

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS INDICADORES DE LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NEGRO – AGUAYTÍA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

GREYSY KATHERINE MINCHOLA SOTO

Tingo María – Perú

2021



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS Nº 022-2021-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 19 de Julio de 2021, a horas 11:00 a.m. en la Sala virtual Microsof Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental para calificar la Tesis titulada:

“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO NEGRO – AGUAYTÍA”

Presentado por la Bachiller: **MINCHOLA SOTO, Greysy Katherine**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 24 de agosto de 2021

Ing. M. Sc. Franklin Dionisio Montalvo
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Luis Alberto Sánchez Romero
MIEMBRO

Ing. M. Sc. Abby Solange Da Cruz Rodríguez
MIEMBRO

Ing. M. Sc. Víctor M. Beteta Alvarado
ASESOR

M. Sc. José Luis Gil Bacilio
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL
AGUA DEL RÍO NEGRO – AGUAYTÍA**

Autor : Greysy Katherine Minchola Soto

Asesor : Mg. Victor Manuel Beteta Alvarado

Co Asesor : M. Sc. José Luis Gil Bacilio

Programa de investigación : Ecosistemas y servicios ecosistémicos

Línea(s) de investigación : Ciencia y Tecnología ambientales

Eje temático de investigación : Bioindicadores

Lugar de ejecución : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Duración : Fecha de inicio: 17 de septiembre del 2019
Termino: 17 de marzo del 2020

Financiamiento : S/ 2270.00

FEDU : NO
Propio: SI
Otros : NO



DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza y sabiduría para
enfrentar los obstáculos que se presenten
y ayudarme a seguir adelante en los
momentos más difíciles.

A mis abuelos Isabel García de Soto y Alejandro Soto,
quienes, con mucho amor y sacrificio, me brindaron
apoyo moral y económico para lograr uno de mis
primeros objetivos propuestos.

A mi mamá Aly Soto García, a mis tíos Gilder,
Lety y Mariela Soto García, por haber confiado
en mí y brindarme el apoyo moral durante mi
transcurso profesional.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por la formación académica.
- ✓ Al Ing. Mg. Víctor Beteta Alvarado, asesor de mi tesis, por el apoyo con su experiencia y conocimientos en la culminación de esta tesis.
- ✓ Al Blgo. M. Sc. José Luis, Gil Bacilio, co-asesor de mi tesis, por su colaboración, orientación, confianza depositada en mí que me llevaron a la culminación de este trabajo.
- ✓ A los miembros del jurado, Ing. MSc. Franklin Dionisio Montalvo, Ing. M. Sc. Abby Da Cruz Rodríguez y Mcblgo. M. Sc. Luis Alberto Sánchez Romero.
- ✓ Al Ing. Richard Sias y, Al Ing. Jorge Suarez Vásquez, por sus conocimientos y aportes en el desarrollo de esta tesis.
- ✓ A mi hermano Jhonatan Sandoval por el apoyo constante en la culminación de esta tesis, a todos los que me apoyaron directa o indirectamente

¡Gracias a todos ustedes!

INDICE

	Página
I.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. A nivel internacional.....	3
2.1.2. A nivel nacional.....	6
2.1.3. A nivel local.....	8
2.2. Calidad del agua	8
2.3. Evaluación de la calidad del agua	9
2.3.1. Parámetros fisicoquímicos	9
2.3.2. Análisis biológicos.....	9
2.4. Velocidad y medición del caudal	17
2.5. Índices de calidad del agua (ICA)	18

2.5.1. Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (WQINSF) ...	18
2.5.2. Componentes de la calidad del agua	27
2.5.3. El enfoque de la diversidad	32
2.5.4. Enfoque biótico	35
2.6. Estándares de Calidad ambiental para el agua superficial	38
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.1. Ubicación	42
3.1.1. Política.....	42
3.1.2. Geográfica	42
3.2. Aspectos sociales y ambientales	43
3.2.1. Clima	43
3.2.2. Población.....	44
3.2.3. Actividades socioeconómicas	44
3.3. Materiales y equipos	45
3.3.1. Materiales	45
3.3.2. Equipos.....	46

3.3.3. Reactivos	46
3.4. Tipo de investigación.....	46
3.4.1. Variables en estudio	46
3.4.2. Unidad experimental	47
3.4.3. Diseño de investigación	47
3.5. Metodología	48
3.5.1. Identificación de las zonas de muestreo	48
3.5.2. Recolección de muestras para la evaluación	49
3.5.3. Determinación del cálculo del índice ecológico de comunidades de macroinvertebrados acuáticos.	51
3.5.4. Cálculo del índice para Colombia (BMWP/Col)	54
3.5.5. Cálculo para la correlación.....	55
IV. RESULTADOS.....	58
4.1. Determinación de la calidad fisicoquímica del Rio Negro con el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento WQINSF utilizando parámetros fisicoquímicos.....	58
4.1.1. Caracterización fisicoquímica del agua.....	58

4.2. Estimación de la abundancia y riqueza de macroinvertebrados aplicando el Índice de Shannon – Weaver	84
4.3. Determinación de la calidad biológica del Rio Negro según el Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)	87
4.4. Determinación de la correlación de macroinvertebrados respecto a los parámetros fisicoquímicos del agua	91
V. DISCUSIÓN	98
5.1. Determinación de la calidad fisicoquímica del rio Negro con el índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (WQINSF) utilizando parámetros fisicoquímicos.....	98
5.2. Estimación de la riqueza y abundancia de macroinvertebrados aplicando el Índice de Shannon-Weaver	102
5.3. Determinación de la calidad biológica del rio Negro según el Índice Biological Monitoring Working (BMWP)	103
5.4. Determinación de la correlación que existe entre los macroinvertebrados acuáticos y los parámetros fisicoquímicos del agua en el rio Negro – Aguaytía.....	104
VI. CONCLUSIONES.....	105
VII. RECOMENDACIONES	106

VIII.	ABSTRACT	107
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	108
X.	ANEXOS	117

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Descripción de los principales macroinvertebrados acuáticos.....	10
2. Peso relativo de los parámetros utilizados en el índice WQINSF	25
3. Clasificación del “ICA” propuesto por BROWN	26
4. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.....	37
5. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo a BMWP/Col.....	38
6. Estándares de calidad ambiental para la conservación del ambiente acuática – Categoría 4	39
7. Coordenadas de los puntos de muestreo del río Negro – Aguaytía.	43
8. Métodos de medición de los parámetros fisicoquímicos	53
9. Análisis de varianza para la T° en los puntos y fechas muestreadas	60
10. Análisis de varianza para el pH en los puntos y fechas muestreadas	62
11. Análisis de varianza para el OD en los puntos y fechas muestreadas	65
12. Análisis de varianza para el DBO5 en los puntos y fechas muestreadas	67
13. Análisis de varianza para la Conductividad eléctrica en los puntos y fechas muestreadas.....	70

14. Análisis de varianza para los Sólidos totales disueltos en los puntos y fechas muestreadas	72
15. Análisis de varianza para los fosfatos en los puntos y fechas muestreadas	76
16. Análisis de varianza para turbiedad en los puntos y fechas muestreadas...	78
17. Análisis de varianza para los coliformes fecales en los puntos y fechas muestreadas.....	81
18. Valores de NSF, Calidad y Color en los puntos de muestreo del 28 de septiembre del 2019	82
19. Valores de NSF , Calidad y Color en los puntos de muestreo del 9 de noviembre del 2019	83
20. Valores de NSF, Calidad y Color en los puntos de muestreo del 5 de enero del 2020	84
21. Valores de BMWP/Col., Clase, Calidad y color en los puntos de muestreo (28 de septiembre del 2019).....	88
22. Valores de BMWP/Col., Clase, Calidad y color en los puntos de muestreo (09 de noviembre del 2019).....	89
23. Valores de BMWP/Col., Clase, Calidad y color en los puntos de muestreo (05 de enero del 2020).	91
24. Valores del Índice BMWP/Col y WQINSF en los 8 puntos de muestreo del 28 de septiembre del 2019	92
25. Valores de la correlación de Pearson del Índice WQINSF e índice BMWP/Col del 28 de septiembre del 2019	93

26. Valores del Índice BMWP/Col y WQINSF en los 8 puntos del 09 de noviembre del 2019	94
27. Valores de la correlación de Pearson del Índice WQINSF e índice BMWP/Col del 09 de noviembre del 2019	95
28. Valores del Índice BMWP/Col y WQINSF en los 8 puntos del 05 de enero del 2020	96
29. Valores de la correlación de Pearson del Índice WQINSF e índice BMWP/Col del 05 de enero del 2020.....	97
30. Macroinvertebrados acuáticos por puntos de muestreo (28 de septiembre)	118
31. Macroinvertebrados acuáticos por puntos de muestreo (09 de noviembre)	119
32. Macroinvertebrados acuáticos por puntos de muestreo (05 de enero)	120
33. Índices ecológicos por punto de muestreo (28 de septiembre)	121
34. Índices ecológicos por punto de muestreo (09 de noviembre)	121
35. Índices ecológicos por punto de muestreo (05 de enero)	121
36. Puntuación de los puntos de muestreo (28 de septiembre)	122
37. Puntuación de los puntos de muestreo (09 de noviembre)	123
38. Puntuación de los puntos de muestreo (05 de enero)	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Función de calidad WQINSF – Coliformes Fecales	20
2. Función de calidad WQINSF % de Saturación de Oxígeno disuelto.	20
3. Función de Calidad WQINSF Potencial de Hidrogeno	21
4. Función de calidad WQINSF Demanda Bioquímica de oxígeno.....	21
5. Función de calidad WQINSF Solidos disueltos	22
6. Función de la calidad WQINSF nitratos	22
7. Función de calidad WQINSF fosfatos	23
8. Función de calidad WQINSF Temperatura	24
9. Función de calidad WQINSF Turbidez.....	24
10. Relación entre el valor del coeficiente de correlación lineal de Pearson y la tendencia de signos y valores.	57
11. Rangos de valores de la correlación de Pearson.	57
12. Temperatura del agua por punto de muestro y época evaluada	59
13. Comparación de medias de la variable T° en los puntos de muestreo.	60
14. pH del agua por puntos de muestreo y época evaluada.	61
15. Comparación de medias de la variable pH en los puntos de muestreo	63
16. Oxígeno disuelto del agua por punto de muestreo y época.	64

17. Comparación de medias de la variable OD en los puntos de muestreo.	65
18. DBO5 del agua por punto de muestreo y época evaluada	66
19. Comparación de medias de la variable DBO5 en los puntos de muestreo. .	68
20. Conductividad eléctrica del agua por punto de muestreo y época evaluada.	69
21. Comparación de medias de la variable Conductividad eléctrica en los puntos de muestreo.	70
22. Sólidos totales del agua por punto de muestreo y época evaluada.	71
23. Comparación de medias de la variable Solidos totales en los puntos de muestreo.	73
24. Nitratos del agua por punto de muestreo y época evaluada	74
25. Fosfatos del agua por punto de muestreo y época evaluada	75
26. Comparación de medias de la variable fosfatos en los puntos de muestreo.	76
27. Turbiedad del agua por punto de muestreo y época evaluada.	77
28. Comparación de medias de la variable turbiedad en los puntos de muestreo.	79
29. Coliformes fecales del agua por punto de muestreo y época evaluada.	80
30. Comparación de medias de la variable Coliformes fecales en los puntos de muestreo.	81

31. Índice de Shannon por punto de muestreo	85
32. Índice de Shannon por punto de muestreo	86
33. Índice de Shannon por punto de muestreo	87
34. Correlación del Índice WQINSF e índice BMWP/Col en los puntos de muestreo del 28 de septiembre del 2019.....	93
35. Correlación del Índice WQINSF e índice BMWP/Col en los puntos de muestreo del 09 de noviembre del 2019.....	95
36. Correlación del Índice WQINSF e índice BMWP/Col en los puntos de muestreo del 05 de enero del 2020.	97
37. Punto de muestreo N°1.....	125
38. Punto de muestreo N°2.....	125
39. Punto de muestreo N°3.....	126
40. Punto de muestreo N°4.....	126
41. Punto de muestreo N°5.....	127
42. Punto de muestreo N°6.....	127
43. Punto de muestreo N°7.....	128
44. Punto de muestreo N°8.....	128
45. Tomando una muestra de agua en el río Negro (punto 1).....	129
46. Midiendo el oxígeno disuelto del río Negro (punto 4)	129

47. Midiendo la temperatura del agua del río Negro (punto 2)	130
48. Tomando una muestra de agua del río Negro en el punto 3 (segundo muestreo)	130
49. Tomando una muestra de agua del río Negro en el punto 1 (tercer muestreo)	131
50. Tomando una muestra de agua en el punto 8 (tercer muestreo).....	131
51. Recolectando los macroinvertebrados encontrados en la red surber	132
52. Recolectando los macroinvertebrados con el muestreo manual.	132
53. Recolectando los macroinvertebrados con el muestreo manual.	133
54. Recolectando los macroinvertebrados con el muestreo manual (tercer muestreo)	133
55. Influencia antrópica en el Punto 3 del rio Negro.....	134
56. Residuos sólidos en el Punto 3 del rio Negro.....	134
57. Descarga de aguas residuales domesticas en el punto 7.	135
58. Residuos sólidos en el punto 8.	135
59. Residuos sólidos en el punto 4.	136
60. Descarga de aguas residuales domesticas en el punto 4.	136
61. Analizando las muestras de agua en el laboratorio de microbiología general.	137
62. Analizando las muestras de agua con el KIT de nitratos y fosfatos.....	137

63. Preparando las muestras para la evaluación microbiológica.....	138
64. Sembrando las muestras en los tubos de ensayo.....	138
65. Contabilizando las muestras positivas de los tubos de ensayo.....	139
66. Contabilizando las muestras positivas de los tubos de ensayo.....	139
67. Identificación de macroinvertebrados en el laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.....	140
68. Frascos de vidrio con insectos identificados.....	140
69. Identificando los macroinvertebrados en el Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.....	141
70. Identificando los macroinvertebrados en el Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.....	141
71. Familia Leptophlebiidae.....	142
72. Familia Perlidae.....	142
73. Familia Hidropsychidae.....	143
74. Familia Odontoceriidae.....	143
75. Familia Coenagrionidae.....	144
76. Familia Gomphidae.....	144
77. Familia Elmidae.....	145
78. Familia Psephenidae.....	145

79. Familia Naucoridae	146
80. Familia Hyalellidae	146
81. Familia Glossiphoniidae	147
82. Familia Planariidae	147

RESUMEN

La investigación se realizó en septiembre, noviembre y enero para caracterizar la calidad del agua del río Negro – Aguaytía utilizando macroinvertebrados acuáticos. Se identificaron 8 puntos de muestreo en dos zonas específicas (con alteración antrópica, sin alteración antrópica). Posteriormente se obtuvieron muestras de agua para determinar los parámetros fisicoquímicos determinando así la calidad de agua mediante el índice WQINSF. Los ejemplares de macroinvertebrados acuáticos se recolectaron utilizando la red surber y la técnica manual para la determinación del índice de Shannon – Weaver (H'), y el índice (BMWP/ Col). En la evaluación del índice WQINSF se determinó que el área sin alteración antrópica la calidad es BUENA, mientras que en el área con alteración antrópica presenta calidad REGULAR. Se reconocieron 842 organismos, distribuidos en 4 clases, 9 órdenes y 12 familias de macroinvertebrados, según el índice de Shannon existe mayor diversidad de especies en el área sin alteración antrópica y el índice BMWP/Col nos determinó que en el área sin alteración antrópica se obtuvo como calidad del agua ACEPTABLE y en el área con alteración antrópica presenta calidad DUDOSA y CRITICA. Además, se pudo determinar que la correlación entre el índice WQINSF y BMWP en las tres fechas de muestreo presenta una correlación positiva y alta.

Palabras clave: Calidad de agua, parámetros fisicoquímicos, macroinvertebrados acuáticos, índice WQINSF, índice BMWP/Col., alteración antrópica.

I. INTRODUCCIÓN

La perturbación de los ecosistemas acuáticos requiere la implementación de nuevos métodos para comprender el grado de alteración por causas naturales y/o provocadas por el hombre con el fin de realizar la determinación de la calidad del agua es por ello que se están empleando como indicadores a los organismos biológicos, además de que estas metodologías son más económicas que las fisicoquímicas tradicionales y nos muestran el grado de aceptación que tienen estos organismos en sus diferentes estadios o fases de vida indicando así la calidad del agua.

Esta investigación se ejecutó con el fin de determinar la calidad del agua del río negro – Aguaytía, con la aplicación de macroinvertebrados acuáticos y su contraste con los parámetros fisicoquímicos teniendo como planteamiento del problema ¿Cuál es la calidad del agua en el río Negro – Aguaytía utilizando macroinvertebrados acuáticos? y a través de los resultados obtenidos poder valorar y proteger los cuerpos de agua porque estos refugian organismos muy importantes que nos determinan la calidad del agua.

Planteándose como hipótesis que los macroinvertebrados acuáticos determinarían una calidad regular del río Negro – Aguaytía.

Considerando lo antes manifestado se llevó a cabo la presente investigación, cuyos objetivos son los siguientes:

1.1. Objetivo general

Determinar la calidad del agua del río Negro – Aguaytía utilizando como indicadores de calidad de agua a los macroinvertebrados acuáticos.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad fisicoquímica del río Negro con el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (WQINSF) utilizando parámetros fisicoquímicos.
- Estimar la abundancia y riqueza de macroinvertebrados acuáticos aplicando el índice de Shannon – Weaver.
- Determinar la calidad biológica del río Negro según el Índice Biological Monitoring Workin Party para Colombia (BMWP/Col).
- Determinar la correlación que existe entre los macroinvertebrados acuáticos y los parámetros fisicoquímicos del agua en el río Negro – Aguaytía.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

EFFENDI *et al.* (2015), desarrollaron un artículo científico titulado “Estado de la calidad del agua del río Ciambulawung, provincia de Banten basado en el índice de contaminación y NSF-WQI” y tuvo como objetivo determinar el estado de la calidad del agua del Río Ciambulawung, concluyendo en que la condición de calidad del agua de este río sean catalogadas como buenas. Según el índice de contaminación y NSF-WQI, la calidad del agua en el río Ciambulawung ha sido catalogado como bueno. Esta condición mostro que las actividades antropogénicas y micro hídricas no tuvieron efectos negativos sobre las aguas y su calidad en la parte superior del río Ciambulawung.

OCHIENG *et al.* (2018), desarrollaron un artículo científico titulado “Comparación de versiones templadas y tropicales del índice del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP) para evaluar la calidad del agua del río Aturukuku en el este de Uganda”, siendo el objetivo de estudio comparar espacial y

estacionalmente el desempeño de dos índices bióticos, el BMWP (Inglaterra, E, región templada, National Water Council, 1981) y el BMWP modificado para Costa Rica , para evaluar la calidad del agua del río Aturukuku en Tororo, Uganda oriental, dando como resultados que ni el BMWP-CR, adaptado para el ambiente tropical ni el BMWP (E) de la región templada, separaron los sitios de calidad de agua relativamente buena de las aguas contaminadas a lo largo del río. Aunque BMWP-CR incluyó más taxones de macroinvertebrados locales para puntajes de sensibilidad a la contaminación que BMWP (E), el desempeño de ambos índices fue similar. En general, el BMWP (E) y el BMWP-CR clasificaron la calidad del agua del río como mala a moderada. El índice de diversidad (H') y las variedades fisicoquímicas clasificaron la calidad del agua de los ríos de mala a moderada.

GONCHAROV *et al.* (2016), desarrollaron una investigación titulada “Evaluación ecológica de la cuenca del río Selenga, principal afluente del lago Baikal, utilizando comunidades de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores” cuyos objetivos fueron realizar una evaluación ecológica del principal afluente del lago Baikal, de la cuenca del río Selenga, utilizando comunidades de macroinvertebrados bentónicos residentes como bioindicadores para conocer la salud del ecosistema acuático y determinar las tendencias actuales de los impactos tanto naturales como antropogénicas que influyen en las comunidades de macroinvertebrados en varios sitios contaminados dando como resultados ue el estudio de los invertebrados bentónicos del río Selenga en las

cercanías de Ulan-Ude ha demostrado que la ciudad actualmente tiene un impacto insignificante de las comunidades bentónicas aguas abajo. El fuerte impacto se manifiesta solo en el área donde se realiza el vertimiento de aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales y provoca una disminución de la diversidad de especies de la comunidad bentónica, así como una reducción del número de especies de invertebrados, particularmente aquellos más sensibles a la contaminación del agua.

SHARIFINIA *et al.* (2016) desarrollaron una investigación titulada “Evaluación de la contaminación en el río Shahrood. Los índices fisicoquímicos basados en macroinvertebrados indican las mismas respuestas a las actividades antropogénicas” cuyo objetivo principal de este estudio fue probar si las respuestas de la calidad del agua de los ríos a los cambios inducidos por el hombre eran las mismas según los índices fisicoquímicos y de macroinvertebrados dando como resultados que las métricas e índices basados en la comunidad de macroinvertebrados pueden ser más apropiados y mejores que los basados en parámetros fisicoquímicos para el monitoreo y evaluación de la contaminación del agua en los ríos afectados por actividades agrícolas y efluentes industriales. Además, los resultados de este estudio indicaron que el estrés natural y el inducido por el hombre pueden afectar los parámetros fisicoquímicos y la comunidad de macroinvertebrados en los ríos.

2.1.2. A nivel nacional

CESPEDES (2016), desarrolló una tesis titulada “Calidad del agua de la quebrada Córdova y Cocheros mediante macroinvertebrados acuáticos e Índice WQI_{NSF} , Tingo María – Huánuco – Perú” teniendo como objetivo la caracterización física del área de estudio por punto de muestreo y época evaluada dando como resultados que la calidad del agua según el índice WQI_{NSF} varía desde mala a excelente según el punto de muestreo evaluado y según el índice BMWP/Col varía desde muy crítica hasta buena.

BULLON (2016), desarrolló una tesis titulada “Macroinvertebrados acuáticos indicadores de la calidad de agua del río Perene, Chanchamayo” teniendo como objetivo caracterizar la calidad de las aguas del río Perene, en la provincia de Chanchamayo, utilizando indicadores biológicos y complementada con parámetros fisicoquímicos. Y teniendo como resultados que existe una afectación de la calidad fisicoquímica de las aguas de la cuenca del río Perene por Coliformes Termotolerantes según los ECA evaluados, así mismo los Sólidos Suspendidos Totales sobrepasa los límites, debido a las actividades antropogénicas que se ejercen en el lugar.

CUSTODIO y CHAMANE (2013), desarrollaron una tesis titulada “Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín – Perú”, teniendo como objetivo analizar

el estado de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales. Los resultados fueron que las actividades pecuarias y urbanas generadoras de aguas residuales son las que ejercen mayor presión en la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas, es así que se superan los Límites Máximos Permisibles debido al vertimiento de cargas excesivas de contaminantes orgánicos en los cuerpos de agua superficial. Los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua del río Cunas determinados, según sector y época de muestreo se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental. Mientras que la diversidad, abundancia y riqueza de macroinvertebrados bentónicos presentaron diferencias significativas. Las comunidades de las ordenes Diptera y Ephemeroptera son las que presentaron mayores porcentajes

PALOMINO (2015), desarrolló una tesis titulada “Calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios” donde su objetivo fue determinar la calidad del agua del río Apacheta y sus principales tributarios medidas mediante el índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y BMWP (Biological Monitoring Working Party), la sensibilidad frente a las principales rasgos fisicoquímicos del agua, determinadas entre los meses de julio a noviembre del 2013, y teniendo como resultados la existencia de organismos que pertenecen a seis clases, once órdenes y veinticinco familias, además se encontró que existe una correlación significativa entre índices biológicos,

demostrando que son los más adecuados para evaluar la calidad del agua, también se demostró que el índice BMWP correlaciona con el pH.

2.1.3. A nivel local

Luego de haber indagado física y virtualmente no se han encontrado investigaciones semejantes a nivel local (región de Ucayali), pero se pudo encontrar en regiones cercanas (región Huánuco) como el estudio realizado por CESPEDES (2016).

2.2. Calidad del agua

La calidad del agua depende del uso posterior que se dará, sea para consumo, pesca, recreación, u otros, por ello la Organización Mundial de la Salud (OMS) desarrolla normas internacionales para la calidad del agua y la salud humana en forma de pautas y regulaciones basadas en países de todo el mundo, además el comité europeo menciona que la disponibilidad del agua potable es un requisito básico para el mantenimiento de la vida y protección de la salud. El agua dulce es fundamental para el abastecimiento de agua, elaboración de alimentos y uso en actividades recreativas, por ello es necesario vigilar zonas específicas del agua antes de que sean destinadas al consumo humano para evitar una posible contaminación (OMS, 2018).

2.3. Evaluación de la calidad del agua

Para conocer la calidad del agua existen muchos indicadores que nos brindan información de las condiciones que se deben mantener para que así tener un ecosistema equilibrado y que cumplan las condiciones de calidad, y si estas condiciones muestran variaciones es porque está ocurriendo alguna alteración en el ecosistema (OMS, 2018).

