los puntos de muestreo fue de 355.63, esto es debido a los valores atípicos mostrados en la Ilustración 3.6. El 98% de los datos tienen una turbiedad máxima de 88.91 (Figura 3.7).

3.1.4 Total de solidos disueltos

Tabla 5: Estadísticas descriptivas Total de solidos disueltos

Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Moda
0.1276	0.1496	0.0450	0.0541	0.0811	0.1250	12.686	0.047

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

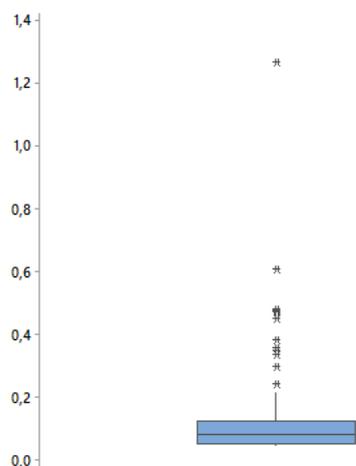


Figura 3.8: Diagrama de cajas Total de solidos disueltos

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.

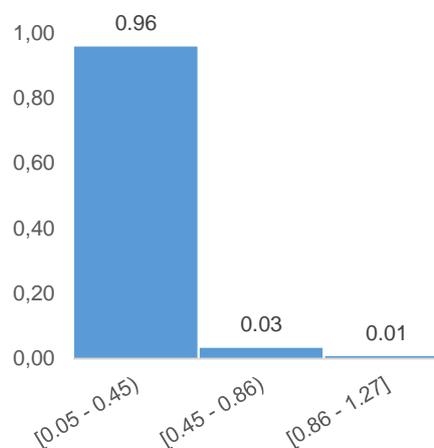


Figura 3.9: Histograma Total de solidos disueltos

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.

En promedio hay 0.128 g/l de sólidos disueltos, esto varía un 0.15 g/l aproximadamente, el máximo valor de sólidos disueltos en las zonas de muestreo es de 12.69 g/l, este es un valor atípico (Figura 3.8). El 96% de los valores se encuentran entre [0.05-0.45) lo que se muestra gráficamente en la Ilustración 3.9.

3.1.5 Total Nitrógeno

Tabla 6: Estadísticas descriptivas Total nitrógeno

Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Moda
1.12	0.65	0.93	1.00	1.00	1.00	7.65	1.00

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

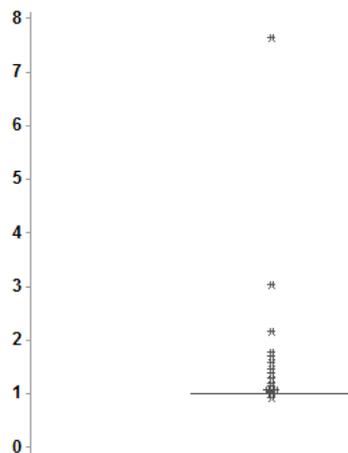


Figura 3.10: Diagrama de cajas Total nitrógeno

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.

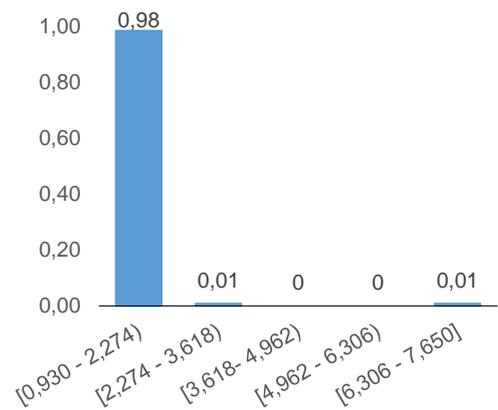


Figura 3.11: Histograma Total nitrógeno

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.

El 98% de las observaciones de nitrógeno encontrados en las zonas de muestreo no superan a 2.27 mg/l como se muestra en la Ilustración 3.11. Se encontraron valores no comunes o atípicos (Figura 3.10) como es el caso del máximo valor encontrado de 7.65 mg/l. El nitrógeno promedio es de 1.12 mg/l con desviación estándar de 0.65, los cuartiles determinan que los datos de nitrógeno en un 75% toman un valor de 1 mg/l (Tabla 6).

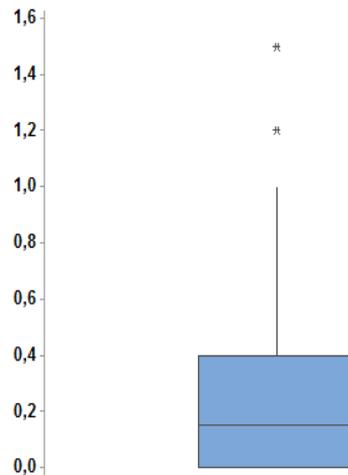
3.1.6 Velocidad

Tabla 7: Estadísticas descriptivas Velocidad

Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Moda
0.23	0.28	0	0	0.15	0.40	1.50	0

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.



**Figura 3.12: Diagrama de cajas
Velocidad**

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

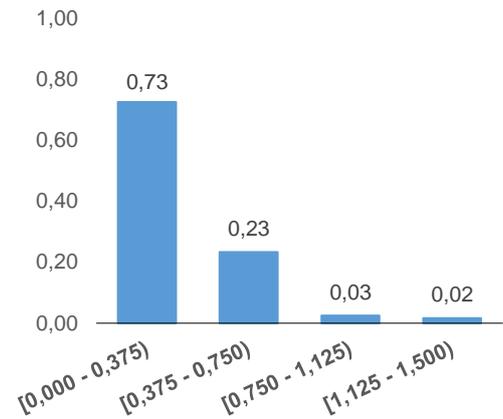


Figura 3.13: Histograma Velocidad

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

La Tabla 7 muestra que la velocidad promedio de la corriente es de 0.23 m/s variando en 0.28 m/s, la velocidad máxima alcanzada en las zonas de muestreo fue de 1.50 m/s siendo un valor poco común. El 73% de los datos de velocidad de la corriente están entre 0 y 0.375 m/s.

3.1.7 Variación del flujo

En los sectores de muestreo se observaron que existen diferentes variaciones del flujo clasificándolo en: Ausente, bajo, moderado, alto y debido a las construcciones o residencias humanas.

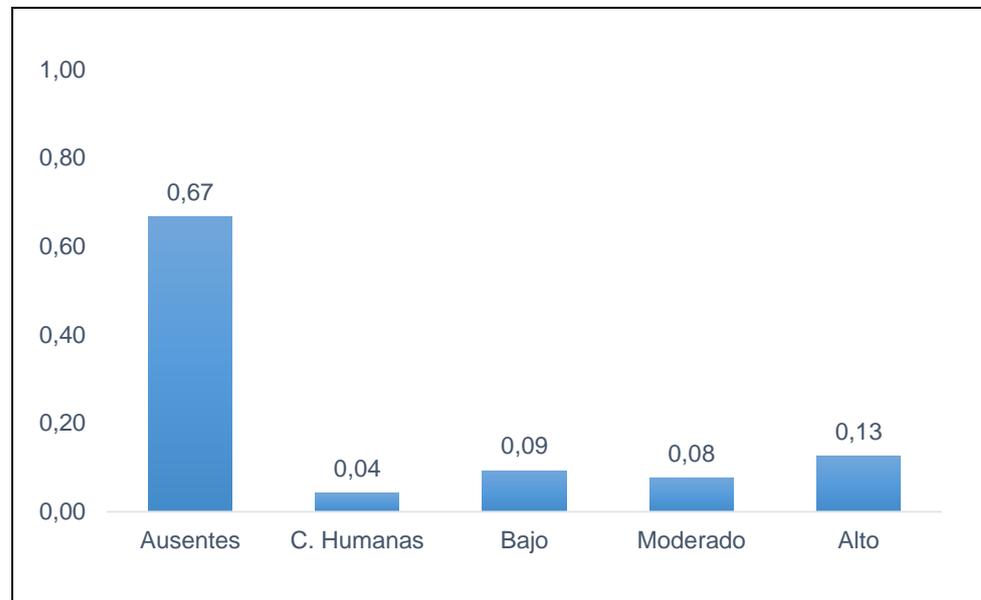


Figura 3.14: Gráfico de barras Variación del flujo

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

En el 67% de las zonas de muestreo no se encontraron variación del flujo del agua, sin embargo, se puede observar que existe una proporción baja del 13% cuya variación es alta.

3.1.8 Uso del suelo (Google)

El uso del suelo alrededor de los puntos de muestreo se determinó con la aplicación Google earth clasificándolas en cuatro categorías: Bosque, pasto, cultivo y urbano que es donde se encuentran residencias humanas.

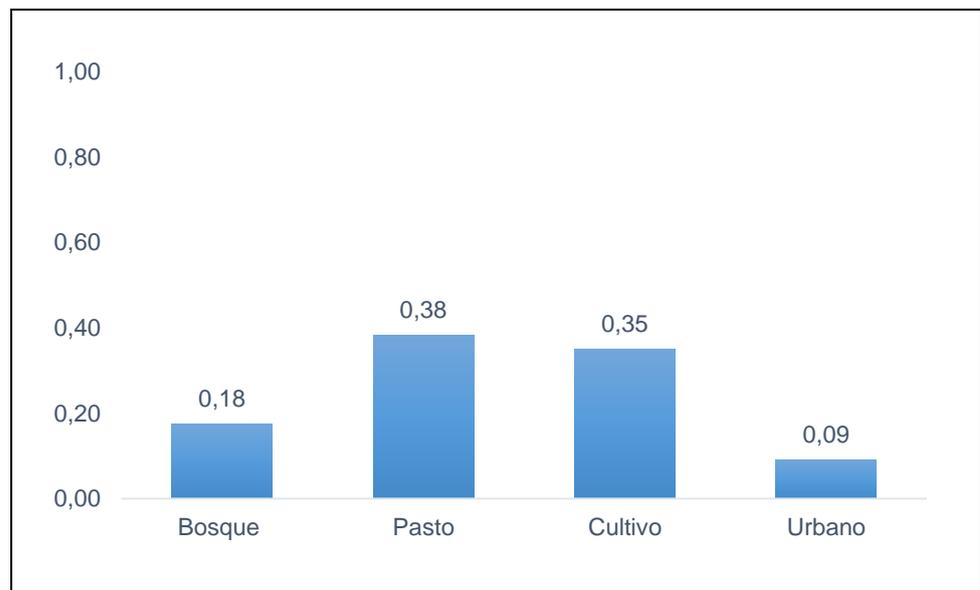


Figura 3.15: Gráfico de barras Uso del suelo

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Se observa que hay un gran uso del suelo tanto para pastos y cultivos con un 38% y 35% respectivamente, se encontraron pocas residencias urbanas en los sectores de muestreo.

3.1.9 Adoquín

Un tipo de sustrato del suelo determinado en los puntos de muestreo se catalogó por su grado de presencia en: 0% cuando no existe, 0-20%, 20-40% y 40-60%. La proporción de la presencia de cada nivel del adoquín se muestra en la siguiente ilustración:

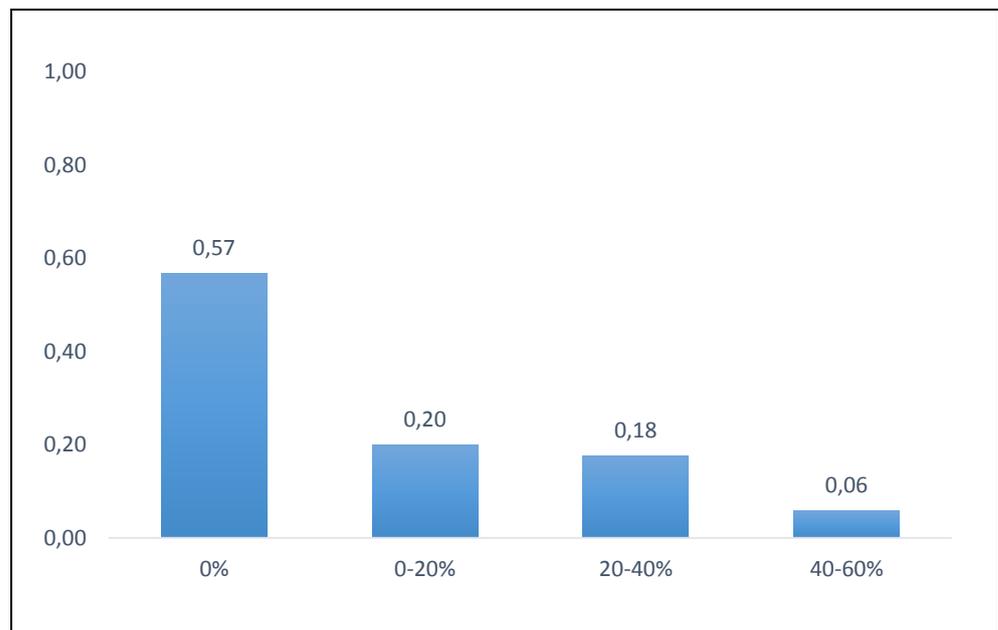


Figura 3.16: Gráfico de barras Adoquín

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

En un 57% de los sitios de muestreo no se encontraron presencia del adoquín mientras que en un 6%, el nivel del adoquín es relativamente alta entre el 40-60%.

