



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA MICROCUENCA
DEL RÍO CEBADAS MEDIANTE INDICADORES ECOLÓGICOS”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: RICHARD OSWALDO ESPARZA ORTEGA

FERNANDA JASMIN TIBANQUIZA CALI

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS BELTRÁN DÁVALOS

Riobamba - Ecuador

2020

© 2020, Richard Oswaldo Esparza Ortega y Jasmin Fernanda Tibanquiza Cali.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, **Richard Oswaldo Esparza Ortega** y **Jasmin Fernanda Tibanquiza Cali**, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de agosto de 2020.

Richard Oswaldo Esparza Ortega
CI:060583624-6

Jasmin Fernanda Tibanquiza Cali
CI: 060412715-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Investigación "ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CEBADAS MEDIANTE INDICADORES ECOLÓGICOS", realizado por los señores: RICHARD OSWALDO ESPARZA ORTEGA Y JASMIN FERNANDA TIBANQUIZA CALI, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

José Gerardo León Chimbolema Dr.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



JOSE GERARDO
LEON CHIMBOLEMA

2020-08-21

Andrés Agustín Beltrán Dávalos MSc.
**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACION**



ANDRES AGUSTIN
BELTRAN DAVALOS

2020-08-21

Carlos Rolando Rosero Erazo MSc.
MIEMBRO DE TRIBUNAL



CARLOS ROLANDO
ROSERO ERAZO

2020-08-21

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por haber hecho uno de mis sueños realidad, sin él no hubiera sido posible.

A mi madre Ana Luisa por ser el motor de mi vida, por siempre tener la paciencia, valentía y amor de guiarme en cada paso que doy y enseñarme los mejores valores.

A mi padre Ángel por siempre ser mi aliento, mi fuerza y mi apoyo incondicional en ayudarme hacer realidad mis sueños.

A mi hermana Jessica por siempre estar en los momentos más difíciles de mi vida y de mi carrera.

A mi hermana Melany por estar a mi lado siempre, alienta dome a no rendirme y seguir siempre.

A Enoc, que a lo largo de mi carrera me ayudado y motivado constantemente.

Fernanda Jasmin Tibanquiza Cali.

El presente trabajo está dedicado a Dios que es el pilar fundamental de mi vida y mí incentivo para seguir adelante, sin él no hubiera cumplido esta meta trazada. A mis padres Luis Esparza y Yola Ortega por su apoyo a lo largo de esta travesía y por enseñarme con su ejemplo el inconmensurable valor del esfuerzo, constancia y responsabilidad en cada acto.

A mi hermana Patricia, mi compañera y amiga en todos y cada uno de los momentos de mi vida.

A mis Padrinos Juan González y Fanny Aguayo quienes con su cariño y amor sincero dejaron una huella indeleble en mi vida. Y a toda mi familia por alentarme a seguir cada uno de los caminos por recorrer.

Richard Oswaldo Esparza Ortega.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnico de Chimborazo, por ayudarnos en nuestros estudios superiores.

Al Ing. Andrés Beltrán por ser nuestro guía en el desarrollo del proyecto y por la paciencia brindada.

Al Ing. Carlos Rosero por su apoyo y ayuda en todo el trayecto.

A la Ing. Silvia Paña por haber nos brindado el tiempo, apoyo e invaluable amistad para realizar el presente trabajo.

A la Dra. Gina Álvarez por brindarnos el apoyo necesario para realizar el proyecto.

Y a nuestros amigos Tania Achance, Reynaldo Guacán, Diego Moreno, Romario Paltan, Edwin Silva, Jhoana Sánchez, Dayana Álvarez, Ruth Copa, Jhon Insuaste quienes confiaron en nosotros y nos acompañaron en toda nuestra trayectoria universitaria y nos brindaron su apoyo siempre.

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS.....	¡Error! Marcador no definido.
INDICE FIGURAS	¡Error! Marcador no definido.xiv
INDICE DE GRÁFICOS.....	¡Error! Marcador no definido.v
INDICE DE ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	19
SUMMARY	¡Error! Marcador no definido.x
INTRODUCCIÓN	112

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	115
1.1. Parque Nacional Sangay	115
1.1.1. <i>Laguna de Ozogoché</i>	115
1.1.2. <i>Laguna de Atillo</i>	115
1.2. El agua	115
1.3. Contaminación del agua.....	116
1.3.1. <i>Contaminantes químicos</i>	116
1.3.2. <i>Contaminantes biológicos</i>	117
1.4. Clasificación del agua según su origen.....	117
1.4.1. <i>Agua superficial</i>	117
1.4.2. <i>Agua subterránea</i>	117
1.4.3. <i>Aguas meteorológica o atmosférica</i>	117
1.4.4. <i>Agua de mar</i>	117
1.5. Tipos de efluentes según su origen	117
1.6. Clasificación de los cuerpos de agua	118
1.6.1. <i>Ríos</i>	118

1.6.2.	Lagos	118
1.6.3.	Aguas subterráneas	118
1.7.	Cuenca hidrográfica	118
1.7.1.	Clasificación de las cuencas hidrográficas	118
1.7.1.1.	<i>Arréicas:</i>	119
1.7.1.2.	<i>Criptorréicas:</i>	119
1.7.1.3.	<i>Endorréicas:</i>	119
1.7.1.4.	<i>Exorreicas:</i>	119
1.7.2.	Según su balance Hídrico las cuencas hidrográficas	119
1.7.2.1.	<i>Subcuenca</i>	119
1.7.2.2.	<i>Microcuenca</i>	119
1.8.	Humedales	119
1.9.	Ubicación y puntos de muestreo	121
1.9.1.	Medición de caudales	121
1.9.1.1.	<i>Métodos de aforo</i>	121
1.9.1.2.	<i>Método Volumétrico</i>	121
1.9.1.3.	<i>Medidor Parshall</i>	121
1.9.1.4.	<i>Métodos de vertederos y orificios</i>	122
1.9.1.5.	<i>Método de Sección-Velocidad</i>	123
1.10.	Elementos para la calidad biológica del agua	124
1.10.1.	Macroinvertebrados acuáticos	124
1.10.2.	Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos	124
1.10.2.1.	<i>Neuston</i>	124
1.10.2.2.	<i>Necton</i>	124
1.10.2.3.	<i>Bentos</i>	125
1.10.3.	Adaptaciones a la vida en el agua	125
1.10.3.1.	<i>Respiración Hidropnéustica</i>	125

1.10.3.2. <i>Respiración aeropnéstica</i>	125
1.11. Índices relacionados con la calidad del agua	125
1.11.1. <i>Índice ICA</i>	125
1.11.2. <i>Índice ABI</i>	126
1.11.3. <i>Índice BWMP/Col.</i>	127
1.11.4. <i>Índice IHF</i>	128
1.11.5. <i>Índice QBR</i>	129
1.12. Para el análisis de la calidad de agua intervienen los siguientes parámetros	130
1.12.1. <i>Parámetros físicos</i>	130
1.12.1.1. <i>Conductividad</i>	130
1.12.2. <i>Turbidez</i>	130
1.12.3. <i>Temperatura</i>	130
1.12.4. <i>SD</i>	131
1.12.5. Parámetros químicos	131
1.12.5.1. <i>Alcalinidad</i>	131
1.12.5.2. <i>Cloruros</i>	131
1.12.5.3. <i>DBO₅</i>	131
1.12.5.4. <i>Fosforo total</i>	131
1.12.5.5. <i>Nitrógeno Total</i>	131
1.12.5.6. <i>Nitrógeno Amoniacal</i>	132
1.12.5.7. <i>Oxígeno Disuelto</i>	132
1.12.5.8. <i>pH</i>	132
1.12.5.9. <i>Nitratos</i>	132
1.12.5.10. <i>Fosfatos</i>	132
1.12.6. Parámetros biológicos	132
1.12.6.1. <i>Coliformes Fecales</i>	132
1.12.6.2. <i>Coliformes totales</i>	133

1.13.	Teledetección	133
1.13.1.	<i>Clasificación de imágenes satelitales</i>	133
1.13.1.1.	<i>Clasificación supervisada</i>	133
1.13.1.2.	<i>Clasificación no supervisada</i>	133
1.13.1.3.	<i>K-means</i>	133
1.14.	Base legal	134
1.14.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	134
1.14.2.	<i>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua</i>	136

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	139
2.1	Área de estudio	139
2.1.1.	Característica de las microcuencas	139
2.2.	Evaluación multi-temporal del índice de calidad de bosque de ribera (qbr) periodo 1996-2016	141
2.2.1	<i>Algoritmo K-means</i>	141
2.3.	Determinación del análisis multi-temporal de la calidad del agua utilizando indicadores ecológicos.	143
2.3.2	<i>Descripción de los puntos de monitoreo</i>	145
2.3.2.1	<i>Punto 1</i>	145
2.3.2.2	<i>Punto 2</i>	146
2.3.2.3	<i>Punto 3</i>	146
2.3.2.4	<i>Punto 4</i>	146
2.3.2.5	<i>Punto 5</i>	146
2.3.2.6	<i>Punto 6</i>	146
2.3.2.7	<i>Punto 7</i>	146
2.3.2.8	<i>Punto 8</i>	147

2.3.2.9	<i>Punto 9</i>	147
2.3.2.10	<i>Punto 10</i>	147
2.3.2.11	<i>Punto 11</i>	147
2.3.2.12	<i>Punto 12</i>	147
2.3.2.13	<i>Punto 13</i>	148
2.3.2.14	<i>Punto 14</i>	148
2.3.2.15	<i>Punto 15</i>	148
2.3.3.1	<i>Área de Observación</i>	148
2.3.3.2	<i>Evaluación del Índice QBR</i>	149
2.3.3.3	<i>Cálculo que se da a cada bloque</i>	149
2.3.3.4	<i>Puntuación final</i>	149
2.4.	Medición de Caudales	155
2.5.	Recolección y muestreo de macroinvertebrados	157
2.6.	Cálculo del Índice ABI	158
2.7.	Cálculo de índice BMWP/Col.	159
2.8.	Índice de Shannon-Wiener	161
2.9.	Análisis de IQW	161
2.10.	Carga contaminante	162
2.11.	Análisis estadístico	162
2.11.1.	<i>ANOVA de dos factores</i>	162
2.11.2.	<i>Prueba de normalidad</i>	163

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	165
3.1.	Modelo digital del terreno	165
3.2.	Microcuenca del Río Cebadas	166
	CONCLUSIONES	183

RECOMENDACIONES..... 184

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Formas que se encuentran el agua en la Tierra.....	116
Tabla 2-1: Clasificación de cuencas, Subcuenca, microcuencas, sector y unidad.	119
Tabla 3-1: Humedales del Ecuador según el Ramsar.....	119
Tabla 4-1: Ponderaciones para parámetros propuestos por el índice ICA por la NSF.....	1269
Tabla 5-1: Rangos de calidad del agua según el índice WQI.	1260
Tabla 6-1: Valores para la calidad del agua según el índice ABI.	1260
Tabla 7-1: Puntuación a cada familia de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Col.	1271
Tabla 8-1: Calidad biológica del agua del Índice BMWP/Col.	1281
Tabla 9-1: Ponderaciones para parámetros del índice de hábitat fluvial.....	1282
Tabla 10-1: Puntajes de la calidad según el índice de hábitat fluvial.	1292
Tabla 11-1: Clases de calidad que se consideran para el Índice QBR.	1293
Tabla 12-2: Características de las microcuencas.	1393
Tabla 13-2: Puntos de monitoreo en la microcuenca del Río Cebadas.....	1459
Tabla 14-2: Medición del Índice de calidad de Bosque de Ribera.	1494
Tabla 15-2: Clases de calidad que se consideran para el Índice QBR.....	1516
Tabla 16-2: Medición del Índice de Hábitat Fluvial	1527
Tabla 17-2: Métodos de ensayo empleados por el laboratorio de aguas para la caracterización de los parámetros físico-químico y microbiológicos.....	1581
Tabla 18-2: Puntajes para la calidad del agua según el índice ABI.....	1602
Tabla 19-2: Puntuación establecido a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención de BMWP/Col.	1625
Tabla 20-2: Ponderaciones de los parámetros por el índice WQI.....	1637
Tabla 21-2: Variables de estudio y su valor de significancia.....	1638
Tabla 22-2: Valores de las medias QWI, ABI y BWMP	58
Tabla 23-3: Variabilidad espacio temporal del Bosque de Ribera.....	1681
Tabla 24-3: Resultados de caudal en L/s, en cada punto de monitoreo.	1733
Tabla 25-3: Resultados QWI de cada punto de monitoreo en invierno y verano	1740
Tabla 26-3: Resultados QBR de cada punto de monitoreo en invierno y verano	1762
Tabla 27-3: Correlación de las variables del mes QWI	1775
Tabla 28-3: Correlación de los indicadores ecológicos	1786

Tabla 29-3: Puntajes de la calidad según el índice QWI.	1796
Tabla 30-3: Puntajes de la calidad según el índice ABI.....	1797
Tabla 31-3: Puntajes de la calidad según el índice BMWP/Col	87
Tabla 32-3: Datos del análisis de varianza.....	99
Tabla 33-3: Valores de las medias de QWI, ABI y BWMP.	100

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ejemplo de una clasificación para una Cuenca Hidrográfica de Orden 4.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2-1: Medidor Parshall.....	¡Error! Marcador no definido.1
Figura 3-1: Vertedero rectangular sin contracciones.	¡Error! Marcador no definido.2
Figura 4-1: Vertedero rectangular con dos contracciones.	¡Error! Marcador no definido.3
Figura 5-1: Vertedero triangular.....	¡Error! Marcador no definido.3
Figura 6-1: Vertedero trapezoidal.....	¡Error! Marcador no definido.4
Figura 7-1: Vertedero Circular.	¡Error! Marcador no definido.5
Figura 8-1: Macroinvertebrados neuston en un ecosistema acuático.	¡Error! Marcador no definido.6
Figura 9-1: Macroinvertebrados bentos en un ecosistema acuático.	¡Error! Marcador no definido.7
Figura 10-1: Macroinvertebrados bentos en un ecosistema acuático.	¡Error! Marcador no definido.7
Figura 11-1: Macroinvertebrados acuáticos que utilizan respiración hidropnéustica.....	¡Error! Marcador no definido.8
Figura 12-1: Macroinvertebrados acuáticos que utilizan respiración hidropnéustica.....	¡Error! Marcador no definido.8
Figura 13-1: Formas de teledetección.....	¡Error! Marcador no definido.7
Figura 14-2: Mapa de la Microcuenca del Río Cebadas y sus Efluentes que lo conforman.....	1404
Figura 15-2: Esquema de la metodología para la obtención de la variabilidad espacio temporal.	1426
Figura 16-2: Caracterización de los puntos de muestreo.	1448
Figura 17-2: Zona de muestreo para el Índice QBR.	1483
Figura 18-3: Modelo digital del terreno de la microcuenca del Río Cebadas.....	1650
Figura 19-3: Modelo digital de la variabilidad espacio temporal de la microcuenca del Río Cebadas	1672

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Variación de los caudales en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**4

Gráfico 2-3: Variación de pH en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**5

Gráfico 3-3: Variación de la conductividad en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**6

Gráfico 4-3: Variación de la turbidez en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**7

Gráfico 5-3: Variación de Oxígeno Disuelto en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**8

Gráfico 6-3: Variación del DBO₅ en los puntos de muestreo agosto-enero..... 69

Gráfico 7-3: Variación de carbonatos-alcalinidad en los puntos de muestreo agosto-enero. ... **¡Error! Marcador no definido.**0

Gráfico 8-3: Variación nitratos en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**1

Gráfico 9-3: Variación fosfatos en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**2

Gráfico 10-3: Variación fósforo total en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**3

Gráfico 11-3: Variación de cloruros en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**4

Gráfico 12-3: Variación de nitrógeno total en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**5

Gráfico 13-3: Variación de nitrógeno amoniacal en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**6

Gráfico 14-3: Variación de Coliformes fecales en los puntos de muestreo agosto-enero. **¡Error! Marcador no definido.**7

Gráfico 15-3: Variación del Índice ABI (agosto-enero). **¡Error! Marcador no definido.**8

Gráfico 16-3: Variación del Índice BWMP/Col (agosto-enero).	79
Gráfico 17-3: Variación del Índice QWI (agosto-enero).	1741
Gráfico 18-3: Variación del Índice QBR en cada punto de muestreo (agosto-enero).	1753
Gráfico 19-3: Variación del Índice IHF en cada punto de muestreo (agosto-enero).	1764
Gráfico 20-3: Interpretación caudal vs QWI (agosto).....	¡Error! Marcador no definido.8
Gráfico 21-3: Interpretación caudal vs QWI (septiembre).	¡Error! Marcador no definido.8
Gráfico 22-3: Interpretación caudal vs QWI (octubre).	8¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 23-3: Interpretación caudal vs QWI (noviembre).	8¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 24-3: Interpretación caudal vs QWI (diciembre).	¡Error! Marcador no definido.0
Gráfico 25-3: Interpretación caudal vs QWI (enero).	¡Error! Marcador no definido.0
Gráfico 26-3: Interpretación Caudal vs ABI (agosto).....	¡Error! Marcador no definido.1
Gráfico 27-3: Interpretación Caudal vs ABI (septiembre).....	¡Error! Marcador no definido.2
Gráfico 28-3: Interpretación Caudal vs ABI (octubre).	¡Error! Marcador no definido.2
Gráfico 29-3: Interpretación Caudal vs ABI (noviembre).	¡Error! Marcador no definido.3
Gráfico 30-3: Interpretación Caudal vs ABI (diciembre).	¡Error! Marcador no definido.3
Gráfico 31-3: Interpretación Caudal vs ABI (enero).	¡Error! Marcador no definido.4
Gráfico 32-3: Interpretación Caudal vs BWMP (agosto).	1805
Gráfico 33-3: Interpretación Caudal vs BWMP (septiembre).	¡Error! Marcador no definido.5
Gráfico 34-3: Interpretación Caudal vs BWMP (octubre).....	¡Error! Marcador no definido.6
Gráfico 35-3: Interpretación Caudal vs BWMP (noviembre).....	¡Error! Marcador no definido.6
Gráfico 36-3: Interpretación Caudal vs BWMP (diciembre).....	¡Error! Marcador no definido.7
Gráfico 37-3: Interpretación Caudal vs BWMP (enero).	¡Error! Marcador no definido.7
Gráfico 38-3: Prueba de Normalidad (Normal).	¡Error! Marcador no definido.8
Gráfico 39-3: Interpretación para indicadores (Medias ajustadas). ¡Error! Marcador no definido.1	

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Ficha de Campo.

Anexo B: Ficha de campo para evaluar el índice QBR.

Anexo C: Hoja de campo de IHF.

Anexo D: Hoja de registro y Puntuación de las familias de macroinvertebrados acuáticos del Índice BMWP/Col.

Anexo E: Hoja de registro y evaluación del índice ABI.

Anexo F: Condiciones para evaluar los puntos de muestreo en los Ríos Andinos.

Anexo G: Condiciones para evaluar el Índice QBR en la zona Andina.

Anexo H: Informe de Laboratorio de Servicios Ambientales Punto 1-3 (verano).

Anexo I: Informe de Laboratorio de Servicios Ambientales Punto 4-11 (verano).

Anexo J: Informe de Laboratorio de Servicios Ambientales Puntos 12-15 (verano).

Anexo K: Informe de Laboratorio de Servicios Ambientales Puntos 1-3 (invierno).

Anexo L: Informe de Laboratorio de Servicios Ambientales Puntos 4-11 (invierno).

Anexo M: Informe de Laboratorio de Servicios Ambientales Puntos 12-15 (invierno).

Anexo N: Puntos de Monitoreo.

Anexo O: Influencia Antropogénica.

Anexo P: Microhábitat.