2.3.1. Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos dan a conocer el tipo de contaminante y garantiza la información brindada por estos análisis, siendo transitoria y puntal; sin embargo, la principal desventaja de uso consiste en el costo elevado (ALVAREZ y PEREZ, 2007).

2.3.2. Análisis biológicos

2.3.2.1. Bioindicación

Los indicadores biológicos en la evaluación de la calidad del agua se determinan como especies que tienen requisitos especiales para una o un conjunto de variables físicas y químicas, cualquier cambio en la existencia/ ausencia, cantidad, forma o comportamiento de la especie indica que las variables consideradas están cerca de los límites de tolerancia (ALVAREZ y PÉREZ, 2007).

Con el tiempo, los daños y cambios en ríos, lagos, estanques y arroyos se pueden ver en los macroinvertebrados porque son muy importantes para los ecosistemas acuáticos porque constituyen la parte más importante de la biomasa animal en muchos ríos, papel importante en la transferencia de energía. La investigación que utiliza macroinvertebrados como indicadores biológicos es muy usada por su bajo costo, fácil muestreo y detección temprana de cualquier tipo de contaminación (ALVAREZ y PEREZ, 2007).

- Los macroinvertebrados

ROSENBERG y RESH (1993). Menciona que los macroinvertebrados son organismos acuáticos con una longitud de más de 0,5 mm, por lo que son visibles a simple vista. Por ello, el término “macro” significa que estos organismos son retenidos por una red con un tamaño entre 200 -500mm.

Los invertebrados son los organismos mejor adaptados para los ecosistemas fluviales porque habitan en la mayor parte de los ríos y arroyos del mundo, excepto en las zonas de transición o zonas con contaminación. Además, la abundancia y biodiversidad de invertebrados se encuentran en mayor proporción, con hasta mil especies encontradas en ríos muy analizados, estos habitan en sedimentos rocosos, blandos, plantas y hojas sumergidas (RODRIGUEZ *et al.*, 2009).

Los macroinvertebrados y su uso como indicadores de la calidad del agua es cada vez más aceptado y es una de las metodologías más usadas para evaluar el desarrollo de diferentes proyectos que generan en los ecosistemas acuáticos impactos positivos o negativos (ROLDÁN y RAMIREZ, 2008).

FIGUEROA *et al.* (2003). Diferentes estudios que implementaron estas metodologías han demostrado que taxones como Coleoptera, Trichoptera, Plecoptera y Ephemeroptera son muy susceptibles a la contaminación, mientras que taxones como Oligochaeta, Hirudina, Chironomidae, Diptera y Gastropoda resisten diferentes niveles de contaminación, por lo que pueden sobrevivir en concentraciones bajas de oxígeno.

En montañas con ríos de aguas frías, transparentes, pobres en nutrientes y ricos en oxígeno, se espera que se encuentren poblaciones dominantes del orden Trichoptera, Ephemeroptera y Plecoptera. Mientras que grupos de los órdenes Neuróptera, Coleoptera, Hemiptera, Odonata, Acari, Diptera, Crustacea y demás se encuentran en muy bajas proporciones. En cuanto a aguas intermedias donde aparecen o empiezan a recuperarse de la contaminación, como arroyos y ríos contaminados por materia orgánica, en aguas turbias hay poco oxígeno y eutróficas, se espera encontrar grupos dominantes de Oligoquetos, Quironomidos y ciertos moluscos (ROLDÁN, 2003).


Los macroinvertebrados fragmentadores usan partículas grandes, como hojas de árboles que caen al río y luego las degradan, lo cual es crucial porque transfieren esta energía a otros niveles tróficos. Simultáneamente, los macroinvertebrados filtradores, como las larvas de Simuliidae, eliminan las partículas finas (seston) del agua y las convierten en partículas fecales más densas que se hunden y proporcionan alimento a otros invertebrados acuáticos, lo que permite dichos nutrientes no sean liberados del ecosistema y dirigidos por la corriente al océano (ROLDÁN y RAMIREZ, 2008).

La contaminación de ecosistemas acuáticos es afectada fundamentalmente por actividades humanas como residuos sólidos, deforestaciones y el vertimiento de aguas residuales del tipo doméstica, industrial, agrícola y minero (ROLDÁN, 2003).

Parece que la distribución espacial de los insectos acuáticos está influenciada por 4 tipos de influencias del medio ambiente como fuentes de alimento disponibles, velocidad de la corriente, tamaño de la partícula del sustrato y parámetros fisicoquímicos. Variables como velocidad del flujo del agua y parámetros fisicoquímicos afectan la macro distribución de los insectos, teniendo una influencia en la disponibilidad del alimento y tamaño de la partícula (ORTIZ, 2012).

Factores como la precipitación y época de lluvias, cumplen un rol importante en la estructura y cambio de las comunidades de macro invertebrados bentónicos, está claro que, frente a estos cambios, los organismos evolucionan con diferentes estrategias para responder de la mejor forma (ORTIZ, 2012).

Cuadro 1. Descripción de los principales macroinvertebrados acuáticos.

Orden de insecto	Características	Rasgos clave
Ephemeroptera 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre común: Efímeras (Familias más comunes: Baetidae, Leptohyphidae, Caenidae) Fase de vida: hemimetábolos (ninfas acuáticas y adultos voladores) Periodo de indicación: ninfas Nutrición: Las ninfas son herbívoras y se nutren de algas y tejidos de plantas acuáticas. 	Abdomen generalmente con 2 cercos largos y un filamento central normalmente visibles: Uñas tarsales únicas.

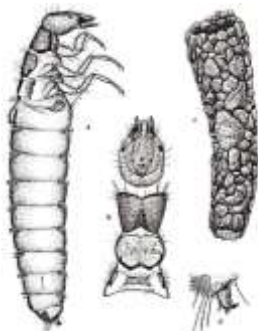
-
- Hábitat: En aguas de corrientes, limpias y bien oxigenadas; solo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación.
-

Plecoptera



- Nombre común: Moscas de las piedras (Familia más común: Perlidae).
Abdomen con un par de cercos sencillos largos
antenas, uñas tarsales pares.
 - Fase de vida: hemimetábolos (ninfas acuáticas y adultos voladores).
 - Periodo de indicación: ninfas muy sensibles a la contaminación.
 - Nutrición: Ninfas se nutren de carne.
 - Hábitat: En ríos de corrientes rápidas, con alto oxígeno, bajo las rocas, tallos, ramas y hojas.
-

Trichoptera



- Nombre común: Friganeas (Familias más comunes: Hydropsychidae, Hydroptilidae, Leptoceridae). La estructura y el tipo de componente de las casas o refugios es una particularidad de valor taxonómico a nivel familiar.
 - Fase de vida: holometábolos (ninfas y pupas: acuáticas y adultos voladores).
 - Periodo de indicación: ninfas.
 - Nutrición: ninfas depredadoras o herbívoras.
 - Hábitat: aguas corrientes, limpias y mucho oxígeno debajo de rocas, tallos y material vegetal, algunas especies habitan en aguas quietas y pozas de ríos y arroyos.
-

Odonata


- Nombre común: Libélulas, caballitos del diablo (Familias más comunes: Libellulidae, Coenagrionidae). Ojos compuestos prominentes. Branquias plumosas externas en la parte posterior del abdomen.
- Fase de vida: hemimetábolos (larvas acuáticas y adultos voladores).
- Periodo de indicación: larvas
- Nutrición: ninfas depredadoras.
- Hábitat: pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas.

Coleoptera

- Nombre común: escarabajos (Familias más comunes: Elmidae, Phesenidae, Hydrophilidae). Patas grandes y camina por el fondo del agua. Respiran aire con el extremo del abdomen o
-



- Ciclo de vida: disponen de apéndices hemimetábolos (larvas, filamentosos, pupas y adultos).
- Periodo de indicación: larvas
- Nutrición: ninfas herbívoras y depredadoras.
- Hábitat: en aguas salinas y en lagos.

Fuente: (Álvarez, 2005).

2.4. Velocidad y medición del caudal

El caudal es el flujo de agua expresado en volumen de litros, que ha pasado por una parte específica de un arroyo, río o quebrada en un tiempo específico, además para medir el caudal se usan diversos métodos cuya elección dependerá del objetivo del seguimiento, la accesibilidad o tiempo disponible, así como las propiedades del río, la forma y el desplazamiento de la fuente. Las particularidades del lugar y el contexto ambiental durante el proceso también son esenciales para determinar cómo se realizará la medición de este (GONZALES, 2014).

2.5. Índices de calidad del agua (ICA)

Existen múltiples definiciones de indicador ambiental, que se describe como “medidas físicas, químicas, biológicas o socioeconómicas que pueden representar mejor los elementos clave de los ecosistemas o los problemas ambientales”. También se la define como “una medida directa o indirecta de la calidad ambiental que se utiliza para calcular el estado y la capacidad del ambiente para apoyar la salud humana y del ambiente” (LONE, 2018).

LONE (2018) también menciona que este indicador proporciona una perspectiva de las circunstancias e influencias ambientales, siendo estas refutaciones sociales y gubernamentales, son de fácil interpretación y capaces de demostrar las preferencias del momento, así como manifiestan cambios al medio y al accionar antropogénico, estos detallan una plataforma para realizar la comparación a nivel nacional, regional e internacional. Para ello las particularidades que presentan las hacen muy útiles para realizar el seguimiento y descubrir las circunstancias de los ecosistemas acuáticos.

2.5.1. Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (WQINSF)

El índice de Calidad de Agua National Sanitation Foundation (WQINSF) de Estados Unidos, se estableció para calcular las permutaciones de la calidad del agua a lo largo del tiempo en diferentes tramos, se usa 9 parámetros: pH, Variación

de temperatura, DBO, Coliformes fecales, Turbidez, Solidos disueltos totales y Oxígeno disuelto, Nitratos, Fosfatos (HERNANDEZ, 2016).

2.5.1.1. Curvas de función

Todas las curvas de función fueron promediadas por los investigadores, además de tener una curva promedio por tipo de contaminante. Posteriormente estas curvas fueron graficadas mediante una media aritmética con un límite de confianza del 80%, valores de confianza cercanos a la media representa un contaminante variable, mientras que límites de confianza amplios representan desacuerdos entre las respuestas (BROWN *et al.*, 1970).

En el caso del Oxígeno Disuelto se tuvo una banda estrecha, mientras que la turbidez una mucho más amplia, el cual se puede observar en las Figuras del 1 al 9 con su respectivo valor Q (BROWN *et al.*, 1970).

– **Coliformes fecales**

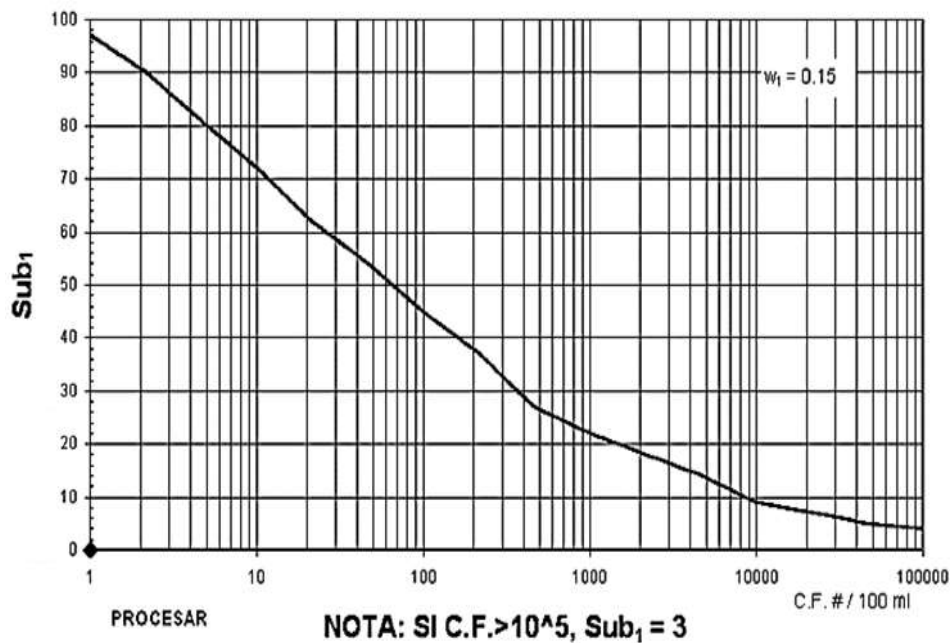


Figura 1. Función de calidad WQINSF – Coliformes Fecales

– **Oxígeno disuelto**

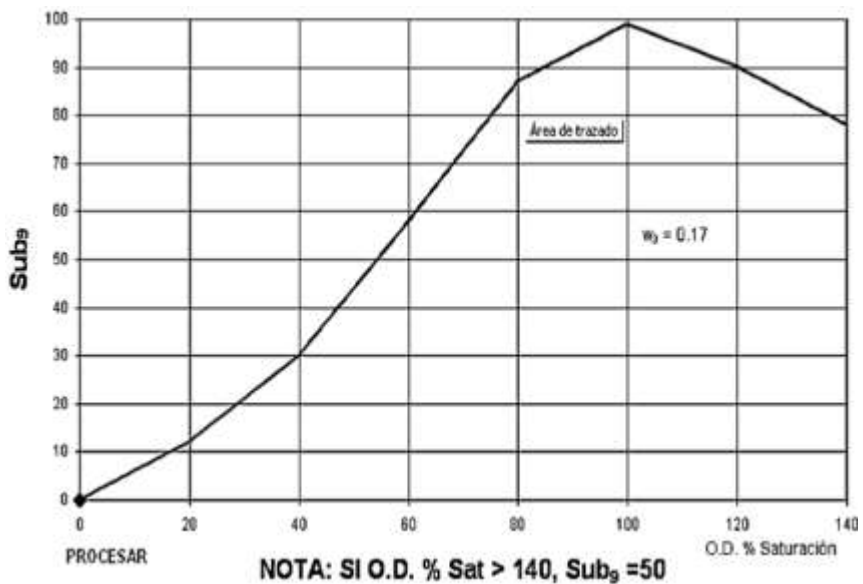


Figura 2. Función de calidad WQINSF % de Saturación de Oxígeno disuelto.

– **Potencial de hidrogeno**

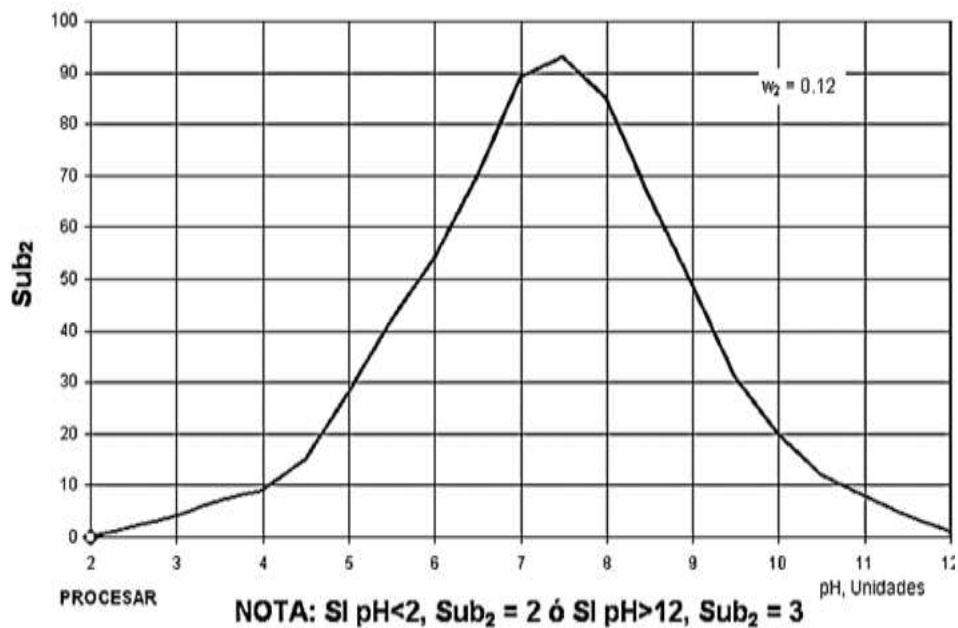


Figura 3. Función de Calidad WQINSF Potencial de Hidrogeno

– **Demanda bioquímica de oxigeno**

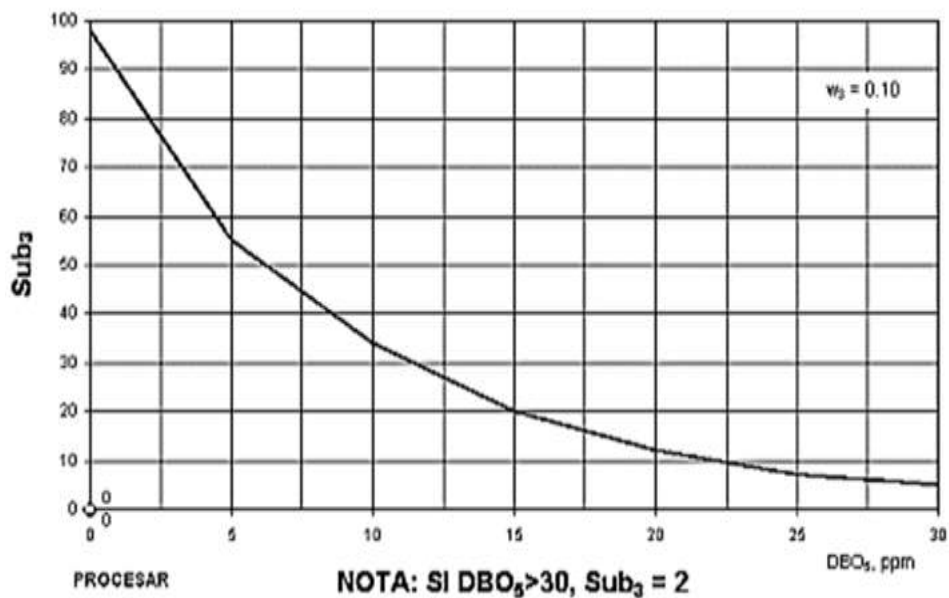


Figura 4. Función de calidad WQINSF Demanda Bioquímica de oxigeno

– **Sólidos totales disueltos**

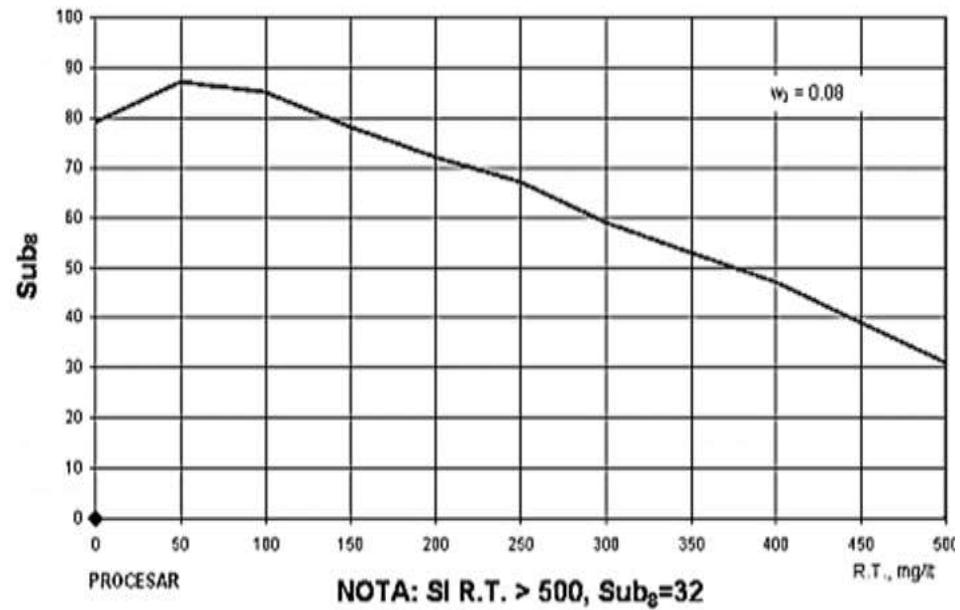


Figura 5. Función de calidad WQINSF Solidos disueltos

– **Nitratos**

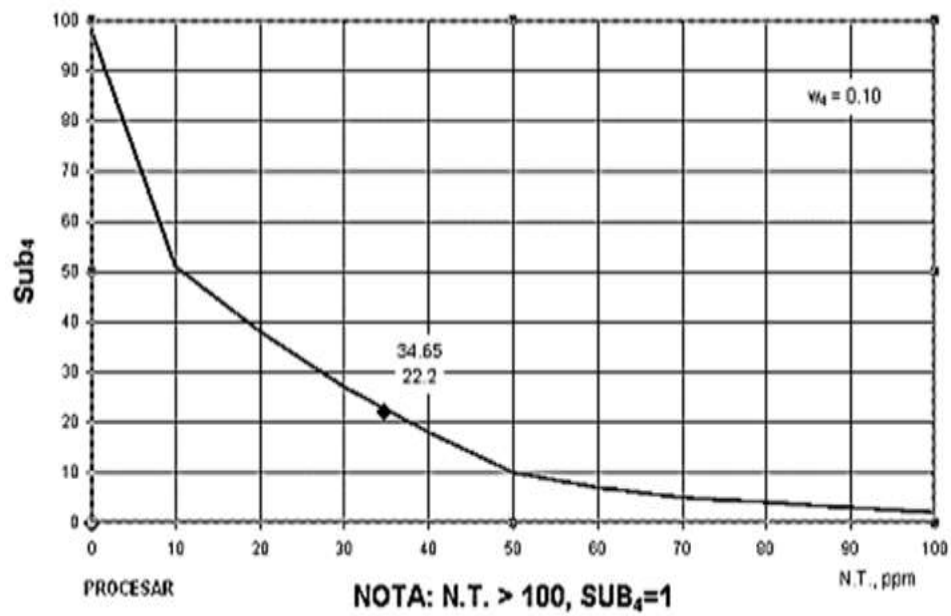


Figura 6. Función de la calidad WQINSF nitratos

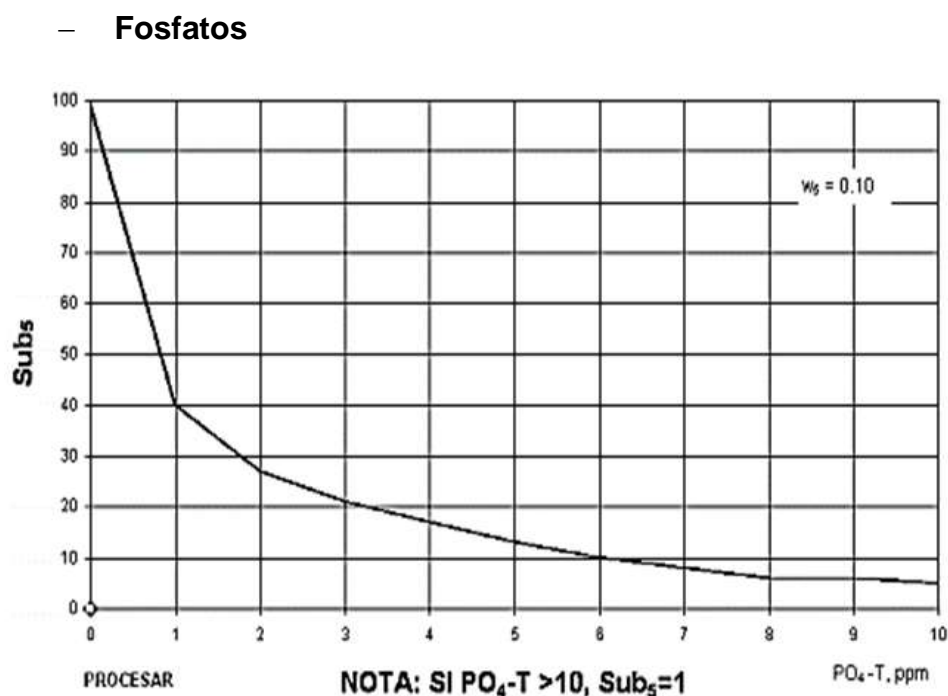


Figura 7. Función de calidad WQINSF fosfatos

– **Temperatura**

Para el cálculo del parámetro de Temperatura (Sub5), se tiene que hallar la diferencia en la temperatura del ambiente y la temperatura de la muestra. Si dicho valor es mayor es superior a 15°C el Sub5 equivale a 9, si el valor es inferior a 15°C, se busca el valor en el eje X de la figura 6, para luego interpolar el valor con el eje de las Y. El valor hallado es el Sub6 de temperatura para proceder a elevarlo al peso w_6 (BROWN *et al.*, 1970).