3.1.9 Limo y arcilla

Tipo de sedimento que constituye diversos tipos de suelos, en las zonas de muestreo, se las dividió en niveles según el grado de presencia: 0% cuando no existe, 0-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80% y mayor al 80%.

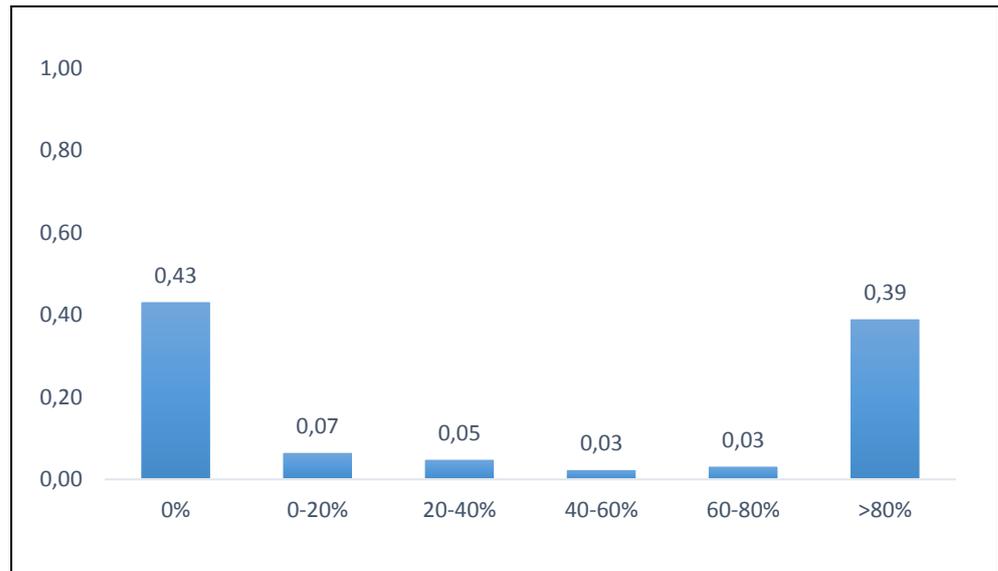


Figura 3.17: Gráfico de barras Limo y arcilla

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

En un 40% de los puntos de muestreo, se encontró un nivel alto de arcilla y limo y en un 43%, no se observa este tipo de sedimento.

3.2 Estadísticas descriptivas bi-variada

Se elaborarán gráficos comparativos de los organismos frente a las variables de explicación.

3.2.1 Comparación entre Organismos y Temperatura

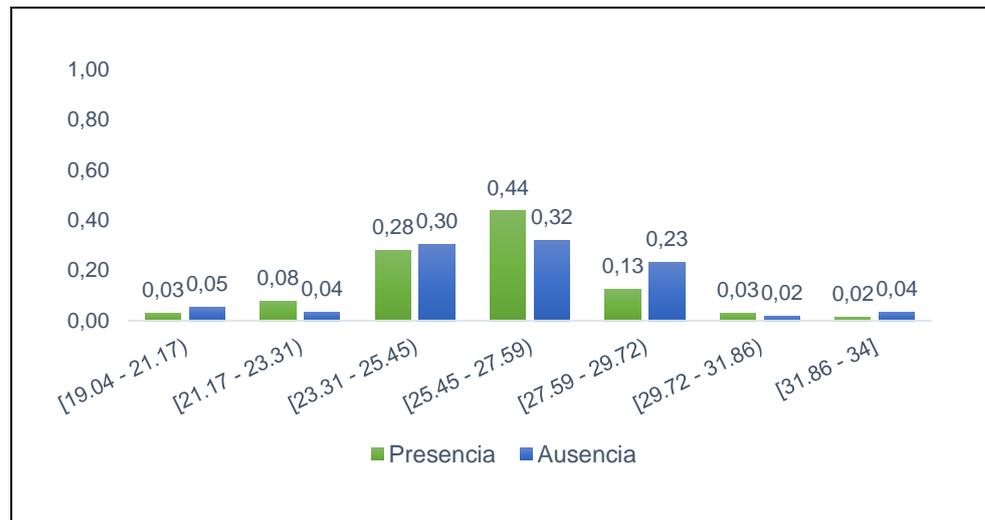


Figura 3.18: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae y Temperatura

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

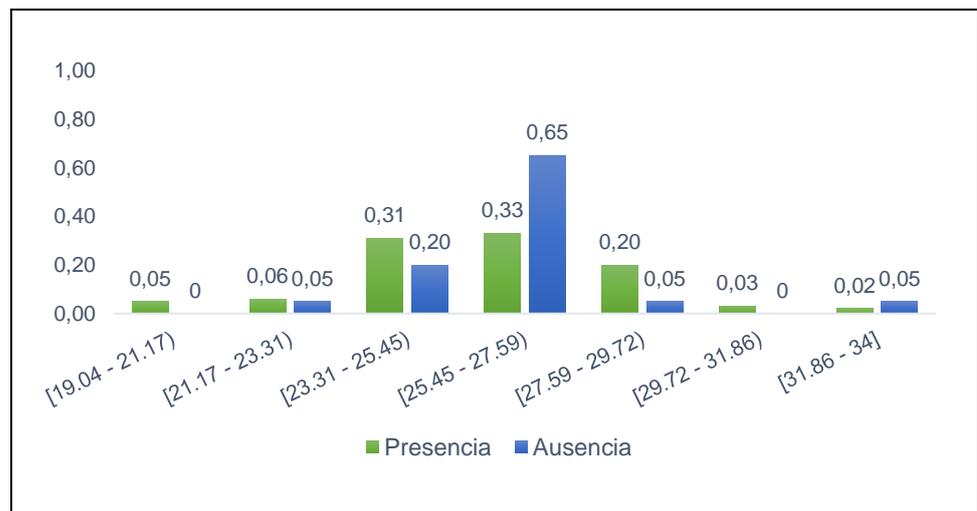


Figura 3.19: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae y Temperatura

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

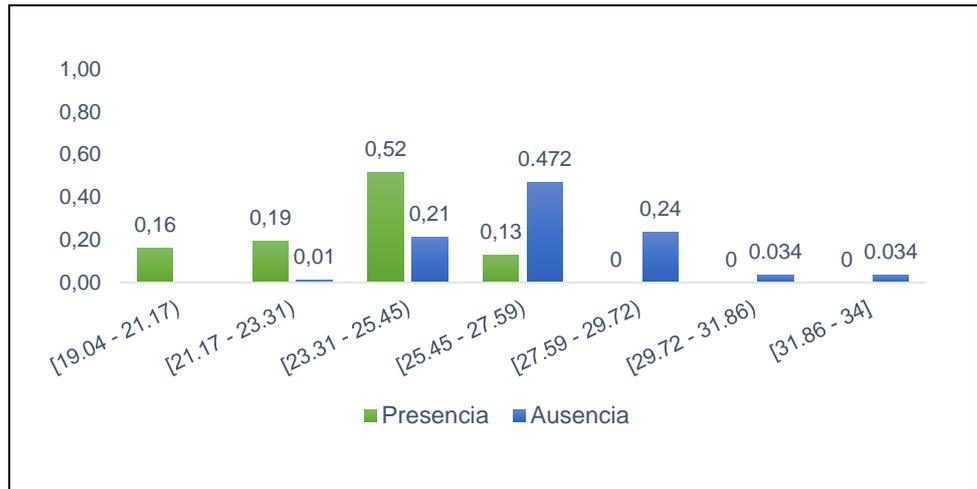


Figura 3.20: Gráfica de barras comparativas entre Hydropsychidae y Temperatura

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

El 44% de Baetidae se encuentra en temperaturas mayores a 26°C y menores que 28°C, mientras que el 65% de las zonas en que se encuentra ausente Chironomidae tienen esta temperatura frente a un 47% de ausencia de Hydropsychidae.

3.2.2 Comparación entre Organismos y Turbiedad

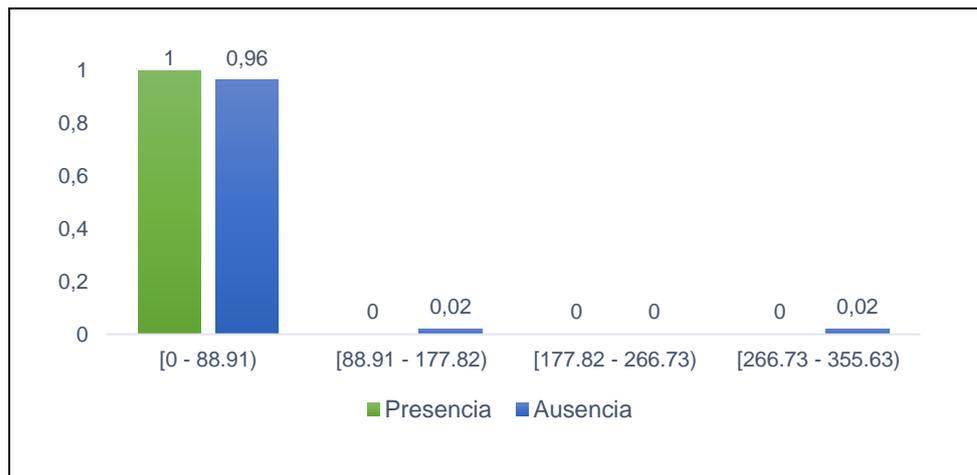


Figura 3.21: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae y Turbiedad

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

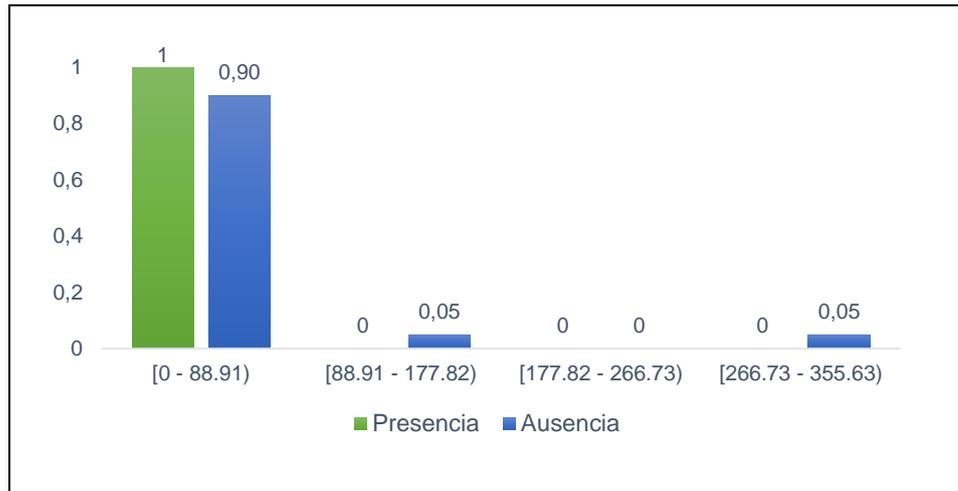


Figura 3.22: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae y Turbiedad

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

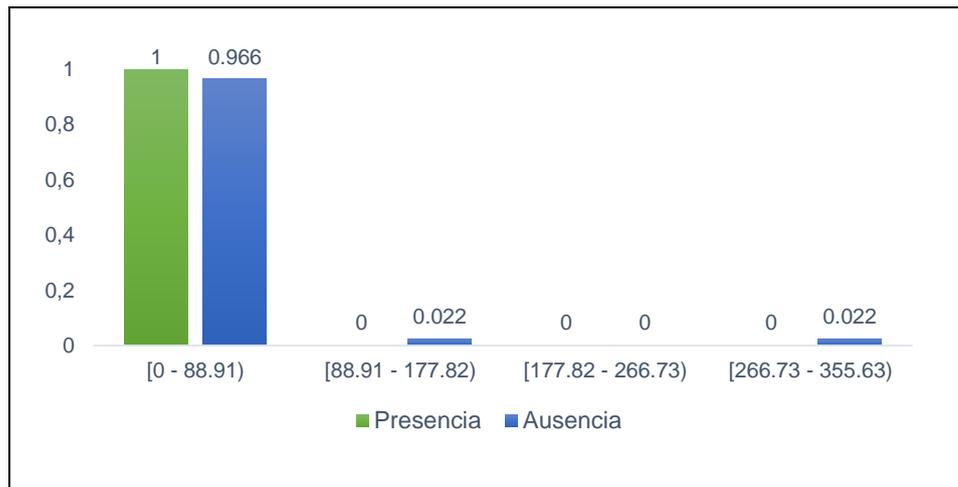


Figura 3.23: Gráfica de barras comparativas entre Hydropsychidae y Turbiedad

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Las presencias de los 3 organismos están en las zonas donde la turbiedad tiene valores por debajo de 88.91 FTU/NTU, las ausencias también se dan en lugares con esos valores de turbiedad. El 10% de ausencia de Hydropsychidae se dan en zonas con valores mayores a 88.91.