Anexo Q: Muestreo de macroinvertebrados.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la calidad de agua en la microcuenca del

Río Cebadas aplicando los índices ecológicos, para este propósito se utilizó el índice biological monitoring working party de Colombia (BMWP/CoI) y el Andean Biotic Index (ABI), también se evaluó la calidad del agua mediante el índice de parámetros físico- químicos Water quality index (WQI), adicionalmente se analizó el hábitat en las zonas de muestreo a través del Riparian Forest Quality index (QBR) y Andean Riparian Forest index (QBR-And) y el índice del hábitat fluvial (IHF), también la diversidad existente con el índice alpha Shannon-Wiener y se midió el caudal. Durante la investigación se realizaron 6 campañas de monitoreo en 15 diferentes puntos dentro de la microcuenca del río Cebadas. La recolección de macroinvertebrados se realizó utilizando un barreno de sedimentos, se realizó los parámetros físicos del agua, se determinaron in situ los parámetros como: oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, temperatura del agua y se analizaron en el laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH. Al terminar el estudio se evidencio, que la microcuenca que tuvo mayor variabilidad espacio temporal, fue la microcuenca del río Guamote con un cambio del 16.2 %, Cebadas con 14%, Ozogoche con un 17.3%, Atillo con un 2.9%; en contraste el mayor índice de correlación, 0,91 corresponde a las variables de ABI con BMWP/col, la menor fue 0,20 QWI con IHF concluyendo que los índices ecológicos demuestran la calidad de un recurso hídrico a nivel multitemporal mientras que el QWI es un índice que prevé la calidad del agua. La microcuenca del río Cebadas después de la aplicación de los índices ecológicos presenta una calidad de agua regular, por lo cual es importante establecer un plan de manejo para la protección y conservación de la microcuenca y verificar su cumplimiento.

Palabras clave: <RECURSO AGUA>, <MACROINVERTEBRADOS>, <BIOINDICADORES>, <ÍNDICE DE CALIDAD DE RIBERA>, <ÍNDICE DE HETEROGENEIDAD FLUVIAL>, <MICROCUENCA>

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the water quality in the Río Cebadas micro watershed by applying the ecological indices, for this purpose the Colombian biological monitoring working party index (BMWP / CoI) and the Andean Biotic Index (ABI) were used. The water quality was evaluated by means of the index of physical-chemical parameters Water quality index (WQI), additionally the habitat in the sampling areas was analyzed through the Riparian Forest Quality index (QBR) and Andean Riparian Forest index (QBR-And) and the river habitat index (IHF), also the existing diversity with the alpha Shannon-Wiener index and the flow was measured. During the research, 6 monitoring campaigns were carried out in 15 different points within the Cebadas river micro watershed. The macroinvertebrate collection

was carried out using a sediment hole, the physical parameters of the water were carried out, parameters such as: dissolved oxygen, total dissolved solids, water temperature were determined in situ and they were analyzed in the Laboratorio de Calidad de Agua from ESPOCH. At the end of the study, it was evident that the micro watershed that had the greatest spatio-temporal variability was the Guamote river micro watershed with a change of 16.2%, Cebadas with 14%, Ozogoche with 17.3%, Atillo with 2.9%; in contrast, the higher index of correlation, 0.91 corresponds to the ABI variables with BMWP / col, the lowest was 0.20 QWI with IHF, concluding that the ecological indices demonstrate the quality of a water resource at a multitemporal level while the QWI is an index that predicts the water quality. After the application of the ecological indices, the Cebadas river micro watershed presents a regular water quality, so it is important to establish a management plan for the protection and conservation of the micro watershed and verify its compliance.

Key words: <WATER RESOURCE>, <MACROINVERTEBRATES>, <BIOINDICATORS>, <RIBERA QUALITY INDEX>, <RIVER HETEROGENEITY INDEX>, <MICRO-WATERSHED>.

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=06027669
74, cn=LUIS
ALBERTOCAMINO
VARGAS
Fecha:2020.10.02
15:32:33 -05'00'



0341-DBRAI-UPT-202

INTRODUCCIÓN

El agua fuente de vida; encontrada en los diferentes estados de la materia a lo largo del planeta cubre la mayoría de este; pero apenas un 2.5% es agua dulce, la misma que ha sido empleada por el ser humano para la alimentación e industria a lo largo de los años (Hahn-vonHessberg et al., 2009: p.2). El progreso de la humanidad ha desembocado que en los últimos años la contaminación del planeta crezca de manera incontrolable, consecuencia de estas acciones tenemos suelos áridos, deterioro de las cuencas hídricas, contaminación del recurso hídrico. (Gómez, 2014: p.15)

Uno de tantos ecosistemas afectados por la contaminación y el cambio climático es el páramo. (Reinoso Aguirre & Beltrán, 2016: p.19). El páramo ecuatoriano (a partir de los 4000 m.s.n.m.), es reconocido por la gran biodiversidad de flora y fauna que alberga, es el único ecosistema natural regulador de agua, debido principalmente a la gran capacidad de acumulación de materia orgánica en el suelo y a la morfología de ciertas plantas que actúan como una verdadera esponja. (Paúl Aucancela, 2011: p.22)

Los humedales son primordiales para la regulación hídrica regional, transformadores de materiales químicos y biológicos, que proporciona un hábitat único con una gran variedad de flora y fauna endémica. (Berlanga-robles & Ruiz-luna, 2008: p.2-3) La formación de meandros se da por el proceso de erosión lateral, los cursos fluviales comienzan a tener curvas. Existen terrenos inundados que llegan a un nivel muy bajo de profundidad que los humedales: como son humedales lacustres, fluviales y palustres.(Berlanga-robles & Ruiz-luna, 2008: p.7)

El crecimiento poblacional tanto en el área rural y urbana genera la necesidad de más tierras fértiles para cultivos y ganadería, como consecuencia de esto, las personas que se dedican a estas actividades económicas han iniciado a trabajar el páramo alterando así su ecosistema, dicho problema se puede ver en la microcuenca del sector Cebadas, la cual ha sido considerada como fuente potencial de agua para los diferentes usos de la población tanto personal como agrario y de riego, lo cual genera la preocupación sobre estos ecosistemas que involucran principalmente estas fuentes del recurso agua. (Olaya, 2016: p.18)

Las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, son los indicadores biológicos más utilizados en el mundo ya que son métodos muy efectivos sensibles a los cambios ambientales que evalúan la

calidad de agua causado por los cambios de las variables fisicoquímicas e hidrológicas y por el desarrollo industrial y agropecuario. (Encalada et al, 2011: pp.32-33).

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de realizar un análisis de la calidad de agua de la microcuenca del Río Cebadas mediante indicadores ecológicos. Esta propuesta nos ayuda a encontrar los indicadores ecológicos más adecuados para determinar la calidad del agua, sedimentos y suelos en la microcuenca del Río Cebadas a través de muestreos periódicos.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Analizar la calidad de agua de la microcuenca del Río Cebadas mediante indicadores Ecológicos.

Objetivo Específicos:

- Evaluar la variabilidad espacio temporal del Bosque de Ribera de la microcuenca del Río Cebadas del Periodo 1998 - 2019.
- Determinar la calidad del agua mediante los indicadores ecológicos, (Índice de Hábitat fluvial, Bosque de Ribera, ABI).
- Evaluar la correlación de los índices Ecológicos con los análisis fisicoquímicos y químicos del agua.
- Establecer un modelo geo estadístico, que explique la distribución espacial de macroinvertebrados en los ríos Atillo, Ozogoche y Cebadas.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. PARQUE NACIONAL SANGAY

Este parque se creó en el año de 1975 como una reserva ecológica que forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), con una extensión de 517 765 ha que abarca cuatro provincias: Tungurahua, Chimborazo, Cañar y Morona Santiago, Va desde los 1 000 msnm – 5 230msnm, con una temperatura que va desde los 6 °C hasta los 24°C , constituye 327 lagunas que se destaca los sistemas lacustre del Altar, Ozogoché y las lagunas de Atillo, Sardinayacu, Culebrillas, Negra, así como las aguas termales El Placer.(Ambiente, 2004a)

1.1.1. Laguna de Ozogoché

Es una colección de alrededor de cuarenta y cinco lagunas, dentro del Parque Nacional Sangay. Estas cubren 7km, de extensión, se encuentran en Alausí - Chimborazo a 90 km. de Riobamba. Se toma por la panamericana sur a 64 km de Palmira, recorre 35 kilómetros hasta la Y de la comunidad de totoras, seguido se toma un camino de segundo orden hasta llegar al Ozogoché Alto.(Ambiente, 2004b)

1.1.2. Laguna de Atillo

La laguna de Atillo es un sitio turístico con una isla al norte del espejo, con una biodiversidad de flora propia del bosque andino y su fauna característica; además se encuentran ubicadas en la parroquia Cebadas del cantón Guamote a 90 km de la ciudad de Riobamba junto a la comunidad del mismo nombre. La temperatura ascienda a los 10 grados centígrados, para llegar se toma la vía San Luis Hasta llegar a la vía Guamote. Macas hasta llegar a la comunidad de Atillo.(Ambiente, 2004b)

1.2. EL AGUA

Es la fuente vital para el ser humano que se encuentran en diferentes formas y lugares como en los océanos, atmosfera, lagos, ríos aguas subterráneas, etc.(Ramírez, 2013) El 2.5% es agua dulce, que se lo utiliza para diferentes actividades como para la alimentación e industria, siendo un pilar fundamental en el desarrollo de la sociedad.

Tabla 1-1: Formas que se encuentran el agua en la Tierra.

Situación del agua	Volumen en Km3		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	Agua dulce	Agua Total
Océanos y Mares		1338000000		96.5
Casquetes y glaciares polares	24064000		68.7	1.74
Agua subterránea salada		12870000		0.94
Agua subterránea dulce	10530000		30.1	0.76
Glaciares continentales y permafrost	300000		0.86	0.022
Lagos de agua dulce	91000		0.26	0.007
Lagos de agua salada		85400		0.006
Humedad del suelo	16500		0.05	0.001
Atmosfera	12900		0.04	0.001
Embalses	11470		0.03	0.0008
Ríos	2120		0.006	0.0002
Agua biológica	1120		0.003	0.0001
Total agua dulce	35029110		100	
Total agua en la Tierra	1386000000			100

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Agua#Distribuci.C3.B3n_de_agua_en_la_naturaleza

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

1.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación del agua se da por el hombre en forma directa o indirectamente por sustancias o energía a los cuerpos de agua alterando así su calidad. Las propiedades que llegan alterarse son: textura, color, olor, turbidez, sabor, temperatura y la conductividad.

1.3.1. Contaminantes químicos

- Sulfuros y Sulfatos
- Nitrógeno (Nitrógeno orgánico o nitrógeno amoniacal)
- Nitratos y nitritos
- Metales pesados
- Fosfatos
- Detergentes

- Fenoles
- Hidrocarburos

1.3.2. Contaminantes biológicos

- Virus
- Bacterias
- Hongos
- Parásitos

1.4. CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN SU ORIGEN

Estos tipos de agua tienen diferentes sustancias disueltas o suspendidas como sales minerales, gases y material partículas en cantidades variables según de donde procedan.

1.4.1. Agua superficial

Es aquella que se encuentra almacenada en la superficie del terreno como puede ser los ríos, lagos y lagunas.

1.4.2. Agua subterránea

Es toda aquella agua que se encuentra en el subsuelo como puede ser agua de pozos.

1.4.3. Aguas meteorológica o atmosférica

Es aquella que se encuentra en forma de lluvia.

1.4.4. Agua de mar

Es aquella agua que se encuentra en los mares y se diferencia por su alta salinidad.

1.5. TIPOS DE EFLUENTES SEGÚN SU ORIGEN

Las aguas que son utilizadas por el hombre en sus diferentes actividades y son desechadas al exterior toman el nombre de aguas residuales.

- Aguas residuales domesticas
- Aguas residuales pluviales
- Aguas residuales urbanas
- Aguas residuales industriales
- Aguas residuales agrícolas

1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA

Se encuentran en la superficie terrestre o en el subsuelo, la cual se encuentra interconectada desde la atmósfera hasta los océanos por medio del ciclo hidrológico, aquí vamos a definir los cuerpos de aguas que se encuentra en la Tierra:

1.6.1. Ríos

Son aquellas corrientes que se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente a velocidades que varían entre 0,1 y 1 m/s. Los ríos son considerados cuerpos de agua porque se encuentran mezclados y se mueven desde partes elevadas a partes más bajas, por lo que tiene gran importancia la calidad del agua en el sentido del flujo.(Ramírez, 2013)

1.6.2. Lagos

Son aquellos sistemas acuáticos, nos referimos a lagos cuando se habla de agua dulce, tienen velocidades muy bajas que varían entre 0.01 y 0.001 m/s, por lo cual hace que el agua se quede en el sistema por años, la calidad del agua de los lagos se encuentra en períodos de estratificación.(Ramírez, 2013)

1.6.3. Aguas subterráneas

Son acuíferos que se encuentra en el subsuelo, el flujo es relativamente estable en cuanto se habla de velocidad y dirección que varía entre 10^{-10} y 10^{-3} m/s.(Ramírez, 2013)

1.7. CUENCA HIDROGRÁFICA

Es aquella parte que se encuentra en el lugar más alta de las montañas, laderas o colinas, aquí se forma un sistema de drenaje superficial que almacena sus aguas en un río principal donde llega a integrarse al mar o lago. Las cuencas se sitúan en el suelo, agua y vegetación, ahí reside el hombre donde realiza actividades.(Jorge Faustino, 2000)

Las redes de drenaje según su orden jerárquico se clasifican según el grado de ramificación de un sistema de drenaje, los cauces de primer orden no tienen tributarios, los cauces de segundo orden se forma por la unión de los cauces de primer orden, mientras que los cauces de orden n se forman por la unión de dos cauces de orden $n-1$. Al unirse un cauce de orden mayor, el canal de aguas abajo se queda con el mayor de los órdenes.

1.7.1. Clasificación de las cuencas hidrográficas

Por el sistema de drenaje y su conducción final, estas se clasifican de la siguiente manera:

1.7.1.1. Arréicas: no consiguen drenar a un río, mar o lago, llegan a desaparecer por evaporación o infiltración y no forman escurrimiento subterráneo.

1.7.1.2. Criptorréicas: cuando sus aguas corren como ríos en el subsuelo, y sus redes de drenaje no llevan un sistema ordenado.

1.7.1.3. Endorréicas: estas drenan en un embalse o lago.

1.7.1.4. Exorreicas: cuando las vertientes conducen las aguas a un gran río o mar. (Jorge Faustino, 2000)

1.7.2. Según su balance Hídrico las cuencas hidrográficas son:

1.7.2.1. Subcuenca: son ríos que drenan en un río principal de una cuenca. La unión de varias Subcuenca forma una cuenca.

1.7.2.2. Microcuenca: son unidades pequeñas, aquí se originan quebradas y a veces riachuelos, se desarrolla su drenaje directo al curso principal de una Subcuenca. La unión de varias microcuencas forma una Subcuenca. (Jorge Faustino, 2000)

Tabla 2-1: Clasificación de cuencas, Subcuenca, microcuencas, sector y unidad.

NOMBRE	Unidad	Sector	Microcuenca	Subcuenca	Cuenca
ÁREA	< 5	may-20	20 - 100	100 - 300	> 300

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

1.8. HUMEDALES

En el Ecuador existes 18 tipos de humedales según el Ramsar, que consta el 49% en la sierra y costa y en el Oriente con un 2% mientras que en la región insular no consta ningún humedal según el Ramsar.

Tabla 3-1: Humedales del Ecuador según el Ramsar.

N-°	Sitio Ramsar	Área Protegida	Provincia	Superficie
1	Manglares Churute	Reserva Ecológica Manglares Churute	Guayas	35042
2	Zona Marina Parque Nacional Machalilla	Parque Nacional Machalilla	Manabí	14430
3	Reserva Biológica Limoncocha	Reserva Biológica Limoncocha	Sucumbíos	4613

4	Abras de Mantequilla	No	Los Ríos	22500
5	La Segua	No	Manabí	1836
6	Isla Santay	Área Nacional de Recreación	Guayas	4705
7	Laguna de Cube	Reserva Ecológica Mache Chindul	Esmeraldas	113
8	Refugio de Vida Silvestre Isla Santa Clara	Refugio de Vida Silvestre Isla Santa Clara	El Oro	46
9	Parque Nacional Cajas	Parque Nacional Cajas	Azuay	29477
10	Humedales del Sur de Isabela	Parque Nacional y Reserva Marina Galápagos	Galápagos	872
11	Reserva Ecológica de Manglares Cayapas-Mataje	Reserva Ecológica de Manglares Cayapas-Mataje	Esmeraldas	44847
12	Complejo de Humedales Ñucanchi Turupamba	Parque Nacional Cayambe Coca	Napo, Pichincha	12290
13	Complejo Llanganati	Parque Nacional Llanganates	Tungurahua, Cotopaxi	30355
14	La Tembladera	No	El Oro	1471
15	Manglares del Estuario Interior del Golfo de Guayaquil “Don Goyo”	No	Guayas	15337
16	Reserva Ecológica El Ángel	Reserva Ecológica El Ángel	Carchi	17003
17	Sistema Lacustre Lagunas del Compadre	Parque Nacional Podocarpus	Loja y Zamora Chinchi	23962
18	Sistema Lacustre Yacuri	Parque Nacional Yacuri	Loja y Zamora Chinchi	27760

Fuente: (Ambiente, 2015)

1.9. UBICACIÓN Y PUNTOS DE MUESTREO

Para la ubicación de los puntos de muestreo se deben considerar los siguientes criterios:

- Identificación
- Accesibilidad
- Representatividad
- Seguridad

Para los puntos de muestreos se consideran los siguientes criterios:

- Para descargas
- Para aguas receptoras

1.9.1. MEDICIÓN DE CAUDALES

Se refiere a la medición de volumen de agua que pasa por una sección específica en un tiempo determinado. El caudal es la velocidad del agua y está en función de la sección a través. La medición de caudales llamado también aforo y se realiza en diferentes formas dependiendo el objetivo de monitoreo. (Burbano, 2016)

1.9.1.1. Métodos de aforo

Estos métodos son de fácil utilización y son los siguientes:

1.9.1.2. Método Volumétrico

Este método se realiza en corrientes pequeñas como pueden ser los yacimientos de agua o riachuelos, este método puede ser el más exacto, consiste en hacer llegar un caudal a un depósito donde el volumen sea conocido y se deberá contar los minutos en que se llena completamente el depósito, así se obtiene:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Q= caudal se mide en m³/s

V= es el volumen expresado en m³

T= tiempo en segundos

Es un método de rápida ejecución, para la medición de pequeños caudales, donde queremos saber el caudal de un determinado riachuelo. (ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático), 2017, p.8)

1.9.1.3. Medidor Parshall

Este método fue creado por Ralph Parshall en el año de 1920, se realiza en aforo de canales y pequeños ríos. Es también utilizado en los canales de riego que tienen corta pendiente, en drenes,

donde se sugiere que no se coloque estructuras como vertederos que puedan perturbar el régimen del escurrimiento.(ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climatico), 2017, p.9)

$$Q = C \times (H)^n$$

Donde:

Q = caudal se mide en m³/s

H = corresponde a la altura de la lámina de agua

C Y n = coeficientes que dependen de las dimensiones del canal

1.9.1.4. Métodos de vertederos y orificios

En este método se interpone un tabique ante una corriente haciendo que se realice una caída de agua y atravesando una sección predeterminada. Se debe conocer las características de los vertederos, la sección de la lámina de agua y la velocidad de caída libre.(ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climatico), 2017, p.10)

a. Vertedero rectangular sin contracciones

Este vertedero rectangular es el más utilizado porque es muy fácil de construir.(ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climatico), 2017, p.10)

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³/s

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

b. Vertedero rectangular con dos vertederos

$$Q = 1.84 (L - 0.2H) \times H^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³/s

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

c. Vertedero triangular

Con este método podemos obtener medidas más exactas de la altura de carga (H) que tienes caudales reducidos. Estos vertederos se construyen con placas metálicas, los más utilizados son los que tienen 90 grados.(ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climatico), 2017, p.11)

$$Q = 1.4 \times H^{5/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³/s

H = Carga del vertedero, en m

d. Vertedero trapezoidal

En su abertura tiene forma de un trapecioide, también llamado vertedero Cipolletti. No se la utiliza mucho porque su construcción es de poca dificultad.(ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climatico), 2017, p.12)

$$Q = 1.859 \times L \times H^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³/s

L = Ancho de la cresta, en m

H = carga del vertedero, en m

e. Vertedero circular

Este método no es tan utilizado como los anteriores, pero es fácil de construir. Así como no requerir el nivelamiento de su cresta por su forma.(Agustín & Monroy, 2010, p.47)

$$Q = 1.518 \times D^{0.693} \times H^{1.807}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³/s

D = Diámetro del círculo, en m

H = Carga del vertedero, en m

1.9.1.5. Método de Sección-Velocidad

Para obtener los valores con este método se determina separadamente la sección transversal del cauce y la velocidad del agua, para obtener los valores de la sección se obtiene por medio de sondeos y la velocidad con el método del molinete, flotador o pendiente hidráulico.(ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climatico), 2017, p.13)

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q = Caudal del agua, en m³/s

A = Área de la sección transversal, en m²

V = Velocidad media del agua, en m/s

1.10. ELEMENTOS PARA LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA

1.10.1. Macroinvertebrados acuáticos

Son organismos que se utilizan para determinar la contaminación de ríos, como indicador de las condiciones ecológicas o de la calidad del agua, estos organismos miden más de 500 µm, donde se incluyen a las esponjas, los macroinvertebrados acuáticos tienen un ciclo de vida largo en comparación a otros.(Rojas, 2012, p.3)

Las comunidades acuáticas suelen evaluar los distintos impactos como: contaminación por residuos municipales, agrícolas, industriales e impactos y otros usos de suelo sobre los cursos de aguas superficiales, este método es utilizado en todo el mundo ya que es un método muy confiable.