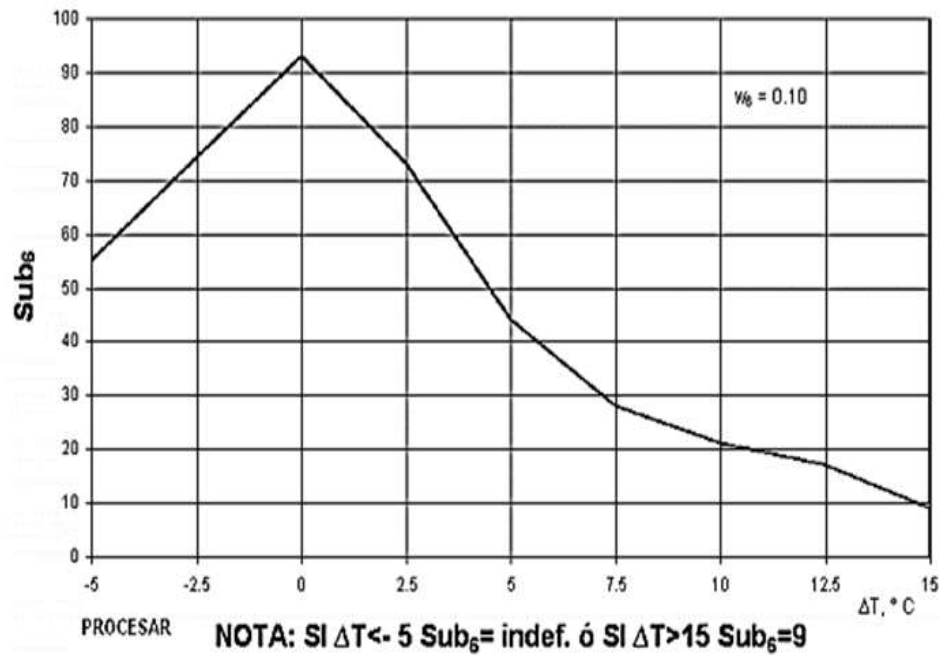


Figura 8. Función de calidad WQINSF Temperatura

– **Turbidez**

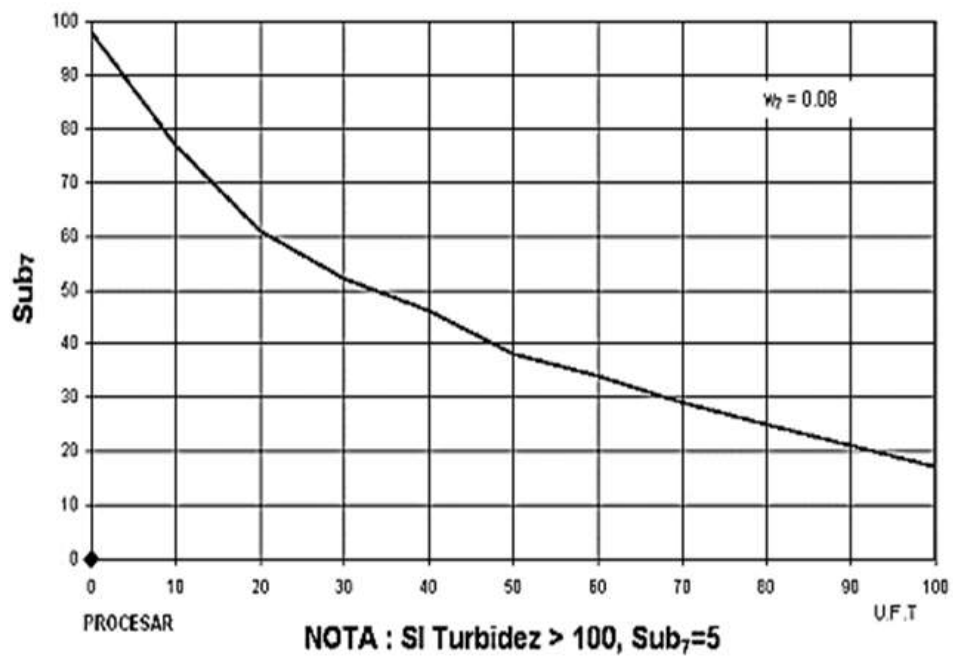


Figura 9. Función de calidad WQINSF Turbidez

2.5.1.2. Formulación y cálculo del índice WQINSF

Según (BROWN *et al.*, 1970). Para determinar el NSF-WQI, se necesita de 9 parámetros:

- Coliformes Fecales (en NMP/ 100MI)
- Cambio de temperatura (°C)
- pH (unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ en mg/L)
- Sólidos Disueltos Totales (SDT en mg/L)
- Nitratos (NO₃⁻ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄⁻³ en mg/L)
- OD (% Saturación)

Por Brown se tiene que la Evaluación numérica del ICA, se realiza con técnicas multiplicativas y ponderadas mediante la asignación de pesos específicos. Se puede usar una función ponderada multiplicativa (ICAm) o una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) para encontrar el índice de Brown. (BROWN *et al.*, 1970). El cual es expresado matemáticamente de la siguiente forma:

$$ICA_{NSF} = \sum_{i=1}^9 (Q_i \times W_i) \quad (1)$$

Donde:

- Q_i : Subíndice del parámetro.
- W_i : Peso relativo del parámetro.






Cuadro 2. Peso relativo de los parámetros utilizados en el índice WQINSF

Parámetros	Peso Relativo (W)
Coliformes fecales	0.16
Oxígeno disuelto	0.17
pH	0.11
DBO ₅	0.11
Sólidos Totales	0.07
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Temperatura	0.10
Turbidez	0.08

Fuente: FERNANDEZ y SOLANO (2005).

ICA utiliza un valor máximo de 100 determinado para condiciones óptimas que disminuyen con el nivel de contaminación presente en el agua bajo investigación. Después de calcular los indicadores de calidad del agua de tipo “General”, la calidad del agua se clasifica de acuerdo al Cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación del “ICA” propuesto por BROWN

Calidad	Valor del WQINSF	Color
Excelente	91 -100	
Buena	71 - 90	
Regular	51 - 70	
Mala	26 - 50	
Pésima	0 - 25	

Fuente: ICA-NSF-USA (BROWN,1970).

2.5.2. Componentes de la calidad del agua

La definición de la calidad del agua es un concepto completo que involucra valoraciones subjetivas, así como relaciones entre parámetros físicos, químicos y biológicos. Estas relaciones definen la composición del agua y su variabilidad para determinar los usos de los cuerpos de agua (SEMARENA, 2001).

2.5.2.1. pH

El pH mide la acidez o basicidad de una sustancia, en un intervalo de 0 a 14, valores iguales a 7 se considera neutro, valores inferiores a 7 es un pH ácido y valores superiores a 7 el pH es básico. Los valores recomendados para el pH del agua son de 6,5 a 8,5 (EPA,2007)

2.5.2.2. Nitratos

Las fuentes de nitrato del suelo y agua (superficiales y subterráneas) están asociadas principalmente con actividades agrícolas y ganaderas, pero en algunas áreas están asociadas con actividades industriales, especialmente el trabajo de la industria en el campo (PREQB, 2004).

2.5.2.3. Fosfatos

El fósforo generalmente se presenta como fosfatos, un nutriente esencial para la vida, que contribuye a la eutrofización de lagos, ríos y pozos. Se le encuentra de manera natural en rocas y materia orgánica, este elemento es muy usado en productos químicos como fertilizantes, por ello que se encuentra en altas concentraciones en áreas de actividad humana, por lo que altas concentraciones puede causar eutrofización (PREQB, 2004).

2.5.2.4. Turbidez

La turbidez del agua generalmente se debe a la presencia de partículas en suspensión y disueltas de líquidos, gases y sólidos orgánicos e inorgánicos, y la presencia de partículas bloquea la luz, impide la transparencia e impide la transmisión de luz (EPA, 1999).

2.5.2.5. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es la medida de la cantidad oxígeno en el agua necesaria para un río o lago saludable, su nivel indica si el agua está contaminada y si puede sustentar la vida de plantas y animales. En general, los niveles altos de oxígeno disuelto no indican una calidad del agua, pero los peces y otros organismos no pueden sobrevivir si son demasiados bajos. Dado que el agua con bajas temperaturas (frías) tiene más oxígeno disuelto que el agua con altas temperaturas (caliente), factores como la temperatura del afectan la cantidad de oxígeno presente en el agua (PREQB, 2004).

2.5.2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO se usa para realizar mediciones aceptadas de materia orgánica y es una prueba que se utiliza para determinar la demanda de oxígeno para la descomposición bioquímica de la materia orgánica en aguas municipales, residuales y de desechos industriales. Su cálculo nos permite conocer el efecto de las descargas sobre la calidad de las aguas receptoras (DAVIS y CORNWELL, 1998).

2.5.2.7. Sólidos disueltos totales

APHA (1992). Los sólidos totales disueltos es un término usado para describir las sales inorgánicas y mínimas cantidades de materia orgánica presentes en las soluciones del agua. Encontrándose mayoritariamente al Calcio, Sodio, Magnesio y Cationes de potasio y Carbonato, Carbonato de hidrogeno, cloruro, sulfato y aniones de nitrato, originadas a partir de efluentes naturales, aguas residuales domesticas e industriales, la escorrentía urbana y agrícola.

2.5.2.8. Microorganismos coliformes

Las bacterias presentes en las heces pueden causar diversas enfermedades que se propagan a miembros de la misma especie, pero hay bacterias como las *Escherichia coli* que pueden cruzar los límites biológicos. Estas especificidades dan como resultado una alta movilidad y afecta la salud de las personas expuestas a aguas contaminadas con heces (OPS, 1988).

2.5.2.9. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica mide la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica, el cual depende de los iones disueltos, debido a la división de sales inorgánicas, ácidos y bases, sus concentraciones absolutas y relativas, su movilidad, su valencia y de la temperatura y la viscosidad

de la solución. La conductividad eléctrica es susceptible a la actividad biológica del agua, existen factores que pueden generar fallos en su medición, como la presencia de partículas de gran tamaño y/o aceites y grasas (TAMANI, 2014).

La conductividad del agua dulce depende de la geología del lugar por el cual fluye (cuenca). Es decir, cuando fluyen por sustratos de granito, tienden a tener conductividad más baja, porque el sustrato está compuesto de materiales que ionizan. El vertimiento de aguas residuales por lo general aumentan la conductividad eléctrica por el aumento de la concentración de Cl^- , NO_3^- y SO_4^{-2} , u otros iones (TAMANI, 2014).

2.5.2.10. Temperatura

La temperatura afecta al retraso o aceleración de la actividad biológica y el oxígeno presente en el agua, siendo un parámetro muy importante. Así como las propiedades físicas y químicas del agua, y tiene un impacto significativo en los organismos acuáticos, cambia los hábitos de alimentación y reproducción y las tasas metabólicas, así como la velocidad de reciclado de nutrientes en los sistemas acuáticos (JAVIER, 2010).

Hay una serie de factores, principalmente ambientales, que pueden provocar un cambio constante en el agua. La temperatura afecta la medición de otros parámetros como el pH, la alcalinidad y la conductividad. Las altas

temperaturas resultantes de las descargas de aguas calientes, pueden tener efectos ecológicos muy importantes, ya que las mediciones de la temperatura del receptor son útiles para evaluar sus efectos (SEVERICHE *et al.*,2013).

Además, la temperatura ejerce una gran influencia en la reproducción, crecimiento y status fisiológicos de los organismos vivos. Los microorganismos como grupo (en especial las bacterias) tienen una capacidad extraordinaria para vivir y reproducirse en un amplio rango de temperaturas, desde temperaturas bajo 0°C, hasta temperaturas que alcanzan los 113 °C. (TAMANI, 2014).

2.5.3. El enfoque de la diversidad

El termino de diversidad se refiere a las diversas especies que ocurren en las dimensiones espacio-temporales definidas, generadas por la interacción entre especies dentro de un marco histórico de variaciones ambientales y en un proceso de adaptación, selección y evolución. (MAGURRAN, 2004).

Los índices de diversidad son expresiones matemáticas que utiliza los tres componentes de la estructura de la comunidad como abundancia, equitatividad y riqueza para realizar una descripción de la respuesta de una comunidad a la calidad de su entorno. Los ambientes naturales se identifican por la gran variedad de especies, pero el número de individuos es muy pequeño, o algunas especies. Mientras que comunidades expuestas al estrés por contaminación tienen grandes

poblaciones, cada una caracterizada por algunas especies, esto se ha observado en sistemas naturales, como lagos y profundidades oceánicas, montañas altas y temperaturas extremas (ARCE, 2006).

– **Índice de Shannon Wiener**

Este índice considera la riqueza y abundancia, y está basado en la teoría de la información usando una escala logarítmica, cero (0) es cuando existe una sola especie y el máximo es $\lg 2S$ (S es riqueza de especies), toma el máximo valor cuando todas las especies tienen el mismo número de individuos. También, mide la incertidumbre de predecir a que especie puede pertenecer un individuo escogido al azar y asume que todos los individuos están representados en todas las muestras seleccionadas al azar (ORELLANA, 2009). Se calcula de la siguiente manera:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

Donde:

- S= Número de especies (riqueza de especies)
- N = Número total de individuos de todas las especies.
- p_i = Proporción de individuos de la especie, i: respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie n_i/N)

- n_i = Número de individuos de la especie i

Entre las principales desventajas del Índice de Shannon se tiene:

- Se podría obtener un mismo valor del índice para una comunidad de alta equidad y baja riqueza, como para una comunidad con baja equidad y alta riqueza (MOYA, 2006).
- Si existe muestras pequeñas subestima la diversidad (WARWICK y CLARKE, 1995).
- No logra distinguir entre especies o familias tolerantes como quironómidos (France 1990, citado por MOYA, 2006).
- Y, para terminar, al momento de evaluar incrementos de abundancia sin exclusión de especies tolerantes por polución se podrían tener falsos negativos.

Según ÑIQUE (2010), permite medir el grado de incertidumbre y se usa para predecir las especies de individuos seleccionados al azar de una comunidad. Cuando todos los individuos son de la misma especie, la función tendrá un valor mínimo, y tendrá un valor máximo cuando todas las especies tengan el mismo número de individuo. Una característica del Índice de Shannon – Weaver es su sensibilidad a los cambios del número de especies raras, por lo que es adecuado para la investigación de la conservación de la naturaleza.

2.5.4. Enfoque biótico

Basados en el concepto de organismos indicadores, generalmente se dirigen a ciertos tipos de contaminación y /o áreas geográficas, y también permiten evaluar el estado ecológico actual de los ecosistemas acuáticos afectados por la contaminación. Por este motivo, se asigna un valor al grupo de invertebrados de la muestra en función del tipo de contaminación que puede tolerar. Los organismos más tolerantes obtienen valores menores, mientras que los organismos más sensibles obtienen valores mayores, la suma de todos estos valores indica la calidad del ecosistema (GIL, 2014).

– Índice Biological Monitoring Working Party - Colombia (BMWP/Col)

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) se estableció en Reino Unido en 1970 como método rápido y simple de utilizar macroinvertebrados como indicadores biológicos para evaluar la calidad del agua. Pero se pide llegar hasta la clasificación taxonómica de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). Según la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica, la puntuación oscila entre 1 y 10. Las familias más sensibles son Perlidae y Oligoneuriidae y tiene una puntuación de 10, mientras que familias más tolerantes a la contaminación tienen una puntuación de 1 como Tubificidae. La suma de las puntuaciones de estas familias da la puntuación total de BMWP (ROLDÁN, 2003).

La puntuación promedio de cada taxón se llama ASPT (Average Store per Taxón), es el puntaje total para evaluar el lugar, y se halla dividiendo el puntaje total BMWP entre el número de taxones calificados por muestra, lo que representa el promedio de indicación de la calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados hallados en una zona. El valor de ASPT varía de 0 a 10, valores bajos que están asociados al puntaje del BMWP, nos indica que existe contaminación crítica. Las puntuaciones de familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación según su conocimiento de abundancia y distribución (ROLDÁN, 2003).

Por lo tanto, al determinar el grado de diferencia entre la composición típica de una comunidad y un ecosistema acuático dado, se puede dar una medida ideal del agua y su calidad. El modelo computarizado llamado RIPACS (River Invertebrate Prediction and Classification System) inventado en Reino Unido, permite comparar las comunidades de invertebrados que se encuentran en un lugar determinado con las predichas en lugares no contaminados (ROLDÁN, 2003).

Cuadro 4. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Valiidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveiidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralodae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Notoridae, Dolichopodidae	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae	1

Fuente: ROLDÁN, 2003

Cuadro 5. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo a BMWP/Col

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Significado	Color
I	Buena	> 150	Aguas muy limpias	Blue
		101 - 120	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas se evidencian efectos de contaminación	Light Green
III	Dudosa	36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas	Yellow
IV	Critica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	Orange
V	Muy critica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas, situación critica	Red

Fuente: ROLDÁN, 2003

2.6. Estándares de Calidad ambiental para el agua superficial

MINAM (2017) establece que los Estándares nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo sus condiciones naturales o niveles de fondo y en el diseño de normas legales y políticas publicados de conformidad con lo mencionado en la Ley N°28611 Ley General del Ambiente, para la presente

investigación se usó la Categoría 4 de la mencionada norma, que refiere a la conservación del ambiente acuático.

Cuadro 6. Estándares de calidad ambiental para la conservación del ambiente acuática – Categoría 4

Parámetro	Unidad	E2: Rios:Selva
Físicos - Químicos		
Aceites y grasa	mg/L	5,0
Cianuro libre	mg/L	0,0052
Color(b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)
Clorofila A	mg/L	**
Conductividad	(uS/cm)	1000
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	10
Fenoles	mg/L	2,56
Fosforo total	mg/L	0,05
Nitratos (NO ₃ -)	mg/L	13
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)
Nitrógeno total	mg/L	**
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥5
Potencial de hidrogeno (pH)	Unidad de Ph	6,5 a 9,0
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 400
Sulfuros	mg/L	0,002
Temperatura	°C	Δ3
Inorgánicos		

Antimonio	mg/L	0,64
Arsénico	mg/L	0,15
Bario	mg/L	1
Cadmio disuelto	mg/L	0,00025
Cobre	mg/L	0,1
Cromo VI	mg/L	0,011
Mercurio	mg/L	0,0001
Niquel	mg/L	0,052
Plomo	mg/L	0,0025
Selenio	mg/L	0,005
Talio	mg/L	0,0008
Zinc	mg/L	0,12
Orgánicos		
<u>Compuestos Organicos Volatiles</u>		
Hidrocarburos Totales de Petroleo	mg/L	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006
<u>BTEX</u>		
Benceno	mg/L	0,05
<u>Hidrocarburos Aromaticos</u>		
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001
<u>Bifenilos Policlorados</u>		
Bifenilos Policlorados(PCB)	mg/L	0,000014
<u>Plaguicidas</u>		
<u>Organofosforados</u>		
Malatión	mg/L	0,0001

Paratión	mg/L	0,000013
<u>Organoclorados</u>		
Aldrin	mg/L	0,000004
Clordano	mg/L	0,0000043
DDT	mg/L	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056
Endosulfan	mg/L	0,000056
Endrin	mg/L	0,000036
Heptacloro	mg/L	0,0000038
<u>Microbiológico</u>		
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	2000

Fuente: MINAM, 2017.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

3.1.1. Política

Este trabajo de investigación se realizó en 2 fases; donde primero se ejecutó el muestreo en la ciudad de Aguaytía que pertenece al Distrito de Padre Abad, Provincia de Padre Abad, Región de Ucayali; en la segunda etapa se realizó la identificación de muestras de macroinvertebrados, en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria De La Selva que se encuentra en la ciudad de Tingo María que pertenece al distrito Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco.

3.1.2. Geográfica

La investigación se llevó a cabo en el río Negro en las coordenadas mostradas en el cuadro 7.

Cuadro 7. Coordenadas de los puntos de muestreo del río Negro – Aguaytía.

Punto de muestreo	Distancia (m)	Altitud (m.s.n.m)	Coordenadas UTM		Zona	
			(WGS84)			
			Este (m)	Norte (m)		
P1	P1-P2	221	278	443039	9000395	Presión antrópica nula
P2	P2-P3	203	274	443125	9000417	Presión antrópica alta
P3	P3-P4	216	277	443209	9000384	Presión antrópica alta
P4	P4-P5	210	285	443363	9000332	Presión antrópica alta
P5	P5-P6	258	280	443653	9000431	Presión antrópica alta
P6	P6-P7	426	283	443758	9000536	Presión antrópica alta
P7	P7-P8	465	270	444076	9000864	Presión antrópica alta
P8	P1-P8	1999	274	444142	9001285	Presión antrópica alta

3.2. Aspectos sociales y ambientales

3.2.1. Clima

SEMAMHI (2019), menciona que la provincia de Padre Abad cuenta con un clima cálido, lluvioso y húmedo, la zona de vida que presenta este lugar es bosque tropical muy húmedo, propicio para el crecimiento de abundantes árboles y arbustos, la temperatura media anual en Aguaytía se encuentra a 25. 6°C y las precipitaciones son prevalecen todo el año, motivo de ello presenta en el mes más seco lluvias, la precipitación es de 5011 mm al año.

3.2.2. Población

La provincia de Padre Abad alcanza la cifra de 56108 habitantes para el año 2017. Según el (INEI).

3.2.3. Actividades socioeconómicas

La provincia de Padre Abad tiene 90.000 hectáreas y 599,42 hectáreas, que representan el 10% del área total, destinada a la producción agrícola (cultivos permanentes y limpios)

Sin embargo, en la actualidad se están utilizando 33.mil.983.983 hectáreas de producción agrícola. Cabe señalar que los productores no le dieron el uso correspondiente debido a su desconocimiento de la capacidad de uso del suelo lo que resulta en una baja productividad, que se traduce en ingresos económicos y aumenta la pobreza.

De acuerdo con las características de capacidad de aprovechamiento del suelo, se ha descubierto potencial agrícola en los márgenes del río Aguaitia y afluentes de la provincia.

En Ucayali, la pesca es una importante actividad económica y social que puede generar empleo e ingresos, y es una de las principales fuentes de proteína en la dieta de la población de la región. La pesca se realiza principalmente

en ambientes naturales (como ríos y lagos), y se ha observado una presión creciente sobre diferentes especies, especialmente para especies de mayor valor comercial. Si bien las actividades acuícolas están aún en etapas iniciales, dado el enorme potencial de la región, se han implementado decisiones impulsadas por las autoridades competentes (Ministerio de la Producción-Producción, Gobierno regional de Ucayali y gobierno local).

La gran mayoría de la producción ganadera está orientada al comercio y al menos es autosuficiente, pero la cría de animales pequeños es un recurso directo para que la población rural sea autosuficiente.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales

Los materiales empleados fueron: Alcohol, 8 frascos de vidrio, 200 frascos pequeños, Guantes, Mascarillas, Pinzas entomológicas, Cooler de plástico, Botas, Machete, Wincha, Cuaderno de campo, manual de identificación de macro invertebrados, Red Súrber.

3.3.2. Equipos

Los equipos utilizados en la investigación fueron: Oxímetro, pH – metro, Microscopio, Estereoscopio, GPS Garmin, Termómetro digital, Laptop, Cámara digital, Cronómetro

3.3.3. Reactivos

Los reactivos utilizados en la investigación fueron: Test KIT de Fosfatos, Test KIT de Nitratos, Caldo peptonado, Caldo E. Coli.

3.4. Tipo de investigación

El trabajo de investigación realizado es descriptivo, dado que se recolectó información de las variables identificadas como características de las comunidades (abundancia), calidad ambiental del río según el índice BMWP/Col. y la calidad fisicoquímica del agua según el índice WQINSF.

3.4.1. Variables en estudio

A. Variable dependiente

- Calidad del agua.

B. Variable independiente

- Parámetros fisicoquímicos.

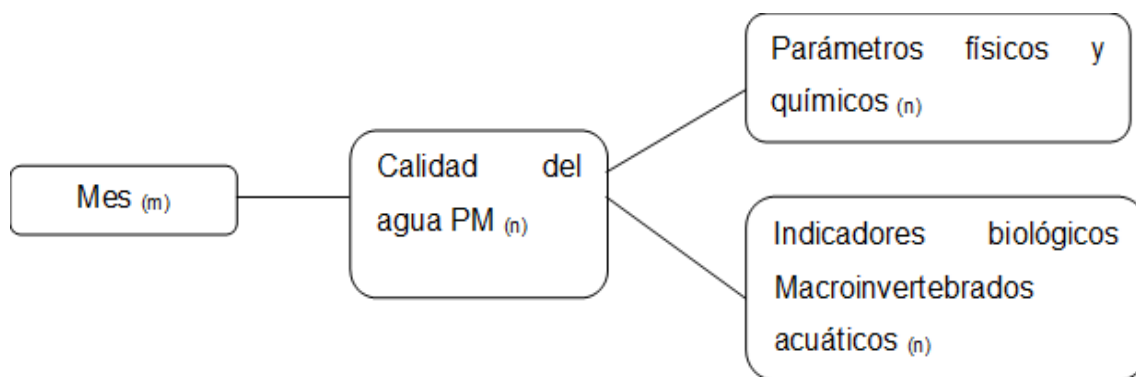
- Parámetros biológicos (macroinvertebrados acuáticos).

3.4.2. Unidad experimental

Los macroinvertebrados acuáticos utilizados como bioindicadores de calidad del agua del río Negro – Aguaytía.