3.2.3 Comparación entre Organismos y Total de solidos disueltos

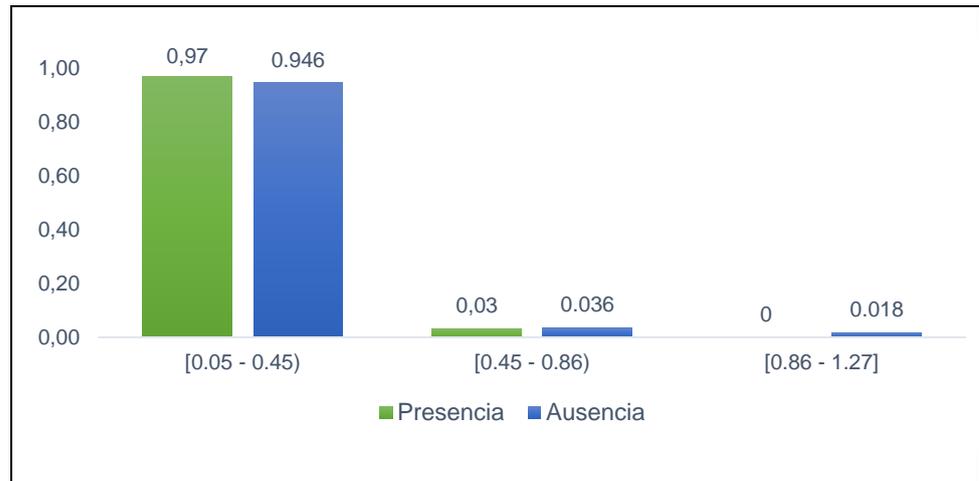


Figura 3.24: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae y Total de solidos disueltos

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

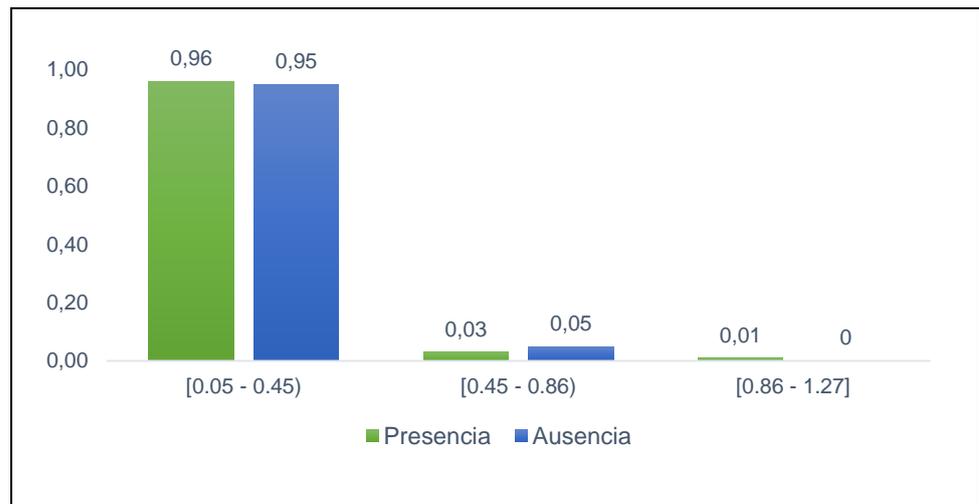


Figura 3.25: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae y Total de solidos disueltos

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

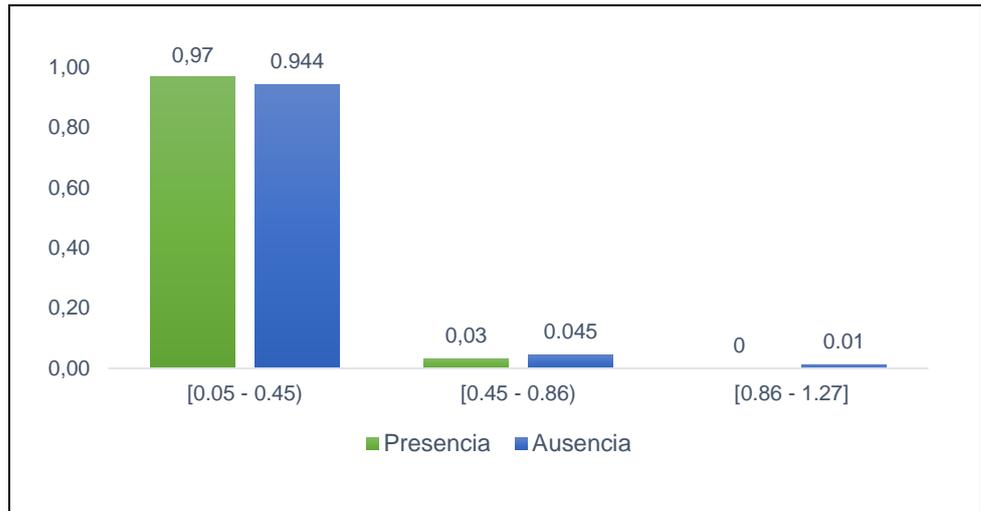


Figura 3.26: Gráfica de barras comparativas entre Hydropsychidae y Total de sólidos disueltos

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

Con valores menores de 0.45 g/l de sólidos disueltos en las zonas de muestreo se encontraron presentes alrededor del 97% de cada organismo.

3.2.4 Comparación entre Organismos y Total Nitrógeno

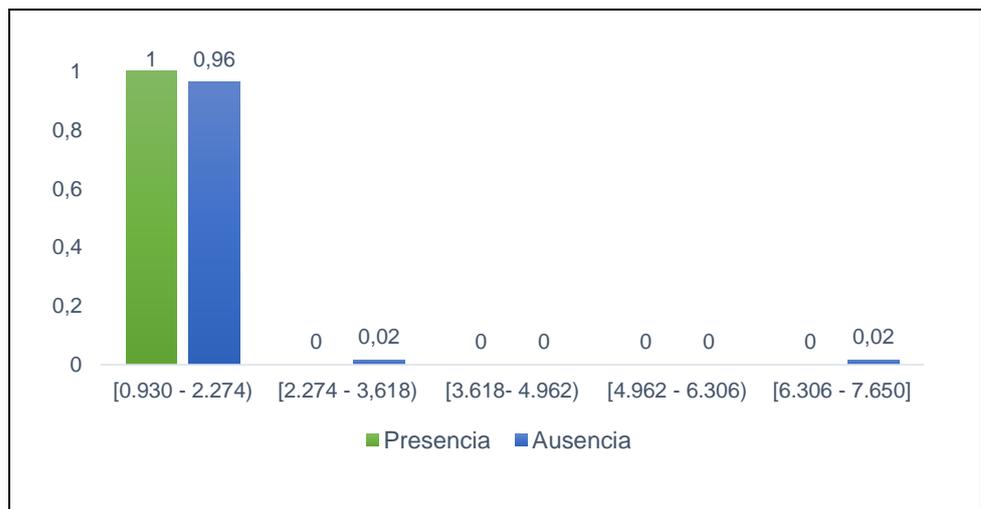


Figura 3.27: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae y Total Nitrógeno

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

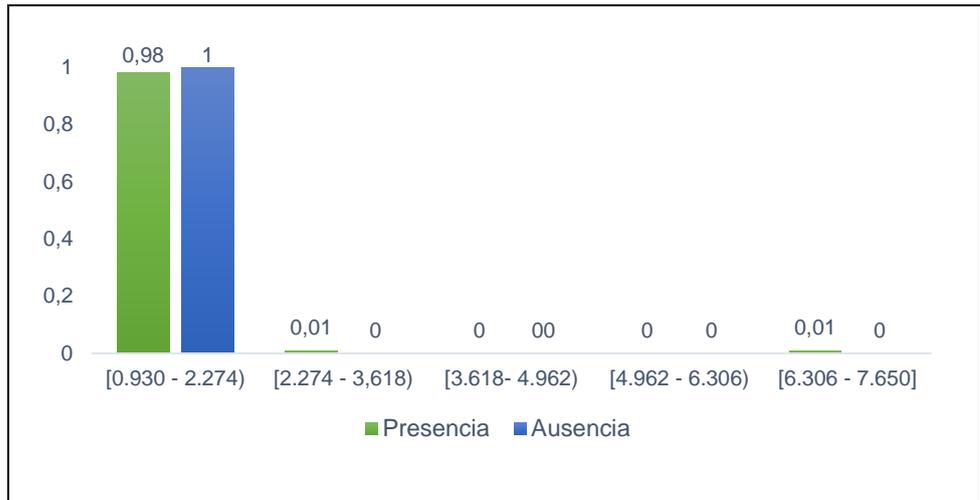


Figura 3.28: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae y Total Nitrógeno

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

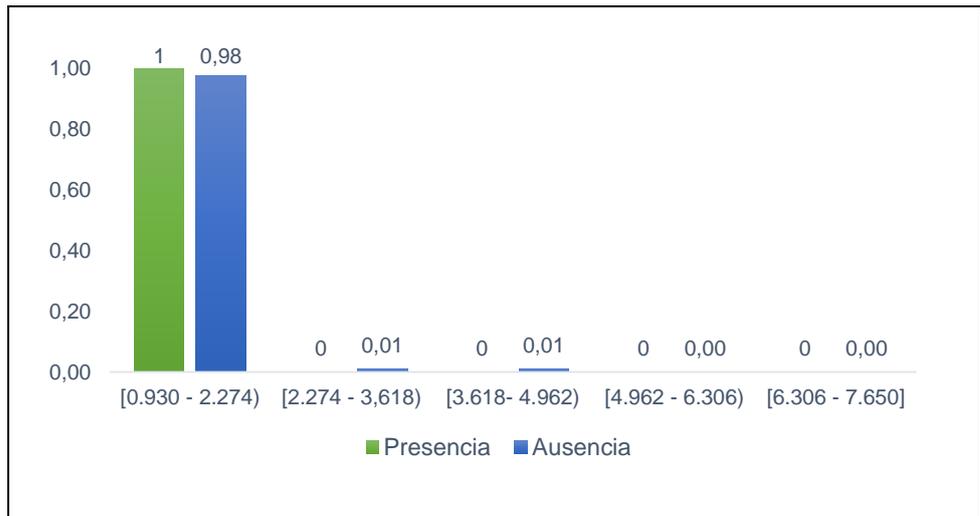


Figura 3.29: Gráfica de barras comparativas entre Hydropsychidae y Total Nitrógeno

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

Los organismos se encontraron en zonas con nitrógeno menor a 2.27 mg/l. y en valores mayores se encontraron un 2% de Chironomidae.