1.10.2. Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos

Estos organismos tienen diferentes formas de vivir, se las puede encontrar en la superficie del agua caminando, también se las encuentra en el fondo del río o nadando libremente, de esta manera han tomado diferentes nombres acordes al tipo de adaptación.

1.10.2.1. Neuston

Este tipo de macroinvertebrados se encuentran en la superficie del agua a veces se les encuentra caminando o brincando, esto se debe a que el cuerpo de estos organismos está cubierto de cera que lo hacen impermeable haciendo que venza la tensión superficial del agua y puedan transitar normalmente sin hundirse. Aquí se encuentran las familias *Gerridae*, *Hidrometridae* y *Mesoveliidae*. (Pérez, 2003, p.12)

1.10.2.2. Necton

En esta clase se encuentran los organismos que se localizan libremente en la superficie del agua, aquí se encuentran (Figura 8-1): “*Corixidae* y *Notonectidae* del orden *Hemiptera*; *Dytiscidae*, *Gyrinidae* e *Hydrophilidae* del orden *Coloptera* y *Baetidae* el orden *Ephemeroptera*”(Pérez, 2003, p.12).

1.10.2.3. Bentos

A esta clase pertenecen los organismos que se encuentran en el fondo de un río o lago, están adheridos a hojuzca, palos, ramas, trocos u otros bases similares (Figura 9-1). “Las principales ordenes representantes son: *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*, *Megaloptera* y *Diptera*. También pueden encontrarse algunos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia *Euthyplociidae*. Otros, como la familia *Blephariceridae*” (Pérez, 2003, p.12).

1.10.3. Adaptaciones a la vida en el agua

Para la mayoría de los organismos que viven en los ríos o lagos, se alimentan del oxígeno disuelto para sobrevivir, sin embargo, la contaminación que prevalece en estos ecosistemas es perjudicial para los macroinvertebrados acuáticos puesto que disminuye los niveles de oxígeno en el agua y son letales para la mayoría de los macroinvertebrados que habitan en estos lugares. (Pérez, 2003, p.14)

1.10.3.1. Respiración Hidroprnéstica

Los macroinvertebrados acuáticos que habitan en estos lugares en su mayoría toman oxígeno disuelto para vivir y lo hacen a través de su piel, este tipo de respiración realizan la mayor parte de organismos, pero también existe organismos que en aguas con déficit de oxígeno como son: las ninfas de *Euthyplocia* y *Campylocia* (Figura 9-1). (Pérez, 2003, p.14)

1.10.3.2. Respiración aeroprnéstica

Los macroinvertebrados acuáticos (Figura 11-1) que se encuentran en esta clase utilizan el oxígeno directamente del aire, algunos organismos nadan hasta la superficie para atrapar burbujas de aire, otras poseen élitros que le ayudan a reservar oxígeno otros lo realizan perforando tallos esponjosos donde se esconden por tiempos muy largos y donde capturan el oxígeno del aire allí acumulado. (Pérez, 2003, p.15)

1.11. ÍNDICES RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL AGUA

1.11.1. Índice ICA

Evalúa la alteración de la calidad del agua en un punto específico del río en relación al tiempo. Se calcula dando un porcentaje a cada parámetro analizado que suma un total de 1, que es el máximo valor de calidad de 100. El resultado obtenido se evalúa de acuerdo a la siguiente tabla (tabla 4-1) para determinación si el agua de buena o mala calidad. (Toledo & Mendoza, 2017)

Tabla 4-1: Ponderaciones para parámetros propuestos por el índice ICA por la NSF.

Parámetro	Ponderación
Oxígeno Disuelto	0,17
Coliformes Fecales	0,16
pH	0,11
DBO	0,11
Cambio de temperatura	0,10
Fosfatos	0,10
Nitratos	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos Disueltos Totales	0,07

Fuente: (Toledo & Mendoza, 2017)

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Tabla 5-1: Rangos de calidad del agua según el índice WQI.

Rangos	Calidad
91-100	Excelente
71-90	Buena
51-70	Media
26-50	Mala
0-24	Muy mala

Fuente: (Toledo & Mendoza, 2017)

Elaborado por: Esparza R., Tibanquiza F. 2019

1.11.2. Índice ABI

Evalúa de manera cualitativa la calidad del agua en ríos andinos que superen los 2000 m.s.n.m. para identificar las comunidades de macroinvertebrados acuáticos se realiza a nivel taxonómico o de familia y el orden depende del análisis que requiera analizar. Una vez identificado se da un valor con la tabla (tabla 5-1) preestablecido sumando los valores y se obtiene el valor del índice para determinar la calidad del agua.(Silva Haun & Arancibia Fortes, 2015)

Tabla 6-1: Valores para la calidad del agua según el índice ABI.

Calidad del Agua	Puntuación
Muy Bueno	>96
Bueno	59-96
Regular	35-58
Malo	14-34
Pésimo	<14

Fuente: (Toledo & Mendoza, 2017)

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2019

1.11.3. Índice BWMP/Col

Este Índice es considerado un método muy simple y rápido para determinar la calidad del agua, los macroinvertebrados acuáticos son los organismos que se utilizan para este método ya que son utilizados como bioindicadores. Se da una valoración que va de 1 a 10 dependiendo de la contaminación orgánica, tomando en cuenta que el valor de 10 se asigna a los organismos más sensibles y 1 para los organismos más tolerantes, se da una puntuación a cada familia sin considerar la cantidad de macroinvertebrados que se tenga, se suma los valores que se dio a cada familia encontrados en los puestos de muestreo y así calcular el índice y evaluar la calidad del agua. (Roldán, 2016; citados en Molano & García, 2019)

Tabla 7-1: Puntuación a cada familia de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Col.

Familia	Puntaje
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6

<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae</i>	3
<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

Fuente: (Roldán, 2016; Citados en Molano & García, 2019)

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2019

Tabla 8-1: Calidad biológica del agua del Índice BMWP/Col.

CLASE	CALIDAD	BMWP/Col	Descripción	Color
I	Buena	>150 101-120	Aguas muy limpias a limpias.	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas.	
V	Muy critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: (Roldán, 2016; Citados en Molano & García, 2019)

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2019

1.11.4. Índice IHF

Evalúa la capacidad del hábitat físico para acoger una fauna determinada. La heterogeneidad, considera como factor que influye de la riqueza de especies de comunidades de macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad del agua. (Silva Haun & Arancibia Fortes, 2015) El resultado final se obtiene de la suma de cada uno de los bloques que deben sumas 1, que es el máximo valor de calidad de 100. Este índice analiza los siguientes parámetros:

Tabla 9-1: Ponderaciones para parámetros del índice de hábitat fluvial.

PARÁMETROS

Inclusión de rápidos/pozas
Frecuencia de rápidos
Composición del sustrato
Regímenes de velocidad/profundidad
Porcentaje de sombra del cause
Elementos de Heterogeneidad
Cobertura de vegetación acuática

Fuente: (Silva Haun & Arancibia Fortes, 2015)

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

Tabla 10-1: Puntajes de la calidad según el índice de hábitat fluvial.

INTERPRETACIÓN	PUNTUACIÓN	COLOR
Optima	70 - 100	
Regular	40 - 60	
Mala	0 - 30	

Fuente: (Silva Haun & Arancibia Fortes, 2015)

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

1.11.5. Índice QBR

Este índice radica en su eminente riqueza, diversidad de la flora y fauna que influye directamente sobre la calidad ambiental del ecosistema acuático que se encuentra a su alrededor. (Silva Haun & Arancibia Fortes, 2015) Este índice es muy importante para poder determinar el estado ecológico de los componentes de la ribera, esta técnica es muy sencillo, fácil de utilizar y de bajo costo que nos permite saber los aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río. (Amaral et al., 2013, p.280)

Tabla 11-1: Clases de calidad que se consideran para el Índice QBR.

Interpretación	Puntuación	Color
Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural	> 95	
Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	75-90	
Inicio de alteración importante, calidad intermedia	55-70	
Alteración fuerte, mala calidad	30-50	
Degradación extrema, calidad pésima	< 2	

Fuente: (Silva Haun & Arancibia Fortes, 2015)

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

1.12. PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA INTERVIENEN LOS SIGUIENTES PARÁMETROS

Para determinar el índice de calidad del agua, las características fisicoquímicas son tomadas en el sitio de muestreo de cada estación, se toma una muestra compuesta de agua que serán evaluados y comparadas, se realiza en dos temporadas estación lluviosa y seco. Estas características se encuentran relacionados directamente con las condiciones climáticas de sitio de muestreo.

1.12.1. PARAMETROS FÍSICOS

1.12.1.1. Conductividad

El agua es un aislante eléctrico donde las sustancias disueltas proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Para tomar la conductividad de una muestra se lo debe realizar in situ y las muestras se almacenan en frascos de polietileno a una temperatura de 2-4 °C. La forma más común para tomar la conductividad del agua es con instrumentos de lectura directa que el resultado son expresados en unidades de micro siemens cm^{-1} ($\mu\text{S cm}^{-1}$). (Rojas, 1999)

$$\text{SD (mg/L)} = 0,8 \cdot \Lambda_0 (\mu\text{S cm}^{-1})$$

1.12.2. Turbidez

Este parámetro es la propiedad óptica de una suspensión en la cual la luz que ingresa será remitida y no transmitida por la suspensión. En el agua la turbidez se da por materiales que se encuentran suspendidos que se encuentran en diferentes tamaños como puede ir desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas. Las unidades que se utiliza NTU, donde a mayor luz remitida en suspensión mayor turbidez, los valores de turbidez que generen sirven para determinar el grado de tratamiento requerido. (Rojas, 1999)

1.12.3. Temperatura

Es un parámetro muy importante del agua ya que es una magnitud escalar que nos ayuda a medir la cantidad de energía térmica que tiene un cuerpo para saber así, si afecta o no a la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas. (Ramírez, 2013)

1.12.4. SD

Se obtiene por la diferencia de los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si se determina directamente se seca a una temperatura de 103 – 105°C, el líquido se evapora y en el fondo se queda los sólidos disueltos.(Rojas, 1999)

1.12.5. PARÁMETROS QUÍMICOS

1.12.5.1. Alcalinidad

Es un indicador que determina la concentración de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, en el agua podemos encontrar otros tipos de compuestos como boratos, fosfatos, silicatos y componentes básicos que contribuyen a su alcalinidad. Las aguas que poseen baja alcalinidad menor a 24 mg CaCO₃/L tienen poca capacidad reguladora. Para determinar este parámetro se determina por titulación con ácido sulfúrico 0.02N.(Rojas, 1999)

1.12.5.2. Cloruros

En el agua la cantidad de cloro se encuentra como cloruro (Cl⁻), esta sustancia entra a las aguas superficiales por efluentes industriales, aguas domésticas y por escorrentías de zonas agrícolas, que se encuentran por lo general menor a 10 mg/L y a veces más baja de 2 mg/L, solo se pueden encontrar concentraciones muy elevadas de cloruros al desfogue de las aguas domésticas.

1.12.5.3. DBO₅

Este parámetro determina la cantidad total de oxígeno disuelta consumida por microorganismos al cabo de 5 días en condiciones estándar, que se da por la biodegradación de la materia orgánica que se encuentra en el agua.(Minaya, 2017)

1.12.5.4. Fosforo total

Para este parámetro se utiliza por espectrofotometría, la unión del fosforo con el nitrógeno hace que se forme en el agua gran cantidad biomasa acuática (eutrofización), el fosforo se encuentra en un nivel alto en el agua por la utilización de abonos fosfatados y detergentes.(Antonio, 2000)

1.12.5.5. Nitrógeno Total

Este parámetro determina la concentración de nitrógeno total que se encuentra en el agua. Se utiliza la prueba de Kjeldahl.(Ramírez, 2013)

1.12.5.6. Nitrógeno Amoniacal

Es todo el nitrógeno que se encuentra como ion amonio.(Rojas, 1999) Este indicador se localiza en solución acuosa en forma de ion amoniaco o ion amonio.(Ramírez, 2013)

1.12.5.7. Oxígeno Disuelto

Para determinar este parámetro el método más utilizado para el análisis es el de Alsterberg se adiciona de álcali-ioduro-nitruro y sulfato de magnesio para saber la cantidad disuelta de oxígeno en el agua, se utiliza 2 mL de ácido sulfúrico que libera yodo y se titula con tiosulfato sódico hasta que la muestra se vuelva amarillo pálido y luego se utiliza almidón como indicador. Cuando el valor de oxígeno disuelto es baja el agua es de mala calidad por la presencia de materia orgánica.(Minaya, 2017)

1.12.5.8. pH

Nos ayuda a medir la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. El pH se lo puede medir in situ o en el laboratorio utilizando un pH-metro.(Ramírez, 2013)

1.12.5.9. Nitratos

Para la determinación de nitratos se realiza mediante espectrofotometría de adsorción o la utilización de electrometría de electrodos selectivos.(Antonio, 2000) Los nitratos se encuentran en el agua que al consumir en altos niveles traen graves consecuencias al ser humano y a bajas concentraciones son normales, este contaminante por llegar a nuestras fuentes de agua por medio de lixiviación.(Minaya, 2017)

1.12.5.10. Fosfatos

En el agua la cantidad de fosforo se encuentra como fosfatos $(PO_4)^{3-}$, nos ayuda a controlar la eutrofización en los cuerpos de aguas este problema se da por detergentes, fertilizantes, escurrimiento de tierras agrícolas y desechos industriales.(Minaya, 2017)

1.12.6. PARÁMETROS BIÓLOGICOS

1.12.6.1. Coliformes Fecales

Estos contaminantes pueden soportar temperaturas de hasta 45°C, también forman parte de los Coliformes totales, pero tienen una gran diferencia en que estos son indol positivo. Es un indicador de alta valoración ya que nos ayuda a determinar la presencia de contaminación de bacterias o virus de carácter patógenos.(Minaya, 2017)

1.12.6.2. Coliformes totales

La presencia de estos contaminantes nos muestra que las aguas superficiales se encuentran contaminadas por materia orgánica de origen humana o animal.(Ramírez, 2013)

1.13. TELEDETECCIÓN

Con esta técnica se puede obtener datos útiles de un objeto, área o fenómeno, por medio de la interpretación por medio de un equipo que no está en contacto físico con el objeto.

La teledetección espacial es una técnica que nos ayuda a obtener imágenes de la superficie de la tierra o del mar y la atmosfera que por medio de los sensores espaciales se encuentra instaladas los sensores para obtener las imágenes. Los objetos y el sensor no están conectados directamente por lo que se requiere que haya un flujo de información la cual se lo llama radiación electromagnética.(IGAC, 2007, p.5)

1.13.1. CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

Para esta clasificación por lo general se agrupa de la siguiente manera:

- Clasificación supervisada
- Clasificación no supervisada

1.13.1.1. Clasificación supervisada

Se puede conocer cuáles son las categorías con las que se puede separar una imagen, por lo que se debe validar en número de píxeles con el trabajo de campo. Podemos separar en una serie de pasos que son:

- Trabajo de campo
- Identificación y selección de sitios de entretenimiento
- Selección del método de asignación de píxeles
- Evaluación de la clasificación
- Preparación de mapa temático. (Angelini, 2016, pp. 5-7)

1.13.1.2. Clasificación no supervisada

Aquí se conoce las clases a separar por lo que se debe determinar que la imagen que se tiene podemos separar en cualquier número de clases, en cuanto al ordenador es quien define las clases.(Angelini, 2016, pp. 5-7)

1.13.1.3. K-means

K-Means o K-Medias, es una metodología de agrupamiento o clustering.

El clustering es una técnica usada para encontrar y clasificar “K” grupos de datos. Así, los elementos u objetos que poseen características semejantes estarán juntos en un mismo grupo, aislados o separados de los otros grupos con los que no comparten características.

Para saber si los datos son similares o distintos el algoritmo K-means usa la distancia entre los datos. Las observaciones que son similares tendrán una menor distancia entre ellas. En general, como medida se usa la distancia euclideana aunque también se pueden utilizar otras funciones.(Duk2, 2019: p.1)

1.14. BASE LEGAL

1.14.1. Constitución de la República del Ecuador

En el Título II, Capítulo segundo, derechos del buen vivir, corresponde a la sección primera de Agua y alimentación, en el artículo 12 se refiere a:

“**Art. 12.-** El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.”(Ecuador, 2008)

En el título II, Capítulo segundo, derechos del buen vivir, corresponde a la sección segunda de ambiente sano, en el artículo 15 se refiere a:

“**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.”(Ecuador, 2008)

En el título II, Capítulo segundo, derechos del buen vivir, corresponde a la sección séptima de Salud, en el artículo 32 se refiere a:

“**Art. 32.-** La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir.”(Ecuador, 2008)

En el título II, que corresponde al capítulo sexto, derechos de libertad, en el artículo 66 se refiere a:

“**Art. 66.-** Se reconoce y garantizará a las personas: El derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios.”(Ecuador, 2008)

En el título V, Capítulo cuarto, que corresponde al régimen de competencias, en el artículo 264 se refiere a:

“**Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley: Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.”(Ecuador, 2008)

En el Título VI, Régimen de desarrollo, Capítulo primero, corresponde a los principios generales, en el artículo 276 se refiere a:

“**Art. 276.-** El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.”(Ecuador, 2008)

En el Título VI, Régimen de desarrollo, corresponde al capítulo quinto de los sectores estratégicos, servicios y empresas públicas, en los artículos 314 y 318 se refieren a:

“**Art. 314.-** El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley.

El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación.”(Ecuador, 2008)

“**Art. 318.-** El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.”(Ecuador, 2008)

En el Título VII, Régimen del buen vivir, corresponde a la sección cuarta del hábitat y vivienda, en los artículos 375 se refieren a:

“**Art. 375.-** El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual:

Garantizará la dotación ininterrumpida de los servicios públicos de agua potable y electricidad a las escuelas y hospitales públicos.”

En el Título VII, Régimen del buen vivir, corresponde a la sección sexta del agua, en los artículos 411 y 412 se refieren a:

“**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.”(Ecuador, 2008)

1.14.2. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

De acuerdo con el Título II, Recursos Hídricos, corresponde al capítulo 1, en el artículo 12 y 18 que se refiere a:

“**Art. 12.-** Protección, recuperación y conservación de fuentes. Las competencias son:

(...) o) El estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable juntas de riego, los consumidores y usuarios corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua (...)"(Barrezueta, 2014, p.4)

“Art 18.- Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua. Las competencias son:

(...) o) Asegurar la protección, conservación, manejo integrado y aprovechamiento sustentable de las reservas de aguas superficiales y subterráneas (...)"

De acuerdo con el Título II, Recursos Hídricos, corresponde al capítulo II, Institucionalidad y gestión de los recursos hídricos, en el artículo 21 que se refiere a:

“Art 21.- Agencia y Regulación y Control del Agua. La agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA).