3.4.3. Diseño de investigación

El trabajo de investigación presenta el diseño descriptivo para ocho puntos de muestreo en tres épocas de año (verano, primavera, invierno), septiembre, noviembre, enero, respectivamente. De acuerdo al siguiente modelo:



Donde:

- m: septiembre, noviembre, enero
- PM: puntos de muestreo
- n: número de punto

3.5. Metodología

3.5.1. Identificación de las zonas de muestreo

En la investigación se identificaron 8 sitios de muestreo de macroinvertebrados ubicados en 2 áreas específicas del río Negro; áreas naturales que no han sido alteradas por humanos y áreas que han sido alteradas por actividades humanas, cada uno de estos puntos están separados entre 200 y 470 metros de distancia según las condiciones del punto de muestreo.

El Punto 1 (P1), ubicado en la zona donde la vegetación en el margen derecho e izquierdo del río Negro es bosque, además la concurrencia de personas es baja y por eso es considerado zona con actividad antrópica nula.

Los Puntos (P2), Punto 3 (P3), Punto 4 (P4), Punto 5 (P5), Punto 6 (P6), Punto 7 (P7), Punto 8 (P8) ubicados en la zona alterada por la alta presión antrópica debido a que las viviendas que se encuentran a las orillas del río descargan sus aguas residuales domésticas y las personas que transitan por las orillas arrojan sus residuos sólidos a este cuerpo de agua.

Se determinaron los medios presentes en la sección de investigación y se definieron según diferentes combinaciones de profundidad, velocidad del agua (rápida, media y lenta), propiedades del sustrato y presencia de vegetación, y luego

se georreferenciaron mediante GPS de marca Garmin. Los puntos de muestreo están estandarizados en términos de propiedades físicas, teniendo en cuenta el caudal (la velocidad media y la baja profundidad).

3.5.2. Recolección de muestras para la evaluación

3.5.2.1. Recolección de macroinvertebrados

La colecta de macroinvertebrados se realizó según los lineamientos del (MINAM, 2014) "Métodos para la recolección, identificación y análisis de comunidades biológicas: perifiton, plancton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales peruanas" y "Manual de Monitoreo: Macroinvertebrados acuáticos como un indicador de la calidad del agua ", utilizando 2 metodologías: recolección manual, que implica alzar piedras, ramas y tallos de árboles. Utilizar pinzas entomológicas de punta fina para recolectar microorganismos y colocarlos en un frasco que contenga 70% de alcohol; para las redes de surber, incluye colocar un contorno de metal de 30x30 (triángulo) en la corriente de agua inferior para detener a los macroinvertebrados transportados por la corriente de agua, para finalmente recoger el organismo en una botella con alcohol, además, En cada lugar muestreado se delimitó un espacio de 20 metros de largo y esta se divide en tres partes, y cada parte dividida en el área se recolecto durante media hora, un total de 1:30 horas por punto de muestreo, y luego se

trasladó al Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Teniendo en cuenta el método propuesto por la Autoridad Nacional del Agua (2016) se realizó el muestreo en 8 puntos y se utilizaron botellas de vidrio de 500 ml desinfectados y etiquetados. Después de encontrar el punto de muestreo, se abrió la botella y se sumergió rápidamente a 20 cm. Las muestras recolectadas se guardaron en una caja refrigerante (hielera), finalmente estas muestras se trasladaron al laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria de La Selva para su correspondiente estudio.

Posteriormente se determinó la relación existente entre las variables desarrollando el análisis de varianza para cada parámetro evaluado con el software INFOSTAT.

3.5.2.2. Identificación de macroinvertebrados acuáticos

Se realizó la identificación en la Universidad Nacional Agraria, específicamente en el Laboratorio de Entomología a cargo del Blgo. El M. Sc. José Luis Gil Bacilio; también se realizó un informe sobre las especies que han sido identificadas; continúe extrayendo los organismos con la ayuda de pinzas entomológicas de punta fina, para ello se utilizó un estereoscopio con un aumento de 10 veces además de la literatura correspondiente, así como la "Guía de

Investigación en Macroinvertebrados Acuáticos "(ROLDÁN, 1996) y la" Guía de Laboratorio de Limnología de Macroinvertebrados Bentónicos "(GONZALES *et al.*, 2013)).

3.5.3. Determinación del cálculo del índice ecológico de comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

El índice de Shannon-Weaver se determinó usando el programa de estadística PAST 3.14 de acuerdo a lo siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \ln p_i) \quad (3)$$

Donde:

- H' : Índice de Shannon-Weaver (nats/ind)
- p_i : abundancia relativa
- ln : logaritmo natural

3.5.4. Cálculo para determinar el ICA - WQINSF

Se calculó el índice WQ_{INSF}, según lo indicado por FERNÁNDEZ y SOLANO (2005) haciendo uso del Microsoft Excel 2013; se distribuyeron los pesos de cada parámetro considerado en el estudio, el cual al sumar nos da como factor de ponderación la unidad; posteriormente se ingresaron los valores de cada parámetro con su respectiva unidad de medida junto al subíndice determinado, el

cual se basa en las curvas de calidad; cada subíndice se multiplicó con su respectivo factor de ponderación dando como resultado el subtotal, obteniendo el valor final del índice; este valor es interpretado según la clasificación (Cuadro 2).

El ICA-NSF se determinó por la siguiente fórmula:

$$ICA_{NSF} = \sum_{i=1}^9 (Q_i \times W_i) \quad (4)$$

Donde:

- Q_i : subíndice del parámetro i
- W_i : peso relativo del parámetro i

3.5.4.1. Medición de parámetros indicadores

La forma de evaluar los parámetros fisicoquímicos es de manera directa (in situ) utilizando los equipos existentes (oxímetro, medidores de pH, termómetros) y los organismos microbiológicos, como los coliformes fecales, se usan la tecnología de tubos de fermentación múltiple, y analizando el fosfato y nitrato. A nivel de laboratorio.

Cuadro 8. Métodos de medición de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Método
Temperatura	°C	Medición de temperatura in situ en el punto de muestreo determinado por el termómetro digital
Oxígeno disuelto	% saturación	Se realizó según el método de electrodo de membrana y se utilizó in situ el oxímetro La Motte tipo DO 6 PLUS
pH	unidades de pH	La medición de pH se realizó in situ con el equipo de la marca HANNA modelo HI 98128.
DBO	mg/L	Se determinó utilizando el oxímetro La Motte modelo DO 6 PLUS.
Nitratos	mg/L	<p>Se Utilizó el kit de nitrato HANNA HI 3874 (APHA, 1992) y se siguió los siguientes procedimientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se enrasó el cubo de plástico con 10ml de muestra • Se adicionó 01 sobre de reactivo HI 3874-0 y se agitó durante 1 minuto. • Después de 4 minutos se espera a que nos indique la coloración. • Se analizó el resultado obtenido con el recipiente de comparación de color y se registra el resultado.

Fosfatos	mg/L	<p>Se Utilizó el kit de prueba de fosfatos HANNA HI 3874 (APHA, 1992) y se siguió el siguiente procedimiento:</p> <p>Se sabe que el Fósforo se pueden encontrar en las aguas naturales normalmente como fosfatos (PO_4^{3-})</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se agregó 1 sobre de reactivo HI 3833-0 a la muestra. • Se mezcla la solución hasta que se pueda disolver • Después de 1 minuto, se determinó el color y registramos el resultado.
Sólidos totales disueltos	mg/L	Para medir los STD se usó el equipo de la marca HANNAN modelo HI 98131.
Turbidez	NTU	Para la medición se utilizó un turbidímetro de 2100P turbidimeter HACH
Coliformes fecales	NMP/100 ml	Se usó la metodología del número más probable (NMP)

3.5.5. Cálculo del índice para Colombia (BMWP/Col)

Utilizando los resultados de la identificación de macroinvertebrados acuáticos, se desarrolló el cálculo del índice BMWP/Col. De acuerdo con el cuadro

Nº 4, a las familias identificadas se les asignan sus puntajes de tolerancia. Posteriormente, se suman las puntuaciones correspondientes a cada familia existente para obtener el valor del índice BMWP/Col como resultado final. La interpretación de la calidad biológica del agua se basa en el cuadro Nº 5, que detalla la categoría, calidad, significado y color de los valores obtenidos del índice (ROLDÁN, 2003).

3.5.6. Cálculo para la correlación

Para hallar la correlación del índice biótico BMWP/Col frente al índice WQI_{NSF} se utilizó el software estadístico INFOSTAT. La correlación lineal de Pearson está definida por FAULTS (2012) con base en la covarianza de las variables aleatorias X e Y. La covarianza es una medida que indica cómo X e Y cambian juntos. Dadas dos variables aleatorias X e Y, que tienen valores medios μ_X y μ_Y y varianzas σ^2_X y σ^2_Y , respectivamente; la correlación entre X e Y viene dada por:

$$\rho_{x,y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X-\mu_X)(Y-\mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (5)$$

El estimador de ρ es “r” y su fórmula es:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (6)$$

El estadístico “r” posee las siguientes características:

- El coeficiente calcula la fuerza y dirección de la correlación lineal y no descarta la posibilidad de otra forma de correlación no lineal.
- Su valor varía entre 1 y -1. Si la correlación entre X e Y es perfecta, "r" es 1 (todos los valores están en una línea); cuando no hay correlación lineal, el valor es 0.
- El signo del coeficiente de correlación indica la dirección de la correlación. Cuando el valor de "r" es positivo, significa que hay una correlación positiva o una correlación directa, es decir, el valor grande de X está relacionado con el valor grande de Y, y viceversa. Por otro lado, si el signo es negativo, la correlación es negativa; el valor grande de X se asocia con el valor pequeño de Y, y viceversa.

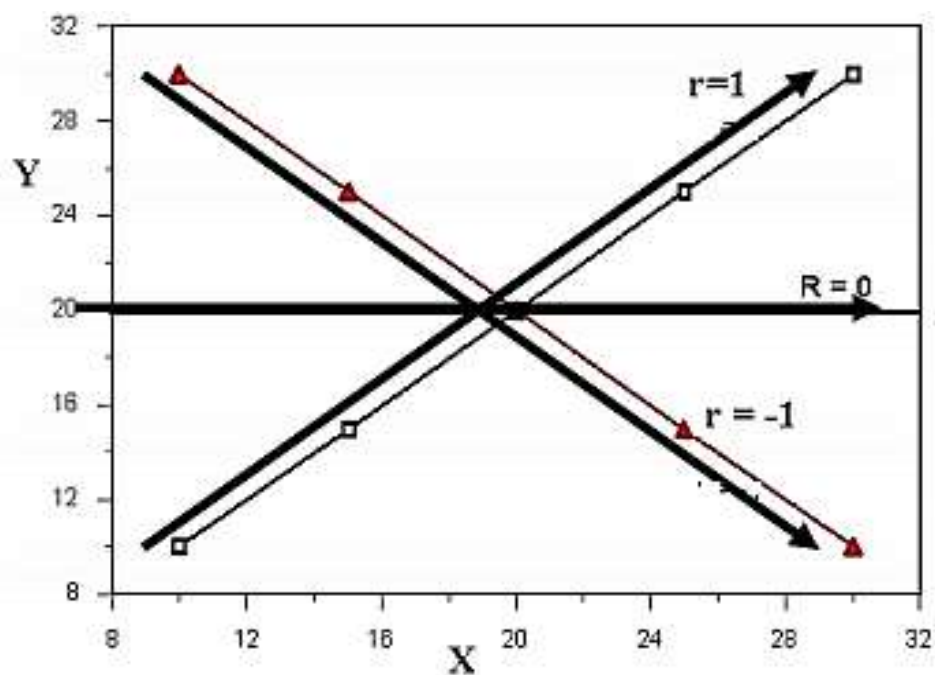


Figura 10. Relación entre el valor del coeficiente de correlación lineal de Pearson y la tendencia de signos y valores.



Figura 11. Rangos de valores de la correlación de Pearson.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de la calidad fisicoquímica del Rio Negro con el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento WQINSF utilizando parámetros fisicoquímicos.

4.1.1. Caracterización fisicoquímica del agua

Los valores de los parámetros fisicoquímicos determinaron que existen cambios según la época y zona en el que se desarrollaron actividades con determinada presión antrópica, reflejándose en los diferentes puntos evaluados.

4.1.1.1. Temperatura del agua

En la figura 12, se muestra que la temperatura del agua varía por punto de muestreo y época evaluada; respecto a septiembre del 2019 el valor más alto de la temperatura se dio en el punto 4 con 32,8 y un mínimo de 28,6 en el punto 2, en noviembre del 2019 el valor más alto fue de 31,2 en el punto 8 y el más bajo de 26,1 en el punto 2, mientras que en enero del 2020 el valor más alto fue de 24,3

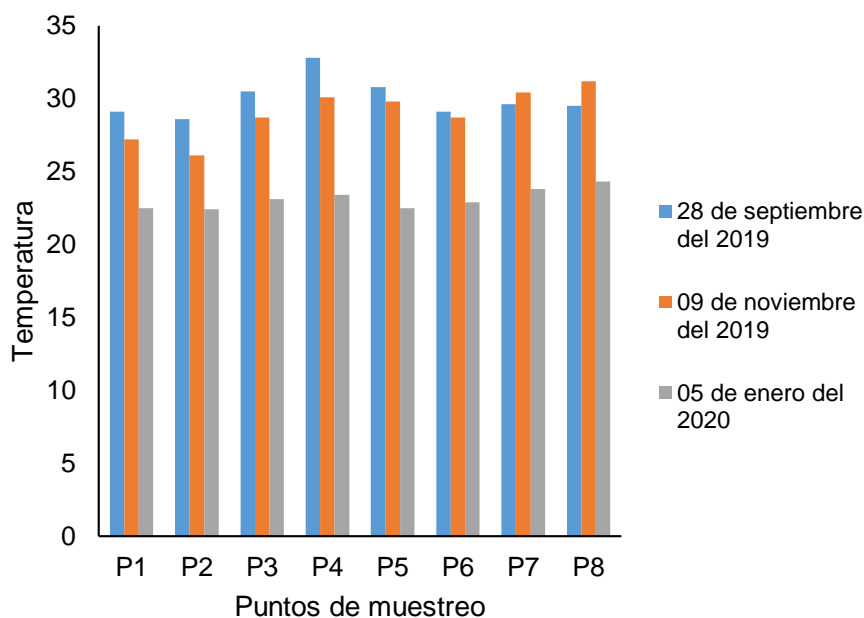


Figura 12. Temperatura del agua por punto de muestreo y época evaluada

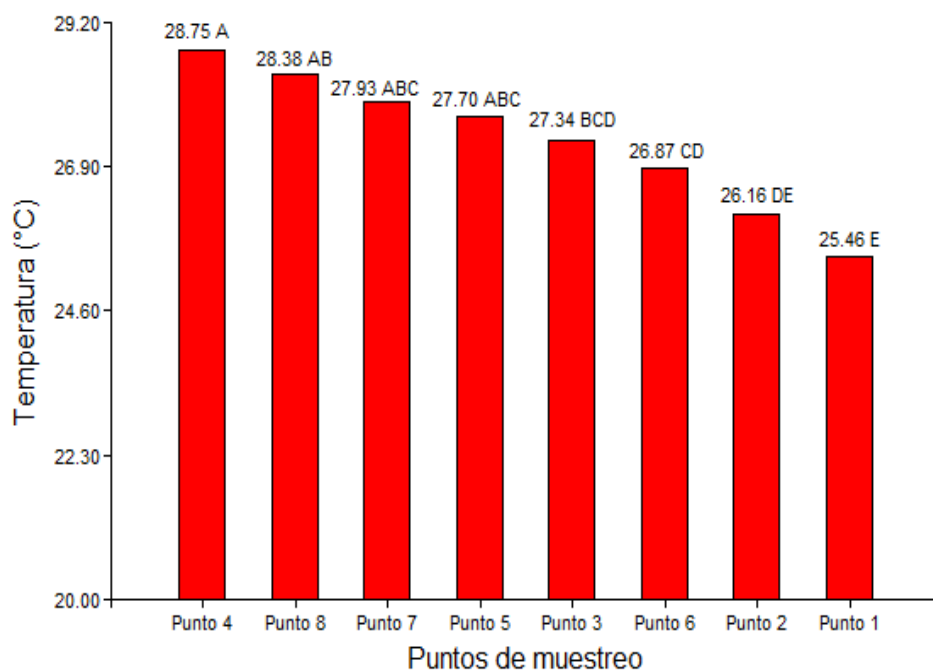
Al analizar la T° (Cuadro 9) se observa que existe evidencia altamente significativa en los diferentes puntos de muestreo y fechas establecidas con p-valor de 0,0001 para ambos factores de estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,94, indicando un 94% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo, fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 3,02, indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 9. Análisis de varianza para la T° en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	78,52	7	11,22	16,46	0,0001 ^{AS}
Fecha	643,63	2	321,82	472,22	0,0001 ^{AS}
Error	42,25	62	0,68		
Total	764,41	71			

R²: 0,94; cv: 3,02%; AS: Altamente significativo

Mediante la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 13, donde se aprecia que el punto 4 es mayor estadísticamente al punto 3,6,2 y 1.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.

Figura 13. Comparación de medias de la variable T° en los puntos de muestreo.

4.1.1.2. Potencial de hidrogeno - pH

Se muestra que el pH del agua en la figura 14 varía por punto de muestreo y época evaluada; en septiembre del 2019 el valor más alto de pH fue de 8,07 en el punto 8 y el más bajo de 7,23 en el punto 1, en noviembre del 2019 el valor más alto fue 7,85 en el punto 8 y un mínimo de 7,01 en el punto 1, mientras que en enero del 2020 el valor más alto fue 9,4 en el punto 2 y el más bajo de 7,9 en el punto 1.

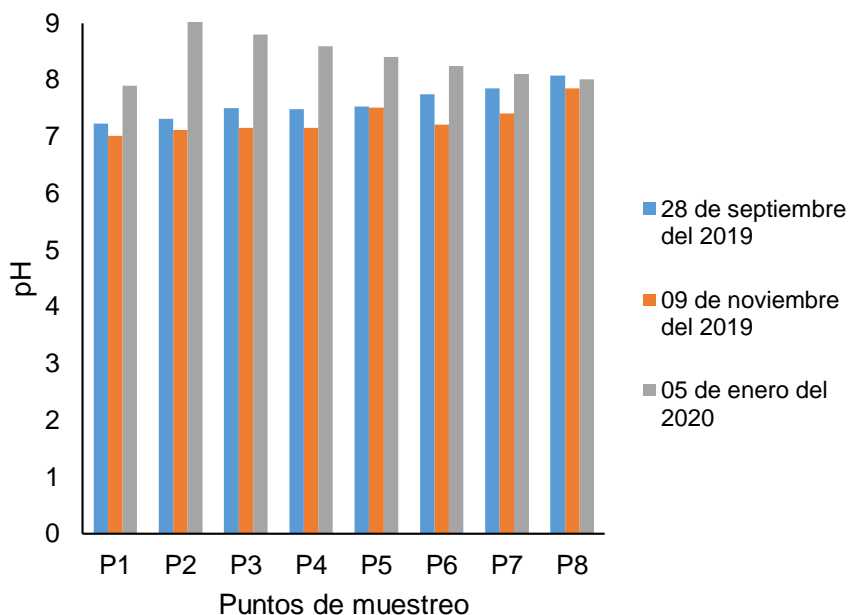


Figura 14. pH del agua por puntos de muestreo y época evaluada.

Al analizar el pH (Cuadro 10) se puede observar que existe evidencia altamente significativas en los diferentes puntos de muestreo y fechas establecidas

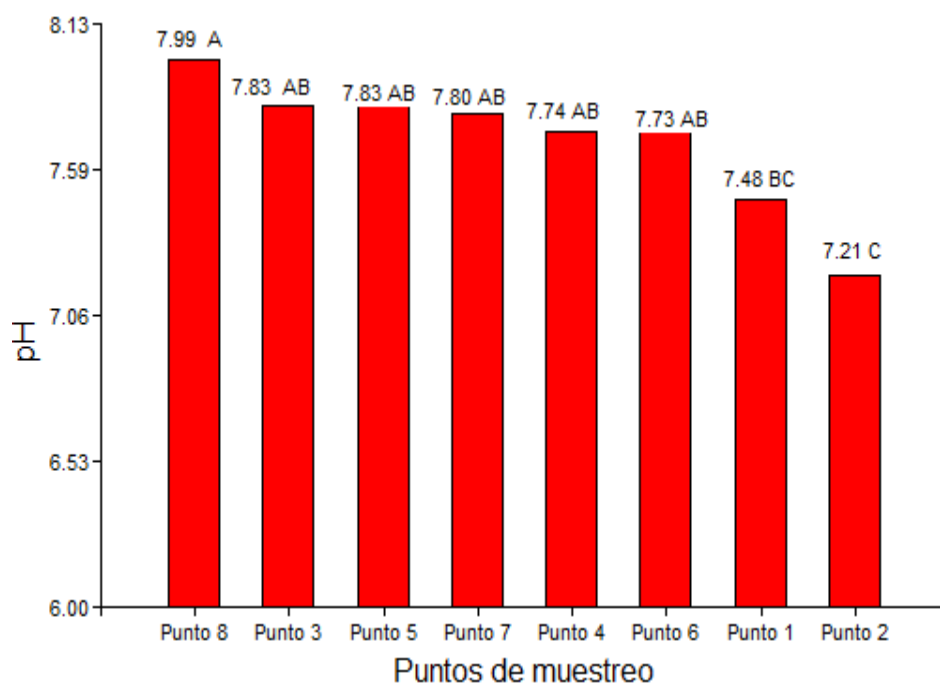
con p-valor de 0,0001 para ambos factores en estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,74, indicando un 74% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo y fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 3,48, indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el pH en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	3,78	7	0,54	7,54	0,0001 ^{AS}
Fecha	8,87	2	4,44	61,89	0,0001 ^{AS}
Error	4,44	62	0,07		
Total	17,1	71			

R²: 0,74; cv: 3,48%; AS: Altamente significativo

Mediante la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 15, donde se aprecia que el punto 8 es mayor estadísticamente al punto 1 y 2.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.
 Figura 15. Comparación de medias de la variable pH en los puntos de muestreo

4.1.1.3. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto del agua varía por punto de muestreo y época evaluada según la figura 16; respecto a septiembre del 2019 el valor más alto de oxígeno disuelto fue 5,06 en el punto 1 y el más bajo 4,19 en el punto 5, en noviembre del 2019 el valor más alto fue 5,89 en el punto 1 y el más bajo 4,1 en el punto 8, en enero de 2020 el valor más alto fue 6,32 en el punto 1, el mínimo 4,9 en el punto 8.

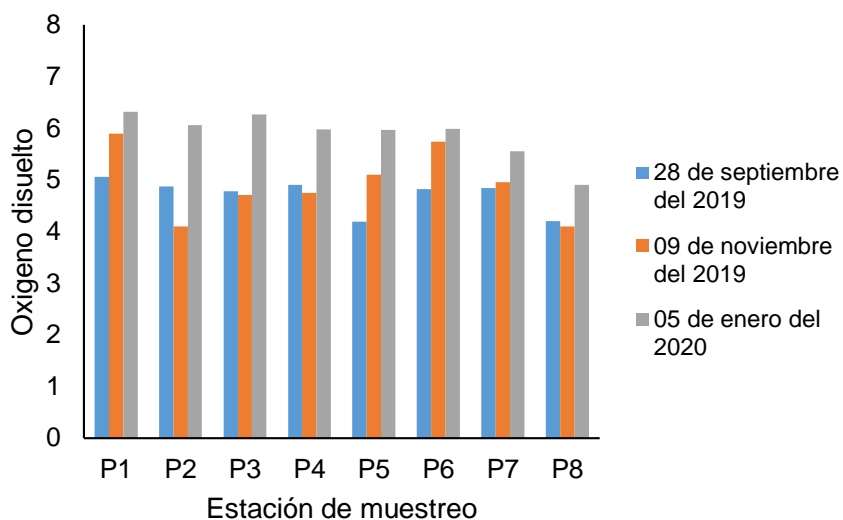


Figura 16. Oxígeno disuelto del agua por punto de muestreo y época.