3.2.5 Comparación entre Organismos y Velocidad

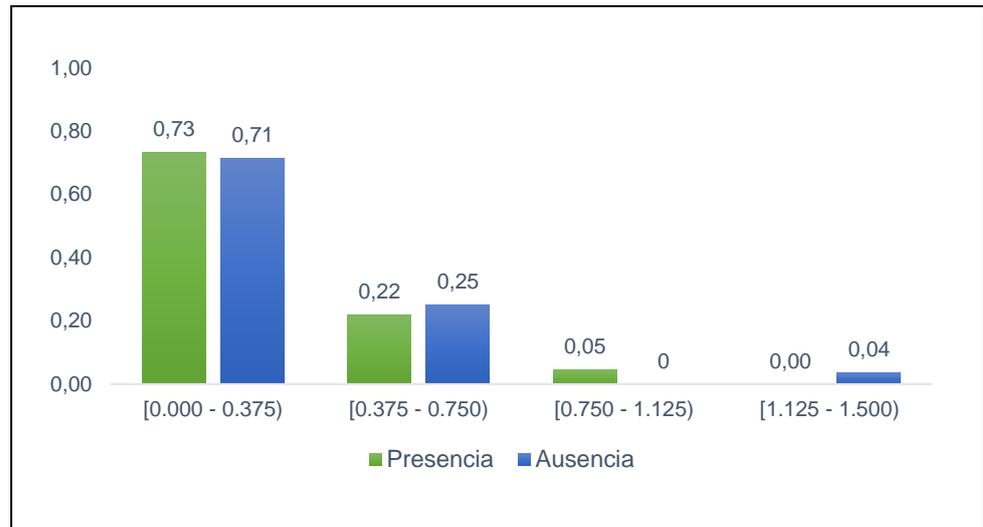


Figura 3.30: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae y Velocidad

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

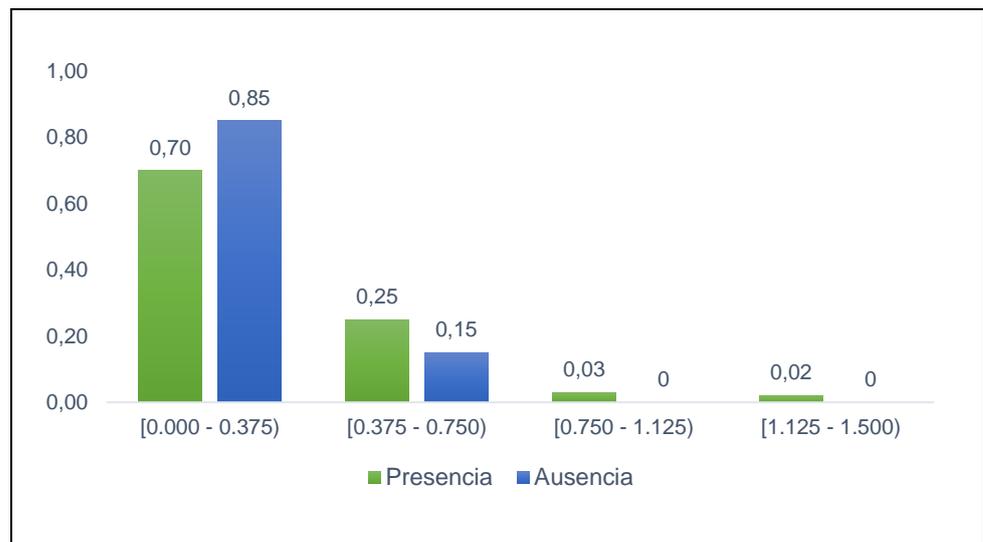


Figura 3.31: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae y Velocidad

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

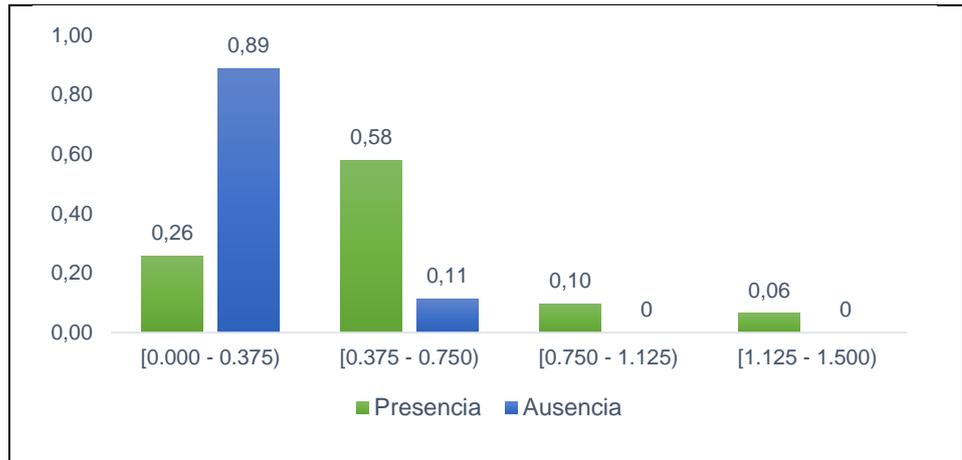


Figura 3.32: Gráfica de barras comparativas entre Hydropsychidae y Velocidad

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Hydropsychidae tienen una mayor presencia (58% del total) en zonas en donde la velocidad de la corriente está entre 0.37 y 0.75 m/s, en las zonas menores a este rango generalmente no se encuentran este organismo, mientras que Chironomidae en velocidades bajas tiene mayor presencia, (70% del total). El 73% de los Baetidae se encontraron en donde la velocidad de la corriente fue menor a 0.37 m/s

3.2.6 Comparación entre Organismos y Variación del flujo

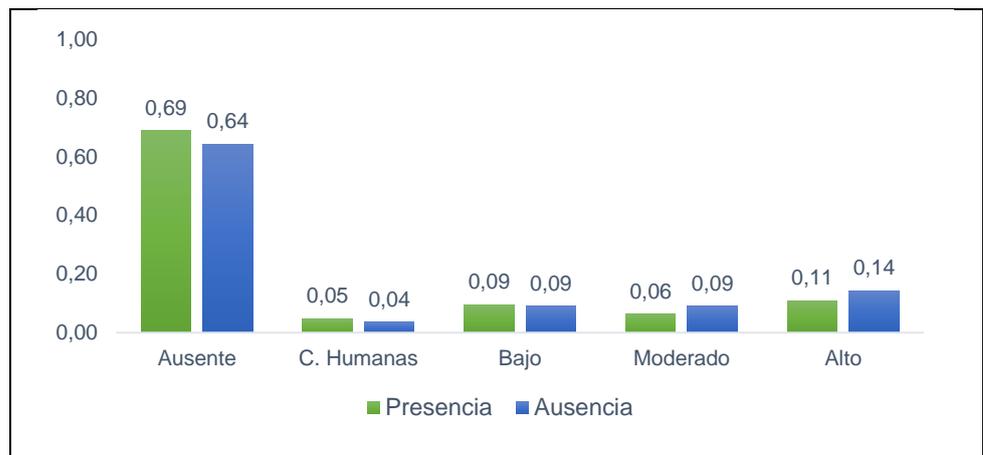


Figura 3.33: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae y Variación del flujo

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

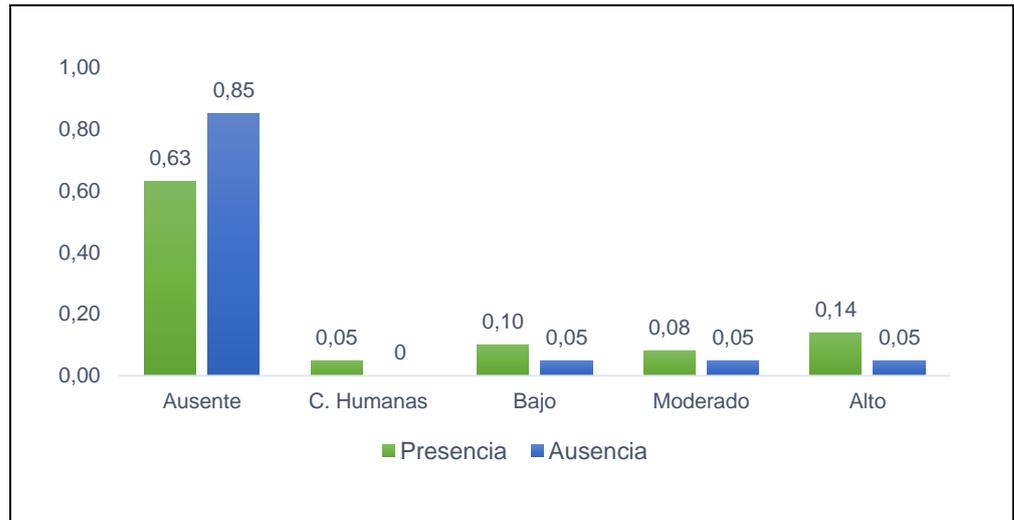


Figura 3.34: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae y Velocidad

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

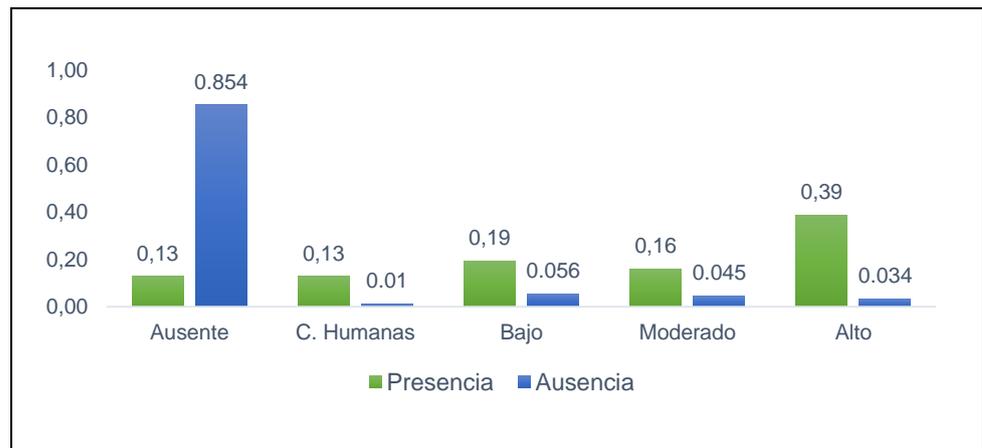


Figura 3.35: Gráfica de barras comparativas entre Hydropsychidae y Variación del flujo

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

El 39% de Hydropsychidae se encuentran en zonas donde la variación es alta y generalmente están ausentes en donde no hay variación. Baetidae y Chironomidae se encuentran en una mayor proporción en lugares donde no hay variación del flujo.

3.2.7 Comparación entre Organismos y Uso del suelo (Google)

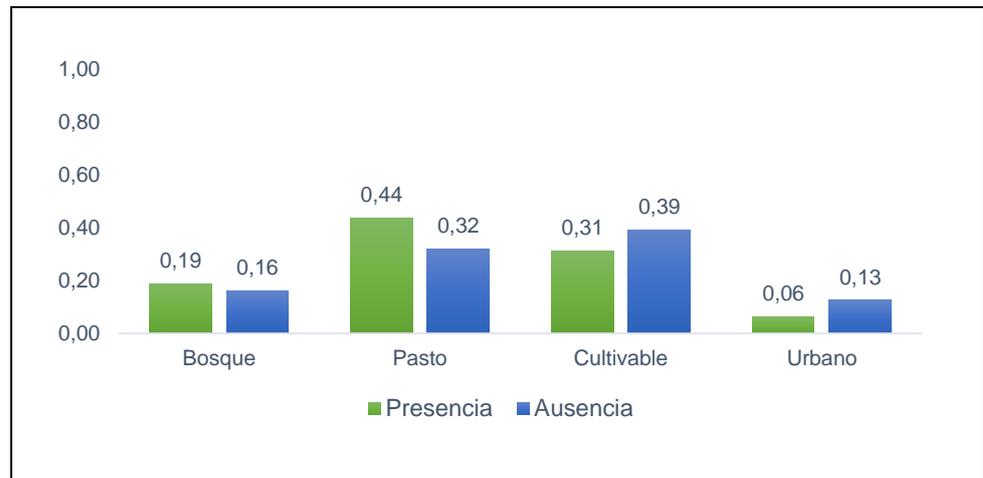


Figura 3.36: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae y Uso del suelo (Google)

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

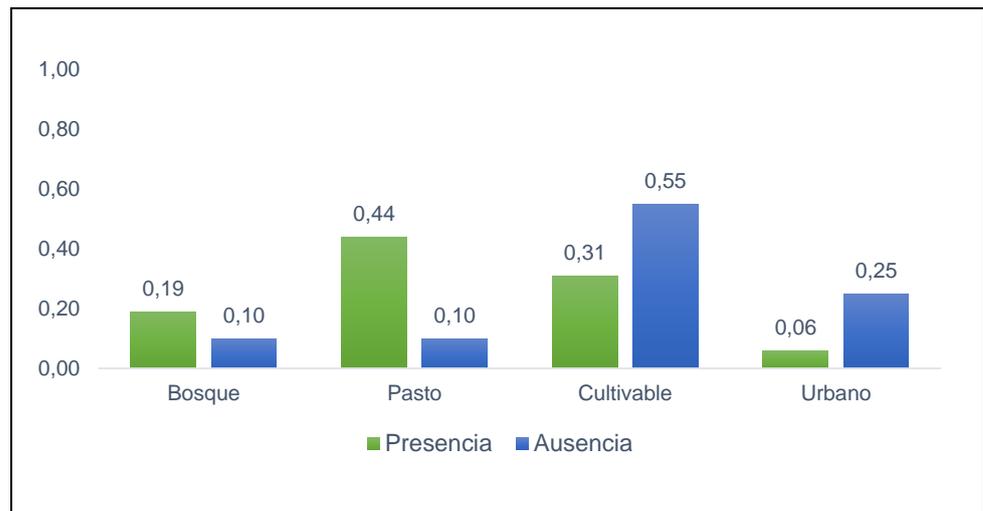


Figura 3.37: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae y Uso del suelo (Google)

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

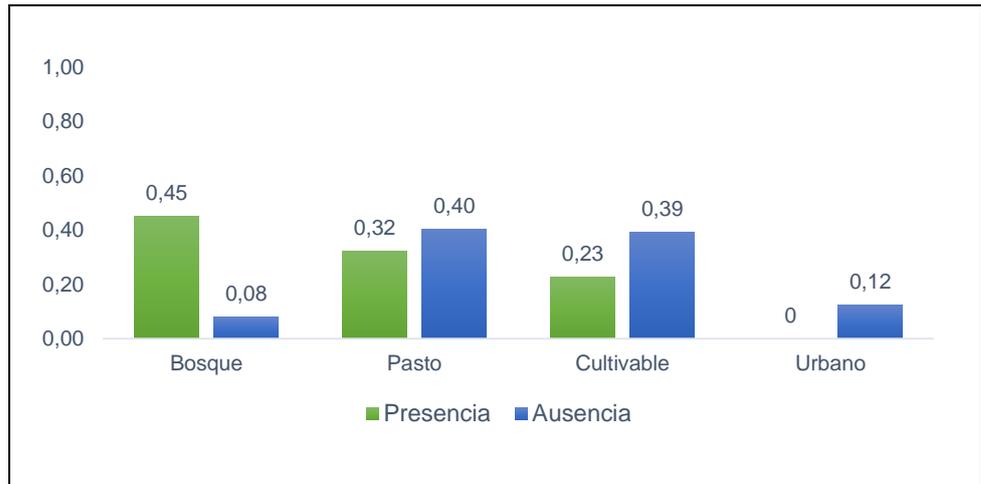


Figura 3.38: Gráfica de barras comparativas entre Hydropsychidae vs Uso del suelo (Google)

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Tanto para Baetidae y Chironomidae, el 44% se encuentran en las zonas cercanas a los pastos, mientras que el 45% de Hydropsychidae se encuentra en los bosques. Los organismos no se encuentran en zonas en donde existen construcciones humanas.