(...) o) La agencia de Regulación y Control del Agua, ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos Hídricos de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes (...)"(Barrezueta, 2014, p.6)

De acuerdo con el Título III, Derechos, Garantías y Obligaciones, corresponde al capítulo V a los Derechos Colectivos de Comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades, en el artículo 73 que se refiere a:

“Art 79.- Objetivos de prevención y conservación del agua. - La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos:

(...)**Literal e.** Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida (...)"(Barrezueta, 2014, p.29)

De acuerdo con el Título III, Derechos, Garantías y Obligaciones, corresponde al capítulo VII a las Obligaciones del estado para el derecho Humano, sección I, en artículo 73 que se refiere a:

“**Art 83.-** Políticas en relación con el agua. Es obligatorio del Estado formular y generar políticas públicas orientadas a:

(...) **Literal b.** Mejorar la infraestructura, la calidad del agua y la cobertura de los sistemas de agua de consumo humano y riego (...)”(Barrezueta, 2014, p.31)

1.13.3 Convención de Ramsar

De acuerdo con el manual de la convención de Ramsar, en reservas y formación de humedales corresponde al artículo 4.1 que se refiere a:

“**Art 4.1.-** estipula que cada Parte Contratante fomentará la conservación de los humedales y las aves acuáticas creando reservas naturales en aquellos, estén o no incluidos en la lista, y tomará las medidas adecuadas para su custodia.”(Berlanga-robles & Ruiz-luna, 2008: p.74)

“**Art 4.5.-** Las partes contratantes fomentarán la formación del personal para el estudio, la gestión y la custodia de los humedales. El personal capacitado, sobre todo en los campos de la gestión, la enseñanza y la administración, es esencial para la conservación y el uso racional efectivos de los humedales y sus recursos.”(Berlanga-robles & Ruiz-luna, 2008: p.74)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLOGICO

2.1 Área de estudio:

Nuestra área de estudio se encuentra dentro de la Subcuenca de Chambo, la cual se desarrolló en la microcuenca del río Cebadas, en la parroquia Rural Cebadas del cantón Guamote, provincia de Chimborazo. Con una altitud en la cota superior de 3320 m.s.n.m y en la cota inferior de 2920 m.s.n.m. cubriendo un área de 410.36 km²superficie que se encuentra dentro de la parroquia rural de Cebadas del cantón Guamote.

2.1.1. Característica de las microcuencas

Para caracterizar la zona de estudio se recorrió al Sur de la microcuenca del Río Cebadas (Figura 1-2). Se encuentra ubicada en el callejón interandino a una altitud que va desde los 2600 y llega a los 4640 m.s.n.m, posee una topografía intermitente que se debe a la influencia de las cordilleras central y occidental de los Andes. Cebadas tiene 3 partes latitudinales que son: una zona baja, una media y una zona alta. (Desarrollo et al., 2015: p.7)

Esta microcuenca posee un suelo de materia parental que tiene su origen volcánico pero el resto del suelo de la microcuenca es metamórfico, tiene una inclinación de 12-25%, ocupando así 2.625.67 ha de territorio. (Desarrollo et al., 2015: p.12)

En esta microcuenca se pudo observar ecosistemas que predominaban como son: el Herbazal de Páramo y el arbustal siempre verde.

Tabla 12-2: Características de las microcuencas.

Nombre	Área Km ²	Coordenadas UTM	Actividades
Cebadas	410,36	0767398 : 9768446	Agrícola, Pecuario
Atillo	104,43	0768495 : 9765793	Pecuarías, ganadería
Guamote	197,5	0761956 : 9789402	Agricultura

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

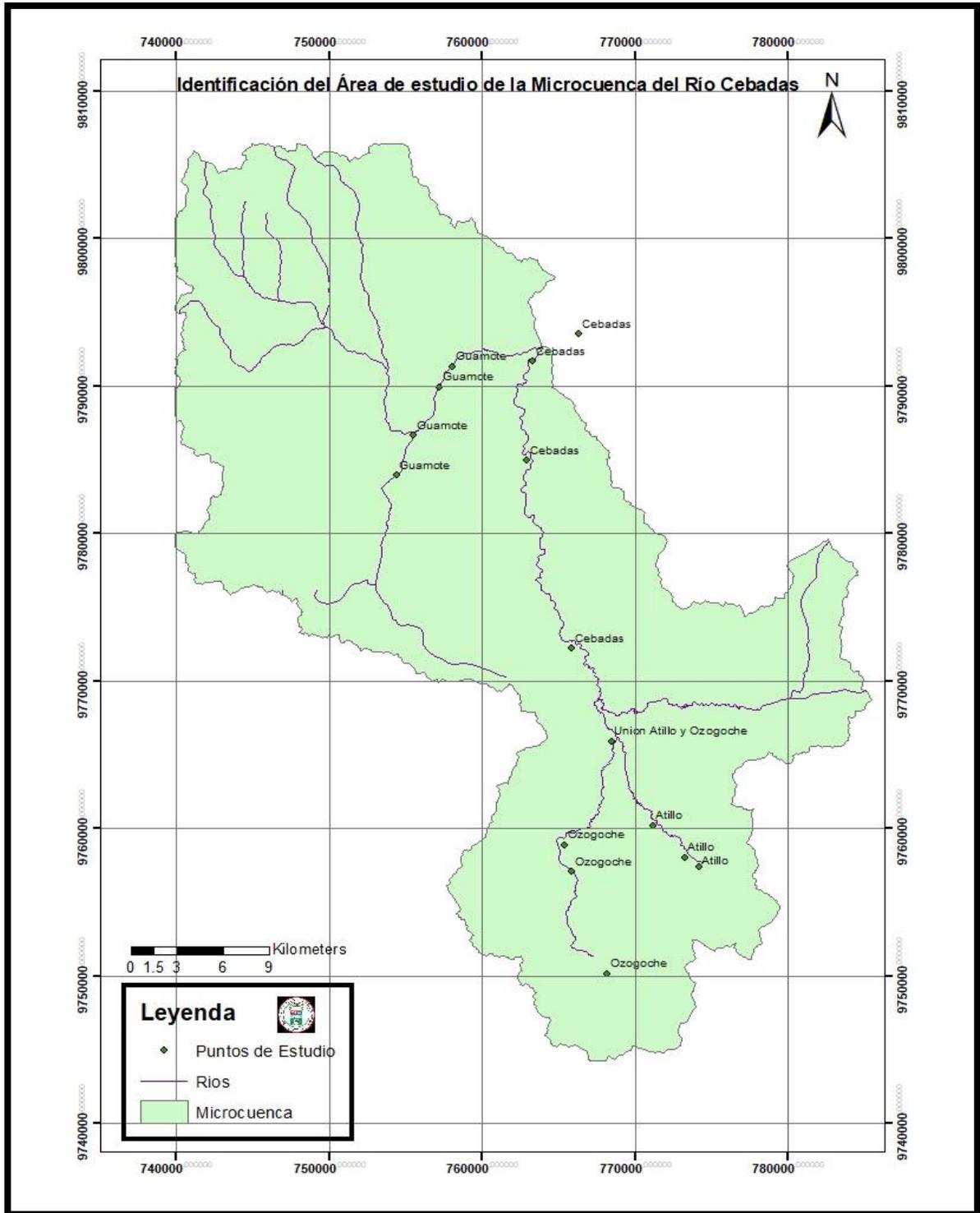


Figura 1-2: Mapa de la Microcuenca del Río Cebadas y sus Efluentes que lo conforman.

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

2.2. EVALUACIÓN MULTI-TEMPORAL DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE BOSQUE DE RIBERA (QBR) PERIODO 1996-2016

2.2.1 ALGORITMO K-MEANS

Los distintos puntos tomados a lo largo de la microcuenca con el GPS de marca Garmin se pasaban a una base de datos Excel, para posteriormente ingresarlos en el software ENVI para aplicar una clasificación de los datos, a partir de los datos obtenidos de las imágenes satelitales de los años 1996 y 2016 de a microcuenca para identificar como ha ido decreciendo o incrementando el uso de suelo; para lo cual damos clic en archivo importar para poder de esta forma insertar las imágenes satelitales, usamos uno de los complementos del software en la pestaña clasificación usamos la opción no supervisada y posterior escogemos k-means, procedemos a configurar el número de clases que se van a requerir en este caso 4, además escogemos la carpeta de salida de los archivos hecho esto procedemos a trasladarlas a el software ArcGIS para usar los archivos recién obtenidos para realizar una intersección y observar los cambios ocurridos.

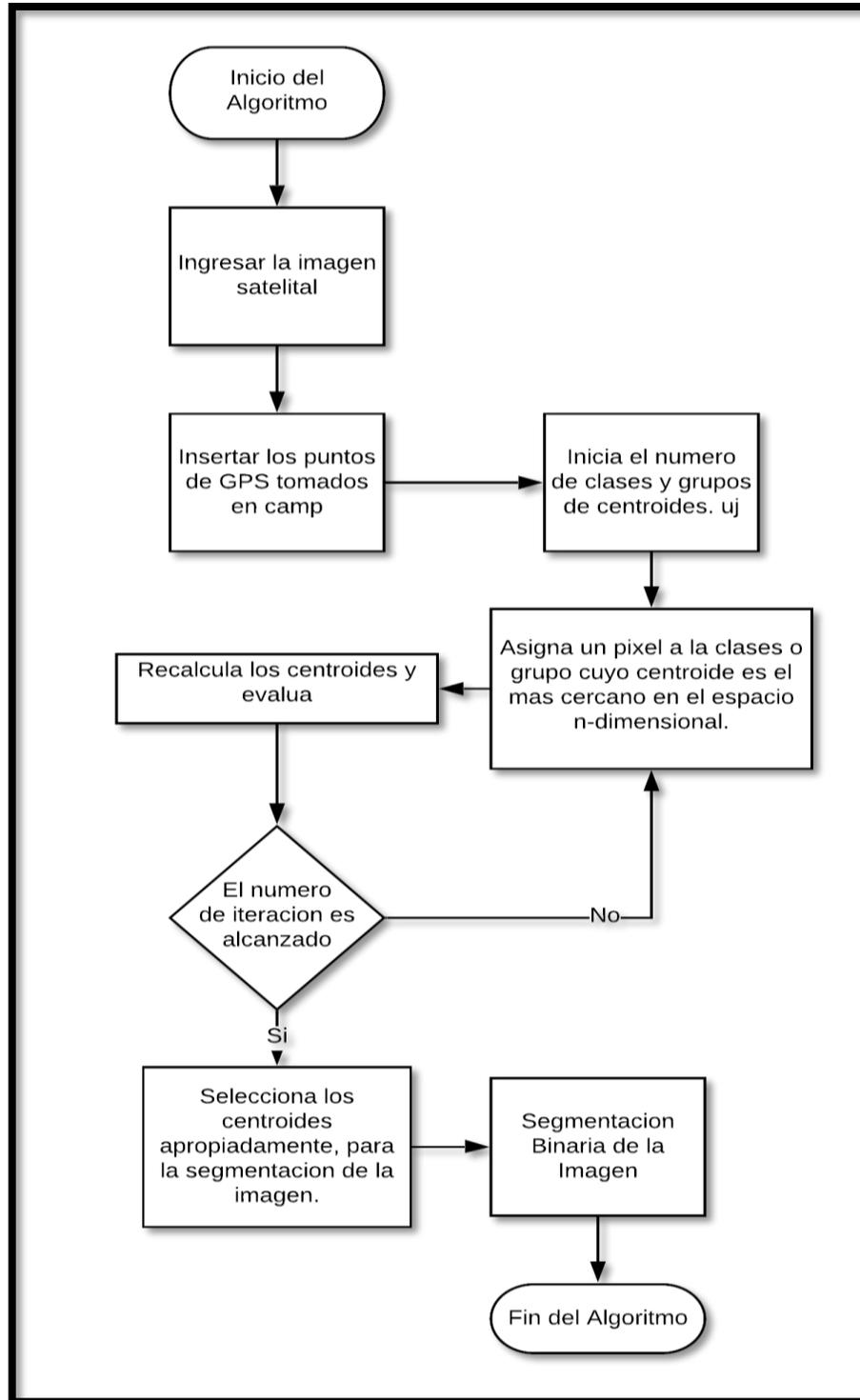


Figura 2-2: Esquema de la metodología para la obtención de la variabilidad espacio temporal.

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

- 1- Para iniciar, ingresamos las imágenes satelitales al software ENVI dando clic en la pestaña archivo, escogemos la opción abrir y escogemos la carpeta que contiene las imágenes satelitales.
- 2- Procedemos a realizar lo mismo que el primer paso solamente que esta vez insertamos los puntos de muestreo.
- 3- Clic en la pestaña Clasificación escogemos la opción K-means
- 4- Escogemos el número de clases de acuerdo con los puntos que hemos insertado, para que se asigne un pixel de acuerdo a las clases que antes hemos puesto.
- 5- Obtenemos una segmentación binaria de las imágenes, con esto se finaliza el proceso

2.3. DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS MULTI-TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZANDO INDICADORES ECOLÓGICOS.

2.3.1 Selección de parcelas de monitoreo

En la presente investigación se utilizó la metodología aleatoria simple (Carlos Fernández, 2014, p.175). Se seleccionó cada punto de monitoreo según el protocolo de evaluación de calidad ecológica de ríos andinos (CERA). En un rango altitudinal de 2200 a 3800 m.s.n.m y situados en las cuencas de los ríos Cebadas, Atillo y Guamote. Se realizó a una cartografía 1:50000 o inferior. Para el número de muestreo dependerá de la longitud de los ríos y que queremos obtener, la distancia entre puntos de muestreo no debe pasar los 10 km, puede ser antes o después de comunidades principales. (Blanca & Rieradevall, 2009, p.5)

Se determinó las zonas puntuales, identificando el fácil acceso a las zonas de estudio, se pudo observar en algunas zonas actividades antropogénicas y zonas que no han sido intervenidas, donde se tomó en cuenta cuatro ponderaciones donde el resultado final debería dar 1, que es el máximo valor de calidad 100. Seleccionamos los puntos de monitoreo para Georreferenciar cada zona de estudio utilizando un GPS.

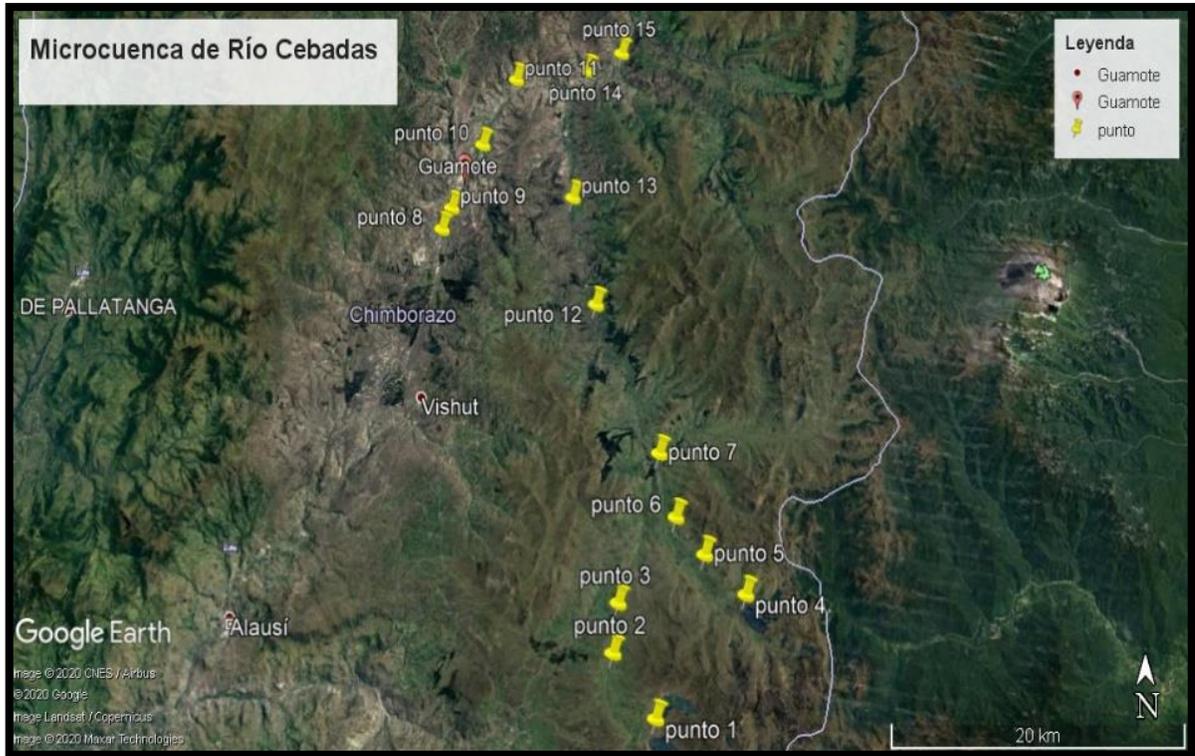


Figura 3-2: Caracterización de los puntos de muestreo.

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

Se seleccionó las zonas puntuales donde se realizó la toma de muestras, a continuación, se menciona los puntos de monitoreo:

Tabla 13-2: Puntos de monitoreo en la microcuenca del Río Cebadas.

Puntos de muestreo	Ubicación	WGS 1984 UTM ZONA 17S		Altitud (m.s.n.m)
		Longitud (X)	Latitud (Y)	
1	Atillo	774178	9757394	3452
2		773222	9757991	3441
3		771148	9760159	3447
4	Ozogoche	768138	9750134	3783
5		764818	9757794	3552
6		764816	9757796	3483
7	UAYO	768471	9765888	3314
8	Guamote	764597	9758717	3075
9	UGYS	755506	9786632	3022
10	Guamote	757193	9789918	2959
11		758071	9791286	2927
12	Cebadas	765819	9772185	3179
13		762940	9784927	2974
14		763305	9791660	2854
15	UGYC	766292	9793515	2835

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

2.3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

2.3.2.1 Punto 1

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Atillo, con las coordenadas 774178 de longitud y 9757394 de latitud y a una altitud de 3452 m.s.n.m., este punto se encuentra ubicado dentro del parque nacional Sangay que es una reserva ecológica que forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. En esta zona se realizan las actividades como el pastoreo de ovinos y crianza de ganado bravo.

2.3.2.2 Punto 2

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Atillo, con las coordenadas 773222 de longitud y 9757991 de latitud y a una altitud 3441 m.s.n.m., en este punto hay una quebrada de aporte temporal que se une al cauce principal. En esta zona ya se puede observar asentamientos poblados cercanos. Se observó actividades como el pastoreo y actividades ganaderas.

2.3.2.3 Punto 3

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Atillo, con las coordenadas 771148 de longitud y 9760159 de latitud y a una altitud 3447 m.s.n.m., en este punto se desarrolla actividades principales como la ganadería y criaderos de truchas.

2.3.2.4 Punto 4

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Ozogoche Bajo, con las coordenadas 768138 de longitud y 9750134 de latitud y a una altitud 3783 m.s.n.m., este punto se encuentra ubicado dentro del parque nacional Sangay. En esta zona no se realizan ninguna actividad, pero es un lugar turístico por la atracción de las lagunas que se encuentran dentro del parque nacional.

2.3.2.5 Punto 5

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Ozogoche Alto, con las coordenadas 764818 de longitud y 9757794 de latitud y a una altitud 3552 m.s.n.m., en este punto se desarrolla el mayor porcentaje de actividades principales como la agricultura y la ganadería, por lo que se ve afectado el cauce por aguas residuales de las actividades domésticas y actividades productivas.

2.3.2.6 Punto 6

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Ozogoche Alto, con las coordenadas 764816 de longitud y 9757796 de latitud y a una altitud 3483 m.s.n.m., en este punto se desarrolla el mayor porcentaje de actividades como el pastoreo, agricultura y ganadería

2.3.2.7 Punto 7

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Atillo, con las coordenadas 768471 de longitud y 9765888 de latitud y a una altitud 3314 m.s.n.m., en este punto se desarrolla en menor porcentaje la actividad como pastoreo.

2.3.2.8 Punto 8

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Guamote, con las coordenadas 764597 de longitud y 9758717 de latitud y a una altitud 3075 m.s.n.m., en esta zona de muestreo la población desarrolla prácticas agrícolas y utilizan el agua del río para regío de sus cultivos.