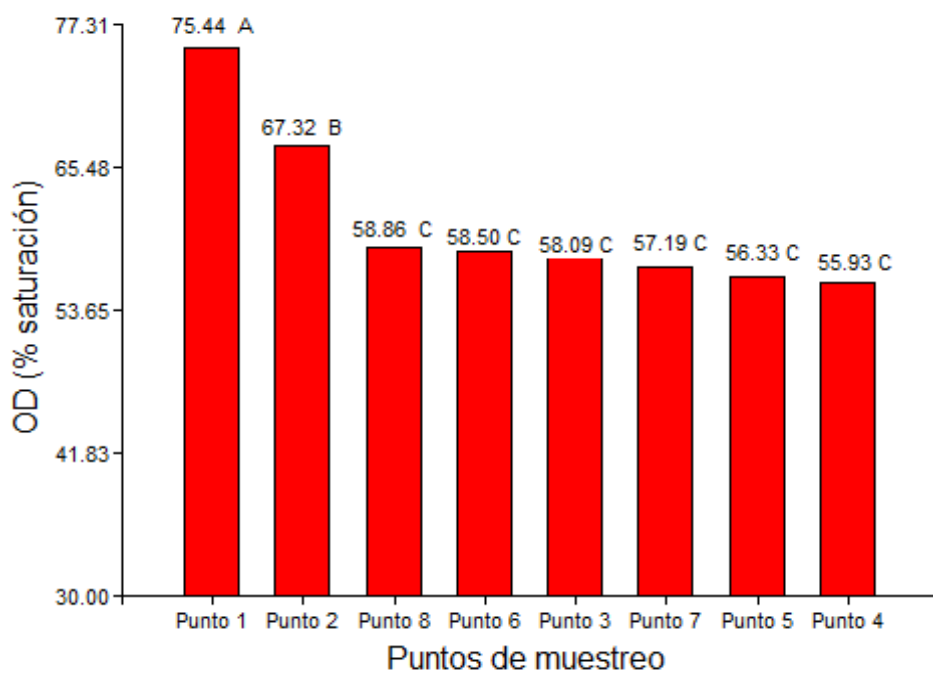
Al analizar el Oxígeno disuelto (Cuadro 11) se puede observar que existe evidencia altamente significativas en los diferentes puntos de muestreo y fechas establecidas con p-valor de 0,0001 para ambos factores en estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,90, indicando un 90% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo y fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 4,16, indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el OD en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	2969,27	7	424,18	66,02	0,0001 ^{AS}
Fecha	428,45	2	214,23	33,34	0,0001 ^{AS}
Error	398,38	62	6,43		
Total	3796,1	71			

R²: 0,90; cv: 4,16%; AS: Altamente significativo

Mediante la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 17, donde se aprecia que el punto 1 es mayor estadísticamente a los demás puntos de muestreo.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.

Figura 17. Comparación de medias de la variable OD en los puntos de muestreo.

4.1.1.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua varía por punto de muestreo y época evaluada según la figura 18; en septiembre del 2019 el valor más alto de la Demanda Bioquímica de Oxígeno fue 1,98 en el punto 8 y el mínimo 0,82 en el punto 1, en noviembre del 2019 el valor más alto fue 1,53 en el punto 8 y un mínimo de 0,89 en el punto 5, en enero de 2020 el valor más alto fue 5,83 en el punto 5 y el más bajo 2,26 en el punto 1.

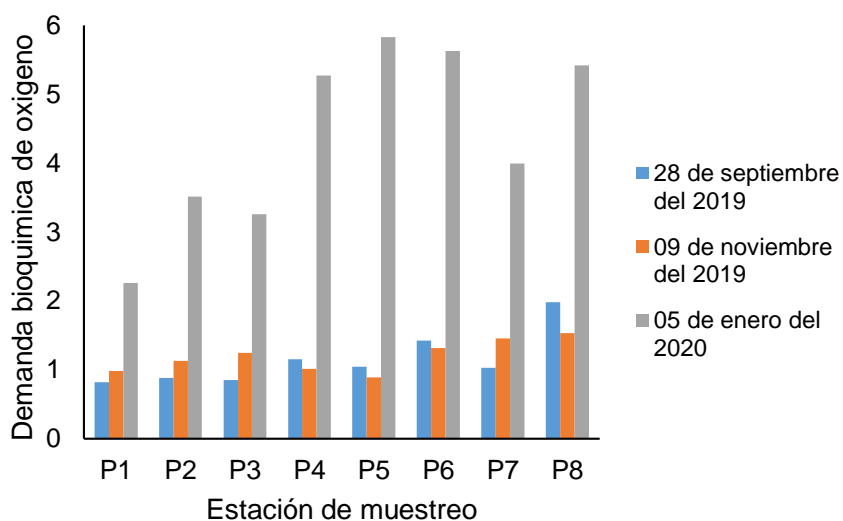


Figura 18. DBO₅ del agua por punto de muestreo y época evaluada

Al analizar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Cuadro 12) se puede observar que existe evidencia altamente significativa en los diferentes puntos de muestreo y fechas establecidas con p-valor de 0,0001 para ambos factores en estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,75, indicando un

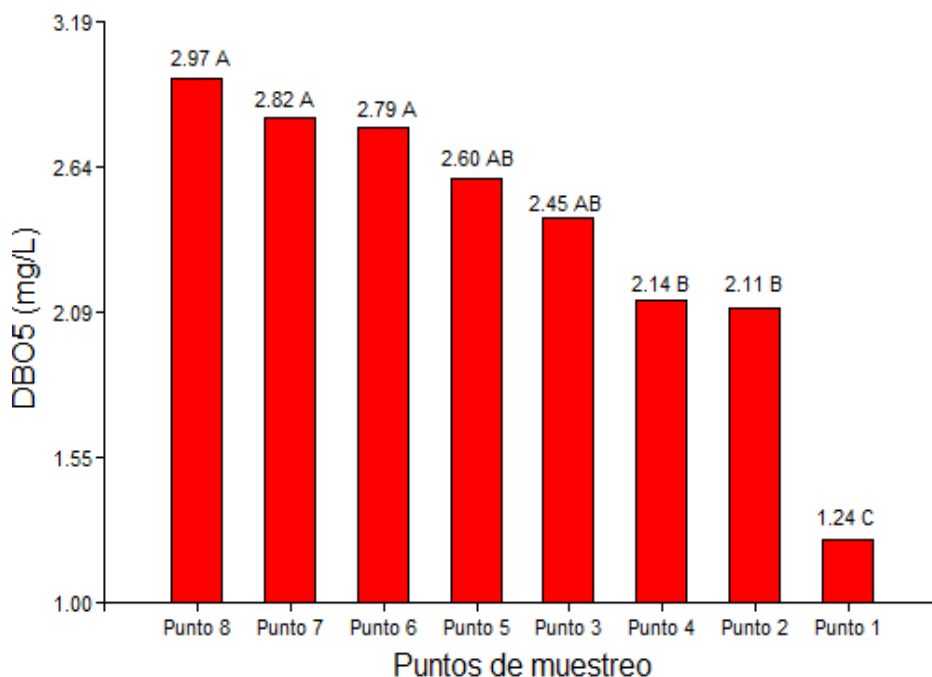
75% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo y fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 4,20 indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 12. Análisis de varianza para el DBO₅ en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	19,83	7	2,83	21,22	0,0001 ^{AS}
Fecha	5,4	2	2,7	20,22	0,0001 ^{AS}
Error	8,28	62	0,13		
Total	33,5	71			

R²: 0,75; cv: 4,20%; AS: Altamente significativo

Mediante la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 19, donde se aprecia que el punto 8 es mayor estadísticamente a los puntos 4,2 y 1.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.
 Figura 19. Comparación de medias de la variable DBO₅ en los puntos de muestreo.

4.1.1.5. Conductividad eléctrica

La Conductividad eléctrica del agua varía por punto de muestreo y época evaluada según la figura 20; en septiembre del 2019 el valor más alto de conductividad eléctrica fue 100 us/cm en el punto 8 y el mínimo 80 us/cm en los puntos 1,2,4,5 y 6, en noviembre del 2019 el valor más alto fue 110 us/cm en el punto 8 us/cm y un mínimo de 60 us/cm en el punto 2, en enero de 2020 el valor más alto fue 66,3 us/cm en el punto 8 y el más bajo 31,1 us/cm en el punto 7.

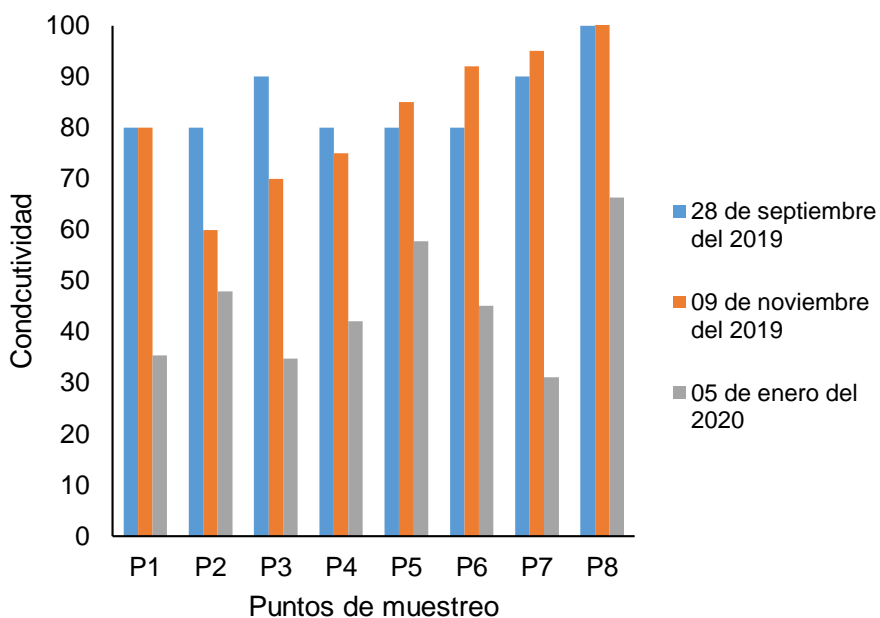


Figura 20. Conductividad eléctrica del agua por punto de muestreo y época evaluada.

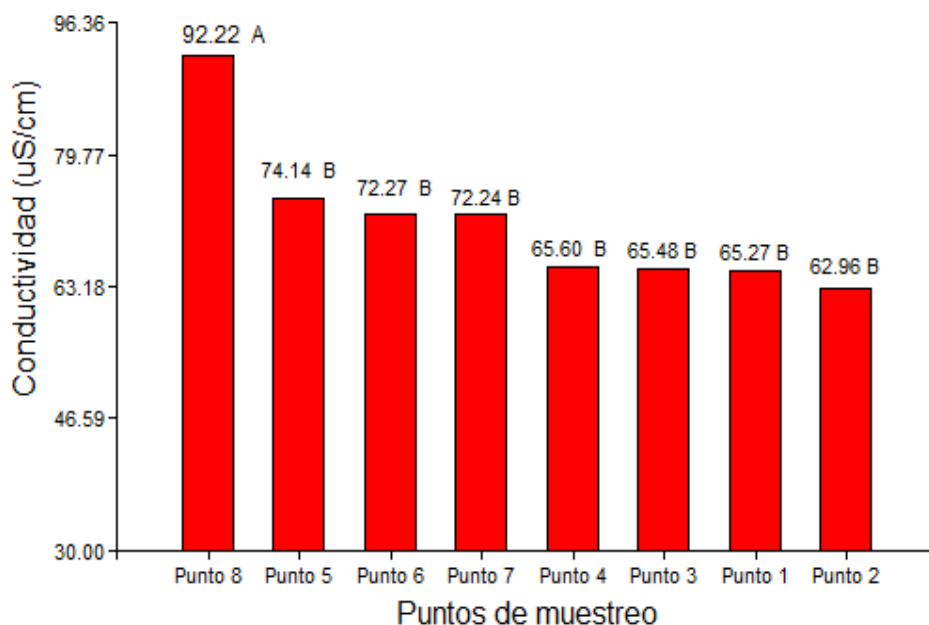
Al analizar la Conductividad eléctrica (Cuadro 13) se puede observar que existe evidencia altamente significativas en los diferentes puntos de muestreo y fechas establecidas con p-valor de 0,0001 para ambos factores en estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,89, indicando un 89% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo y fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 10,74 indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 13. Análisis de varianza para la Conductividad eléctrica en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	5578,36	7	796,91	13,59	0,0001 ^{AS}
Fecha	24515,55	2	12257,78	209,1	0,0001 ^{AS}
Error	3634,46	62	58,62		
Total	33728,38	71			

R²: 0,89; cv: 10,74%; AS: Altamente significativo

Al realizar la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 21, donde se aprecia que el punto 8 es mayor estadísticamente a los puntos 5,6,7,4,3,1 y 2.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.
 Figura 21. Comparación de medias de la variable Conductividad eléctrica en los puntos de muestreo.

4.1.1.6. Sólidos totales

Los Sólidos totales del agua varía por punto de muestreo y época evaluada según la figura 22; en septiembre del 2019 el valor más alto de conductividad eléctrica fue 288 en el punto 5 y el mínimo 193 en el punto 8, en noviembre del 2019 el valor más alto fue 285 en el punto 7 y un mínimo de 217 en el punto 2, en enero de 2020 el valor más alto fue 282 en el punto 7 y el mínimo 126,8 en el punto 2.

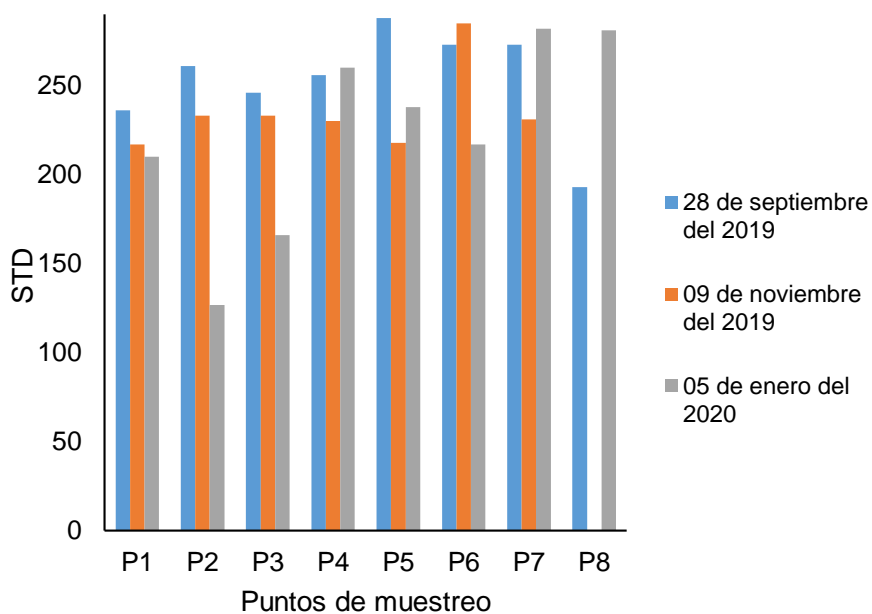


Figura 22. Sólidos totales del agua por punto de muestreo y época evaluada.

Al analizar los Sólidos totales del agua (Cuadro 14) se puede observar que existe evidencia altamente significativas en los diferentes puntos de muestreo

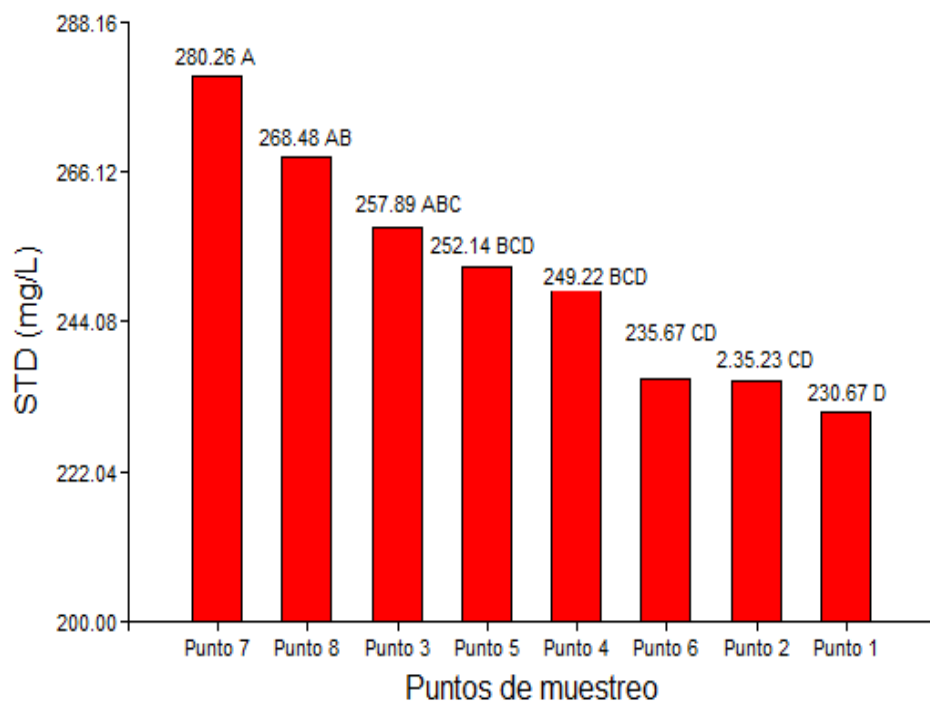
y fechas establecidas con p-valor de 0,0001 para ambos factores en estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,69, indicando un 69% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo y fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 6,17 indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 14. Análisis de varianza para los Sólidos totales disueltos en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	18991,15	7	2713,02	11,31	0,0001 ^{AS}
Fecha	13582,11	2	6791,06	28,3	0,0001 ^{AS}
Error	14876,49	62	239,94		
Total	47449,76	71			

R²: 0,69; cv: 6,17%; AS: Altamente significativo

Al realizar la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 23, donde se aprecia que el punto 7 es mayor estadísticamente a los puntos 5,4,6,2 y 1.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.

Figura 23. Comparación de medias de la variable Solidos totales en los puntos de muestreo.

4.1.1.7. Nitratos

Los Nitratos del agua varía por punto de muestreo y época evaluada según la figura 24; en septiembre y noviembre del 2019 el valor de los nitratos fue 0 en todos los puntos de muestreo, en enero de 2020 el valor de los nitratos fue 10 en todos los puntos de muestreo.

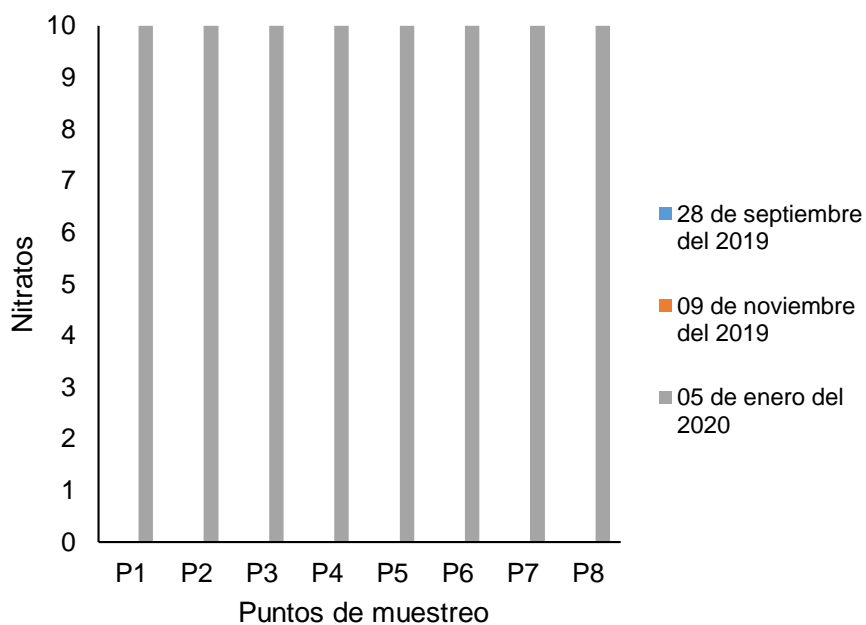


Figura 24. Nitratos del agua por punto de muestreo y época evaluada

No se realizó la prueba de análisis de varianza para ver si existe diferencia significativa del parámetro evaluado (nitratos) ya que los valores fueron de 0 en varios puntos de muestreo.

4.1.1.8. Fosfatos

Los Fosfatos del agua varia por punto de muestreo y época evaluada según la figura 25; en septiembre y noviembre del 2019 el valor de fosfatos fue 5 en todos los puntos de muestreo, en enero de 2020 el valor más alto fue 5 en los puntos 1,2,3,5,7 y un mínimo de 3 en el punto 6.

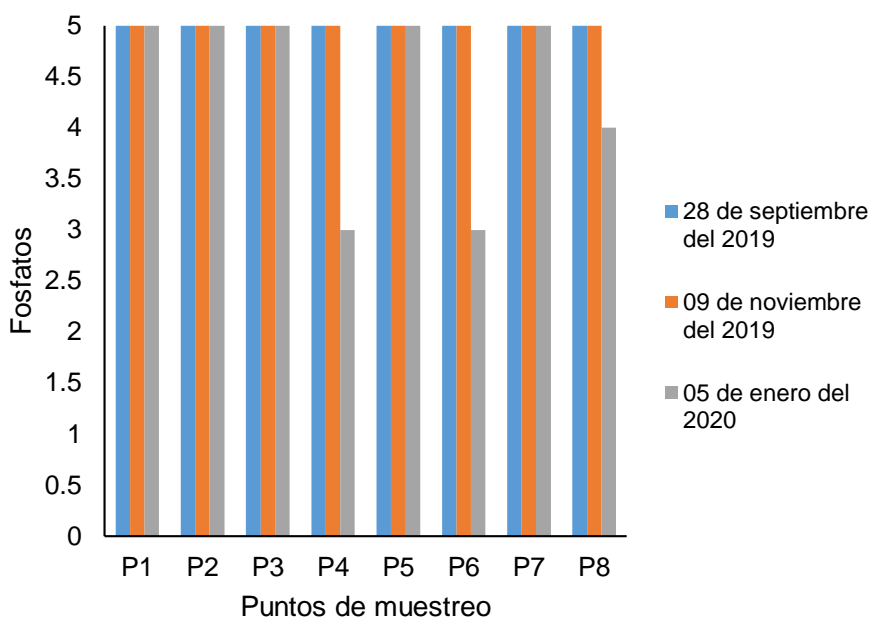


Figura 25. Fosfatos del agua por punto de muestreo y época evaluada

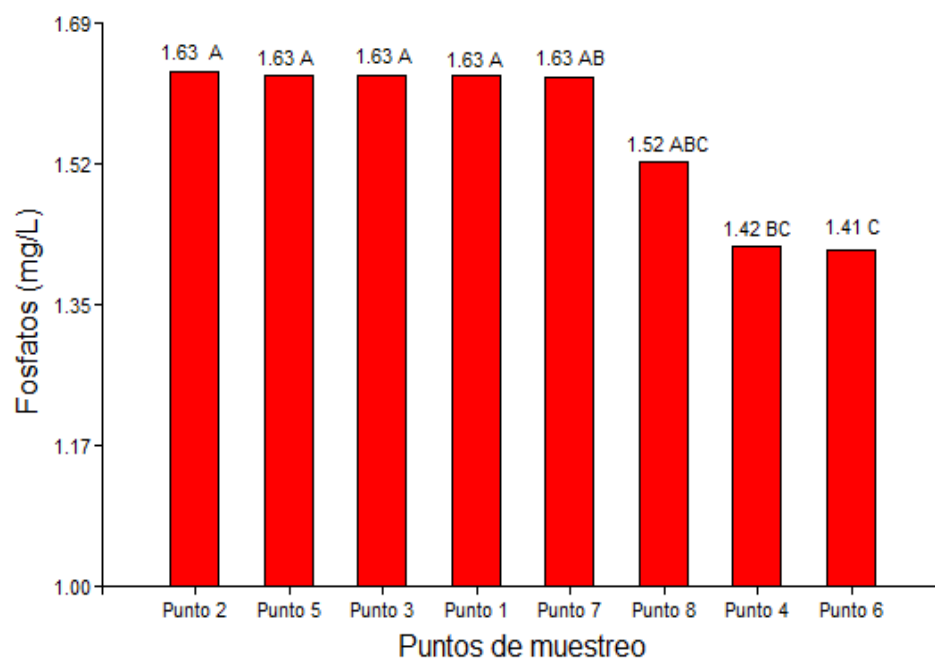
Al analizar los Fosfatos del agua (Cuadro 15) se puede observar que existe evidencia altamente significativas en los diferentes puntos de muestreo y fechas establecidas con p-valor de 0,0001 para ambos factores en estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,51, indicando un 51% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo y fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 9,07 indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 15. Análisis de varianza para los fosfatos en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	0,6	7	0,09	4,29	0,0006 ^{AS}
Fecha	0,67	2	0,33	16,67	0,0001 ^{AS}
Error	1,24	62	0,02		
Total	2,52	71			

R²: 0,51; cv: 9,07%; AS: Altamente significativo

Al realizar la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 26, donde se aprecia que el punto 2 es mayor estadísticamente al punto 4 y 6.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.
 Figura 26. Comparación de medias de la variable fosfatos en los puntos de muestreo.

4.1.1.9. Turbiedad

La turbiedad del agua varía por punto de muestreo y época evaluada según la figura 27; en septiembre del 2019 el valor más alto de conductividad eléctrica fue 2,33 en el punto 1 y el mínimo 0,68 en el punto 3, en noviembre del 2019 el valor más alto fue 2,95 en el punto 8 y un mínimo de 1,1 en el punto 5, en enero de 2020 el valor más alto fue 2,99 en el punto 8 y un mínimo de 0,68 en el punto 1.