3.2.8 Comparación entre Organismos y Adoquín

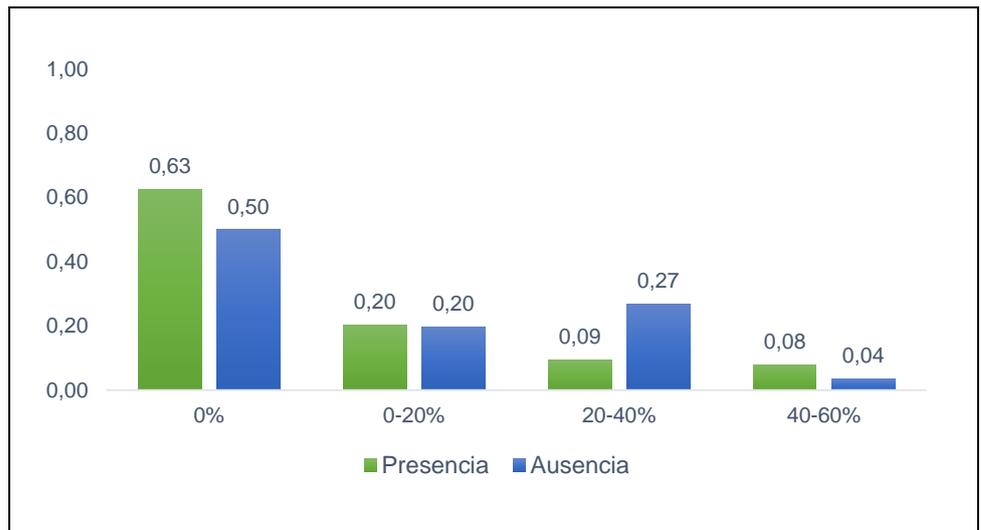


Figura 3.39: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae y Adoquín

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

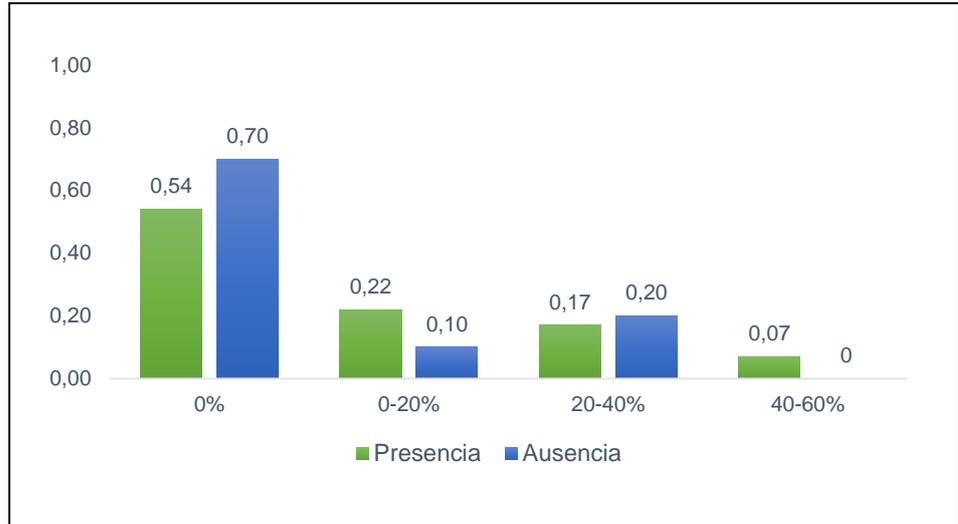


Figura 3.40: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae y Adoquín

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

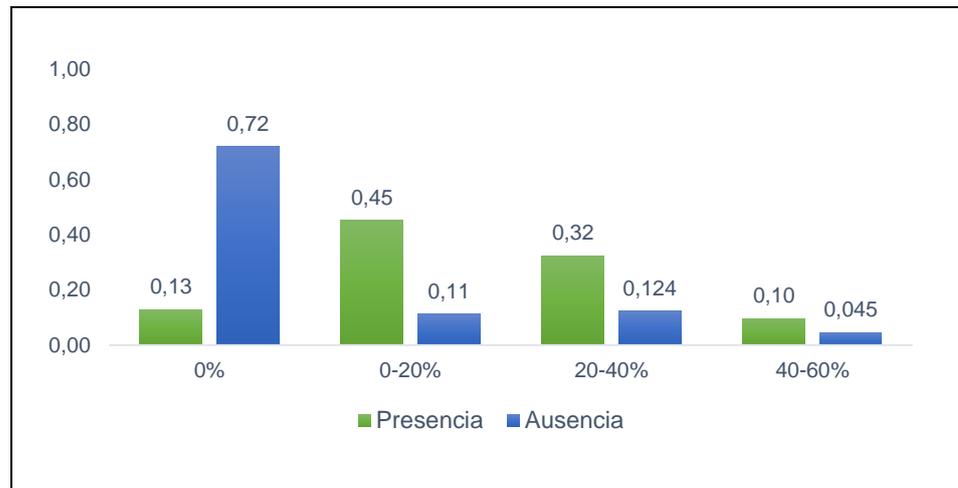


Figura 3.41: Gráfica de barras comparativas entre Hydropsychidae y Adoquín

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

Cuando no existe el adoquín la presencia de Hydropsychidae disminuye, el 45% de este organismo está presente cuando el nivel de sedimento está entre 1 y 20%. Una mayor presencia de Baetidae y Chironomidae se da cuando no existe el sedimento.

3.2.9 Comparación entre Organismos frente Limo y arcilla

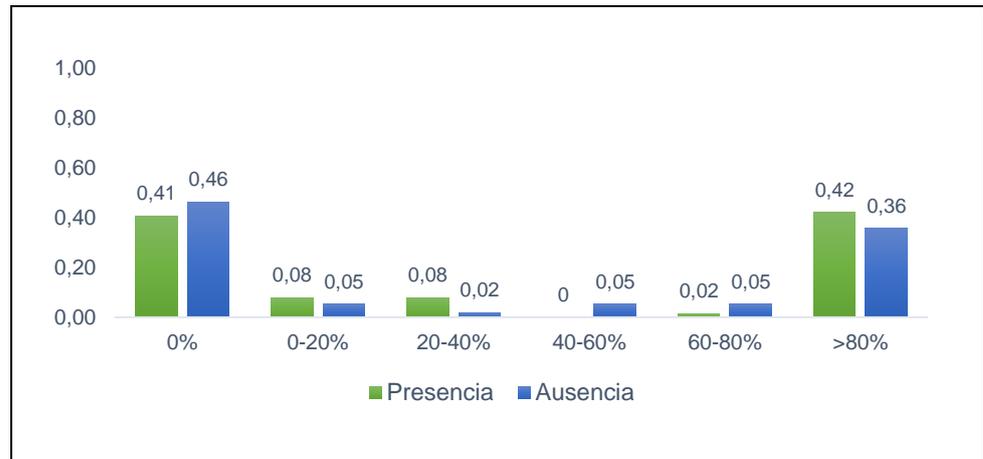


Figura 3.42: Gráfica de barras comparativas entre Baetidae frente Limo y arcilla

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

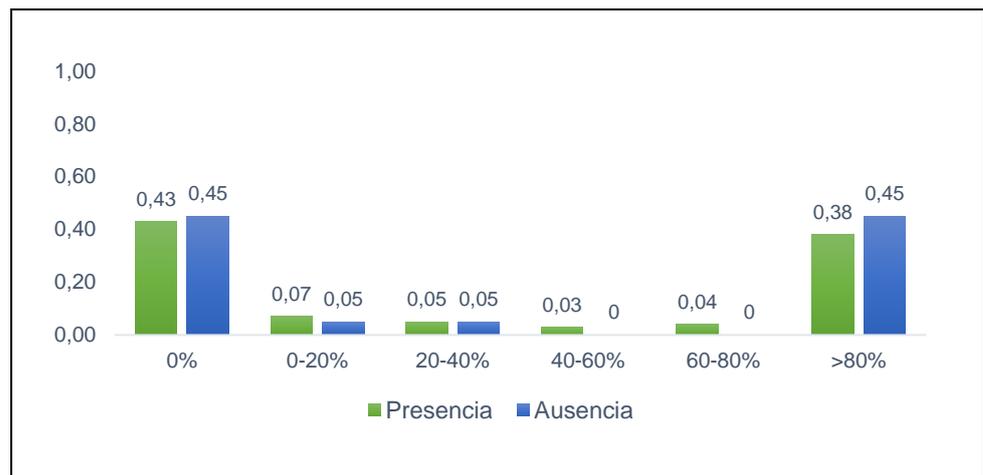


Figura 3.43: Gráfica de barras comparativas entre Chironomidae frente Limo y arcilla

*Fuente: Centro del agua y recurso sostenible
Elaboración propia.*

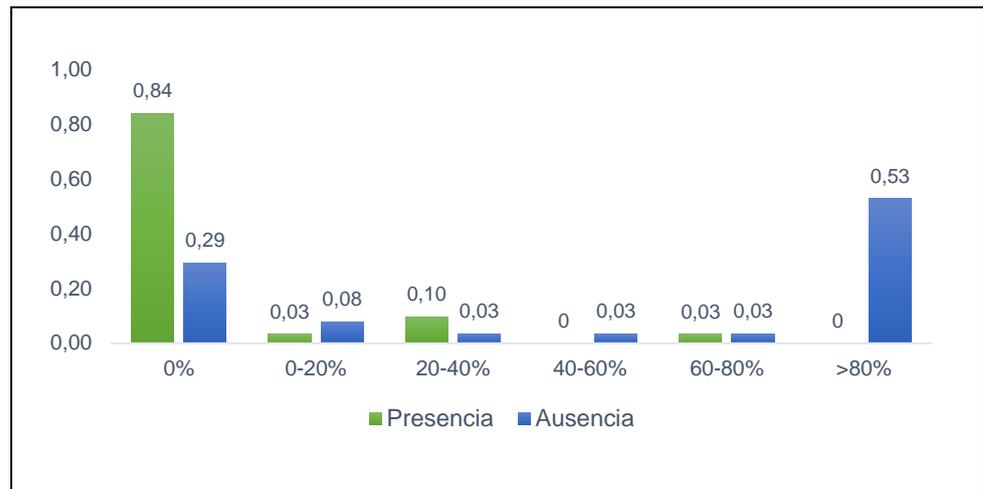


Figura 3.44: Gráfica de barras comparativas

Hydropsychidae frente Limo y arcilla

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Existen mayor presencia de Baetidae y Chironomidae cuando no hay niveles de limo y arcilla o cuando los niveles son mayores al 80%, en el caso de Hydropsychidae, el 84% se encuentran en zonas donde no hay niveles de este sedimento.

3.3 Estadística especializada

Se procedió a realizar los modelos con cada uno de los tres organismos macro-invertebrados seleccionando las variables significativas y los modelos en base al AIC y el criterio del experto.

3.3.1 Modelo logístico de aditivo generalizado para Baetidae

Se procedió a la selección del modelo para Baetidae.

Tabla 8: Selección de las variables predictoras Baetidae

Modelo (Selección de variables)	Df	AIC
$\log \frac{\widehat{Baet}}{1-\widehat{Baet}} \sim s(\text{Total_N}, bs = "cs") + \varepsilon_i$	1.88	154.52
$\log \frac{\widehat{Baet}}{1-\widehat{Baet}} \sim s(\text{Total_N}, bs = "cs") + \beta_1 \text{Adoquin} + \varepsilon_i$	4.87	152.35
$\log \frac{\widehat{Baet}}{1-\widehat{Baet}} \sim s(\text{Total_N}, bs = "cs") + \beta_1 \text{Adoquin} + \beta_2 \text{AcillaLimo} + \varepsilon_i$	9.90	149.70
$\log \frac{\widehat{Baet}}{1-\widehat{Baet}} \sim s(\text{Total_N}, bs = "cs") + \beta_1 \text{Adoquin} + \beta_2 \text{ArcillaLimo} + \beta_3 \text{CapaLodo} + \varepsilon_i$	12.93	145.54

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Mediante el método de selección planteado anteriormente, se determinan las variables: total nitrógeno (mg/l), adoquín, lima y arcilla como las variables predictoras del modelo eligiéndolas mediante la experiencia del experto ya que brindaran una explicación ecológica adecuada para la predicción del organismo. En la tabla 8, se muestran los modelos más relevantes para la selección. El modelo planteado es:

$$\log \frac{\widehat{Baet}}{1-\widehat{Baet}} \sim s(\text{Total_N}, bs = "cs") + \beta_1 \text{Adoquin} + \beta_2 \text{AcillaLimo} + \varepsilon_i$$

En la Tabla 9, se puede observar que todas las variables analizadas son significativas cabe recalcar que no todos los factores de las variables categóricas lo son. La desviación explicada por el modelo propuesto fue de 21.7%.