2.3.2.9 Punto 9

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Guamote, con las coordenadas 755506 de longitud y 9786632 de latitud y a una altitud 3022 m.s.n.m., en este punto se desarrolla el mayor porcentaje de actividades principales como la agricultura, ganadería y pastoreo, aquí se encuentra la planta de tratamiento del cantón Guamote, donde las aguas residuales que salen de la planta no son tratadas adecuadamente y vertidas directamente al río por lo que se ve afectado el cauce por aguas residuales de las actividades domésticas y actividades productivas.

2.3.2.10 Punto 10

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Guamote, con las coordenadas 757193 de longitud y 9789918 de latitud y a una altitud 2959 m.s.n.m., en esta zona de muestreo la población desarrolla actividades agrícolas y ganadería que utilizan el agua del río para regío de sus cultivos.

2.3.2.11 Punto 11

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Guamote, con las coordenadas 758071 de longitud y 9791286 de latitud y a una altitud 2927 m.s.n.m., en esta zona de muestreo la población desarrolla actividades agrícolas y ganadería que utilizan el agua del río para regío de sus cultivos.

2.3.2.12 Punto 12

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Guamote, con las coordenadas 765819 de longitud y 9772185 de latitud y a una altitud 3179 m.s.n.m., en esta zona de muestreo la población desarrolla actividades agrícolas y ganadería que utilizan el agua del río para sus cultivos.

2.3.2.13 Punto 13

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Guamote, con las coordenadas 762940 de longitud y 9784927 de latitud y a una altitud 2974 m.s.n.m., en este punto la población realiza actividades de agricultura y pastoreo, utilizando el agua del río para los cultivos.

2.3.2.14 Punto 14

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Guamote, con las coordenadas 763305 de longitud y 9791660 de latitud y a una altitud 2854 m.s.n.m., en este punto la población realiza actividades de agricultura y pastoreo, utilizando el agua del río para los cultivos.

2.3.2.15 Punto 15

Se encuentra ubicado en la microcuenca del río Cebadas en el sector conocido como Guamote y el Sector de Atillo, con las coordenadas 766292 de longitud y 9793515 de latitud y a una altitud 2835 m.s.n.m., en este punto la población realiza actividades de agricultura, utilizando el agua del río para los cultivos.

2.3.3 Análisis del Índice de la Calidad del Bosque de Ribera (QBR)

Para la evaluación de los puntos de monitoreo se utilizó el índice QBR para las zonas altas (paramo) y QBR-And se utilizó para las zonas más bajas (F.E.M. Research Group, n.d.), se tomó 100 metros de la anchura de la vegetación de ribera por 10 metros de longitud dándose un total de 1000 metros cuadrados para evaluar el índice, en cada punto de monitoreo se dividieron en tres filas y en cada fila se tomó 3 submuestras, tomando un total de 9 submuestras de suelo.

Figura 4-2: Zona de muestreo para el Índice QBR.

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

Para la evaluación de este índice se toma en cuenta los siguientes pasos:

2.3.3.1 Área de Observación

Se tomó 100 metros cuadrados en cada punto de muestreo considerando el ancho de la zona de ribera para evaluar el QBR, aquí se observa la orilla y la rivera.

2.3.3.2 Evaluación del Índice QBR

Para este punto los cuatro bloques en los que está fundamentado el QBR son independientes se le da una valoración que no supere los 25 y que no sea un número negativo.

2.3.3.3 Cálculo que se da a cada bloque

Para cada bloque hay cuatro alternativas principales que se da la puntuación de 25, 10, 5 o 0. Solo se puede elegir una entrada, la que se escogió debe tener la condición exigida y la puntuación se realiza de arriba hacia abajo.

2.3.3.4 Puntuación final

Para este punto es el resultado de la suma de los cuatro bloques que se evaluaron anteriormente, por lo que debe variar entre 0 y 100.(F.E.M. Research Group, n.d.)

Tabla 14-2: Medición del Índice de calidad de Bosque de Ribera.

Grado de cubierta de la zona de ribera		Estructura de la cubierta (se contabiliza toda la zona de ribera)		
Puntuación	Total		Puntuación	Total
25	> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no son tomadas en cuenta)		25	Cobertura de los árboles superior a 75 %
10	50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		10	Cobertura de los árboles entre 50 y 75 % o cobertura de los árboles entre el 25 y 50 % y el resto de la cubierta de los arbustos superan el 25 %
5	10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		5	Cobertura de los árboles inferior a 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %
0	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera		0	Sin árboles y arbustos por debajo del 10 %

10	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total		10	Si en la orilla la concentración de heliófilos o arbustos es > 50 %	
5	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es > 50 %		5	Si en la orilla la concentración de heliófilos o arbustos es entre 25-50	
-5	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre 25 y 50 %		5	Si existe una buena conexión entre la una de arbustos y la de árboles con sotobosque	
-10	Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es < 25 %		-5	Si existe una distribución regular (lineal) de los árboles y sotobosque recubre más del 50 %	
			-5	Si los bosque y arbustos se distribuyen en manchas sin una continuidad	
			-10	Si existe una distribución regular (lineal) de los árboles y sotobosque recubre menos del 50 %	
Grado de naturalidad del canal fluvial			Calidad de la cubierta		
Puntuación	Total		Puntuación	Total	
25	El canal del río no ha sido modificado		25	Todos los árboles de la vegetación ribereña autóctonos	
20	Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal		10	Máximo un 25 % de la cobertura es de especies de árboles introducidos	

5	Signos de liberación y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río		5	26 - 50 % de los árboles de ribera son especies introducidas	
0	Río canalizado en la totalidad del tramo		0	Más del 51 % de los árboles son especies introducidas	
-10	Si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río		10	> 75 % de los arbustos son especies autóctonas	
-10	Si existe alguna presa u otra infraestructura transversal en el lecho del río		5	51 %- 75 % o más de los arbustos de especies autóctonas	
-5	Si hay basura en el tramo de muestreo de forma puntual pero abundantes		-5	26 - 50 % de la cobertura de arbustos es de especies autóctonas	
-10	Si hay un basurero permanente en el tramo estudiado		-10	Menos del 25 % de la cobertura de los arbustos de especies autóctonas	

Fuente: Secretaria del agua

Tabla 15-2: Clases de calidad que se consideran para el Índice QBR

Interpretación	Puntuación	Color
Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural	> 95	
Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	75-90	
Inicio de alteración importante, calidad intermedia	55-70	
Alteración fuerte, mala calidad	30-50	
Degradación extrema, calidad pésima	< 2	

Fuente: (Silva Haun & Arancibia Fortes, 2015)

2.3.3 Análisis de IHF

Para determinar el IHF se realizó en una parcela de 100 metros de longitud en cada zona de monitoreo para el análisis de cada uno de los parámetros.

Para la valoración de cada ponderación se registró en una hoja de campo (Anexo C), para el resultado final se obtiene de la suma de cada uno de los bloques que deben sumar 1, que es el máximo valor de calidad de 100.(Silva Haun & Arancibia Fortes, 2015)

Tabla 16-2. Medición del Índice de Hábitat Fluvial

Inclusión de rápidos - sedimentación de charcas			Regímenes de velocidad / profundidad		
Punt.	Descripción	Total	Punt.	Descripción	Total
10	Piedras, cantos rodeados y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0-30 %		10	4 categorías: Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero	
5	Piedras, cantos rodeados y gravas poco fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30-50 %		8	Solo 3 de las 4 categorías	
0	Piedras, cantos rodeados y gravas medianamente fijadas por el sedimento fino Inclusión > 60 %		6	Solo 2 de las 4	
Frecuencia de rápidos			4	solo 1 de las 4	
Puntuación	Descripción	Total	Composición del sustrato		

10	Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos /anchura del río < 7		Puntuación	Descripción	Total
8	Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos /anchura del río 7 - 15		2	1-10 %	% Bloques y piedras
6	Ocurrencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos y anchura del río 15		5	> 10 %	
4	Constancia de flujo laminar o rápidos someros. Relación distancia entre rápidos del río > 25		2	1-10 %	% Cantos y gravas
2	Sólo pozas		5	> 10 %	
Cobertura de vegetación acuática			2	1-10 %	% Arena
Puntuación	Descripción	Total	5	> 10 %	
10	Algas + briofitas (líquenes y musgos) material flotante	10 - 50 %	2	1-10 %	% Limo y arcilla
5		<10 % > 50 %	5	> 10 %	
0		Ausencia Total	Elementos de heterogeneidad		
10		10 - 50 %	Puntuación		Total

5	Vegetación pegada a las rocas	<10 % > 50 %	4	Hojarasca	> 10 % o < 75 %
0		Ausencia Total	2		< 10 % o > 75 %
10	Plantas acuáticas / sema acuáticas	10 - 50 %	2	Presencia de troncos y ramas	
5		<10 % > 50 %	2	Raíces expuestas	
0		Ausencia Total	2	Diques naturales	
Porcentaje de sombras en el cauce.			Rangos de calidad según el índice de hábitat fluvial.		
Puntuación	Total		Muy alta diversidad de hábitats	> 90	
10	Sombreado con ventanas		Alta diversidad de hábitats	71-90	
7	Totalmente en sombra		Diversidad de hábitats media	50-70	
5	Grandes claros		Baja diversidad de hábitats	31-49	
4	Expuestos		Muy baja diversidad de hábitats	< 30	

Fuente: Secretaría del agua

2.4. MEDICIÓN DE CAUDALES

El monitoreo del caudal se realizó una vez al mes en cada punto, utilizando un MOLINETE SEBA con hélice 127-80nm proporcionado por Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente, con un flexómetro se midió el ancho del río en cada punto, se midió la altura de las orillas, se determinó número de verticales de la profundidad de cada punto y luego se midió en número de revoluciones por minuto en diferentes profundidades a lo ancho del río.

Para el cálculo del caudal se emplea la siguiente fórmula:

Fórmula de velocidad:

$$\text{Si } 0 < n < 0.58 \rightarrow v = 0.0147 + 0.1488 * n$$

$$\text{Si } 0 < n < 3.53 \rightarrow v = 0.0147 + 0.1488 * n$$

$$\text{Si } 0 < n < 10 \rightarrow v = 0.0147 + 0.1488 * n$$

Donde:

V = Velocidad

n = Número de revoluciones / Tiempo (30 s)

Fuente: (Neacato, 2018)

Fórmula del área

$$A_p = \left(\frac{(x_1 - x_0) * (h_1 - h_0)}{2} \right) + [(x_1 - x_0) * (h_0)]$$

A_p = Área parcial entre dos verticales

X = Distancia

h = Profundidad

Fuente: (Neacato, 2018)

El área total es la sumatoria de las áreas parciales.

Fórmula de Caudal

$$Q = V_m * A$$

Dónde:

Q = caudal

A = Área

V_m = Velocidad media

Fuente: (Neacato, 2018)

2.3.4 Caracterización Físico-Química y microbiológico

Se realizó monitoreos en dos épocas, en la época seca y época lluviosa: se hizo tres campañas de monitoreo y en cada campaña de monitoreo se tomó 15 muestras de agua y en cada punto de muestreo se realizó una toma de agua mediante un muestreo puntual (tres submuestras de agua). Se tomó tres muestras de sedimento del río en cada punto de muestreo.

Para el análisis microbiológico y la caracterización de parámetros físico químicos se utilizó el protocolo de muestreo y conservación de muestras Standard Methods (Para et al., 2016) , se tomó 1 litro de agua en botellas de plástico para determinar los análisis fisicoquímicos y 100 mL de agua en un frasco estéril para determinar el análisis microbiológico como son: Coliformes fecales, las muestras se trasladaron en un Cooler para luego llevarlas directamente para realizar los análisis en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH).

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos se realizó: Fosfatos, nitratos, STD, DBO₅, Oxígeno Disuelto, Turbidez, Carbonatos, Cloruros, Fosforo total, Nitrógeno total, Nitrógeno amoniacal, pH y conductividad. Para determinar el pH, se utilizó un pH-metro, para la conductividad se utilizó un conductímetro, para el análisis de sulfatos, nitratos Fosforo total, Nitrógeno total y Nitrógeno amoniacal se utilizó el HACH DR. 2800. Para estos análisis fisicoquímicos se realizó en los laboratorios de la ESPOCH.

TABLA 17-2: MÉTODOS DE ENSAYO EMPLEADOS POR EL LABORATORIO DE AGUAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

PÁRAMETRO	MÉTODO DE ENSAYO
Turbidez	Método 2130A. Nefelométrico
Nitratos	Standard Methods No 4500-NO3B. Espectrofotométrico
Fosfatos	Standard Methods 4500-B C. Colorimétrico
DBO5	Standard Methods 4500-O C. Modificación de azida
Oxígeno Disuelto	Standard Methods 4500-O C. Modificación de azida
Coliformes Fecales	Standard Methods 9221-B
Solidos Totales	Standard Methods 2540B.

2.5. RECOLECCIÓN Y MUESTREO DE MACROINVERTEBRADOS

Para cada punto de muestreo se llenó la ficha de campo. (Anexo D)

Se tomó tres muestras de sedimento, cada frasco de un volumen de 2 litros, el muestreo de los macroinvertebrados se realizó durante 3 meses en periodo de invierno y 3 meses en el periodo de verano, 6 meses en total; cada fin de mes se realizó el muestreo debido que al instante de tomar el sedimento del fondo del río se alteran las condiciones del microhábitat de los macroinvertebrados, por lo que hay que esperar un tiempo prudente para volver a tomar las muestras y así regrese a su estado normal.

Para el biomonitoreo de macroinvertebrados acuáticos según la Secretaria de Agua, se identificó los diferentes microhábitats que existía en cada punto de la microcuenca del Río Cebadas. Se preparó una solución de 70% formol y 30% de alcohol dándonos una forma aldehído del 96%) para conservar los macroinvertebrados luego del muestreo (se coloca la solución en cada frasco para el momento del muestreo). Se tomó dos litros de sedimento a un metro de la orilla del río observando la velocidad y profundidad del cuerpo de agua para la recolección de la muestra.

Después de tomar las muestras de sedimento se colocó poco a poco muestra en un cedazo para luego lavarla y recolectar los macroinvertebrados que estén presente. Seguidamente se toma los macroinvertebrados con piza metálica y se coloca en frascos plásticos de 100 mL con una solución al 96%, luego se llevó las muestras al Laboratorio de Aguas para observar los macroinvertebrados en el estereoscopio.

2.5.1. Identificación de macroinvertebrados

Para identificar las familias de macroinvertebrados se llevó las muestras al Laboratorios de Aguas de la ESPOCH, con un microscopio estereoscopio y cajas Petri de vidrio para acomodar los macroinvertebrados y observarlo.

Para poder identificar las familias de los macroinvertebrados se utilizó el libro Protocolo Simplificado y Guía de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos, y una guía para el muestreo de muestras que nos facilitó el Ministerio de Ambiente para seguido poder identificar la taxonomía de los macroinvertebrados.

2.6. CÁLCULO DEL ÍNDICE ABI

Es un índice biológico cuyo objetivo es evaluar la calidad del agua, se utiliza en ríos Andinos ubicados a una altitud mayor a 2000 m.s.n.m. Es de tipo cualitativo ya que evalúa la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados, lo que representa que es un método sencillo de poca inversión económica y se realiza en un corto tiempo. Su puntuación máxima es mayor a 96 y la mínima menor a 14.

Tabla 178-2: Puntajes para la calidad del agua según el índice ABI.

ORDEN	FAMILIA	PUNTUACIÓN
<i>Tricladida</i>	<i>Planariidae</i>	5
<i>Hirudinea</i>	-	3
<i>Oligochaeta</i>	-	1
<i>Gastropoda</i>	<i>Ancylidae</i>	6
	<i>Physidae</i>	3
	<i>Hydrobiidae</i>	3
	<i>Lymnaeidae</i>	3
	<i>Planorbidae</i>	3
<i>Bivalvia</i>	<i>Sphaeriidae</i>	3
<i>Amphipoda</i>	<i>Hyaellidae</i>	6
<i>Ostracoda</i>		3
<i>Hydracarina</i>		4
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	4
	<i>Leptophlebiidae</i>	
	<i>Leptohyphidae</i>	
	<i>Oligoneuridae</i>	
<i>Odonata</i>	<i>Aeshnidae</i>	6
	<i>Gomphidae</i>	8
	<i>Libellulidae</i>	6
	<i>Coenagrionidae</i>	6
	<i>Calopterygidae</i>	8
	<i>Polythoridae</i>	10
<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>	10

Fuente:(Toledo & Mendoza, 2017)

	<i>Gripopterygidae</i>	10
Heteroptera	<i>Veliidae</i>	5
	<i>Gerridae</i>	5
	<i>Corixidae</i>	5
	<i>Notonectidae</i>	5
	<i>Belostomatidae</i>	4
	<i>Naucoridae</i>	5
Trichoptera	<i>Helicopsychidae</i>	10
	<i>Calamoceratidae</i>	10
	<i>Odontoceridae</i>	10
	<i>Leptoceridae</i>	8
	<i>Polycentropodidae</i>	8
	<i>Hydroptilidae</i>	6
	<i>Xiphocentronidae</i>	8
	<i>Hydrobiosidae</i>	8
	<i>Glossosomatidae</i>	7
	<i>Hydropsychidae</i>	5
	<i>Anomalopsychidae</i>	10
	<i>Philopotamidae</i>	8
	<i>Limnephilidae</i>	7
Lepidoptera	<i>Pyralidae</i>	4
Coleoptera	<i>Ptilodactilidae</i>	5
	<i>Lampyridae</i>	5
	<i>Psephenidae</i>	5
	<i>Scirtidae</i>	5
	<i>Staphylinidae</i>	3
	<i>Elmidae</i>	5
	<i>Dryopidae</i>	5
	<i>Gyrinidae</i>	3
	<i>Dytiscidae</i>	3
	<i>Hydrophilidae</i>	3
	<i>Hydraenidae</i>	5
	<i>Blepharoceridae</i>	10

Elaborado

por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

2.7. CÁLCULO DE ÍNDICE BMWP/COL.

Para este índice se ejecutó una vez determinada la identificación de los macroinvertebrados hasta el nivel taxonómico de familia, que se tomaron en cada punto de muestreo.

Se le da una puntuación a cada familia que va desde 10 hasta 1, para cada especie se le da el valor máximo de 10 cuando el agua no es contaminada, y el valor de 1 cuando el agua es contaminada. Se indica en la tabla 18-2. Y se llena en la hoja de registro. (Anexo D)

Posteriormente se suma todos los valores de cada familia que se identificó en cada punto de

Diptera	<i>Simuliidae</i>	5
	<i>Tabanidae</i>	4
	<i>Tipulidae</i>	5
	<i>Limoniidae</i>	4
	<i>Ceratopogonidae</i>	4
	<i>Dixidae</i>	4
	<i>Psychopodidae</i>	3
	<i>Dolichopodidae</i>	4
	<i>Stratiomyidae</i>	4
	<i>Empididae</i>	4
	<i>Chironomidae</i>	2
	<i>Culicidae</i>	2
	<i>Muscidae</i>	2
	<i>Ephydriidae</i>	2
	<i>Athericidae</i>	10
<i>Syrphidae</i>	1	

investigación y se obtiene un valor total que nos indica la puntuación de la calidad del agua.

Tabla 19-2: Puntuación establecido a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención de BMWP/Col.

Familias	Puntaje
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae</i>	10
<i>Coryphoridae, Ephemeraeidae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae</i>	9
<i>Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelphusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae</i>	8
<i>Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesiidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae</i>	6

<i>Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae</i>	5
<i>Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae</i>	4
<i>Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae.</i>	3
<i>Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae</i>	2
<i>Haplotaenidae, Tubificidae</i>	1

Fuente: (Álvarez, 2005)

Elaborado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

2.8. ÍNDICE DE SHANNON-WIENER

Es un método de diversidad α (Alpha), gracias a que valora la diversidad de especies de un ecosistema en específico, deducido a partir de las especies encontradas en un sitio.

Se utiliza la siguiente fórmula para este índice:

$$H = \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H = Índice de Shannon –Wiener

p_i = abundancia proporcional de las i-ésimas especies, igual a (n_i/N)

n_i = número de especies de un área particular

N = número de individuos de todas especies (riqueza de especies)

Fuente: (Toledo & Mendoza, 2017)

2.9. ANÁLISIS DE IQW

QWI puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para este índice se utiliza nueve parámetros que son Oxígeno disuelto, Coliformes fecales, pH, DBO, cambio de temperatura, fosfatos, nitratos, turbiedad y sólidos disueltos totales que calcula cada uno de estos parámetros, con la finalidad de que nos muestre un resultado aceptable o no aceptable de la

calidad del agua que se encuentra en los ríos de la microcuenca del Río Cebadas. A continuación, se muestra la ponderación de cada parámetro con su índice respectivo.