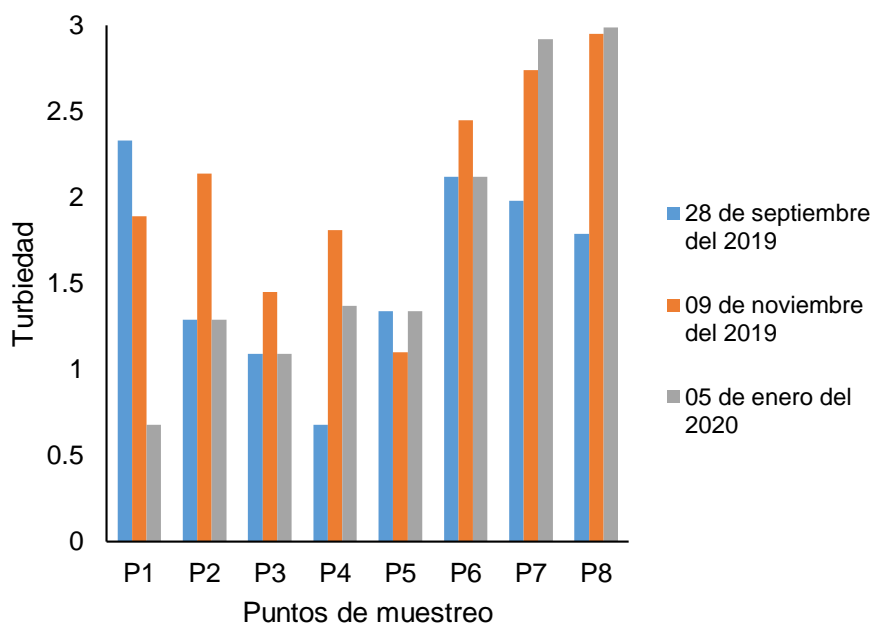


Figura 27. Turbiedad del agua por punto de muestreo y época evaluada.

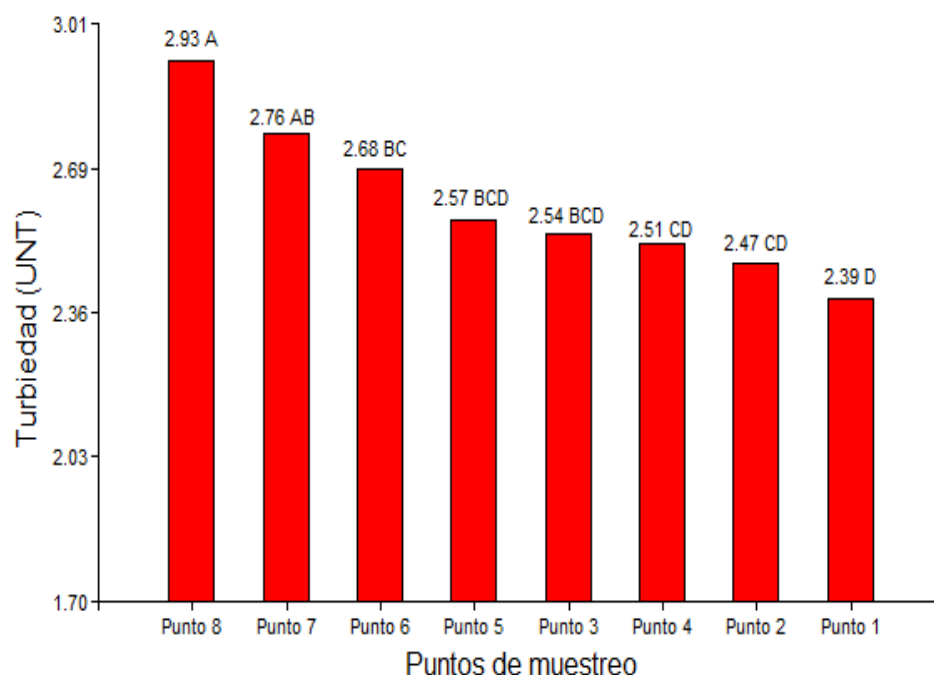
Al analizar la turbiedad del agua (Cuadro 16) se puede observar que existe evidencia altamente significativas en los diferentes puntos de muestreo y fechas establecidas con p-valor de 0,0001 para ambos factores en estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,92, indicando un 92% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo y fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 6,16 indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 16. Análisis de varianza para turbiedad en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	1,96	7	0,28	10,84	0,0001 ^{AS}
Fecha	15,59	2	7,79	302,54	0,0001 ^{AS}
Error	1,6	62	0,03		
Total	19,14	71			

R²: 0,92; cv: 6,16%; AS: Altamente significativo

Al realizar la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 28, donde se aprecia que el punto 8 es mayor estadísticamente a los puntos 6,5,3,4,2 y 1.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.

Figura 28. Comparación de medias de la variable turbiedad en los puntos de muestreo.

4.1.1.10. Coliformes fecales

Los coliformes fecales del agua varía por punto de muestreo y época evaluada según la figura 29; en septiembre del 2019 el valor más alto fue 1100 en los puntos 2,3,4,5,6,7 y el mínimo 12 en el punto 1, en noviembre del 2019 el valor más alto fue 1100 en los puntos 2,3,4,5,6,7 y un mínimo de 20 en el punto 1, en enero de 2020 el valor más alto fue 1100 en los puntos 2,3,4,5,6,7 y un mínimo de 27 en el punto 1.

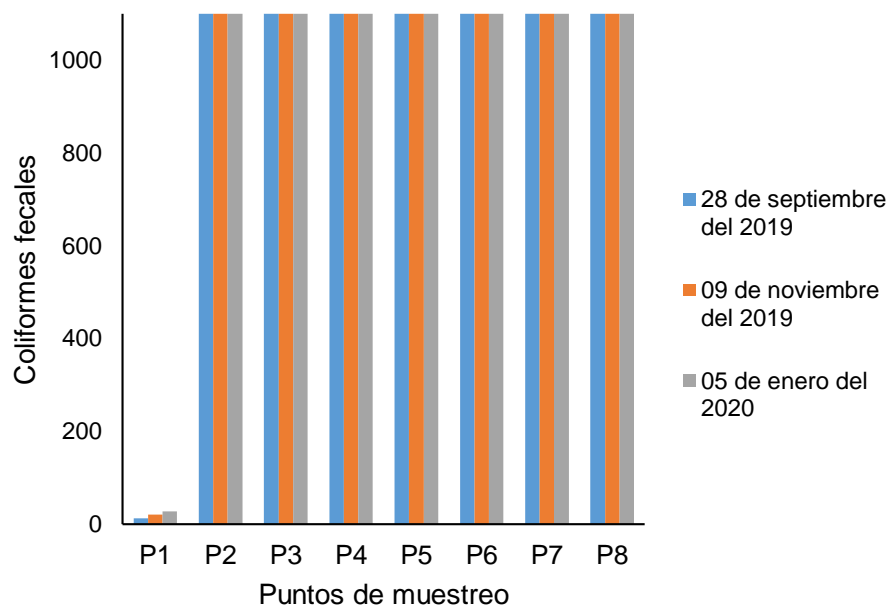


Figura 29. Coliformes fecales del agua por punto de muestreo y época evaluada

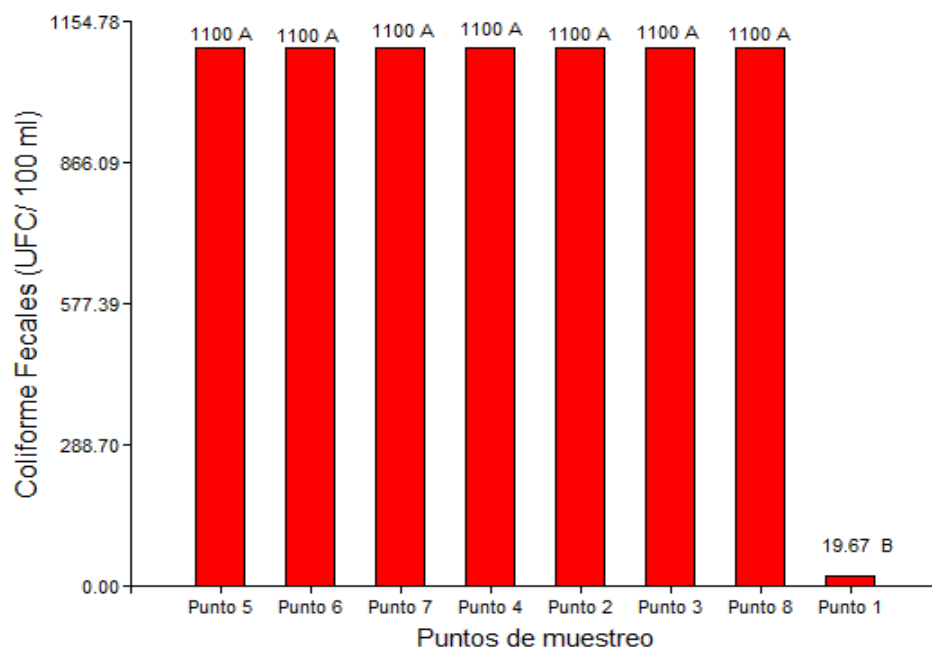
Al analizar los coliformes fecales (Cuadro 17) se puede observar que existe evidencia altamente significativa y significativa en los diferentes puntos de muestreo y fechas establecidas con p-valor de 0,0001 para ambos factores en estudio, el diseño muestra un coeficiente de determinación de 0,95, indicando un 95% de confiabilidad de los datos obtenidos influenciados por los factores establecidos (puntos de muestreo y fecha), la diferencia se debe por los factores adversos; asimismo, muestra un coeficiente de variación de 4,15 indicando una excelente homogeneidad o dispersión de datos.

Cuadro 17. Análisis de varianza para los coliformes fecales en los puntos y fechas muestreadas

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Puntos de muestreo	9191071	7	1313010	275254,9	0,0001 ^{AS}
Fecha	42,25	2	21,12	4,43	0,016 ^S
Error	295,75	62	4,77		
Total	9191409	71			

R²: 0,95; cv: 4,15%; AS: Altamente significativo; S: Significativo

Al realizar la prueba de comparación de medias se encontró diferencias significativas en los distintos puntos de muestreo a un 95% de confiabilidad como se muestra en la Figura 30, donde se aprecia que los puntos 5,6,7,4,2,3,8 es mayor estadísticamente al punto 1.



Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa.
 Figura 30. Comparación de medias de la variable Coliformes fecales en los puntos de muestreo.

Al analizar los datos obtenidos de los parámetros muestreados y reemplazándolos en la fórmula (1) se obtuvo una puntuación de 74,08 del índice WQI_{NSF} el 28 de septiembre del 2019, obteniendo que el P1 tiene una clasificación de calidad del agua BUENA representada por el color verde; seguido por los demás puntos de muestreos (P2, P3, P4, P5, P6, P7 y P8) cuya puntuación oscila en el rango de 54,92 hasta 59,43 siendo una calidad REGULAR representado por el color rosado como se visualiza en el cuadro 18.

Cuadro 18. Valores de WQINSF, Calidad y Color en los puntos de muestreo del 28 de septiembre del 2019

Punto de muestreo	NSF	Calidad	Color
P1	74,08	BUENA	
P2	58,88	REGULAR	
P3	59,33	REGULAR	
P4	57,13	REGULAR	
P5	56,12	REGULAR	
P6	54,92	REGULAR	
P7	59,43	REGULAR	
P8	55,80	REGULAR	

Al analizar los datos obtenidos de los parámetros muestreados y reemplazándolos en la fórmula (1) se obtuvo una puntuación de 74,53 del índice

WQI_{NSF} el 9 de septiembre del 2019, obteniendo que el P1 tiene una clasificación de calidad del agua BUENA representada por el color verde; seguido por los demás puntos de muestreos (P2, P3, P4, P5, P6, P7 y P8) cuya puntuación oscila en el rango de 56,25 hasta 62,21 siendo una calidad REGULAR representado por el color rosado como se visualiza en el cuadro 19.

Cuadro 19. Valores de WQI_{NSF} , Calidad y Color en los puntos de muestreo del 9 de noviembre del 2019

Punto de muestreo	NSF	Calidad	Color
P1	74,53	BUENA	
P2	62,21	REGULAR	
P3	59,89	REGULAR	
P4	57,82	REGULAR	
P5	56,35	REGULAR	
P6	56,25	REGULAR	
P7	58,01	REGULAR	
P8	56,75	REGULAR	

Al analizar los datos obtenidos de los parámetros muestreados y reemplazándolos en la formula (1) se obtuvo una puntuación de 75,14 del índice WQI_{NSF} el 05 de enero del 2020, obteniendo que el P1 tiene una clasificación de calidad del agua BUENA representada por el color verde; seguido por los demás

puntos de muestreos (P2, P3, P4, P5, P6, P7 y P8) cuya puntuación oscila en el rango de 55,08 hasta 60,57 siendo una calidad REGULAR representado por el color rosado como se visualiza en el cuadro 20.

Cuadro 20. Valores de WQINSF, Calidad y Color en los puntos de muestreo del 5 de enero del 2020

Punto de muestreo	NSF	Calidad	Color
P1	74,53	BUENA	
P2	62,21	REGULAR	
P3	59,89	REGULAR	
P4	57,82	REGULAR	
P5	56,35	REGULAR	
P6	56,25	REGULAR	
P7	58,01	REGULAR	
P8	56,75	REGULAR	

4.2. Estimación de la abundancia y riqueza de macroinvertebrados aplicando el Índice de Shannon – Weaver

En el muestreo realizado se colectaron 842 individuos a nivel de familia en las tres etapas evaluadas (28 de septiembre, 09 de noviembre, 05 de enero) y 8 puntos de monitoreo en el transcurso del cuerpo de agua; que forman parte de 4 clases, 9 a nivel de orden y 12 a nivel de familia. En la primera etapa el Índice de

Shannon-Weaver es de 1,210, en la segunda etapa es 1,221, mientras que en la tercera etapa es 1,516, indicando que tiene diversidad de baja a moderada.

El mayor puntaje de diversidad en el 28 de septiembre del 2019 se dio en el punto de muestreo P1 con una puntuación del Índice de Shannon de 2,12, presentando una adecuada relación entre número de taxones y su abundancia (Figura 31); seguido del punto P2, así mismo el P8 presenta una puntuación de 0,41, indicando que el número de familias es menor en comparación con el punto P1, lo que indica que la diversidad es baja por la cantidad de individuos y familias encontradas en ese punto.

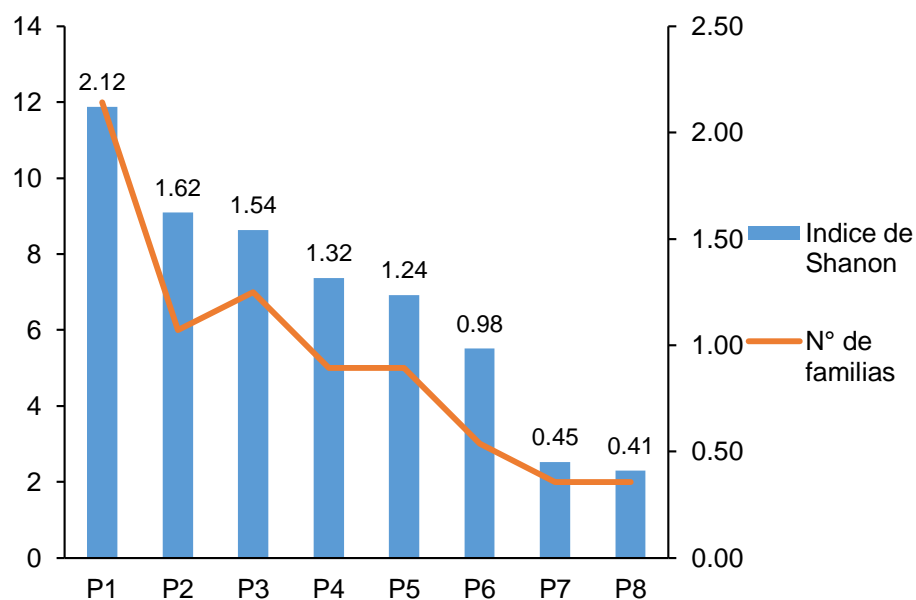


Figura 31. Índice de Shannon por punto de muestreo

El mayor puntaje de diversidad en el 09 de noviembre del 2019 se dio en el punto de muestreo P1 con una puntuación del Índice de Shannon de 2,28, presentando una adecuada relación entre número de taxones y su abundancia (Figura 32); seguido del punto P2, así mismo el P8 presenta una puntuación de 0,50, indicando una menor presencia del número de familias, lo que indica que la diversidad es baja por la cantidad de individuos y familias encontradas en ese punto.

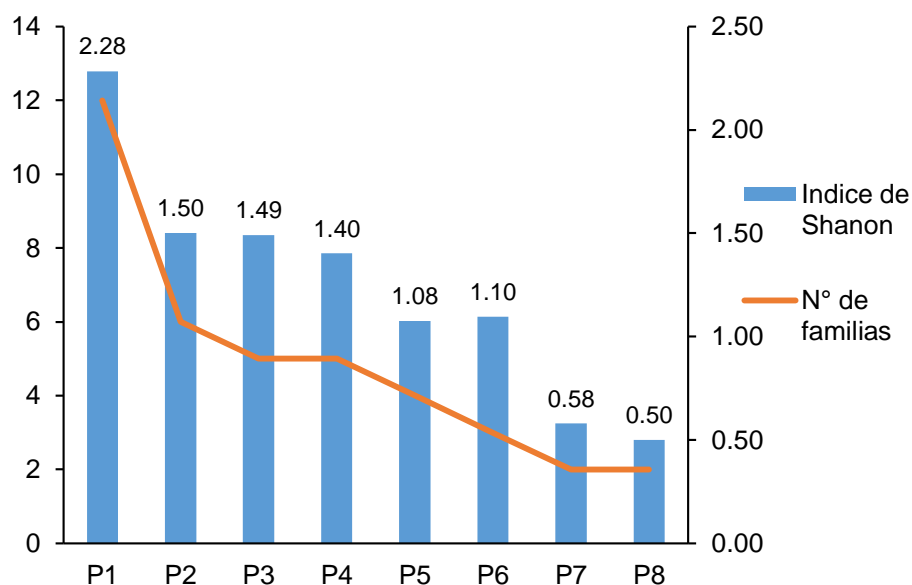


Figura 32. Índice de Shannon por punto de muestreo

El mayor puntaje de diversidad en el 05 de enero del 2020 se dio en el punto de muestreo P1 con una puntuación del Índice de Shannon de 2,24, presentando una adecuada relación entre número de taxones y su abundancia (Figura 33); seguido del punto P2, así mismo el P8 presenta una puntuación de 0,50,

indicando una menor presencia del número de familias, lo que indica que la diversidad es baja por la cantidad de individuos y familias encontradas en ese punto.

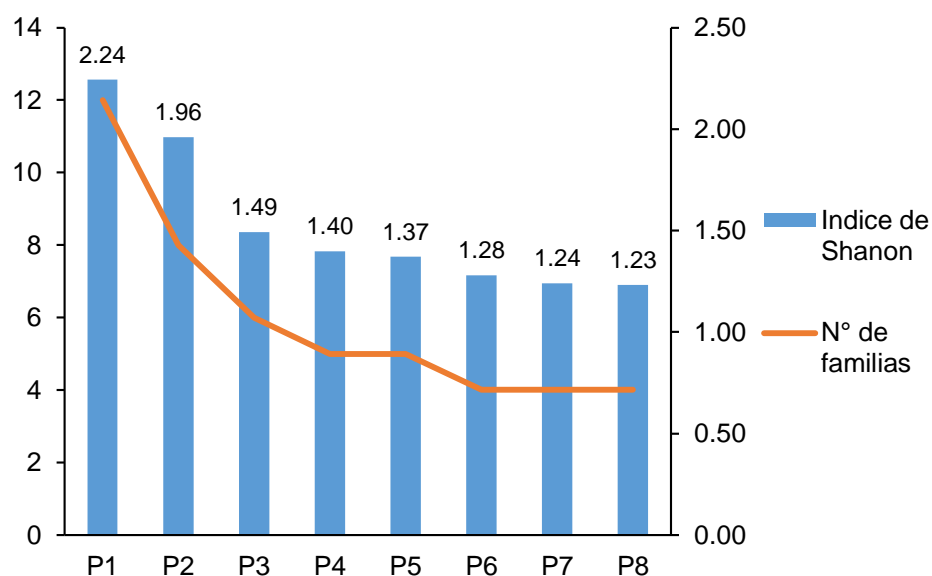


Figura 33. Índice de Shannon por punto de muestreo

4.3. Determinación de la calidad biológica del Rio Negro según el Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Mediante los datos obtenidos al identificar los macroinvertebrados acuáticos presentados en el Cuadro 29 del Anexo A, se desarrolló el cálculo del Índice BMWP/Col. El mayor Índice BMWP/Col calculado para el 28 de septiembre del 2019 de la identificación de macroinvertebrados acuáticos se dio en el punto de muestreo P1 con un valor de 86, clasificada como agua de Clase II, cuya calidad del agua es ACEPTABLE; los menores valores pertenecen a los puntos de muestreo

P2, P3, P4 y P5 clasificadas como aguas de Clase III de calidad DUDOSA, mientras que el punto P6 pertenece a las aguas de clase IV de calidad CRITICA, y los puntos P7 y P8 presentan aguas de Clase V de calidad MUY CRÍTICA (Cuadro 21).

Cuadro 21. Valores de BMWP/Col., Clase, Calidad y color en los puntos de muestreo (28 de septiembre del 2019).

Punto de muestreo	BMWP/Col	Clase	Calidad	Características	Color
P1	86	II	ACEPTABLE	Aguas ligeramente contaminadas	
P2	38	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	
P3	43	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	
P4	40	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	
P5	40	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	
P6	17	IV	CRITICA	Aguas muy contaminadas	

P7	10	V	MUY CRITICA	Aguas fuertemente contaminadas	
P8	10	V	MUY CRITICA	Aguas fuertemente contaminadas	

El mayor Índice BMWP/Col calculado para el 09 de noviembre del 2019 de la identificación de macroinvertebrados acuáticos se dio en el punto de muestreo P1 con un valor de 86, clasificada como agua de Clase II, cuya calidad del agua es ACEPTABLE; los menores valores pertenecen a los puntos de muestreo P2, P3 y P4 clasificadas como aguas de Clase III de calidad DUDOSA, mientras que los puntos P5 y P6 pertenecen a aguas de clase IV de calidad CRÍTICA, y los puntos P6, P7 y P8 presentan aguas de Clase V de calidad MUY CRÍTICA (Cuadro 22).

Cuadro 22. Valores de BMWP/Col., Clase, Calidad y color en los puntos de muestreo (09 de noviembre del 2019).

Punto de muestreo	BMWP/Col	Clase	Calidad	Características	Color
P1	86	II	ACEPTABLE	Aguas ligeramente contaminadas	
P2	50	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	

P3	40	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	Yellow
P4	41	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	
P5	28	IV	CRITICA	Aguas muy contaminadas	Orange
P6	17	IV	CRITICA	Aguas muy contaminadas	
P7	10	V	MUY CRITICA	Aguas fuertemente contaminadas	Red
P8	10	V	MUY CRITICA	Aguas fuertemente contaminadas	

El mayor Índice BMWP/Col calculado para el 05 de enero del 2020 de la identificación de macroinvertebrados acuáticos se dio en el punto de muestreo P1 con un valor de 86, clasificada como agua de Clase II, cuya calidad del agua es ACEPTABLE; los menores valores pertenecen a los puntos de muestreo P2 y P3 clasificadas como aguas de Clase III de calidad DUDOSA, mientras que los puntos de muestreo P4, P5, P6 y P7 y P8 pertenecen a aguas de Clase IV de calidad CRÍTICA (Cuadro 23).

Cuadro 23. Valores de BMWP/Col., Clase, Calidad y color en los puntos de muestreo (05 de enero del 2020).

Punto de muestreo	BMWP/Col	Clase	Calidad	Características	Color
P1	86	II	ACEPTABLE	Aguas ligeramente contaminadas	
P2	60	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	
P3	45	III	DUDOSA	Aguas moderadamente contaminadas	
P4	33	IV	CRITICA	Aguas muy contaminadas	
P5	33	IV	CRITICA	Aguas muy contaminadas	
P6	24	IV	CRITICA	Aguas muy contaminadas	
P7	23	IV	CRITICA	Aguas muy contaminadas	
P8	23	IV	CRITICA	Aguas muy contaminadas	

4.4. Determinación de la correlación de macroinvertebrados respecto a los parámetros fisicoquímicos del agua

Según los Índices WQINSF y BMWP/Col, el 28 de septiembre del 2019 se determinó que la calidad del agua en los puntos P1 es BUENA y ACEPTABLE,

mientras que en los puntos P2 al P8 es REGULAR, DUDOSA, CRITICA y MUY CRITICA (Cuadro 24).