Tabla 9: Resumen del modelo Baetidae

Coeficientes paramétricos			
	Estimado	Sd. Error	Valor p
(Intercept)	-0.52	0.97	0.5889
Adoquin1	-0.48	0.79	0.5422
Adoquin2	-1.68	0.79	0.0335
Adoquin3	1.01	1.27	0.4249
ArcillaLimo1	0.36	0.97	0.7116
ArcillaLimo2	4.18	2.43	0.085
ArcillaLimo3	-34.07	38750000	1
ArcillaLimo4	-1.85	1.31	0.1566
ArcillaLimo5	-0.14	0.70	0.8387
Significancia de los términos de suavizado			
	Edf	Ji.cuad	Valor p
S(Total_N)	0.8969	5.268	0.014
Desvianza explicada= 21.7%		$R^2 = 0.187$	

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

La siguiente figura muestra la estimación del efecto mediante spline cúbicos con intervalos de 95% de confianza graficadas mediante las líneas segmentadas. El efecto de esta variable es mayormente lineal con una pendiente negativa.

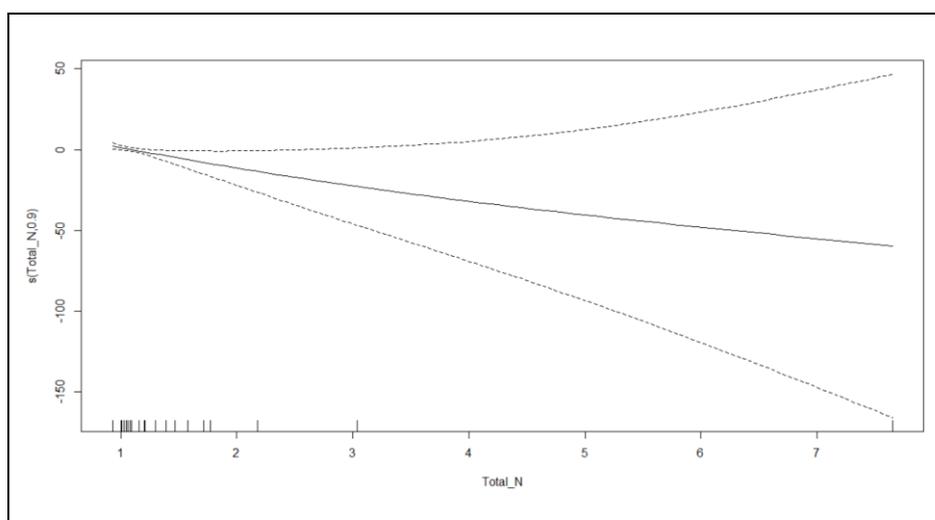


Figura 3.45: Función de suavizado relacionando la presencia de Baetidae con la variable total nitrógeno.

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

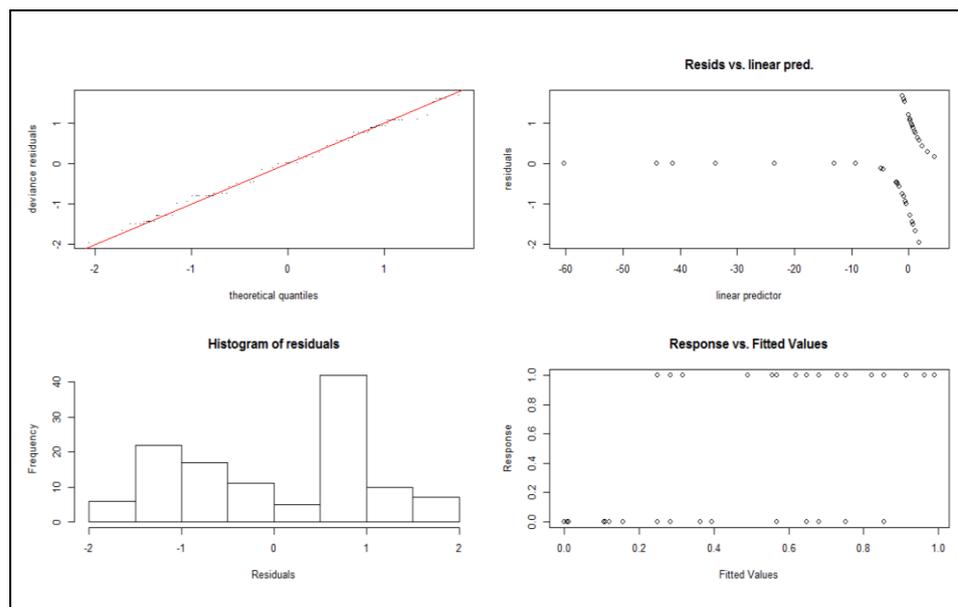


Figura 3.46: Pruebas de bondad de ajuste de la variable explicativa del modelo Baetidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

La variable explicativa no presenta un buen ajuste de los residuos, pero se ajusta mejor que un modelo lineal esto se ve en el histograma y en la gráfica de los residuos ajustados.

En la Tabla 10, se muestra los coeficientes para la variable predictora por cada tramo de la función, se obtuvieron 9 nodos o tramos por ende 9 coeficientes. Se observaron tendencia decreciente al pasar a un tramo a otro.

Tabla 10: Coeficientes del modelo Baetidae por cada tramo de la función.

S(Total_N).1	S(Total_N).2	S(Total_N).3	S(Total_N).4	S(Total_N).5
-0,877	1,05	0,01	-1,08	-2,15
S(Total_N).6	S(Total_N).7	S(Total_N).8	S(Total_N).9	
-4,58	-7,51	-13,04	-59,62	

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

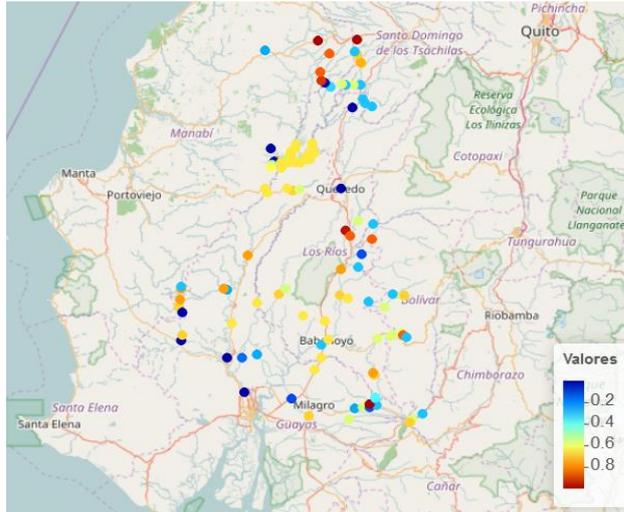


Figura 3.47: Mapa de probabilidad de presencia en los puntos de muestreo de Baetidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

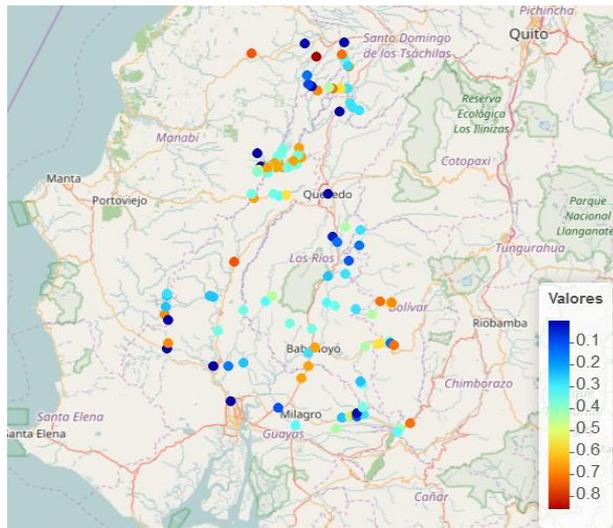


Figura 3.48: Mapa de error Baetidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

El mapa de probabilidad (Figura 3.47) muestra que en varias zonas hay gran probabilidad que exista estos organismos, los puntos de color azulada son los sectores en donde existe poca probabilidad de existencia de Baetidae. En la Ilustración 3.48 se observa el porcentaje de error encada punto de muestreo, siendo en su mayoría alta.

Tabla 11: Tabla de confusión Baetidae

Baetidae	% Predicción	
	0	1
0	0.52	0.48
1	0.13	0.88

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

En la Tabla 11, se observa que el modelo predice el 88% de la presencia correctamente, mientras que para la ausencia lo realiza un 52%.

3.3.2 Modelo logístico de aditivo generalizado para Chironomidae

Se procedió a la selección del modelo para Chironomidae.

Tabla 12: Selección de las variables predictoras Chironomidae

Modelos	df	AIC
$\log \frac{\widehat{Chir}}{1-\widehat{Chir}} \sim s(\text{Turbiedad}) + \epsilon_i$	4.79	97.39
$\log \frac{\widehat{Chir}}{1-\widehat{Chir}} \sim s(\text{Turbiedad}) + s(\text{Temperatura}) + \epsilon_i$	8.52	90.62
$\log \frac{\widehat{Chir}}{1-\widehat{Chir}} \sim s(\text{Turbiedad}) + s(\text{Temperatura}) + s(\text{TDS}) + \epsilon_i$	11.13	83.45
$\log \frac{\widehat{Chir}}{1-\widehat{Chir}} \sim s(\text{Turbiedad}) + s(\text{Temperatura}) + s(\text{TDS}) + s(\text{pH}) + \epsilon_i$	13.78	82.23
$\log \frac{\widehat{Chir}}{1-\widehat{Chir}} \sim s(\text{Turbiedad}) + s(\text{Temperatura}) + s(\text{TDS}) + s(\text{pH}) + \text{forma ribera} + \epsilon_i$	15.38	80.11
$\log \frac{\widehat{Chir}}{1-\widehat{Chir}} \sim s(\text{Turbiedad}) + s(\text{Temperatura}) + s(\text{TDS}) + s(\text{pH}) + \text{forma ribera} + \text{ramita} + \epsilon_i$	19.64	76.70

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

En la tabla 12, se muestra los modelos más relevantes para el proceso de selección eligiendo el que brinda una explicación ecología adecuada para la predicción del organismo, se determinaron las siguientes variables predictoras: turbiedad(FTU/NTU), temperatura (°C) y total de solidos(g/l) disueltos. El modelo planteado es:

$$\log \frac{\widehat{Chir}}{1-\widehat{Chir}} \sim s(\text{Turbiedad}) + s(\text{Temperatura}) + s(\text{TDS}) + \epsilon_i$$

En la Tabla 13, se observa que todas las variables analizadas son significativas. La desviación explicada por el modelo es de 47%.

Tabla 13: Resumen del modelo Chironomidae

Coeficientes paramétricos			
	Estimación	Sd. Error	Valor p
Intercepto	2.758	0.498	3.7E-08
Significancia de los términos de suavizado			
	Edf	Ji-cuad	Valor p
S(Turbiedad)	6.108	20.11	0.0016
S(Temperatura)	4.998	11.56	0.028
S(TDS)	1.02	6.013	0.0087
Desviación explicada = 47.1%		R ² = 0.6432	

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

En la Figura 3.49, se muestra la estimación del efecto de las variables mediante spline cúbicos con intervalos de 95% de confianza graficadas mediante las líneas segmentadas. El efecto de turbidez es mayormente lineal con una pendiente negativa disminuyendo la probabilidad de presencia en valores altos, temperatura no tiene una tendencia clara. Entre mayor es el total de sólidos disueltos mayor es la probabilidad de la presencia del organismo.