Tabla 180-2: Ponderaciones de los parámetros por el índice WQL.

Parámetro	Unidades	Factor de Ponderación
Oxígeno disuelto	% sat.	0.17
Coliformes fecales	#/100 mL	0.16
pH	unidades	0.11
DBO	mg/L	0.11
Cambio de temperatura	°C	0.1
Fosfatos	mg/L	0.1
Nitratos	mg/L	0.1
Turbidez	NTU	0.08
Sólidos Totales	mg/L	0.07

Fuente: (Fernandez & Solano, 2007)

Elaborado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

2.10. CARGA CONTAMINANTE

Para este índice se utiliza el caudal de cada punto de muestreo por el valor resultante de los parámetros fisicoquímicos, considerando la siguiente ecuación:

$$Cc = Q * [C]$$

Donde:

Cc = carga contaminante

Q = caudal (m³)

C = concentración de parámetro kg/m³

Fuente: (Toledo & Mendoza, 2017)

2.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

2.11.1. ANOVA de dos factores

Se realiza un análisis de varianza (ANOVA), prueba la hipótesis de que las medidas de dos o más son iguales. Los ANOVA de dos factores evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores.

Planteamiento de Hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

$$H_0: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_n$$

Tabla 191-2: Variables de estudio y su valor de significancia

Variable	P
BMWP/Col	0,030
ABI	0,002
WQI	0,000

Fuente: (Toledo & Mendoza, 2017, p.94)

Elaborado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

2.11.2. Prueba de normalidad

Se realiza un planteamiento de hipótesis para determinar l distribución normal y si se puede o no rechazar la hipótesis. Este método sirve para comparar las medias de los tratamientos, dos a dos, o sea para evaluar las hipótesis:

Tabla 202-2. Valores de las medias QWI, ABI y BWMP

PUNTOS_1	N	QWI			ABI					BWMP							
		Media	Agrupación			Media	Agrupación					Media	Agrupación				
P 4	6	83,69	A		C	96,5	A					98	A				
P 5	6	82,49	A	B		92,333	A	B				97,167	A				
P 3	6	81,36	A	B		79,67	A	B	C			90,33	A	B			
P 1	6	78,99	A	B		76,5	A	B	C	D		84,67	A	B	C		
P 6	6	78,29	A	B	C	74	A	B	C	D		75	A	B	C	D	
P 7	6	78,16	A	B		63		B	C	D		69,83	A	B	C	D	E
P 13	6	76,15	A	B		60,33		B	C	D	E	65	A	B	C	D	E
P 2	6	75,75	A	B	C	56,67			C	D	E	63,17	A	B	C	D	E
P 12	6	75,09		B		56,33			C	D	E	60,83		B	C	D	E
P 15	6	72,88		B	C	55,17			C	D	E	59,33		B	C	D	E
P 14	6	70,72		B	C	47,17			C	D	E	52			C	D	E
P 9	6	70,27		B	C	46,17				D	E	50,67			C	D	E
P 10	6	67,04		B	C	46,17				D	E	50			C	D	E

P 11	6	66,89		B	C	45,7				D	E	48,2				D	E
P 8	6	65,86		B	C	30					E	37					E
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>																	

Elaborado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

Como las medias son diferentes se realiza una prueba de Kruskal Wallis la cual permite conocer cuáles de sus medias son diferentes, esta prueba se encarga de realizar comparaciones entre pares de medias

Sirve para probar todas las diferencias entre medias de tratamientos de una experiencia. La única exigencia es que el número de repeticiones sea constante en todos los tratamientos.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. MODELO DIGITAL DEL TERRENO

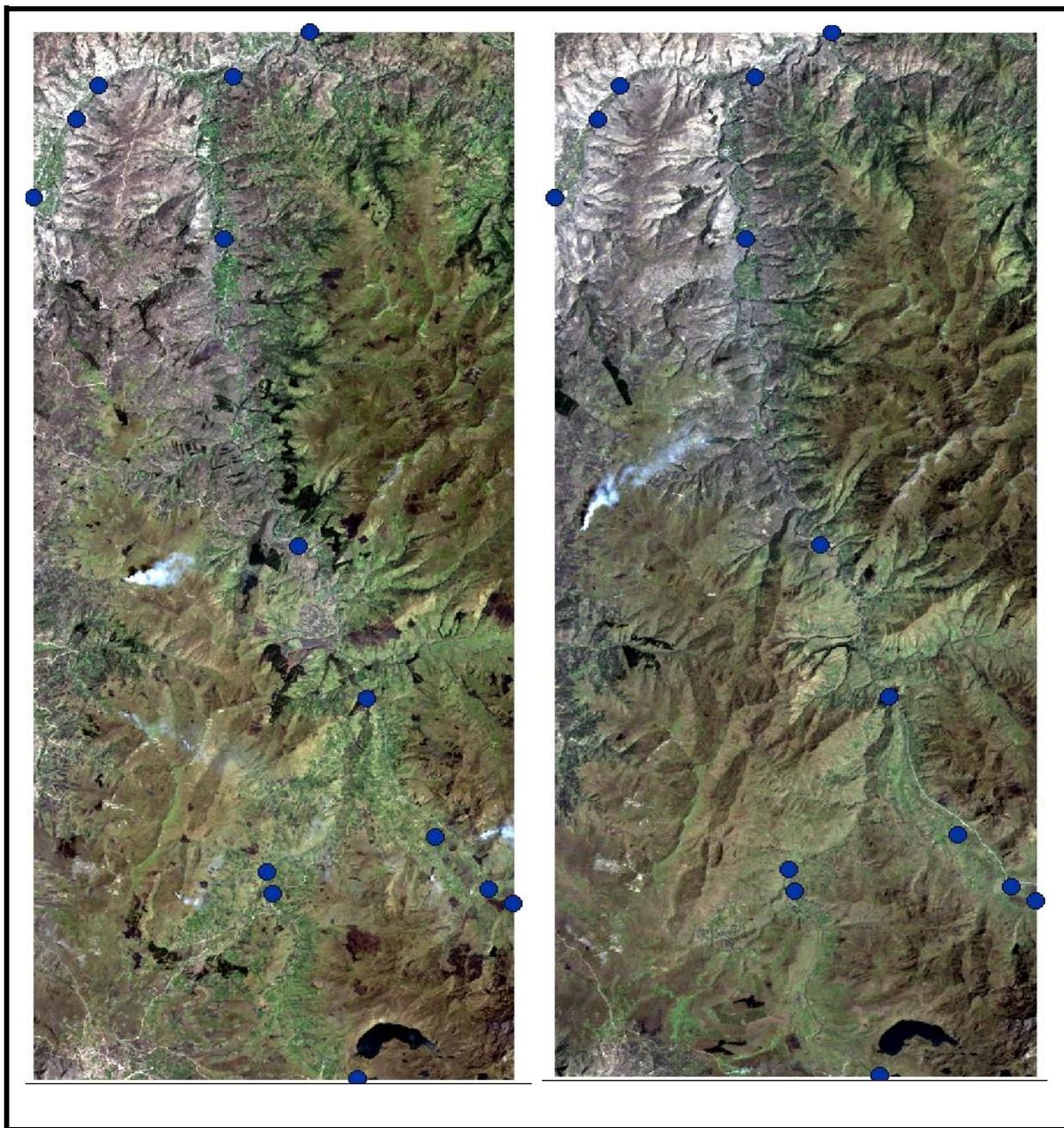


Figura 5-3: Modelo digital del terreno de la microcuenca del Río Cebadas.

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

3.2. MICROCUENCA DEL RÍO CEBADAS

Mediante el análisis de la cobertura vegetal con la aplicación del método K-means (**Clustering basado en particiones, 2012**) entre los años 1998 a 2016 se identifica la variabilidad espacio temporal de la cobertura vegetal es claramente notable que ha existido una pérdida de la cobertura vegetal de origen endémico, así como el avance de la frontera agrícola tanto como forestal a lo largo de los puntos en toda la micro cuenca, de tal forma que en puntos del 1 al 6 que son zonas de alta montaña se da una clara reducción de acuíferos y pajonales que han sido sustituidos por cultivos y reforestación de especies arbóreas; mientras que en los puntos del 7 al 15 distribuidos a lo largo de la cuenca, existe cierta predominancia de los cultivos en sustitución a pajonales y arbustillos. Todo esto debido a que la población que se ubica a lo largo de la microcuenca ha crecido de manera exponencial lo cual ha creado este incremento de la extensión de cultivos, adicional a esto ciertos planes de gobiernos que han reforestado la zona han creado zonas boscosas inexistentes en la zona.

Tabla 213-3: Variabilidad espacio temporal del Bosque de Ribera

cobsoil	FID_Kmeans	Class_Id_1	cobsoil_1	área	Cambio
Agua	3	4	Arbustos y pajonales	294	Agua-Arbustos y pajonales
Arbustos y pajonales	0	1	Agua	615	Arbustos y pajonales-Agua
Agua	2	3	Bosque	1106	Agua-Bosque
Arbustos y pajonales	1	2	Cultivos	1180	Arbustos y pajonales-Cultivos
Bosque	0	1	Agua	1299	Bosque-Agua
Cultivos	3	4	Arbustos y pajonales	1315	Cultivos-Arbustos y pajonales
Cultivos	0	1	Agua	3525	Cultivos-Agua
Bosque	3	4	Arbustos y pajonales	4146	Bosque-Arbustos y pajonales
Arbustos y pajonales	2	3	Bosque	4558	Arbustos y pajonales-Bosque
Agua	1	2	Cultivos	5228	Agua-Cultivos
Bosque	1	2	Cultivos	5911	Bosque-Cultivos
Cultivos	2	3	Bosque	5974	Cultivos-Bosque
Agua	0	1	Agua	10345	Agua-Agua
Arbustos y pajonales	3	4	Arbustos y pajonales	10525	Arbustos y pajonales-Arbustos y pajonales
Bosque	2	3	Bosque	11890	Bosque-Bosque
Cultivos	1	2	Cultivos	13410	Cultivos-Cultivos

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

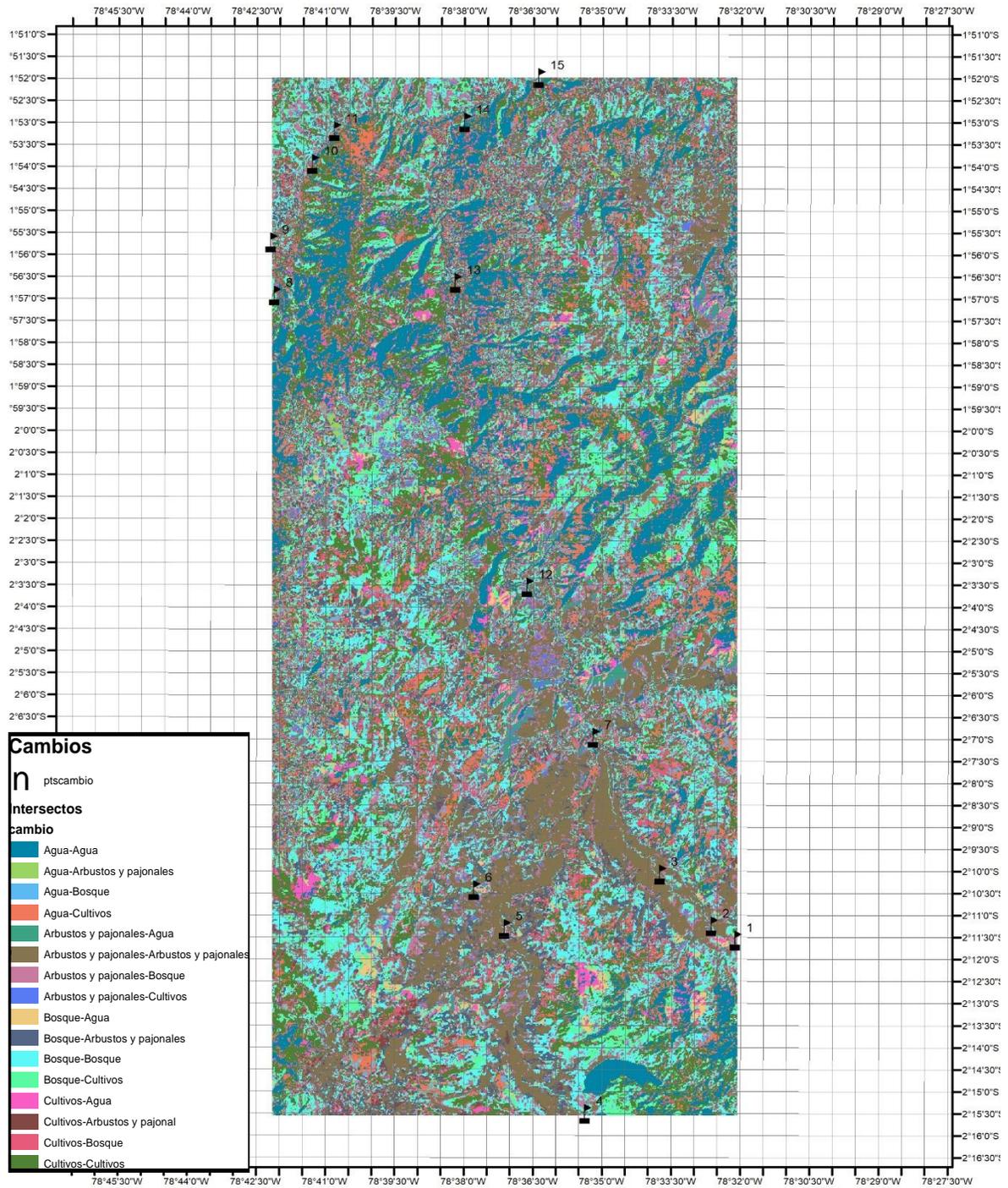


Figura 6-3: Modelo digital de la variabilidad espacio temporal de la microcuenca del Río Cebadas

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

Mediante el análisis de la cobertura vegetal con la aplicación del método K-means (Clustering basado en particiones, 2012) entre los años 1998 a 2016 se identifica la variabilidad espacio temporal de la

cobertura vegetal es claramente notable que ha existido una pérdida de la cobertura vegetal de origen endémico, así como el avance de la frontera agrícola tanto como forestal a lo largo de los puntos en toda la micro cuenca, de tal forma que en puntos del 1 al 6 que son zonas de alta montaña se da una clara reducción de acuíferos y pajonales que han sido sustituidos por cultivos y reforestación de especies arbóreas; mientras que en los puntos del 7 al 15 distribuidos a lo largo de la cuenca, existe cierta predominancia de los cultivos en sustitución a pajonales y arbustillos. Todo esto debido a que la población que se ubica a lo largo de la microcuenca ha crecido de manera exponencial lo cual ha creado este incremento de la extensión de cultivos, adicional a esto ciertos planes de gobiernos que han reforestado la zona han creado zonas boscosas inexistentes en la zona.

3.3. CAUDAL

A continuación, se presenta los resultados de los caudales durante el periodo agosto - enero.

Tabla 224-3: Resultados de caudal en L/s, en cada punto de monitoreo.

Punto de Muestreo	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	
Atillo	P 1	5.47	5.3	5.31	5.34	5.43	5.77
	P 2	3.53	3.96	3.95	3.91	3.83	3.61
	P 3	3.96	4.75	4.72	4.64	4.46	4
Ozogoche	P 4	0.96	1.23	1.22	1.19	1.12	0.96
	P 5	2.16	1.42	1.44	1.5	1.66	2.35
	P 6	2.52	1.47	1.48	1.51	1.65	2.45
UAYO	P 7	6.02	2.45	2.46	2.55	2.95	6.33
Guamote	P 8	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	2.4
UGYS	P 9	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.07
Guamote	P 10	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
	P 11	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Cebadas	P 12	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.84
	P 13	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.51
	P 14	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.72
UGYS	P 15	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	2.97

Realizado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

Los meses de agosto y enero, el punto 4 fue el punto más representativo debido a que tuvo un valor inferior con relación a los valores del caudal de los monitores subsiguientes la cual se pudo observar notables cambios ya que en esos meses el cauce habría presentado un deterioro notable además en

estos puntos el caudal se mantiene alto en comparación de los con los puntos restantes , esto se debe que por época de verano e invierno hubo una sequía que causó el deterioro del cauce, pero el punto 3 el caudal del mes de enero fue el más representativo ya que obtuvo un valor superior con relación a los valores de caudal en los subsiguientes monitores, esto se debe a que en la comunidad de Atillo cerca de la laguna las precipitaciones son muy altas lo que contribuye a que el caudal del río sea muy alto, al igual que en los meses agosto y enero el punto 7 alcanzó un máximo valor ya que es la unión del río Atillo y el río Ozogoche la cual recoge aguas que bajan de las lagunas que se encuentran en el Parque Nacional Sangay. En el punto 6 el valor más alto del caudal se presentó en el mes de agosto y enero en comparación de los otros meses el caudal fue muy bajo, en este punto presenta influencia de labores domésticos como el lavado de ropa que va directo al río. En el punto 9 el caudal en el mes de enero fue el más representativo debido a que obtuvo un valor por debajo en comparación de los otros meses debido a las sequias que se dio en el mes de enero las precipitaciones fueron muy bajas en este punto también es receptor de las aguas de la planta de tratamiento del Cantón Guamote.

3.4. RESULTADOS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

El análisis de los parámetros Físicoquímicos se realiza en el laboratorio de Calidad de Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mientras que los parámetros microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) a continuación se muestra una representación de los de los parámetros en la siguiente gráfica.

El valor de pH óptimo debe estar entre 6.5 y 7.5 , al realizar el análisis estadístico se determina mediante la recolección de la información durante los 6 meses que fueron en dos temporadas invierno y verano, en promedio el pH óptimo se encuentra en los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 7 pertenecientes a los ríos Atillo, Ozogoche y UAYO; registrando un pH mínimo de 4.98 en el punto 1 que corresponde al río Atillo en el mes de diciembre este resultado es ocasionado por el CO₂ que se da por la descomposición de la materia orgánica y pH máximo de 9.15 en el punto 8 ubicado en el río Guamote en el mes de Noviembre que llega a un valor óptimo de pH.

Mediante el análisis de la conductividad del agua se identifica que se debe aplicar un método de salinidad del agua, ya que se encuentra por encima de 500 μ s en los puntos 8, 10 y 11, al presentar una conductividad promedio de 688.17 μ s , 514.04 μ s y 539 μ s respectivamente; al hacer una revisión por meses en el punto 8 todos los meses tienen una conductividad que necesita del método de salinidad del agua, mientras que en el punto 10 los únicos meses que no necesitan aplicar este método del agua son septiembre y diciembre, y en el punto 11 solo el mes de Diciembre; estos puntos que necesitan del método de salinidad de acuerdo a la conductividad que presentan, están ubicados en los

ríos de Guamote. Además, se determina que el valor mínimo de conductividad se encuentra en el punto 2 perteneciente al río Atillo con $45.9 \mu\text{s}$ y el máximo en el punto 8 ubicado en el río Guamote con $711 \mu\text{s}$, esto se debe por la cantidad de sales que se encuentran en estos puntos.

Con respecto a la turbidez del agua el máximo permisible aceptado es de 70 NTU. Se comprueba que en el punto 9 perteneciente a la unión del río Salado y el río Guamote tiene una turbiedad de 78,5 NTU esto se debe a los efluentes que vierte la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón Guamote. El punto 10 perteneciente al río Guamote que tiene una turbiedad de 34,68 NTU se debe a los residuos que arrastra desde la planta hasta 2 km aguas abajo y el punto 15 perteneciente a la unión del río Cebadas y el río Guamote sobrepasa el máximo permisible con un valor de 24,99 NTU estos valores son el promedio en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero. La turbidez promedio máxima permisible se encuentra en el punto 9 que está ubicado en el río UGYS. Así mismo, la medida de turbidez mínima es de 0.14 NTU que corresponde al punto 8 ubicado en el río de Guamote en el mes de octubre, y la máxima es de 170 NTU encontrado en el punto 9 ubicado en el río UGYS en el mes de enero.