Cuadro 24. Valores del Índice BMWP/Col y WQI_{NSF} en los 8 puntos de muestreo del 28 de septiembre del 2019

Puntos de muestreo	NSF	Calidad	BMWP/Col	Calidad
P1	74.08	BUENA	86	ACEPTABLE
P2	58.88	REGULAR	38	DUDOSA
P3	59.33	REGULAR	43	DUDOSA
P4	57.13	REGULAR	40	DUDOSA
P5	56.12	REGULAR	40	DUDOSA
P6	54.92	REGULAR	17	CRÍTICA
P7	59.43	REGULAR	10	MUY CRÍTICA
P8	55.80	REGULAR	10	MUY CRÍTICA

La correlación del Índice WQI_{NSF} con el índice BMWP/Col es de 0,83 siendo esta una correlaciona positiva y alta, como se aprecia en el cuadro 25 y en la figura 34, teniendo una tendencia lineal

Cuadro 25. Valores de la correlación de Pearson del Índice WQI_{NSF} e índice $BMWP/Col$ del 28 de septiembre del 2019

Variable 1	Variable 2	N	Correlación de Pearson	p-valor
NSF	NSF	8	1.00	0.0001
NSF	BMWP/Col	8	0.83	0.0102
BMWP/Col	NSF	8	0.83	0.0102
BMWP/Col	BMWP/Col	8	1.00	0.0001

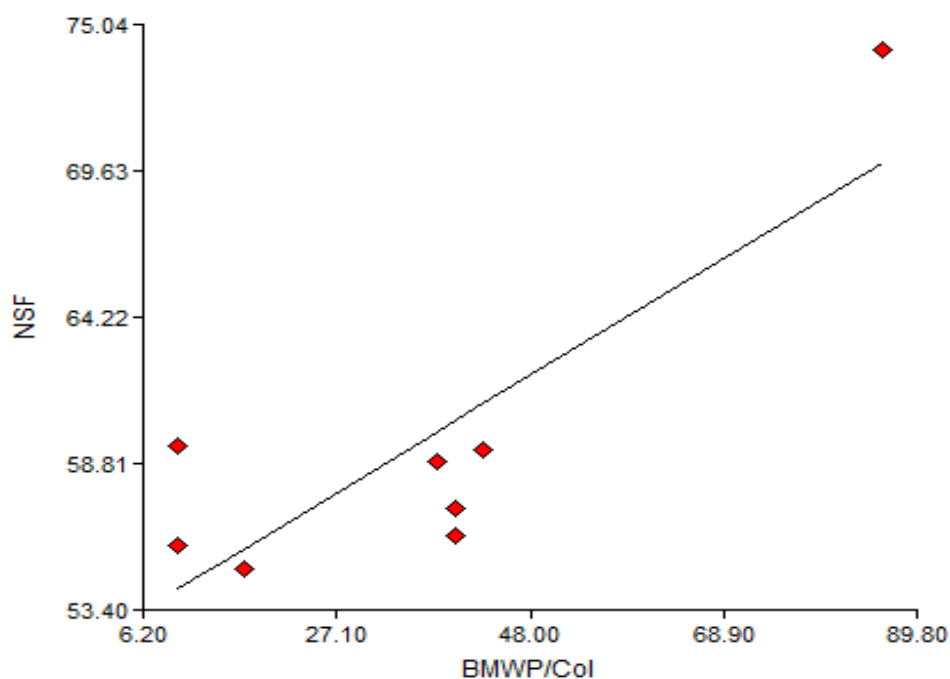


















Figura 34. Correlación del Índice $WQINSF$ e índice $BMWP/Col$ en los puntos de muestreo del 28 de septiembre del 2019

Según los Índices $WQINSF$ y $BMWP/Col$, el 09 de noviembre del 2019 se determinó que la calidad del agua en los puntos P1 es BUENA y ACEPTABLE,

mientras que en los puntos P2 al P8 es REGULAR, DUDOSA, CRITICA y MUY CRITICA (Cuadro 26).

Cuadro 26. Valores del Índice BMWP/Col y WQI_{NSF} en los 8 puntos del 09 de noviembre del 2019

Puntos de muestreo	NSF	Calidad		BMWP/Col	Calidad	
P1	74.53	BUENA		86	ACEPTABLE	
P2	61.21	REGULAR		50	DUDOSA	
P3	59.89	REGULAR		40	DUDOSA	
P4	57.82	REGULAR		41	DUDOSA	
P5	56.35	REGULAR		28	CRÍTICA	
P6	56.25	REGULAR		17	CRÍTICA	
P7	58.01	REGULAR		10	MUY CRÍTICA	
P8	56.75	REGULAR		10	MUY CRÍTICA	

La correlación del Índice WQI_{NSF} con el índice BMWP/Col es de 0,90 siendo esta una correlaciona positiva y alta, como se aprecia en el cuadro 27 y en la figura 35, teniendo una tendencia lineal

Cuadro 27. Valores de la correlación de Pearson del Índice WQI_{NSF} e índice BMWP/Col del 09 de noviembre del 2019

Variable 1	Variable 2	N	Correlación de Pearson	p-valor
NSF	NSF	8	1.00	0.0001
NSF	BMWP/Col	8	0.90	0.0025
BMWP/Col	NSF	8	0.90	0.0025
BMWP/Col	BMWP/Col	8	1.00	0.0001

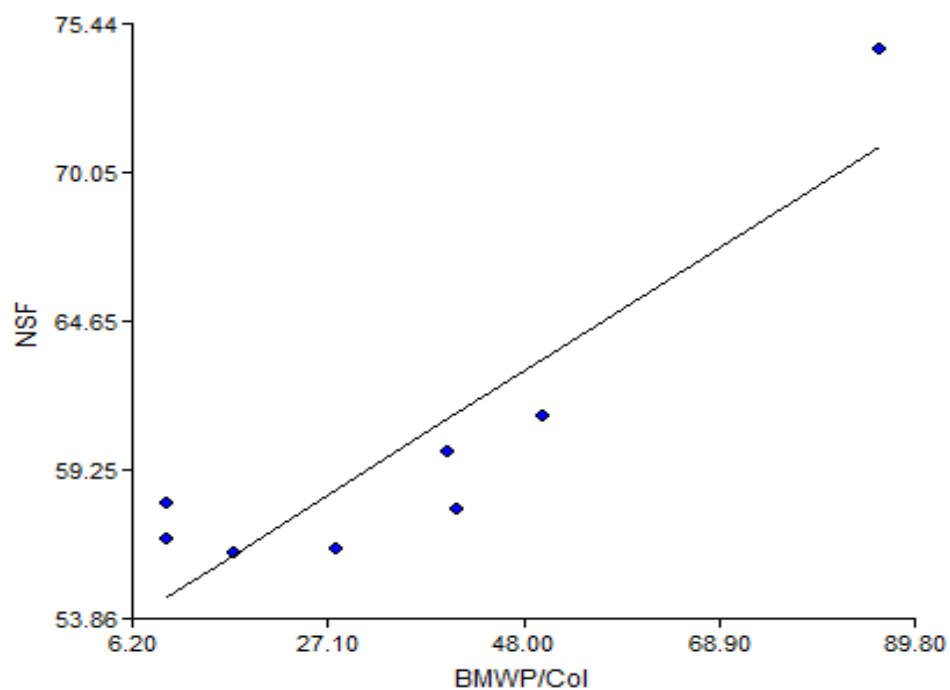


Figura 35. Correlación del Índice $WQINSF$ e índice BMWP/Col en los puntos de muestreo del 09 de noviembre del 2019

Según los índices WQINSF y BMWP/Col, el 05 de enero del 2020 se determinó que la calidad del agua en los puntos P1 es BUENA y ACEPTABLE, mientras que en los puntos P2 al P8 es REGULAR, DUDOSA, CRITICA y MUY CRITICA (Cuadro 28).

Cuadro 28. Valores del Índice BMWP/Col y WQI_{NSF} en los 8 puntos del 05 de enero del 2020

Puntos de muestreo	NSF	Calidad	BMWP/Col	Calidad
P1	75.14	BUENA	86	ACEPTABLE
P2	60.57	REGULAR	60	DUDOSA
P3	56.22	REGULAR	45	DUDOSA
P4	55.58	REGULAR	33	CRÍTICA
P5	56.22	REGULAR	33	CRÍTICA
P6	57.22	REGULAR	24	CRÍTICA
P7	59.73	REGULAR	23	CRÍTICA
P8	59.09	REGULAR	23	CRÍTICA

La correlación del índice WQI_{NSF} con el índice BMWP/Col es de 0,81 siendo esta una correlaciona positiva y alta, determinando que si un indice aumenta el otro índice también como se aprecia en el cuadro 29 y en la figura 36, teniendo una tendencia lineal

Cuadro 29. Valores de la correlación de Pearson del Índice WQI_{NSF} e índice $BMWP/Col$ del 05 de enero del 2020

Variable 1	Variable 2	N	Correlación de Pearson	p-valor
NSF	NSF	8	1.00	0.0001
NSF	BMWP/Col	8	0.81	0.0139
BMWP/Col	NSF	8	0.81	0.0139
BMWP/Col	BMWP/Col	8	1.00	0.0001

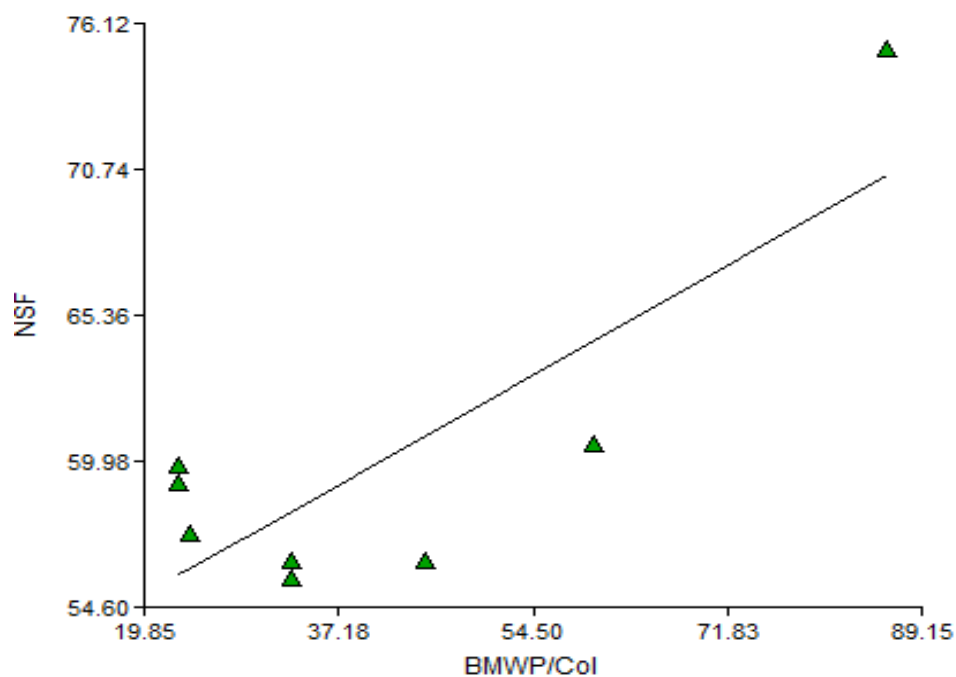


Figura 36. Correlación del Índice $WQINSF$ e índice $BMWP/Col$ en los puntos de muestreo del 05 de enero del 2020.

V. DISCUSIÓN

5.1. Determinación de la calidad fisicoquímica del río Negro con el índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (WQINSF) utilizando parámetros fisicoquímicos

DÍAZ (2018), durante su investigación obtuvo valores de oxígeno disuelto de 4.74 mg/l a 6.40 mg/l, mientras que CUSTODIO y CHANAMÉ (2016) obtuvieron valores de 4.09 mg/l a 10.16 mg/l, estos resultados se asemejan a la investigación ya que en el río Negro el oxígeno disuelto varía de 4.1 mg/l a 6.32 mg/l según el punto de muestreo. Al respecto (PREQB, 2004) señala que niveles altos de oxígeno disuelto se tiene una mejor calidad del agua, por lo tanto, permite la existencia de organismos animales y vegetales, es por ello que en el punto de muestreo 1 se encontró mayor porcentaje de oxígeno.

La investigación realizada por CUSTODIO y CHANAMÉ (2016) obtuvieron valores de 0.001 mg/l a 0.400 mg/l, estos datos no concuerdan con los resultados del río Negro ya que los valores que se encontró en las dos fechas de muestreo fue 0 es decir no se encontró presencia de dicho parámetro mientras que

en el tercer muestreo los datos fueron de 10 mg/l, pese a ello estos valores se encuentran dentro del rango de tolerancia (13 mg/l) establecido por ECA del (MINAM, 2017). Por otra parte, (PREQB, 2004), señala que la contaminación por nitratos se debe en su mayoría de casos a las actividades agrícolas, ganaderas y en determinadas áreas actividades industriales. Esto concuerda con la investigación ya que los datos son tolerables debido a que la población que habita en las riberas del río no se dedican a las actividades descritas anteriormente.

La investigación realizada por CUSTODIO y CHANAMÉ (2016) obtuvieron valores de 0.001 mg/l a 0.126 mg/l, estos datos no concuerdan con los resultados del río Negro ya que el valor fue de 5 mg/l para todos los puntos en las 2 primeras fechas de muestreo con un caudal de 4,05 m/s, mientras que en el último muestreo el valor fue de 4 mg/l con un caudal de 6,07 m/s, esto debido a la contaminación por la existencia de residuos por las actividades humanas en la ribera del río, como las de lavado de ropa y desfogues de sus aguas residuales domésticas en algunas zonas; así mismo VILLACRES *et al.* (2018) señala que la disminución del caudal conlleva a que se presente una mayor concentración de fosfatos.

Los valores de pH en la investigación de (BULLON, 2016) varían de 7.2 a 8.3, estos datos concuerdan con la investigación ya que el pH varía de 7.23 a 9.4 según el punto de muestreo además (EPA, 2007) señala que el nivel de pH es uno de los factores más importantes en existencia de la vida en el agua, y el valor

recomendado es de 6,5 a 8,5; por ello que en las tres fechas muestreados el rango promedio se mantuvo en los puntos del 1 al 7, mientras que en el punto 8 los valores superaron el límite, esto debido a una mayor acumulación de residuos en las aguas del río.

Los valores de DBO en las dos primeras fechas muestreadas oscilan entre 0,45 a 1,53, mientras que en la tercera los valores tienen un rango de 3,99 a 5,63; así mismo estos datos según (MINAM, 2017) son menores a los que se establece el Estándar de Calidad Ambiental en Perú, es decir cumple con este, debido a que la materia orgánica se está biodegradando (DAVIS y CORNWELL, 1998).

La investigación realizada por (Bullón, 2016) indica que los valores de Conductividad Eléctrica ha variado de 130 a 251.4, estos datos concuerdan con los resultados obtenidos en la presente investigación ya que los valores de conductividad del río Negro en las tres fechas muestreadas del punto 1 al 7 oscilan entre 31,1 hasta 95 a diferencia del punto 8 que presenta mayores valores; de acuerdo a lo que indica (TAMANI, 2014) se debe a que las descargas de aguas residuales domésticas provenientes de las viviendas que se encuentran a las riberas del río conteniendo Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , u otros iones conllevan al aumento de este parámetro.

ALPHA (1992) establece que los sólidos totales hacen referencia a la cantidad de calcio, magnesio, sodio y cationes de potasio y carbonato de hidrogeno, cloruro, sulfato y aniones de nitrato, provenientes de las aguas residuales domesticas; por ello que en la investigación todos los resultados de los puntos de muestreo se encuentran en un nivel de 126,8 a 288; así mismo estos valores según (MINAM, 2017) se encuentran debajo de los ECA ya que son menores que 400 mg/l.

Los valores de temperatura en el primer muestreo oscilan de 28.6°C hasta 32.8°C, el segundo muestreo fue de 26.1°C hasta 31.2°C y en el tercer muestreo fue de 22.5°C hasta 24.3°C; esto concuerda con lo que establece (MINAM, 2017) donde la variación de la temperatura debe ser de 3°C; así mismo (JAVIER, 2010) señala que la temperatura es muy importante en el agua ya que influye en los hábitos alimenticios y reproductivos de los organismos acuáticos.

Los valores encontrados de bacterias coliformes fecales en el punto P1 fue de 27 NPM/100 mL en las tres fechas de muestreo, mientras que en los demás puntos se encontraron valores de 1100 NPM/100 mL en las tres fechas de muestreo; así como lo indica la (OPS, 1988) que la presencia de estos organismos en el río puede causar diferentes enfermedades a los seres humanos ya que la mayoría de estas bacterias son provenientes de las heces de los animales; así mismo estos valores se encuentran debajo del límite establecido por los ECA de agua (MINAM, 2017).

Los valores del índice WQINSF del punto P1 en las tres fechas muestreadas la calidad fue BUENA mientras que en los puntos demás puntos de muestreo la calidad fue REGULAR y esto se debe a una fuerte actividad antrópica dando una variabilidad en los parámetros evaluados; así mismo el estudio realizado por (CESPEDES, 2016) concuerda con la presente investigación ya que indican que las variables físico-químicas clasificaron la calidad del agua de la quebrada Córdova y Cocheros de mala a excelente según el punto de muestreo.

5.2. Estimación de la riqueza y abundancia de macroinvertebrados aplicando el Índice de Shannon-Weaver

La investigación realizada por (ARRUNATEGUI, 2016) muestran valores del índice de Shannon que varían de 1.821 a 2.35, estos datos concuerdan con la investigación ya que en el punto 1 (P1) se obtuvo valores de 2.12 a 2.28, para ello FIGUEROA *et al.*, (2003) menciona que las características físicas, geográficas y climáticas permiten a los organismos crecer y reproducirse con normalidad; mientras que los demás puntos de muestreo el Índice de Shannon fue de 0.41 a 1.96 y esto se debe según (ALVAREZ y PERES, 2007) al impacto de las actividades humanas en a las orillas del río.

5.3. Determinación de la calidad biológica del río Negro según el Índice Biological Monitoring Working (BMWP)

El estudio realizado por GONCHAROV et al.(2016) señala que el impacto humano frente a la calidad del agua en la cuenca del Río Selenga fue evidente, ya que hubo una disminución significativa de los índices bióticos en varias ubicaciones de muestreo, relacionándose con los resultados de la presente investigación, que se muestran en los cuadros 20, 21 y 22 donde según el Índice BMWP en el punto 1 (P1) se tiene aguas ligeramente contaminadas y de calidad ACEPTABLE, mientras que en los puntos P2, P3 y P4 se tiene aguas moderadamente contaminadas de calidad DUDOSA, además los puntos P5, P6, P7 y P8 presenta aguas muy contaminadas a fuertemente contaminadas y de calidad CRITICA a MUY CRITICA; y según (ORTIZ, 2012) se debe a que la comunidad bentónica varía de acuerdo a las condiciones hidrológicas y geomorfológicas en diferentes escalas espaciales, drenaje, tramo y hábitat que existen en los alrededores del río Negro.

Las familias que se encontraron en mayor proporción en el punto P1 fueron Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera, los cuales son las que presentan mayor sensibilidad a la contaminación (FIGUEROA *et al.*,2013), además esto se debe según (ROLDÁN, 2003) a que las aguas en este punto se encuentran más frías, transparentes y bien oxigenadas mientras que en los demás puntos de

muestreo no se visualizó una mayor presencia de estas familias por las condiciones ambientales y físicas presentes de esas zonas.

5.4. Determinación de la correlación que existe entre los macroinvertebrados acuáticos y los parámetros fisicoquímicos del agua en el río Negro – Aguaytía

Los cuadros 24, 26 y 28 muestran la correlación de Pearson que existe entre el índice WQINSF y el índice BMWP/Col. En las tres fechas muestreadas del río Negro – Aguaytía, dando a conocer que se presenta una correlación positiva y alta, y esto concuerda con la investigación realizada por (PALOMINO, 2015) donde indica que existe correlación significativa entre el índice BMWP y las características fisicoquímicas del agua del río Apacheta, sin embargo en la investigación realizada por (CESPEDES, 2016) determinó que los índices WQINSF y BMWP/Col solo presentan el mismo valor numérico en 4 puntos de muestreo en la época seca, mientras que en época normal solo cumple 1 punto de muestreo.

VI. CONCLUSIONES

1. El índice WQINSF en las tres fechas muestreadas indica que la calidad del agua varia de BUENA a REGULAR.
2. El índice de Shannon - Weaver varia de 1.210 (biodiversidad baja) a 2.28 (biodiversidad normal) según las fechas y puntos de muestreo.
3. El índice BMWP/Col durante las tres fechas muestreadas indica que la calidad de agua varia de ACEPTABLE (Aguas ligeramente contaminadas) a MUY CRÍTICA (Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica).
4. La correlación que existe entre el Índice WQI_{NSF} y el índice BMWP/Col es directa y alta, es decir se mueven a una misma dirección, si un índice aumenta el otro también en las tres fechas muestreadas.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios similares donde se considere el tiempo de evaluación de muestreo (épocas muy secas y épocas de lluvias) y aspectos toxicológicos de los macroinvertebrados.
2. Desarrollar proyectos por parte de instituciones públicas (Instituto Nacional de Innovación agraria, Autoridad Nacional del Agua) para recuperar las zonas de amortiguamiento y la restauración ecológica de los hábitats de las orillas del río para proteger los ecosistemas ribereños de los efectos de las actividades antropogénicas adyacentes.
3. Promover la aplicación del uso de indicadores biológicos usando la comunidad de macroinvertebrados como factor decisivo para tomar decisiones, evitando regirse solo de los índices fisicoquímicos.

VIII. ABSTRACT

The research to characterize the quality of the water from the Negro river in Aguaytia, Peru, through the use of aquatic macroinvertebrates took place in September, November, and January. Eight sampling points were identified within two specific zones (with anthropic alteration and without anthropic alteration). Later, samples of the water were obtained in order to determine the physicochemical parameters, thus determining the quality of the water through use of the WQINSF index. The samples of aquatic macroinvertebrates were collected by using a Surber net and the manual technique was used for the determination of the Shannon - Weaver (H') index and the (BMWP)/Col index. From the evaluation of the WQINSF index it was determined that the quality of the area without anthropic alteration was "GOOD," while the quality of the area with anthropic alteration was "REGULAR." Eight hundred and forty two organisms were found, which were distributed into four classes, nine orders, and twelve families of macroinvertebrates. According to the Shannon index, a greater diversity of species exists in the area without anthropic alteration, and with the (BMWP)/Col index it was determined that in the area without anthropic alteration a water quality of "ACCEPTABLE" was obtained, while the area with anthropic alteration had a quality of "DOUBTFUL and CRITICAL." Moreover, it was determined that the correlation between the WQINSF and BMWP indices during the three phases of sampling presented a positive and high correlation.

Keywords: water quality, physicochemical properties, aquatic macroinvertebrates, WQINSF index, (BMWP)/Col. index, anthropic alteration

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUIRRE, J. 2011. Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la cuenca del río Yanuncay, Cuenca. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. 232 p.

ÁLVAREZ, F. 2005. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá. 19 -193 p.

ALVAREZ, S., PÉREZ, L. 2007. Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. 23-28 p.

ANA, 2016. Protocolo Nacional para el monitoreo de los Recursos hídricos superficiales. Lima, Perú. 19 – 24 p.

APHA, AWWA, WPCF, 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, 180 p.

- ARCE, O. 2006. Indicadores biológicos de calidad del agua. Tesis de Posgrado. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Cochabamba, Bolivia. 21 p.
- ARRUNÁTEGUI, K.2016. Utilización de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua y algunos parámetros fisicoquímicos del río Casca, La libertad, Perú. 29 p.
- BULLÓN, V. 2016. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perene, Chanchamayo, Perú. 29 p.
- CARRERA, C., FIERRO, K. 2001. Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Quito, Ecuador. 42 -43 p.
- CESPEDES, C. 2016. Calidad del agua de la Quebrada Cordova y Cpcheros mediante Macroinvertebrados acuáticos e índice WQINSF, Tingo María – Huánuco – Perú. 135-137 p.
- CUSTODIO, M., CHANAMÉ, F. 2013. Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales. Junín, Perú. 145 p.
- DAVIS, M.L., D.A, CORNWELL. 1998. Introduction to Enviromental Engineering, Mc Graw Hill, Series in Water Resources and Enviromental Engineering. p.224

DIAZ, G., 2018. Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel, San Martín. 58 p.

EFFENDI, H., WARDIATNO, Y. 2015. Estado de la calidad del agua del río Ciambulawung, provincia de Banten, basado en el índice de contaminación y NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences* 24 228 – 237.

ELOSEGI, A., SABATER, S., 2009. Otros factores físicos de importancia para los seres vivos: luz, temperatura, corriente. In: *Conceptos técnicos en ecología fluvial*. Ed. por Elozegi. España. 133-140 p.

EPA (Environmental protection agency). 2007. Acid rain: What is pH Consultado el 15 de octubre del 2009. [En línea] (<http://www.epa.gov/acidrain/measure/ph.html>)

FALLAS J., 2012. Correlación lineal midiendo la relación entre dos variables. Consultado el 30 de marzo del 2021. [En línea] (https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/correlacion_lineal_2012.pdf)

FERNANDEZ, N., RAMOS, G., SOLANO, F. 2010. ICA TEST 1.0 – Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del agua, pp. 88-97.