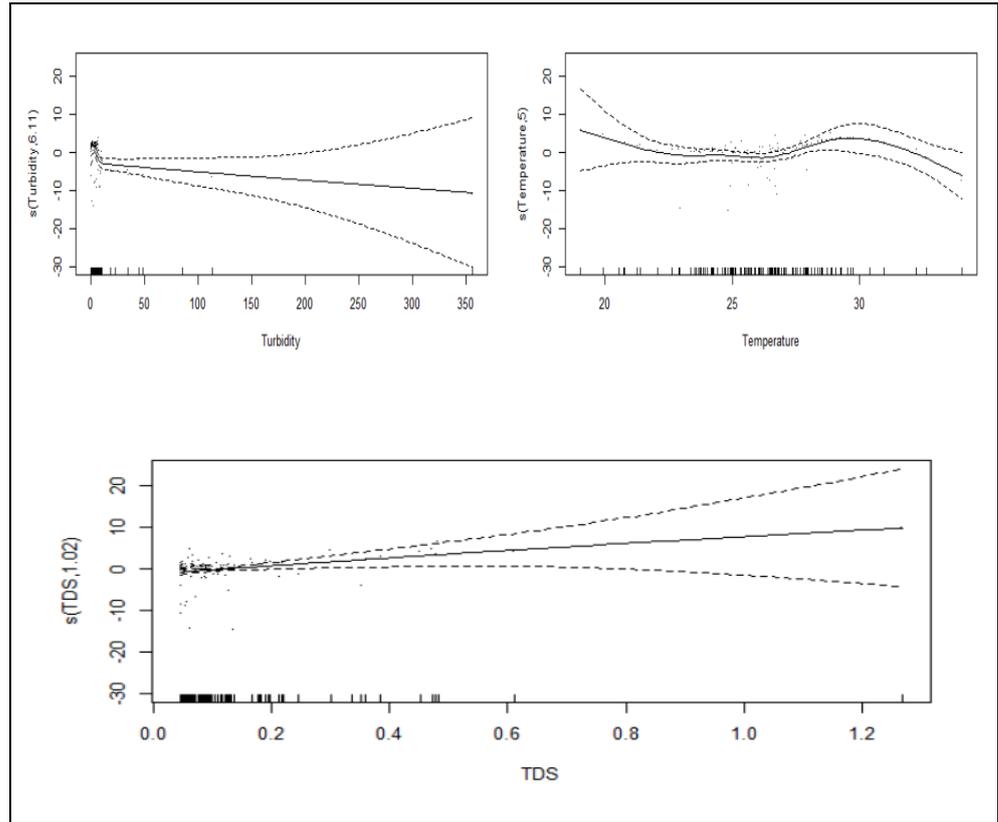


Figura 3.49: Funciones de suavizado relacionando la presencia de Chironomidae con las variables predictoras.

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

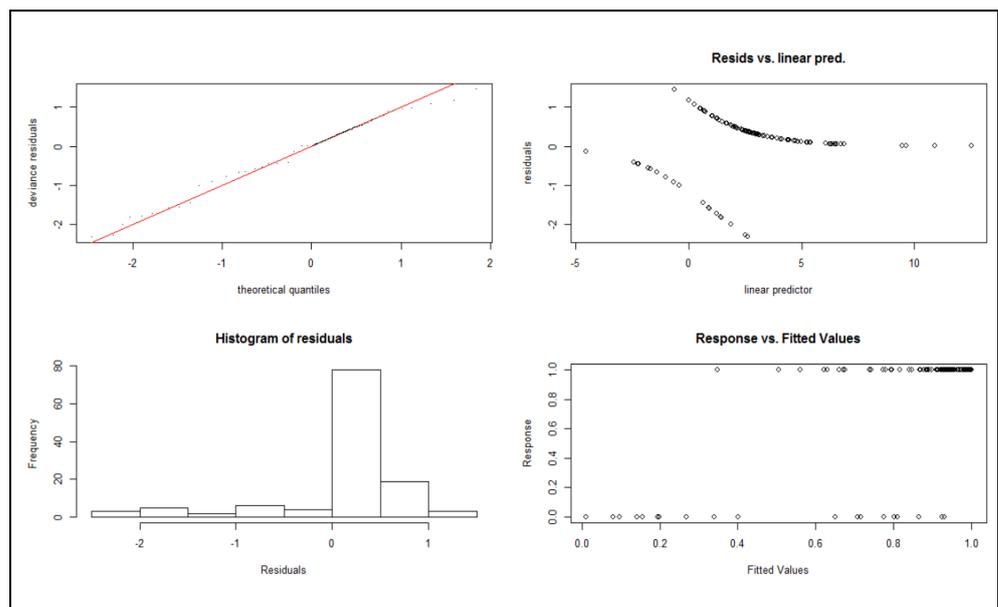


Figura 3.50: Pruebas de bondad de ajuste de la variable explicativa del modelo Chironomidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

La variable de respuesta presenta un buen ajuste de los residuos (Figura 3.50) presentando un mejor ajuste que los modelos lineales. En la Tabla 14, se muestra los coeficientes para las variable predictoras por cada tramo, se obtuvieron 9 coeficientes. Se observaron tendencia decreciente para turbidez y creciente para total de solidos disueltos.

Tabla 14: Coeficientes del modelo Chironomidae por cada tramo de la función.

S(Turb).1	S(Turb).2	S(Turb).3	S(Turb).4	S(Turb).5
1,35	1,74	1,19	0,28	0,70
S(Turb).6	S(Turb).7	S(Turb).8	S(Turb).9	
1,74	-1,82	-2,52	-10,58	
S(Temp).1	S(Temp).2	S(Temp).3	S(Temp).4	S(Temp).5
-3,59	-0,53	-3,15	-2,82	-2,53
S(Temp).6	S(Temp).7	S(Temp).8	S(Temp).9	
-3,01	0,38	0,41	-6,41	
S(TDS).1	S(TDS).2	S(TDS).3	S(TDS).4	S(TDS).5
-0,38	-0,40	-0,36	-0,15	-0,21
S(TDS).6	S(TDS).7	S(TDS).8	S(TDS).9	
0,29	0,61	2,12	9,90	

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

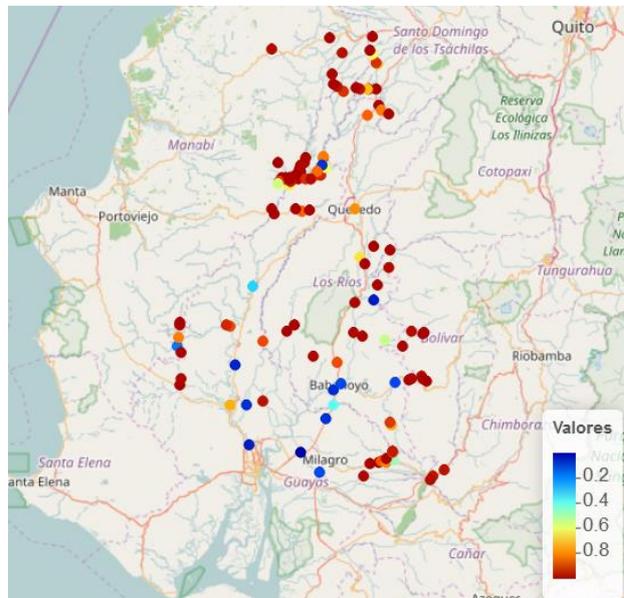


Figura 3.51: Mapa de probabilidad de presencia en los puntos de muestreo de Chironomidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

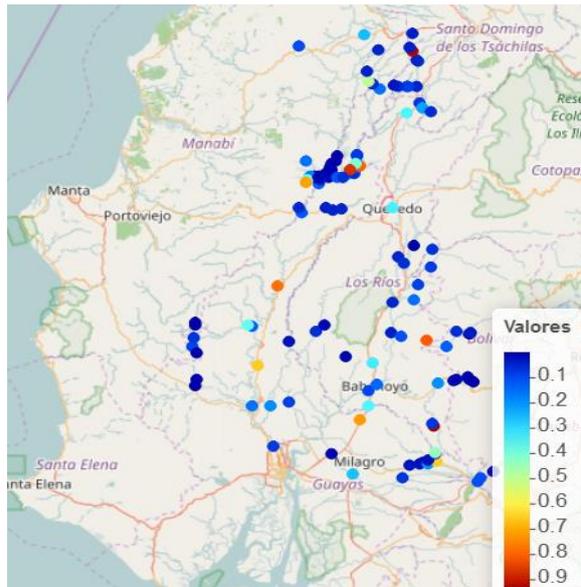


Figura 3.52: Mapa de error Chironomidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

En la Figura 3.51, se muestra el mapa de probabilidad identificando zonas con un porcentaje alto de presencia de estos organismos, los puntos de color rojo señalan una probabilidad alta de presencia. En cada punto se presenta el error de predicción del modelo (Figura 3.52).

Tabla 15: Tabla de confusión Chironomidae

Chironomidae	% Predicción	
	0	1
0	0,55	0,45
1	0,01	0,99

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

El modelo predice correctamente la presencia de Chironomidae mientras que la ausencia lo hace en un 55% de las veces.

3.3.3 Modelo logístico de aditivo generalizado para Hydropsychidae

Se procedió a la selección del modelo para Hydropsychidae.

Tabla 16: Selección de las variables predictoras Hydropsychidae

Modelos	df	AIC
$\log \frac{\widehat{Hyd}}{1-\widehat{Hyd}} \sim s(\text{Temperatura}) + \varepsilon_i$	2.09	85.52
$\log \frac{\widehat{Hyd}}{1-\widehat{Hyd}} \sim s(\text{Temperatura}) + s(\text{velocidad}) + \varepsilon_i$	7.37	69.56
$\log \frac{\widehat{Hyd}}{1-\widehat{Hyd}} \sim s(\text{Temperatura}) + s(\text{velocidad}) + \text{VariacionFlujo} + \varepsilon_i$	9.10	67.87
$\log \frac{\widehat{Hyd}}{1-\widehat{Hyd}} \sim s(\text{Temperatura}) + s(\text{velocidad}) + \text{VariacionFlujo} + s(\text{Total}_N) + \varepsilon_i$	12.91	66.43
$\log \frac{\widehat{Hyd}}{1-\widehat{Hyd}} \sim s(\text{Temperatura}) + s(\text{velocidad}) + \text{VariacionFlujo} + s(\text{Total}_N) + \text{Google} + \varepsilon_i$	12.22	51.26

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Se muestra los modelos más relevantes para el proceso de selección (Tabla 16) se elige el que brinda una explicación ecología adecuada para la predicción de Hydropsychidae, se determinaron las siguientes variables predictoras: temperatura (°C), velocidad (m/s), total nitrógeno(mg/l), variación del flujo, uso de suelo según Google. El modelo planteado es:

$$\log \frac{\widehat{Hyd}}{1-\widehat{Hyd}} \sim s(\text{Temperatura}) + s(\text{velocidad}) + \text{VariacionFlujo} + s(\text{Total}_N) + \text{Google} + \varepsilon_i$$

Se observa que todas las variables analizadas son significativas (Tabla 17) pero no todos los factores de las variables categóricas lo son. La desviación explicada por el modelo es del 80%.

Tabla 17: Resumen del modelo Hydropsychidae

Coefficientes paramétricos			
	Estimado	Sd. Error	valor p
Intercepto	-3.41	11.48	0.767
VariacionFlujo1	3.86	1.97	0.050
VariacionFlujo2	6.16	2.06	0.003
VariacionFlujo3	2.54	1.42	0.074
VariacionFlujo4	4.50	2.06	0.029
Google2	-2.34	2.20	0.287
Google3	-6.32	2.66	0.017
Google4	-42.05	20230000	1
Significancia de los términos de suavizado			
	edf	Ji.cuad	valor p
S(Temperatura)	1.08	6.78	0.006
S(velocidad)	1.04	6.87	0.004
S(Total_N)	2.10	7.55	0.016
Desviación explicada= 80.4%		$R^2 = 0.796$	

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

Se muestra la estimación del efecto de las variables mediante spline cúbicos con intervalos de 95% de confianza graficadas mediante las líneas segmentadas (Figura 3.53). La temperatura y velocidad tienen un efecto lineal no varían mucho al incrementarse los valores, total nitrógeno tiene una tendencia negativa.