Las medidas tomadas sobre el agua que se encuentren por encima del 6 OD se debe aplicar aireación por tonares o escalares, como se puede observar en la Tabla 7-2, en la toma de información durante el mes de diciembre en el punto 9 y 10 ubicados en los ríos UGYS y Guamote respectivamente, no necesitan de aplicar la técnica antes mencionada, mientras que el resto de meses las medidas indican que se debe aplicar una aireación por tonares o escalares para mantener el tratamiento adecuado del agua. En promedio el punto 12 del río Cebadas es de 7.24 OD siendo el mínimo que no alcanza el valor permitido, por tanto, el promedio de OD se encuentra entre 7.24 y 8.76. La medida mínima del OD es de 3.93 y la máxima es de 10.55, estos dos valores están situados en el punto 9 del río UGYS.

Al realizar el análisis sobre las medidas tomadas para la variable DBO_5 no debe sobrepasar los 7 miligramos por litro. Se determina que en el punto 1 ubicado en el río Atillo no sobrepasa en ninguno de los meses los 7 miligramos por litro por lo que se considera que el agua es adecuada para el consumo, mientras en el mes de diciembre según las tomas de información registradas desde el punto 3 hasta el punto 15 sobrepasan los 7 miligramos por litro, así mismo, la información de los meses de noviembre y diciembre para los puntos 4 y 15 respectivamente sobrepasan los 7 miligramos por litro, estos puntos pertenecen a los ríos de Ozogoche y UGYS. EL DBO_5 en promedio se mantiene entre 4.2 y 5.1 miligramos por litro para los 15 puntos.

Los carbonatos medidos en la alcalinidad encontrados en el agua no deben sobrepasar los 500 miligramos por litro. La tabla 8-2, muestra que efectivamente los carbonos con alcalinidad no sobrepasan el estándar, por tanto, se identifica que los carbonos con alcalinidad en promedio se encuentran entre 47.08 y 253.33 miligramos por litro, el mínimo registrado es de 30 miligramos por litro en los puntos 3 y 4 pertenecientes a los ríos Atillo y Ozogoche respectivamente, y el máximo registrado se encuentra en el punto 8 ubicado en el río Guamote con 340 miligramos por litro.

El análisis de los Nitratos que se encuentran en el agua de los 15 puntos estudiados en diferentes ríos no debe sobrepasar los 15 miligramos por litro. Se puede evidenciar que en el punto 9 ubicado en el río UGYS según la información recabada el mes de enero es de 16.9 miligramos por litro sobrepasando la medida estándar, lo cual indica que en este río existe algún tipo de problemas, y se debe aplicar un proceso químico. Los nitratos promedio se encuentran entre 0.8 y 7.51 miligramos por litro, el mínimo registrado es de 0.5 miligramos por litro en el punto 1 ubicado en el río Atillo y el máximo registrado es de 16.9 en el punto 9 ubicado en el río UGYS.

Los fosfatos medidos sobre el agua no deben superar los 5 miligramos por litro. Se identifica que en el punto 7 ubicado en el río UAYO se registra un fosfato de 10 miligramos por litro según la medición realizada en el mes de enero, por tanto, se debe aplicar algún proceso químico ya que no cumple con el valor estándar. Las medidas de fosfato promedio para los 15 puntos se encuentran entre 0.04 y 1.72 miligramos por litro, el máximo registrado es en el punto 7 perteneciente al río UAYO y el mínimo registrado se encuentra en el punto 1 perteneciente al río Atillo el cual es de 0.1 miligramos por litro.

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

El agua que contenga un fosfato total que supere los 100 miligramos por litro debe ser tratada con algún método químico, es así, que en la tabla antes presentada no se registra fosfatos totales que superen el valor estándar. El fosfato total promedio se encuentra medidos entre 0.33 y 1.1 miligramos por litros, el máximo obtenido es de 3.37 perteneciente al punto 9 ubicado en el río UGYS, y el fosfato total mínimo es de 0.06 que corresponden a los puntos 6 y 7 ubicados en los ríos Ozogoche y UAYO.

Los cloruros medidos sobre el agua de los diferentes ríos en los puntos respectivos deben estar por debajo de los 15 miligramos por litro para que se encuentre en el estándar. Según los registros obtenidos en los 6 meses, se determina que el punto 7 los meses de septiembre, octubre y diciembre el cloruro sobrepasa los 15 miligramos por litro, en el punto 8 se determina que solo el mes de agosto cumple con el valor estándar el resto de meses no, al igual que para los puntos 9, 10 y 11 se visualiza que todos los meses de recolección de información no han cumplido con el valor estándar, el punto

12 los meses que se registra valores superiores a 15 miligramos por litro son en agosto y noviembre, , por tanto, se debe aplicar un proceso químico para el adecuado tratamiento del agua, este problema se presenta en los ríos de UAYO, Guamote, UGYS y Cebadas.

El nitrógeno total medido sobre el agua no debe ser superior a 15 miligramos por litro. Al realizar el análisis del agua en cuanto al nitrógeno se identifica que en los puntos 2 y 10 en los meses de noviembre y diciembre el nitrógeno supera los 15 miligramos, lo mismo sucede en los puntos 6 y 8 para el mes de Diciembre, el punto 9 durante todos los meses el nitrógeno supera los 15 miligramos, en el punto 14 se registran problemas desde el mes de agosto hasta diciembre y en el punto 15 en los meses de agosto, noviembre y diciembre, por lo tanto, sobre estos puntos ubicados en los ríos de Atillo, Ozogoche, Guamote, UGYS y Cebadas se debe realizar un proceso químico. El nitrógeno total promedio se encuentra entre 6.34 y 21.8 miligramos por litro, con un registro mínimo de 4 miligramos por litro en los puntos 4, 6 y 8 correspondientes a los ríos Ozogoche y Guamote, y el máximo es de 26 miligramos por litro en el punto 9 ubicado en el río UGYS.

El nitrógeno amoniacal medido sobre el agua no debe ser mayor a 5 miligramos por litro, si supera este valor estándar se debe aplicar un proceso químico para que el agua se apta para el consumo humano. Se observa que las mediciones tomadas sobre los diferentes ríos en los 15 puntos establecidos durante los 6 meses no superan los 5 miligramos por litro. La medida promedio del nitrógeno amoniacal se encuentra entre 0.09 y 0.85 miligramos por litro, el registro mínimo es de 0.07 miligramos por litro en el punto 2 ubicado en el río Atillo y el máximo registrado es de 1.72 miligramos por litro en el punto 9 correspondiente al río UGYS.

Las medidas de Coliformes F. obtenidas sobre el agua de los 15 puntos no deben superar los 100 miligramos por litro. Esta tabla presenta mucha ausencia de información, es decir no presenta Coliformes, además se observa que en el punto 9 correspondiente al río UGYS durante el registro de información en los meses noviembre, diciembre y enero tienen una medida de 712 miligramos por litro lo que indica claramente que el agua contiene exceso de Coliformes ya que supera el valor estándar de los 100 miligramos por litro. Las medidas promedio de Coliformes son 47.5, 2.5, 2, 401.5, 68.5, 63, 49 y 26,5 para los puntos 1, 2, 8, 9, 10, 11, 14 y 15 respectivamente, estos puntos corresponden a los ríos de Atillo, Guamote, UGYS y Cebadas, existen promedios 0 que representa la ausencia de Coliformes en el resto de puntos registrados, cabe recalcar que el valor máximo es de 712 miligramos por litro registrados en el punto 9 ubicado en el río UGYS y el mínimo es de 0.

3.5. ÍNDICE ABI

Los resultados que se obtuvieron durante un muestreo de 6 meses en periodo de invierno y de verano, el Índice ABI con la valoración a cada familia que se identificó y los valores de la calidad de agua se demuestra en la siguiente gráfica:

En la gráfica se observan que la calidad de agua en punto 1 del rio Atillo y el punto 4 monitoreado en Ozogoche, posee muy buena calidad de agua, manteniéndose para los meses de agosto a enero. En el punto 9 monitoreado en UGYS decae a una calidad de agua mala en los meses de agosto a noviembre, mientras que en diciembre posee una calidad regular y de nuevo decae la calidad en el mes de enero.

3.6. ÍNDICE BMWP/COL

En las gráficas se observan que para el indicador BWMP en el punto 9 que la calidad de agua es mala desde los meses agosto, a noviembre, mientras que, en el mes de diciembre a enero, la calidad mejor regularmente. Para el punto 4 la calidad de agua es buena manteniéndose así en todos los meses observados.

3.7. ÍNDICE WQI

Para el índice WQI durante los dos periodos de monitoreo se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 235-3: Resultados QWI de cada punto de monitoreo en invierno y verano.

QWI							
Punto de Muestreo	Río	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
P 1	Atillo	80	88	80	74	66	86
P 2		75	86	78	69	62	85
P 3		80	88	80	75	81	85
P 4	Ozogoche	82	90	82	77	82	89
P 5		80	90	81	77	81	87
P 6		80	90	82	68	62	89
P 7	UAYO	81	88	83	71	71	75
P 8	Guamote	64	75	64	60	60	72
P 9	UGYS	74	76	72	63	65	72

P 10	Guamote	63	64	73	58	64	81
P 11		60	68	62	55	74	83
P 12	Cebadas	74	84	79	62	70	83
P 13		75	84	81	54	77	86
P 14		72	79	72	46	74	81
P 15	UGYC	73	83	80	51	72	79

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Gráfico 1-3: Variación del Índice QWI (agosto-enero).

Elaborado por: Tibanquiza F, Esparza R. 2020

En las gráficas se observan que la calidad de agua en los puntos 12,14 monitoreado en el rio Cebadas ,4,5 monitoreado en el Rio Ozogoché, 2,3 monitoreado en el Rio Atillo,15 monitoreado en UGYC,7 monitoreado en el rio UAYO poseen una muy buena calidad en el mes de septiembre, es decir tienen una gran diversidad de vida acuática. A diferencia del mes de noviembre cuya calidad de agua decae en los puntos 15 UGYC, 8 Guamote,14 Cebadas,3 Ozogoché, siendo la calidad de agua regular, es decir tienen menos diversidad de organismos acuáticos aumentando con frecuencia el crecimiento de las algas.

3.8. ÍNDICE QBR

Los resultados que se obtuvieron mediante el Índice QBR se indican en la siguiente tabla 19-3.

Tabla 246-3: Resultados QBR de cada punto de monitoreo en invierno y verano.

CALIDAD BOSQUE RIBERA -QBR	QBR1 - Grado cubierta zona ribera	QBR2 - Estructura de vegetación zona ribera	QBR3 - Calidad de la cubierta	QBR4 - Grado de naturalidad del canal fluvial	Puntuación	COLOR
-----------------------------------	--	--	--------------------------------------	--	-------------------	--------------

P1	Parte alta	25	10	35	25	95	Muy buena
P2		25	10	30	25	90	Buena
P3		25	5	25	25	80	Buena
P4		25	10	35	25	95	Muy buena
P5		5	10	20	25	60	Regular
P6		10	10	20	25	65	Regular
P7	Parte media	10	10	20	25	65	Regular
P8		5	10	5	20	40	Mala
P9		5	5	10	10	30	Mala
P10		5	5	10	10	30	Mala
P11	Parte baja	10	10	10	10	40	Mala
P12	Parte media	10	10	20	20	60	Regular
P13	Parte baja	5	10	15	15	45	Mala
P14		5	5	15	5	45	Mala
P15		5	5	0	5	15	Mala

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

En el gráfico 18-3 se observa el comportamiento del índice QBR que se da durante los seis meses de muestreo.

Gráfico 2-3: Variación del Índice QBR en cada punto de muestreo (agosto-enero).

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Los valores que se obtuvieron al aplicar el índice QBR se observa en la tabla 19-3, el cual nos indica que el punto 1 correspondiente al Río Atillo y el punto 4 correspondiente al Río Ozogoche tiene un resultado de 95 indicando que presenta una calidad muy buena (estado natural) según el QBR-Andino que tiene un valor de mayor o igual a 95 que evalúan únicamente el estado de conservación de flora que se encuentra en los ríos andinos. En los puntos 2 y 3 pertenecientes ambos al Río Atillo con un valor de 90 y 80 respectivamente indicando que tiene una calidad buena con una vegetación ligeramente perturbado. En los puntos 5 y 6 pertenecientes al Río Ozogoche, el punto 7 que pertenece a la unión de los Ríos Atillo y Río Ozogoche y el punto 12 perteneciente al Río Cebadas presenta una

valoración de 60, 65, 65 y 60 respectivamente, nos indica una calidad intermedia es decir que tiende a tener una alteración importante por la introducción de especies foráneas en estos tres puntos de muestreo. En los puntos 8, 9, 10, 11,13 y 14 indican una valoración de 40,30, ,30, 40, 45 y 45 respectivamente, tiene una alteración fuerte una mala calidad del índice ya que escasea especies alboreas, la presencia de tierras que utilizan para la agricultura, la presencia de basura en el tramo de los puntos de muestreo produciéndose así una alteración fuerte. En el punto 15 indica un resultado de 15 dando una calidad pésima ya que el bosque de ribera y el ecosistema forestal ha provocado una mala conexión, la presencia de un puente en el lecho del Río ha hecho que se produzca una degradación extrema.

3.9. ÍNDICE IHF

Para el índice IHF durante los dos periodos de monitoreo e obtuvo los siguientes resultados:

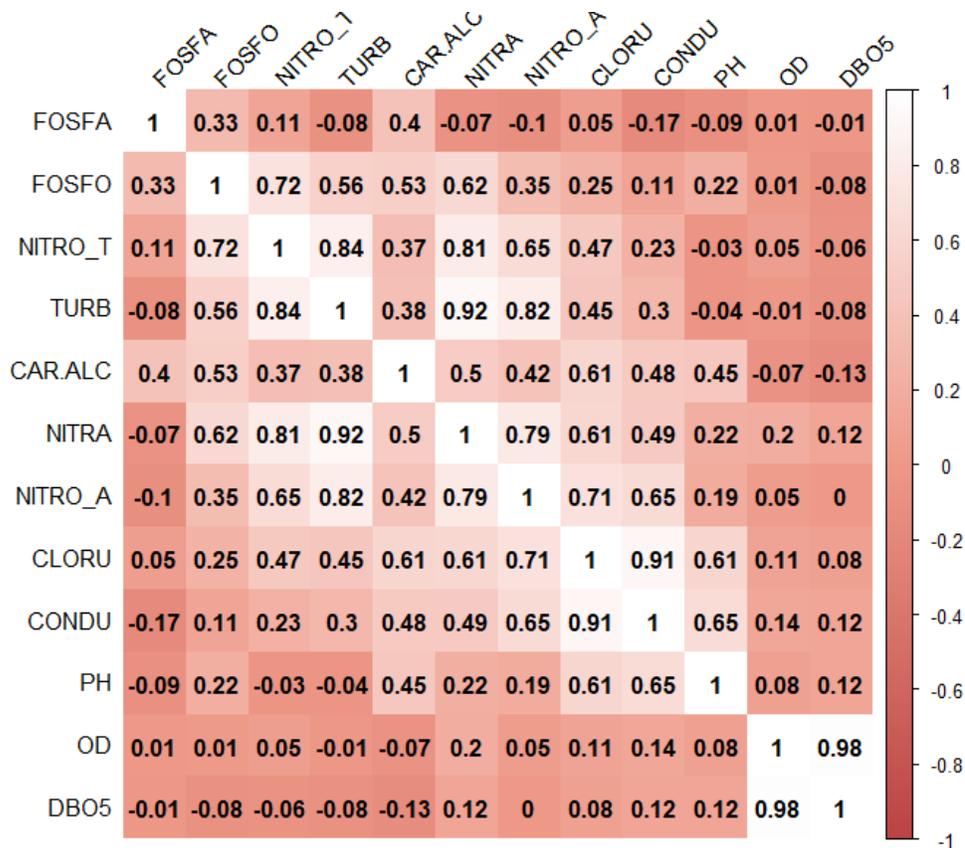
Gráfico 3-3: Variación del Índice IHF en cada punto de muestreo (agosto-enero).

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

En las gráficas se observa que la calidad de agua en el punto 4 monitoreado en Ozogoche, posee muy buena calidad de agua con una valoración de 62 teniendo una diversidad de hábitats por la presencia de troncos y ramas este valor se mantiene para los meses de agosto a enero. En el punto 9 monitoreado en UGYS decae a una calidad de agua mala con una valoración de 15 por lo que existe una baja diversidad de hábitats esto se debe al cauce del río que está expuesto este valor se mantiene en los meses de agosto a noviembre, mientras que en diciembre posee una calidad regular y de nuevo decae la calidad en el mes de enero.

3.10. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 257-3: Correlación de las variables del mes QWI.

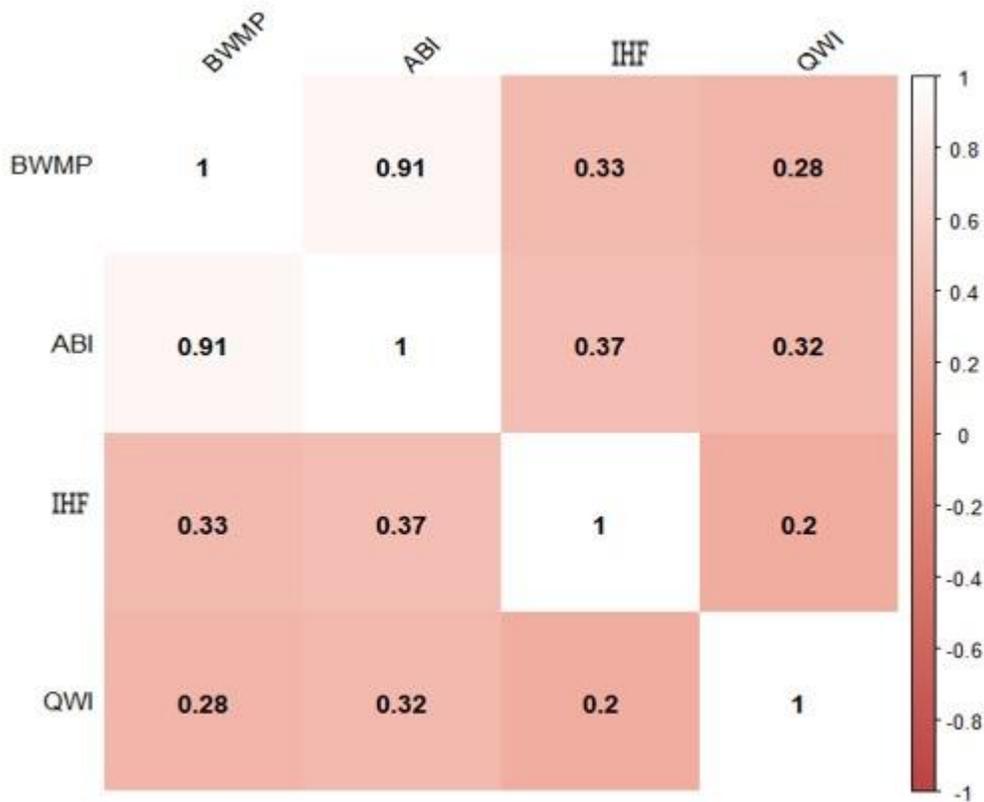


Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Se puede observar en la Tabla 26-3 las medias físicas y químicas del agua existe una moderada dependencia entre Fosforo Total, Nitrógeno Total, Turbidez, Carbonatos y Alcalinidad, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Cloruros, Conductividad, pH, y OD con respecto a las variables en el estudio reduciéndose progresivamente en este orden, existe una baja dependencia progresiva de la variable OBO5 con el resto de las variables, pero una alta dependencia con OD.

3.11. CORRELACIONES ENTRE LOS INDICADORES ECOLOGICOS

Tabla 268-3: Correlación de los indicadores ecológicos.



Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Entre los indicadores ecológicos en el estudio existe una alta dependencia entre el indicador BWMP y ABI con una correlación de 0.91; la dependencia entre los indicadores BWMP con IHF y QWI, ABI con IHF y QWI, IHF con QWI es relativamente baja, por lo que no se puede hacer una correlación entre estos indicadores.