- FIGUEROA, R., VALDOVINOS, C., ARAYA, E., PARRA, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, Concepción. 76 (2): 275-285 p.
- GIL, J. 2014. Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales, Colombia. 39-42 p.
- GONCHAROV, A., BATURINA, N., MARYINSKY, V., KAUS, A. 2016. Evaluación ecológica de la cuenca del río Selenga, principal afluente del lago Baikal, utilizando comunidades de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. *Journal of Great Lakes Research* 46(2020) 53-61.
- GONZALES, A. 2014. Medición del caudal. Medellín, Colombia. 4-7 p.
- GONZALES, C., RIVEROS, J., SABANDO, C.; VILA, I. 2013. Guía de laboratorio de Limnología de Macroinvertebrados acuáticos de la Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. 3-13 p.
- GUINARD, J., RÍOS, T., BERNAL, J. 2013. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. 17 p.

HERNÁNDEZ, F., NOLASCO, E., TOVAR, M. 2016. Determinación del índice de calidad del agua NSF y modelación del cromo hexavalente en la parte alta del río Suquiapa, Santa Ana, El Salvador. Tesis Ing. Químico. Universidad de El Salvador. El Salvador. 212 p.

JAVIER, M., 2010. Diagnóstico de la calidad del agua del río Pixquiac durante la temporada de estiaje en el Municipio de Coatepec, Veracruz, México. 21 p.

LONÉ, P. 2018. Indicadores de la calidad del agua. [En Línea]: <https://www.iagua.es/blogs/pedro-pablo-lone>, 15 de enero 2019.

MAGURRAN, E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing, India. 256 p.

MAMANI, V.E. 2012. Informe principal: Propuesta de estándares nacionales de calidad ambiental para agua subterránea. Dirección General de Calidad Ambiental. Vice Ministro de Gestión Ambiental. Ministerio del Ambiente del Perú.

MINAGRI, 2015. Medición de agua. Manual N°5, Lima, Perú. 14 p.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Modifican los estándares nacionales de calidad ambiental para Agua y

establecen disposiciones complementarias para su aplicación. Lima, Perú.
12 p.

MONTOYA, S. 2016. Macroinvertebrados como una herramienta tecnológica para la bioindicación de agua en Colombia. Florencia, Colombia.15-41 p.

ÑIQUE, M. 2010. Biodiversidad: Clasificación y cuantificación. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 10-12 p.

OCHIENG, H., ODONG, R., OKOT-OKUMU, J. 2018. Comparación de versiones templadas y tropicales del índice del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP) para evaluar la calidad del agua del río Aturukuku en el este de Uganda. *Global Ecology and Conservation* 23(2020) e01183.

OMS. 2018. Guías para la calidad del agua de consumo humano. Cuarta edición que incorpora la primera adenda. [En línea] :
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

ORELLANA, J. 2009. Determinación de índices de diversidad florística arbórea en las parcelas permanentes de muestreo del Valle de Sacta. Tesis Ing. Forestal. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Colombia. 28-43 p.

- ORTIZ, L. 2012. Distribución Espacio-Temporal de la comunidad de Trichoptera (Insecta) en tributarios de pequeño orden del río Rimac, Huarochirí, Lima, Peru. 13-14 p.
- OTT, W. 1978. Environmental Índices. Theory and practice, AA Science, Ann Arbor, Michigan.
- PALOMINO, L. 2015. Calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios. Ayacucho, Perú. 42 p.
- PRAT, N., WARD, J. 1994. The tamed river. Limnology now: a paradigm of planetary problems. Edited. Margalef, R. Amsterdam, New York, Elsevier. 219-236 p.
- PREQB. 2004. Puerto Rico Environmental Quality Board, Puerto Rico Water Quality Inventory and List of Impaired Waters, 2004 – 305 (b) /303 (d) Final Report.
- RODRÍGUEZ, C.; MUÑOZ, A.; BONADA, I.; GAUDES, A.; TAMONOVA, S. 2009. La biota de los ríos: los invertebrados. Conceptos y técnicas en ecología. 23 p.
- ROLDÁN, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia. 10-168 p.

- ROLDÁN, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col Universidad de Antioquia. 1 ed. Medellín, Colombia. 170 p.
- ROLDÁN, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Colombia. 18 p.
- ROLDÁN, G., RAMIREZ, J., 2008. Fundamentos de limnología neotropical, Colombia. 2 ed. Antioquia. Bogotá, Colombia. 528 p.
- ROSENBERG, D.M., RESH, V.H. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York, USA. 488 p.
- SEMARENA (Secretaria de estado de medioambiente y recursos naturales) 2001. Normas de calidad de agua y control de descargas.
- SENAHMI. 2013. Condiciones de tiempo. Servicio nacional de meteorología e hidrología. [En línea]: Senamhi. <http://www.senamhi.gob.pe/>, 20 de enero del 2019.
- SHARIFINIA, M., MAHMOUDIFARD, A., IMANPOUR NAMIN, J., RAMEZANPOUR Z., YAP, CK. 2016. Evaluación de la contaminación en el río Shahrood: Indican los índices fisicoquímicos basados en macroinvertebrados las

mismas respuestas a las actividades antropogénicas. *Chemosphere*, 159, 584-594.

TAMANI, Y., 2014. Evaluación de la calidad de agua del río Negro, provincia de Padre Abad, Aguaytía. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 12 - 28 p.

VILLACRÉS, D., VARELA, E., MORALES, L., FARINANGO, T., PINEDA, É., SALAZAR, P. 2018. Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone. In Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE (Vol. 13, No. 1).

X. ANEXOS

Cuadro 31. Macroinvertebrados acuáticos por puntos de muestreo (09 de noviembre)

Phyllum	Clase	Orden/familia	11 de noviembre							
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
		EPHEMEROPTERA								
		Leptophlebiidae	12	6	4	0	0	0	0	0
		PLECOPTERA								
		Perlidae	17	11	10	6	0	0	0	0
		TRICHOPTERA								
		Hidropsychidae	6	0	6	7	13	12	0	0
		Odontoceriidae	2	0	0	0	0	0	0	0
Arthropoda	Insecta	Odonata								
		Coenagrionidae	9	1	1	6	12	10	4	2
		Gomphidae	6	0	0	0	0	0	0	0
		Coleoptera								
		Elmidae	9	0	0	0	0	0	0	0
		Psephenidae	10	2	0	1	0	0	0	0
		Hemiptera								
		Naucoridae	2	1	0	0	1	0	0	0
		Amphipoda								
			Malacostraca	Hyaellidae	4	0	0	0	0	0
Annelida	Hirudinea	Arhynchobdellidae								
		Glossiphoniidae	4	0	0	0	0	11	11	8
Platyhelminthes	Turbelaria	Tricladida								
		Planariidae	2	1	3	5	3	0	0	0
		N° de individuos	83	22	24	25	29	33	15	10
		N° de familias	12	6	5	5	4	3	2	2
		Total					241			

Apéndice 2. Índices ecológicos de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

Cuadro 33. Índices ecológicos por punto de muestreo (28 de septiembre)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Taxa (N° de familias)	91	29	32	44	37	13	12	7
Individuos	12	6	7	5	5	3	2	2
Shannon-Weaver (bits/ind)	2.12	1.62	1.54	1.32	1.24	0.98	0.45	0.41
Promedio	1.210							

Cuadro 34. Índices ecológicos por punto de muestreo (09 de noviembre)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Taxa (N° de familias)	83	22	24	25	29	33	15	10
Individuos	12	6	5	5	4	3	2	2
Shannon-Weaver (bits/ind)	2.28	1.34	1.40	1.49	1.08	1.10	0.58	0.50
Promedio	1.221							

Cuadro 35. Índices ecológicos por punto de muestreo (05 de enero)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Taxa (N° de familias)	89	33	46	54	29	37	28	20
Individuos	12	8	6	5	5	4	4	4
Shannon-Weaver (bits/ind)	2.24	1.96	1.49	1.40	1.19	1.37	1.24	1.23
Promedio	1.516							

Apéndice 3. Cálculo del índice BMWP/Col

Cuadro 36. Puntuación de los puntos de muestreo (28 de septiembre)

Phyllum	Clase	Orden/familia	29 de septiembre							
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
		EPHEMEROPTERA								
		Leptophlebiidae	9	9	9	9	9	0	0	0
		PLECOPTERA								
		Perlidae	10	0	0	0	0	0	0	0
		TRICHOPTERA								
		Hidropsychidae	7	0	7	7	7	7	0	0
		Odontoceriidae	10	0	0	0	0	0	0	0
Arthropoda	Insecta	Odonata								
		Coenagrionidae	7	0	7	7	7	7	7	7
		Gomphidae	10	6	0	0	0	0	0	0
		Coleoptera								
		Elmidae	6	6	0	0	0	0	0	0
		Psephenidae	10	0	10	10	10	0	0	0
		Hemiptera								
		Naucoridae	7	7	0	0	0	0	0	0
		Arhynchobdellidae								
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniidae	3	3	3	0	0	3	3	3
		Tricladida								
Platyhelminthes	Turbelaria	Planariidae	7	7	7	7	7	0	0	0
		IBMW/Col	86	38	43	40	40	17	10	10

Cuadro 37. Puntuación de los puntos de muestreo (09 de noviembre)

Phyllum	Clase	Orden/familia	09 de noviembre							
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
		EPHEMEROPTERA								
		Leptophlebiidae	9	9	9	0	0	0	0	0
		PLECOPTERA								
		Perlidae	10	10	10	10	0	0	0	0
		TRICHOPTERA								
		Hidropsychidae	7	0	7	7	7	7	0	0
		Odontoceriidae	10	0	0	0	0	0	0	0
Arthropoda	Insecta	Odonata								
		Coenagrionidae	7	7	7	7	7	7	7	7
		Gomphidae	10	0	0	0	0	0	0	0
		Coleoptera								
		Elmidae	6	0	0	0	0	0	0	0
		Psephenidae	10	10	0	10	0	0	0	0
		Hemiptera								
		Naucoridae	7	7	0	0	7	0	0	0
		Arhynchobdellidae								
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniidae	3	0	0	0	0	3	3	3
		Tricladida								
Platyhelminthes	Turbelaria	Planariidae	7	7	7	7	7	0	0	0
		IBMW/Col	86	50	40	41	28	17	10	10

Cuadro 38. Puntuación de los puntos de muestreo (05 de enero)

Phyllum	Clase	Orden/familia	05 DE ENERO							
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
		EPHEMEROPTERA								
		Leptophlebiidae	9	9	9	0	0	0	0	0
		PLECOPTERA								
		Perlidae	10	10	10	10	10	0	0	0
		TRICHOPTERA								
		Hidropsychidae	7	7	0	7	7	7	7	7
		Odontoceriidae	10	0	0	0	0	0	0	0
Arthropoda	Insecta	Odonata								
		Coenagrionidae	7	7	0	0	0	0	0	0
		Gomphidae	10	0	0	0	0	0	0	0
		Coleoptera								
		Elmidae	6	0	6	6	6	0	6	6
		Psephenidae	10	10	10	0	0	0	0	0
		Hemiptera								
		Naucoridae	7	7	7	7	0	7	0	0
		Arhynchobdellidae								
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniidae	3	3	3	3	3	3	3	3
		Tricladida								
Platyhelminthes	Turbelaria	Planariidae	7	7	0	0	7	7	7	7
		IBMW/Col	86	60	45	33	33	24	23	23

Anexo B. Panel fotográfico

Apéndice 3. Actividades realizadas en campo y en laboratorio



Figura 37. Punto de muestreo N°1.



Figura 38. Punto de muestreo N°2.



Figura 39. Punto de muestreo N°3.



Figura 40. Punto de muestreo N°4.



Figura 41. Punto de muestreo N°5.



Figura 42. Punto de muestreo N°6.



Figura 43. Punto de muestreo N°7.



Figura 44. Punto de muestreo N°8.



Figura 45. Tomando una muestra de agua en el río Negro (punto 1)



Figura 46. Midiendo el oxígeno disuelto del río Negro (punto 4)



Figura 47. Midiendo la temperatura del agua del río Negro (punto 2)



Figura 48. Tomando una muestra de agua del río Negro en el punto 3 (segundo muestreo)



Figura 49. Tomando una muestra de agua del río Negro en el punto 1 (tercer muestreo)



Figura 50. Tomando una muestra de agua en el punto 8 (tercer muestreo)



Figura 51. Recolectando los macroinvertebrados encontrados en la red surber



Figura 52. Recolectando los macroinvertebrados con el muestreo manual.



Figura 53. Recolectando los macroinvertebrados con el muestreo manual.



Figura 54. Recolectando los macroinvertebrados con el muestreo manual (tercer muestreo)



Figura 55. Influencia antrópica en el Punto 3 del rio Negro.



Figura 56. Residuos sólidos en el Punto 3 del rio Negro.



Figura 57. Descarga de aguas residuales domesticas en el punto 7.



Figura 58. Residuos sólidos en el punto 8.



Figura 59. Residuos sólidos en el punto 4.



Figura 60. Descarga de aguas residuales domesticas en el punto 4.

Apéndice 4. Actividades realizadas en laboratorio



Figura 61. Analizando las muestras de agua en el laboratorio de microbiología general.



Figura 62. Analizando las muestras de agua con el KIT de nitratos y fosfatos.



Figura 63. Preparando las muestras para la evaluación microbiológica



Figura 64. Sembrando las muestras en los tubos de ensayo.



Figura 65. Contabilizando las muestras positivas de los tubos de ensayo



Figura 66. Contabilizando las muestras positivas de los tubos de ensayo



Figura 67. Identificación de macroinvertebrados en el laboratorio de entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva



Figura 68. Frascos de vidrio con insectos identificados



Figura 69. Identificando los macroinvertebrados en el Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.



Figura 70. Identificando los macroinvertebrados en el Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Apéndice 5. Catálogo de macroinvertebrados
Orden Ephemeroptera



Figura 71. Familia Leptophlebiidae

Orden Plecoptera



Figura 72. Familia Perlidae

Orden Trichoptera

Figura 73. Familia Hidropsychidae



Figura 74. Familia Odontoceridae

Orden Odonata



Figura 75. Familia Coenagrionidae



Figura 76. Familia Gomphidae

Orden Coleoptera

Figura 77. Familia Elmidae



Figura 78. Familia Psephenidae

Orden Hemíptera



Figura 79. Familia Naucoridae

Orden Malacostraca



Figura 80. Familia Hyalellidae

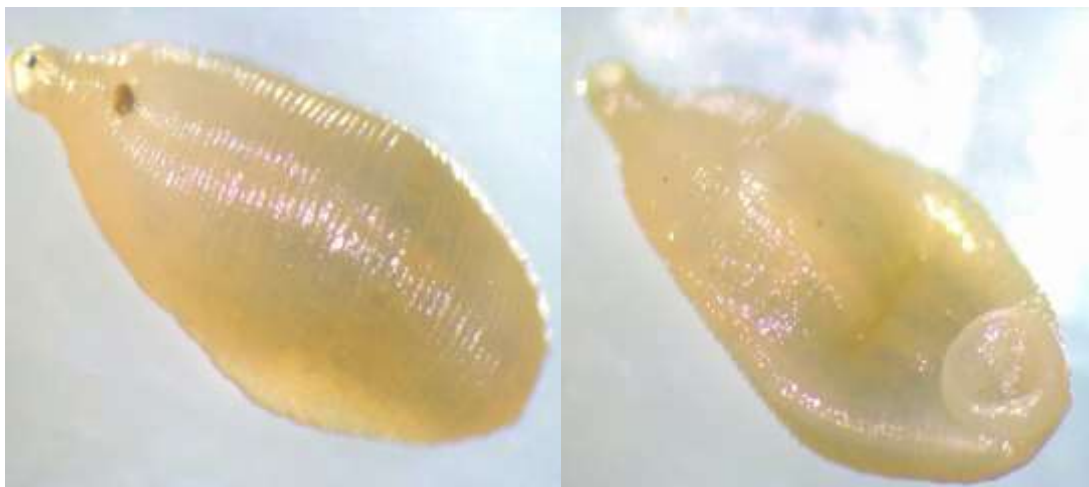
Orden Hirudínea

Figura 81. Familia Glossiphoniidae

Orden Turbellaria

Figura 82. Familia Planariidae

Apéndice 6. Certificado de Identificación de Insectos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
Departamento Académico de Ciencias Agrarias
LABORATORIO DE ENTOMOLOGÍA



"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

EL JEFE DEL LABORATORIO DE ENTOMOLOGÍA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA – TINGO MARÍA, CERTIFICA:

QUE, DE LAS 120 MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS ENVIADAS POR LA SRTA. GREYSY KATHERINE MINCHOLA SOTO, BACH. EN CIENCIAS AMBIENTALES, SE HA IDENTIFICADO LOS SIGUIENTES ESPECIMENES:

Phylum	Clase	Orden/familia
Arthropoda	Insecta	EPHEMEROPTERA
		Leptophlebiidae
		PLECOPTERA
		Perlidae
		TRICHOPTERA
		Hidropsychidae
		Odontoceridae
		Odonata
		Coenagrionidae
		Gomphidae
		Coleoptera
		Elmidae
		Psophenidae
		Hemiptera
Naucoridae		
Annelida	Hirudinea	Arhynohobdellidae
		Glossiphoniidae
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida
		Planariidae

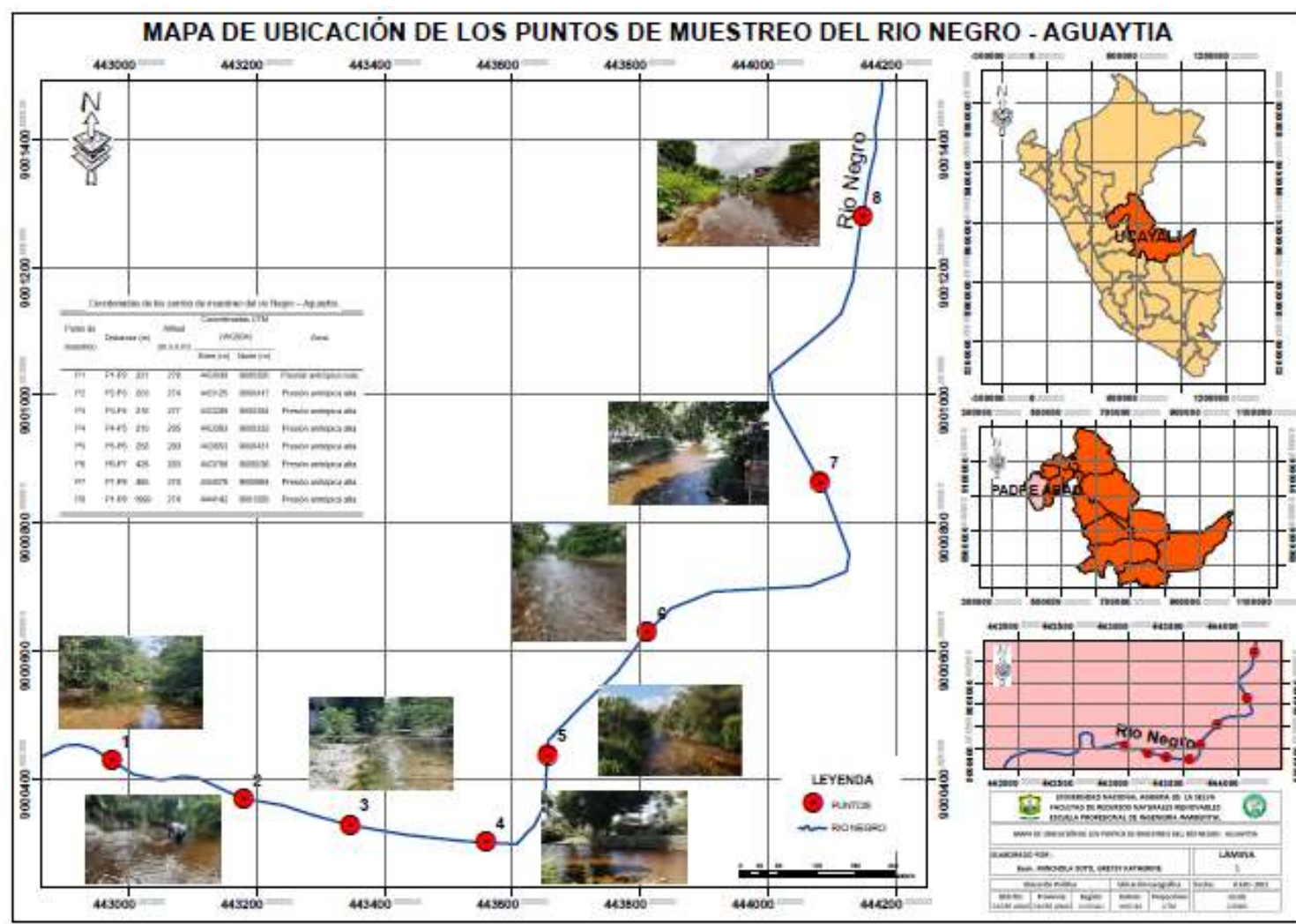
SE OTORGA EL PRESENTE DOCUMENTO PARA LOS FINES QUE CREA CONVENIENTE.

TINGO MARÍA, 17 DE MARZO DE 2021.

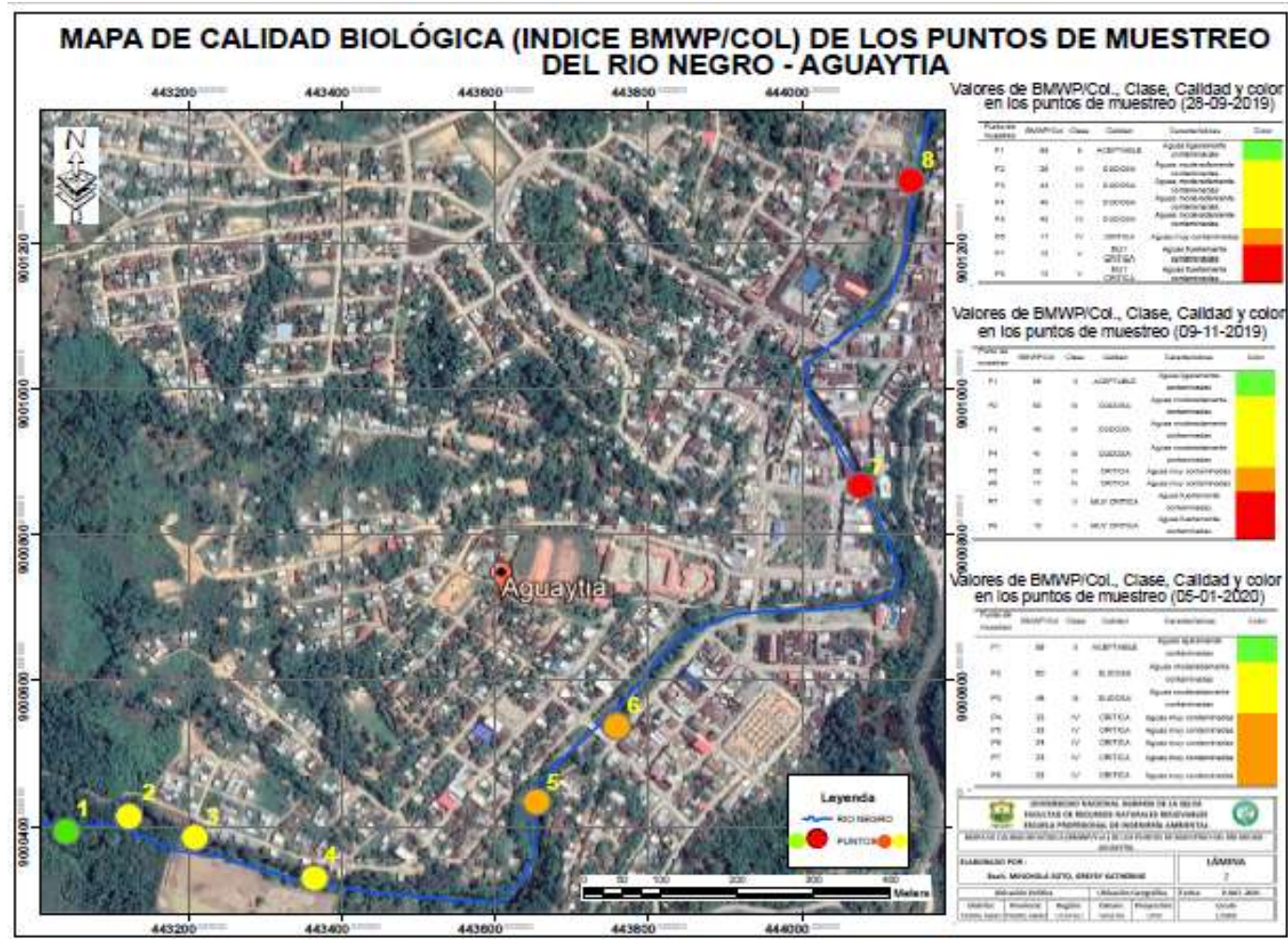
Bigo. M. Sc. José Luis GIL BACILIO
Jefe del Laboratorio de Entomología
Celular: 937514633
F.A. - UNAS

Archivo.

Apéndice 7. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo del rio Negro – Aguaytía.



Mapa de calidad biológica (Índice BMWP/Col) de los puntos de muestreo del río Negro - Aguaytía.



Mapa de calidad Físicoquímica (WQINSF) de los puntos de muestreo del río Negro – Aguaytía.