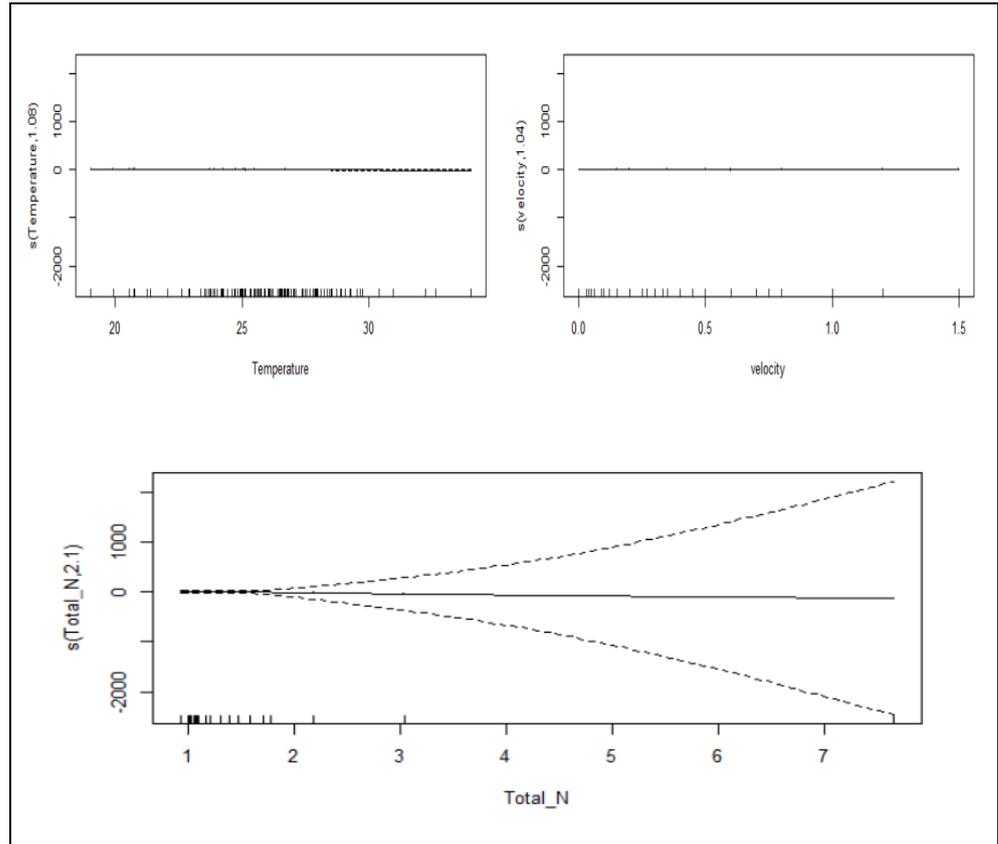


Figura 3.53: Funciones de suavizado relacionando la presencia de Hydropsychidae con las variables predictoras.

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

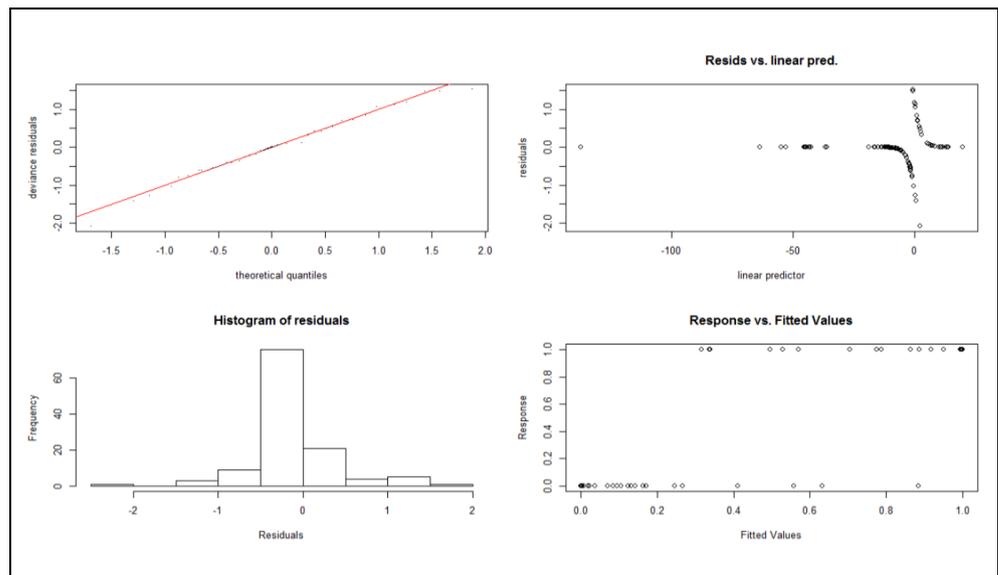


Figura 3.54: Pruebas de bondad de ajuste de la variable explicativa del modelo Hydropsychidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

La variable de respuesta presenta un buen ajuste de los residuos (Figura 3.54) presentando un mejor ajuste que los modelos lineales.

En la Tabla 18, se muestra los coeficientes para las variable predictoras por cada tramo, se obtuvieron 9 coeficientes. Se observa tendencia positiva y negativa al pasar de un tramo a otro.

Tabla 18: Coeficientes del modelo Hydropsychidae por cada tramo de la función.

S(Temp).1	S(Temp).2	S(Temp).3	S(Temp).4	S(Temp).5
-0,88	2,45	-2,19	-1,99	-2,49
S(Temp).6	S(Temp).7	S(Temp).8	S(Temp).9	
-4,53	-3,05	-8,17	-12,07	
S(veloc).1	S(veloc).2	S(veloc).3	S(veloc).4	S(veloc).5
-1,26	-0,96	-0,35	0,45	0,83
S(veloc).6	S(veloc).7	S(veloc).8	S(veloc).9	
1,93	3,36	4,70	8,98	
S(Total_N).1	S(Total_N).2	S(Total_N).3	S(Total_N).4	S(Total_N).5
4,40	3,59	5,93	8,52	8,38
S(Total_N).6	S(Total_N).7	S(Total_N).8	S(Total_N).9	
3,47	-3,81	-16,70	-124,98	

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

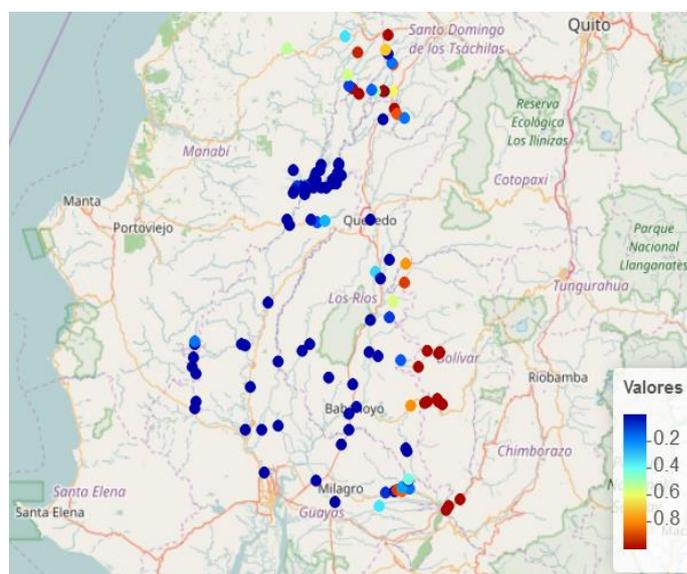


Figura 3.55: Mapa de probabilidad de presencia en los puntos de muestreo de Hydropsychidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

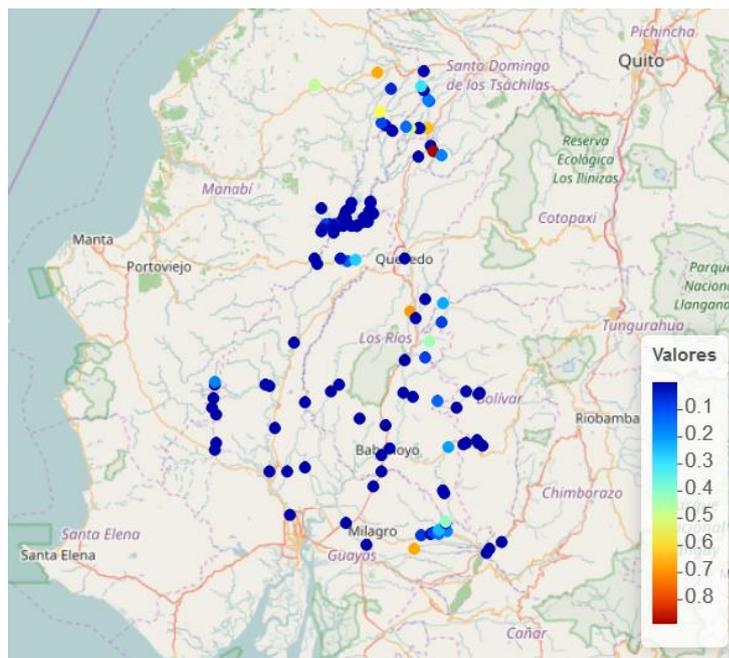


Figura 3.56: Mapa de error Hydropsychidae

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

El mapa de probabilidad (Figura 3.55), identifica zonas en donde la presencia de este organismo es alta, los puntos de color rojo señalan una probabilidad de existencia alta. En cada punto se presenta el error de predicción del modelo (Figura 3.56).

Tabla 19: Tabla de confusión Hydropsychidae

	% Predicción	
	0	1
Hydropsychidae	0	1
0	0,97	0,03
1	0,13	0,87

Fuente: Centro del agua y recurso sostenible

Elaboración propia.

El modelo predice de manera eficiente la ausencia y presencia de este organismo (Tabla 19).

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se elaboró los respectivos modelos predictivos para cada organismo proporcionando información relevante con respecto a las variables que influyen en la presencia de estos, dando a conocer los modelos aditivos generalizados para futuros estudios con objetivos ecológicos.

4.1 Conclusiones

La presencia de Baetidae es más probable con valores bajos de nitrógeno, a medida que este valor sube, disminuye la probabilidad de presencia de este organismo.

Al encontrarse entre un 20% y 40% el nivel de adoquín, disminuye la probabilidad de presencia de Baetidae; caso contrario a lo que ocurre con limo y arcilla aumenta esta probabilidad.

A mayor valor de sólidos disueltos, aumenta la probabilidad de presencia de Chironomidae y en el caso de aumento de turbidez, disminuye esta probabilidad.

A menor temperatura, velocidad de la corriente y nitrógeno total; existe un aumento en la probabilidad de presencia de Hydropsychidae.

Al tener una variación del flujo bajo, aumenta la probabilidad de presencia de Hydropsychidae, caso contrario, al usar el suelo para cultivo disminuye la probabilidad de presencia del organismo

El modelo propuesto para Baetidae, predice en un 52% de las veces de manera errónea la ausencia, modelándolas como si estuvieran presentes en estas zonas.

El modelo propuesto para Chironomidae, predice correctamente la presencia de este organismo, pero el 45% de la ausencia lo modela erróneamente.

El modelo propuesto para Hydropsychidae, predice de manera correcta tanto la presencia como la ausencia, pero solo el 13% de presencia lo modela erróneamente.

En las zonas cercanas al río Daule, se encuentran presente mayoritariamente el Chironomidae, debido a que estos organismos son tolerantes a los contaminantes estas zonas tienen contaminación alta.

Las zonas de muestreo que se encuentran por debajo del río Babahoyo, tienen una contaminación alta, debido a la presencia de Hydropsychidae que es indicador de contaminación.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar el estudio con más observaciones en los sectores de la cuenca del río Guayas, para mejorar la predicción de estos organismos disminuyendo el porcentaje de error.

Es recomendable realizar modelos con igual proporción de observaciones tanto de ausencia y de presencia para disminuir el sesgo de predicción.

Se recomienda realizar una campaña de limpieza en la cuenca del río Guayas, en especial en las zonas donde la contaminación es alta.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambarita, e. a. (2016). Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *ELSEVIER*.
- (2009). *Biomonitoreo de calidad de agua para determinar la naturaleza y el grado de contaminación por la agricultura y actividades afines en los principales ríos de la cuenca del río Guayas*. Universidad Agraria del Ecuador. Retrieved from http://www.uagraria.edu.ec/documentos/investigacion/UAE_Biomonitoreo_informe_2_dic_2009.pdf
- Cardenas, M. (2013). *Calidad de las aguas de los cuerpos hídricos de la provincia del Guayas mediante el uso de macro invertebrados acuáticos registrados durante noviembre de 2012 y marzo de 2013*. Retrieved from Prefectura del Guayas: <http://suia.ambiente.gob.ec>
- Flint, O. (1978). *Studies of Neotropical*.
- Flowers, R. (1985). Guajirolus, a new genus of Neotropical Baetidae.
- Gutierrez, R. (1985). *Intelligent Sensor Systems*. Retrieved from http://courses.cs.tamu.edu/rgutier/ceg499_s02/l13.pdf
- Minitab, 1. (2017). *Gráfica de barras*. Retrieved from Soporte de Minitab 17: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/graphs/graphs-that-compare-groups/bar-charts/bar-chart/>
- (n.d.). *Modelización Hidrológica de un área experimental en la Cuenca del Río Guayas*. Guayaquil. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/23364/Cap%C3%ADtulo_3_-_Caracterización_de_la_cuenca_del_Río_Guayas.pdf?sequence=7.
- Quintas, I. (n.d.). Modelo Aditivo Generalizado GAM.
- Quironómidos*. (2017). Retrieved from EcuRed: <http://www.ecured.cu/Quironómidos>
- Representación gráfica de resultados*. (n.d.). Retrieved from Estadística y Bioestadística: .", Prefectura del Guayas Recuperado de: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/78>
- Shneider, J. (1985). Cross Validation. Retrieved from <http://www.cs.cmu.edu/~schneide/tut5/node42.html>
- Simon, N. (n.d.). Generalized Additive Models.
- Terminos empleados y alcance. (1970). *Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar*, (p. Art. 1).
- Zurita, G. (2016). *Probabilidad y Estadística, Fundamentos y Aplicaciones*. Guayaquil: Ediciones del Insituto de Ciencias Matematicas ESPOL.