3.11.1. Variaciones del caudal con WQI

Las gráficas siguientes son representaciones de la variabilidad del caudal, respecto a los indicadores Ecológicos, en donde se asigna los siguientes puntajes de acuerdo a cada indicador, dadas en escalas de 1 al 5 para una mejor interpretación.

Tabla 279-3: Puntajes de la calidad según el índice QWI.

QWI		
91-100	Optima	1
81-90	Muy buena	2
61-80	Buena	3
46-60	Regular	4

30-45	Deficiente	5
--------------	------------	---

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Tabla 30-3: Puntajes de la calidad según el índice ABI.

ABI		
>96	muy bueno	1
59-96	bueno	2
35-58	regular	3
14-34	malo	4
<14	pésimo	5

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Tabla 281-3: Puntajes de la calidad según el índice BMWP/Col.

BMWP/COL			
101-120 >150	Aguas muy limpias, no contaminadas o poco alterada	BUENA	1
61-100	Aguas ligeramente contaminadas	ACEPTABLE	2
36-60	Aguas moderadamente contaminadas	DUDOSA	3
16-35	Aguas muy contaminadas	CRITICA	4
<15	Aguas fuertemente contaminadas	MUY CRITICA	5

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

En los puntos 1 y 4 se observa que el caudal se mantiene en todos los meses desde agosto hasta enero, esto se da por el afloramiento del mismo río, en estos puntos no existe actividades antropogénicas. En el punto 7 el caudal se ha mantenido durante el mes de agosto y enero esto se debe porque en este punto se da la unión de los dos ríos Atillo y Ozogoché mientras que en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre el valor del caudal bajo considerablemente esto se debe a que en esta época hubo una disminución de lluvias.

Según el índice WQI en el gráfico 20-3 nos indica que en el mes de agosto la calidad del agua es buena y que no tiene relación con el caudal.

Según el Índice WQI en el gráfico 21-3, el gráfico 22-3 y el gráfico 25-3 está de una manera ondulada tiene valores altos y bajos nos indica que en el mes de septiembre nos muestra que la calidad es de 2

por lo que es dudosa si el caudal disminuye en los puntos 8 sube su valor a 3 por lo que le da más confianza a la calidad del agua.

Según el gráfico 23-3 y el gráfico 24-3 se evidencia que tiene un valor de 3 por lo que la calidad del agua es aceptable y los caudales están bajos, pero no influye en la calidad.

Según el Índice ABI, se observa que en todos los meses que se realizó los muestreos, en los puntos 1, 2 y 3 la calidad del agua se encuentra en un rango aceptable mientras el caudal esta alto, sin embargo, en los gráficos 30-3 y el gráfico 31-3, el caudal se encuentra bajo, pero sigue manteniendo una valoración de una calidad de agua aceptable.

En los gráficos de los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, se observa que en los puntos 7, 12 y 15 el caudal aumenta y la calidad también aumenta dando una valoración de 3 a 4 por lo que será un agua buena, mientras que en los demás puntos el valor del caudal es muy bajo y la calidad del agua se mantiene en un rango aceptable.

3.11.2. Caudal con BWMP

En los siguientes gráficos se da la interpretación de la variación entre el caudal con el Índice BWMP, que se asignó un puntaje que va de 1 a 6 para dar la valoración de la calidad del agua.

Gráfico 4-3: Interpretación Caudal vs BWMP (agosto).

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Se observa que todos los gráficos se evidencian que al igual que el Índice ABI, se observa que en todos los meses que se realizó los muestreos, en los puntos 1, 2 y 3 la calidad del agua se encuentra en un rango aceptable y que la misma no cambia con respecto al caudal.

Se observa que en el mes de diciembre existe aguas ligeramente contaminadas, en cada uno de los puntos monitoreados, con variaciones de caudales que llegan a 5.43 m³/s, mientras que para el mes de noviembre al igual que el Índice ABI se encuentra en un estado aceptable, lo que indica aguas son de calidad buena. Para el mes de septiembre se observa que en los puntos 10,12,13,14 y 15 se encuentra igualmente en estado aceptable, y que la misma no cambia con respecto a al caudal.

3.11.3. ANOVA DE DOS FACTORES

Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores

En estos resultados, la hipótesis nula indica que los datos no siguen una distribución normal. Puesto que el valor p es 0.01, que es menor que el nivel de significancia de 0.05, la decisión es que se puede rechazar la hipótesis nula.

3.11.4. Planteamiento de Hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

$$H_0: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_n$$

Tabla 292-3: Datos del análisis de varianza.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
PUNTOS	14	48198	3442,7	15,73	0
TRATAMIENTOS	2	7986	3993	18,24	0
PUNTOS*TRATAMIENTOS	28	13702	489,4	2,24	0,001
Error	225	49257	218,9		
Total	269	119143			

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

3.11.5. Nivel de significancia

$$p \leq \alpha = H_0 \text{ se rechaza}$$

$$2e - 16 \leq 0.05 = H_0 \text{ se rechaza}$$

3.11.6. Toma de decisión

Existe suficiente evidencia para rechazar H_0 es decir las medias no son iguales con un p-valor del $2e^{-16}$ a 95% de confianza.

Como las medias son diferentes se realiza una prueba de Kruskal Wallis (Rodrigo, 2016) la cual permite conocer cuáles de sus medias son diferentes, esta prueba se encarga de realizar comparaciones entre pares de medias

Sirve para probar todas las diferencias entre medias de tratamientos de una experiencia. La única exigencia es que el número de repeticiones sea constante en todos los tratamientos.

Este método sirve para comparar las medias de los tratamientos, dos a dos, o sea para evaluar las hipótesis:

Tabla 303-3: Valores de las medias de QWI, ABI y BWMP.

PUNTOS_1	N	QWI			ABI					BWMP							
		Media	Agrupación			Media	Agrupación				Media	Agrupación					
P 4	6	83,69	A		C	96,5	A				98	A					
P 5	6	82,49	A	B		92,333	A	B			97,167	A					
P 3	6	81,36	A	B		79,67	A	B	C		90,33	A	B				
P 1	6	78,99	A	B		76,5	A	B	C	D	84,67	A	B	C			
P 6	6	78,29	A	B	C	74	A	B	C	D	75	A	B	C	D		
P 7	6	78,16	A	B		63		B	C	D	69,83	A	B	C	D	E	
P 13	6	76,15	A	B		60,33		B	C	D	E	65	A	B	C	D	E
P 2	6	75,75	A	B	C	56,67			C	D	E	63,17	A	B	C	D	E
P 12	6	75,09		B		56,33			C	D	E	60,83		B	C	D	E
P 15	6	72,88		B	C	55,17			C	D	E	59,33		B	C	D	E
P 14	6	70,72		B	C	47,17			C	D	E	52			C	D	E
P 9	6	70,27		B	C	46,17				D	E	50,67			C	D	E
P 10	6	67,04		B	C	46,17				D	E	50			C	D	E
P 11	6	66,89		B	C	45,7				D	E	48,2				D	E
P 8	6	65,86		B	C	30					E	37					E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Realizado por: Tibanquiza F, Richard E. 2020

Se observa tanto en la grafica de interaccion , como en la tabla que las medias son diferentes, siendo los puntos 4 y 8 los que mayor diferencia significativa presentan con respecto a los demas, el punto 4 es el que mejor promedio presenta para los 3 indicadores en estudio, mientras que el punto 8 es el que peor promedio en comparacion a los 15 puntos en estudio de los indicadores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La microcuenca que tuvo mayor variabilidad espacio temporal, fue la cuenca del rio Guamote con un cambio del 16.2 %, Cebadas con 14%, Ozogoche con un 17.3%, Atillo con un 2.9%.
- La mejor calidad del agua, decrece: microcuenca de Atillo > Ozogoche > Cebadas > Guamote. Las microcuencas de Atillo y Ozogoche posee una alta calidad debido a que se encuentra cercana al Parque Nacional Sangay, adicional a que la intervención humana es mínima con sus actividades de ganadería y cultivos. Por el contrario, en el caso de las microcuencas de Cebadas y Guamote han perdido un gran porcentaje de su cobertura vegetal, el incremento de la población y con ello las zonas de cultivos, además de incrementar afluentes de plantas de tratamiento y Queseras.
- El mayor índice de correlación, 0,91 corresponde a las variables de ABI con BMWP/col, la menor fue 0,20 QWI con IHF concluyendo que los índices ecológicos (ABI y BMW/Col) demuestran la calidad de un recurso hídrico a nivel multitemporal mientras que el QWI es un índice que prevé la calidad del agua.

- Los resultados que se obtienen a partir del análisis estadístico, indican claramente la diferencia significativa existente entre una media y otra, siendo los puntos 4 y 8, aquellos que presentan mayor varianza con respecto a los demás, por lo cual se requiere de datos de 3 años que midan los mismos parámetros para que el error resulte ser menor al 5% en la creación de un modelo geo estadístico, por lo cual actualmente no es posible realizarlo.
- La evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Cebadas mediante la utilización de los índices Ecológicos (BMWP/Col, ABI, IHF, QBR) y QWI en los 6 meses de monitoreo arroja como principal conclusión que la calidad del agua en la microcuenca es dudosa o regular (amarillo) en la parte media-baja y buena (verde) en la parte alta; esto debido a que existe influencia de las actividades antrópicas de comunidades vecinas al río además de las crecidas que se producen en el lecho lo que provoca el cambio brusco de las condiciones de los hábitats de los macroinvertebrados.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la aplicación del índice ABI en las zonas de páramo ya que en esta zona este índice incluye todas las familias propias de este hábitat, mientras que el índice BMWP/Col en las zonas bajas se adapta mejor.
- Realizar un muestreo de aguas frecuente para tener un mejor resultado físico-químico en posteriores estudios.
- Se recomienda realizar un estudio de la variabilidad climática entre la zona alta y la zona media de los Andes Ecuatorianos ya que esto puede influir en los resultados de estudios de índices de calidad.
- Se recomienda ubicar una estación meteorológica cercana al Parque Nacional Sangay cercana a la extensión de la Laguna Magdalena para el monitoreo en estudios posteriores.

- Establecer un plan de manejo de esta microcuenca para su conservación incluyendo la participación de todas las poblaciones aledañas al sector y verificar su cumplimiento.

BIBLIOGRAFÍA

AGUSTÍN, M. *Medidores de flujo en canales abiertos* [Universidad de San Carlos de Guatemala], 2010, [Consulta: 21 noviembre 2019]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf

ÁLVAREZ, L. *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuático como indicadores de la calidad del agua.* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 05, 223. [en línea], 2005, [Consulta: 02 febrero 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11761/31357>

AMARAL, G; ET AL BUSHEE, J. Plan Director de Riberas de Andalucía. In *Journal of Petrology* (Vol. 369, Issue 1), [en línea], 2013, pp.280 [Consulta:10 abril 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

AMBIENTE, M. DE. *Parque Nacional Sangay*, [en línea], 2004 A, [Consulta: 02 febrero 2020] Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-sangay/>

AMBIENTE, M. DE. *Parque Nacional Sangay celebra su 36 aniversario de creación*, [en línea], 2004 B, [Consulta: 02 febrero 2020] Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-sangay-celebra-su-36-aniversario-de-creacion/>

AMBIENTE, M. DE. *Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador*, [en línea], 2015, [Consulta: 02 febrero 2020] Disponible en: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/content/sitios-ramsar>

ENCALADA, A., et al GARCÍA, N. P. *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de Ríos Andinos (CERA-S)* (E. Suárez (ed.); FONAG). USFQ, UB, AECID, FONAGE. [en línea], 2011, pp. 32-33. [Consulta: 22 mayo 2020] Disponible en: http://www.ub.edu/riosandes/docs/CERA-S_finalLR.pdf?fbclid=IwAR33oimxFqEtNGq0c-8y1BghMefjbcQMaVEg8MabEj9n2mYuAsa9g3njGw

ANGELINI, M. Clasificación digital de imágenes satelitales. *Revista de Teledetección*, 3, 1–10. [en línea], 2016, pp. 5-7, [Consulta: 22 mayo 2020] Disponible en: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/geomatica/289121082.m1-LECTURA6-CLASIFICACION.pdf>

ANTONIO, A. J. *Determinación de los parámetros Físico-Químicos de calidad de las Aguas*. 2(23), [en línea], 2000, 12, [Consulta: 25 febrero 2020] Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>

BARREZUETA, H. D. P. Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua. *Lexis, SN*, 1–43. [en línea], 2014, [Consulta: 20 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-Ley-Recursos-Hidricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

BERLANGA-ROBLES, C. A., & RUIZ-LUNA, A. *Esquema de clasificación de los humedales de México Classification system of the wetlands of Mexico*. 25–46. [en línea], 2008, pp.2-3, [Consulta: 19 enero 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000200003

BLANCA, R., & RIERADEVALL, M. *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú.* 28(1), 35–64. [en línea], 2009, [Consulta: 30 diciembre 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277262531_Propuesta_de_un_protocolo_de_evaluacion_de_la_calidad_ecologica_de_rios_andinos_CERA_y_su_aplicacion_a_dos_cuencas_en_Ecuador_y_Peru

BURBANO, D. *Monitoreo Ambiental Agua (p2)*, 2016, Documento Físico

CARLOS FERNÁNDEZ, P. B. *Metodología de la investigación* (S. A. D. C. . McGRAW-WILL / INTERAMERICANA EDITORES (ed.); sexta edic). McGRAW-WILL, 2014. [Consulta: 25 febrero 2020] Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

DUK2. *K-Means Clustering: Agrupamiento con Minería de datos.* Estrategias de Trading.[en línea], 2019, [Consulta: 25 febrero 2020]. Disponible en: <https://estrategiastrading.com/k-means/>

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. *Constitución del Ecuador.* 218. [en línea], [Consulta: 15 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>

F.E.M. RESEARCH GROUP. *Índice de calidad del bosque de ribera : QBR.* 6. [en línea], 2008, 2011, [Consulta: 15 febrero 2020]. Disponible en: http://www.ub.edu/fem/docs/protocols/Prot_QBR_cast.pdf

FERNANDEZ, N. J., & SOLANO, F. Capítulo III: índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. *Índices De Calidad Y De Contaminación Del Agua*, 76, 2007, [Consulta: 08 octubre 2019]. Disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf

GÓMEZ, J. A. G. Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la

cuenca del Río Garagoa. *SSRN Electronic Journal*, 5(564), 1–19. [en línea], 2014, [Consulta: 08 octubre 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.4324/9781315853178>

HAHN-VONHESSBERG, C; ET AL TORO, D. Determinación De La Calidad Del Agua Mediante Indicadores Biológicos Y Físicoquímicos, En La Estación Piscícola, Universidad De Caldas, Municipio De Palestina, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2), 89–105. [en línea], 2009, [Consulta: 08 octubre 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30682009000200007&script=sci_abstract&tlng=es

ICC (INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO). Manual de medición de caudales. *Icc*, 18. [en línea], 2007, p.8, [Consulta: 06 noviembre 2019]. Disponible en: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>

JORGE FAUSTINO, F. J. *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. 35. [en línea], 2000, [Consulta: 06 noviembre 2019]. Disponible en: [https://www.infocuenas.com/img/kcfinder/files/manejo de cuencas hidrograficas.PDF](https://www.infocuenas.com/img/kcfinder/files/manejo%20de%20cuencas%20hidrograficas.PDF)

MINAYA, R. Parámetros físicos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la laguna Moronacocha, época de transición creciente-vaciante. Iquitos. Perú. 2016. *Universidad Nacional de La Amazonía Peruana*, 87. [en línea], 2017, [Consulta: 06 noviembre 2019]. Disponible en: http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4690%0Ahttp://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1

MOLANO, M. S., & GARCÍA, D. P. Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surte el acueducto del municipio de Pitalito. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. [en línea], 2019, [Consulta: 22 noviembre 2019]. [Consulta: 23 diciembre 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

NEACATO, R. *Construcción de obras de proyectos integrales en la demarcación Guayas,*

[en línea], 2018, 181.

OLAYA, P. *Estado ecológico del sistema estuarino del Río Guayas, Cantón Durán, Ecuador: Simulación numérica de su dinámica fluvial y principios ecológicos para el diseño de actuaciones de restauración y/o recuperación.* 56. [en línea], 2016, p.18, [Consulta: 20 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/58156205/Estado-ecologico-del-sistema-estuarino-del-rio-Guayas-2pdf/>

PARA, C., ASEGURAMIENTO, E. L., & CALIDAD, D. E. L. A. *Guía para el funcionamiento de los laboratorios de ensayo de aguas. Revisión 1,* [en línea], 2016, 1–96.

PAÚL AUCANCELA, P. C. *Estudio de la microcuenca del Río Chiquicahua en función de la cantidad, calidad y aprovechamiento Hídrico de sus afluentes [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].* [en línea], 2011, pp. 32-33, [Consulta: 19 enero 2020]. Disponible en: <file:///C:/Users/SYSTEMarket/Downloads/236T0042.pdf>

PDYOT. *Gobierno autonomo descentralizado parroquial rural de Cebadas.* 257. [en línea], 2015, [Consulta: 9 enero 2020]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660818930001_PDyOT Consolidado_final_29-10-2015_23-07-05.pdf

PÉREZ, G. A. R. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia.* [en línea], 2003, p.12, [Consulta: 06 noviembre 2019]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&dq=bioindicación+de+la+calidad+del+agua+en+colombia+uso+del+método+bmwp/col+roldan+2003&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiI0dWx0szoAhXGmuAKHZORBPYQ6AEIJAA#v=onepage&q=bioindicación de la cali](https://books.google.com.ec/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&dq=bioindicación+de+la+calidad+del+agua+en+colombia+uso+del+método+bmwp/col+roldan+2003&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiI0dWx0szoAhXGmuAKHZORBPYQ6AEIJAA#v=onepage&q=bioindicación+de+la+cali)

RAMÍREZ, C. A. S. *Calidad del Agua.* In E. de la U. U medellín (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (primera ed, Vol. 53, Issue 9). Ediciones de la U. [en línea], 2013, [Consulta: 19 enero 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

REINOSO, L. *Evaluación de la calidad de agua de la microcuenca del Río Blanco de la*

Provincia de Chimborazo mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. In *Facultad de Ciencias: Vol. Bachelor*. [en línea], 2016, p.19, [Consulta: 19 enero 2020]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/4948>

RIOACHA. Teledetección. *Mejora de Los Sistemas de Cartografía Del Territorio Colombiano*, 43. [en línea], 2007, p.5, [Consulta: 23 diciembre 2019]. Disponible en: <https://docplayer.es/11503697-Mejora-de-los-sistemas-de-cartografia-del-territorio-colombiano-capitulo-3-teledeteccion-union-europea-centro-internacional-de-agricultura-tropical.html>

RIOJA, L. *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos*. 24–29. [en línea], 2012, [Consulta: 23 diciembre 2019]. Disponible en: [file:///C:/Users/SYSTEMarket/Downloads/Dialnet-LosMacroinvertebradosAcuaticosComoIndicadoresDelEs-4015812 \(4\).pdf](file:///C:/Users/SYSTEMarket/Downloads/Dialnet-LosMacroinvertebradosAcuaticosComoIndicadoresDelEs-4015812%20(4).pdf)

ROJAS, J. A. R. *Calidad del Agua (ALFAOMEGA)*. [en línea], 1999, p.3, [Consulta: 19 enero 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/38972813/Calidad_del_Agua_ROMERO_ROJAS

SILVA HAUN, R., & ARANCIBIA FORTES, J. Utilización de los índices de hábitat fluvial, bosque de ribera y macrófitas para la determinación de calidad del recurso hídrico del estero Catapilco, región de Valparaíso. *Anales Museo de Historia Natural de Valparaiso*, 28, 9–109. [en línea], 2015, [Consulta: 23 diciembre 2019]. Disponible en: http://www.mhmv.cl/636/articles-56751_archivo_01.pdf

TOLEDO, M., & MENDOZA, B. Estudio de la calidad de agua utilizando bioindicadores, en microcuenca del río Chimborazo (EC). *Research Gate*, 27(January). [en línea], 2017, [Consulta: 20 diciembre 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312192044_ESTUDIO_DE_LA_CALIDAD_DE_AGUA_UTILIZANDO_BIO-INDICADORES_EN_MICROCUEENCA_DEL_RIO_CHIMBORAZO_EC

