

Trabajo Fin de Máster

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE DOS MICROCUENCAS EN EL CANTÓN ZARUMA (ECUADOR) Y ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Intensificación: *TRATAMIENTO DE AGUAS*

Autor:

ALEXANDER OSWALDO ESPINOZA REYES

Director:

DR. MIGUEL MARTÍN MONERRIS

Codirector/es:

DR. VICENT BENEDITO DURÁ

ING. JOSÉ ROMERO MOTOCHÉ

JUNIO, 2015



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

mihma
máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente



Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título: CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE DOS MICROCUENCAS EN EL CANTÓN ZARUMA (ECUADOR) Y ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA.

Alumno: ALEXANDER OSWALDO ESPINOZA REYES.

Director: DR. MIGUEL MARTÍN MONERRIS

Codirector/es:

DR. VICENT BENEDITO DURÁ.

ING. JOSÉ ROMERO MOTOCHÉ.

Fecha de Lectura: JUNIO, 2015

Resumen

En castellano (máximo 2000 palabras)

En los últimos años, los ecosistemas montañosos del sur de Ecuador han experimentado una creciente presión asociada a la explotación y extracción de recursos naturales; estas actividades generalmente producen desechos de distinto tipo, cuyo principal cuerpo receptor es el agua, lo cual supone una disminución de la calidad de vida de todos los seres vivos que habitan en estos ecosistemas. Por tal motivo, la organización Naturaleza y Cultura Internacional ha realizado distintos estudios centrados en las zonas de recarga de agua que abastecen a las poblaciones, teniendo en cuenta principalmente las características biofísicas y socioeconómicas de la parte alta de las microcuencas; por tanto, para dar continuidad a la labor que realiza esta organización, se planteó el presente estudio, el cual se basa en las recomendaciones del informe denominado “Caracterización de la zona de recarga y del sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Zaruma” (NCI, 2012), en el cual se sugiere el establecimiento de sistemas permanentes de monitoreo de la calidad del agua, con el fin de evaluar la calidad del recurso y poder tomar las medidas necesarias para su gestión.

La realización del presente trabajo se llevó a cabo en tres fases: Una primera fase de planificación, en la cual

se buscó los apoyos necesarios y se organizó el viaje a la zona de estudio; una segunda fase de trabajo de campo, en la cual se realizaron mediciones in situ de parámetros fisicoquímicos y toma de muestras de agua y de macroinvertebrados para su posterior análisis; y una tercera fase de laboratorio, en la cual se realizaron las determinaciones de los parámetros químicos, microbiológicos y la identificación de las familias de macroinvertebrados acuáticos. Con estos datos se aplicó el Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation (ICA NSF) y el Índice Biological Monitoring Working Party (IBMWP), dando como resultado en la mayoría de muestreos, que el agua cruda que va a la planta de agua potable de la ciudad de Zaruma es de buena calidad; estos índices se aplicaron con el fin de aportar una herramienta de fácil entendimiento para los gestores del recurso hídrico,

Mediante las distintas fases se pudo conocer el panorama actual en cuanto al monitoreo de las masas de agua en la región, y con la información recolectada y generada, se realizaron propuestas de seguimiento de la calidad del agua, adaptadas a todo el territorio de las dos microcuencas objeto de estudio, procurando optimizar los recursos disponibles.

En valenciano (máximo 2000 palabras)

En els últims anys, els ecosistemes muntanyosos del sud de l'Equador han experimentat una creixent pressió associada a l'explotació i extracció de recursos naturals; aquestes activitats generalment produeixen residus de diferent tipus, dels quals el principal cos receptor és l'aigua, la qual cosa suposa una disminució de la qualitat de vida de tots els éssers vius que habiten en aquests ecosistemes. Per tal motiu, l'organització Natura i Cultura Internacional ha realitzat diferents estudis centrats en les zones de recàrrega d'aigua que abasteixen a les poblacions, tenint en compte principalment les característiques biofísiques i socioeconòmiques de la part alta de les microconques. Per tant, per donar continuïtat a la tasca que realitza aquesta organització, es va plantejar el present estudi, el qual es basa en les recomanacions de l'informe denominat "Caracterització de la zona de recàrrega i del sistema d'abastament d'aigua de la ciutat de Zaruma" (NCI, 2012), en el qual se suggereix l'establiment de sistemes permanents de monitorització de la qualitat de l'aigua, per tal d'avaluar la qualitat del recurs i poder prendre les mesures adients per a la seva gestió.

La realització del present treball es va dur a terme en tres fases: Una primera fase de planificació, en la qual es va buscar els suports necessaris i es va organitzar el viatge a la zona d'estudi; una segona fase de treball de camp, en la qual es van realitzar mesures in situ de paràmetres fisicoquímics i presa de mostres d'aigua i de macroinvertebrats per la seva posterior anàlisi; i una tercera fase de laboratori, en la qual es van realitzar les determinacions dels paràmetres químics, microbiològics i la identificació de les famílies de macroinvertebrats aquàtics. Amb aquestes dades es va aplicar l'Índex de Qualitat d'Aigua de la National Sanitation Foundation (ICA NSF) i l'Índex Biological Monitoring Working Party (IBMWP), donant com a resultat en la majoria de mostrejos, que l'aigua crua que va a la planta de aigua potable de la ciutat de Zaruma és de bona qualitat; aquests índexs es van aplicar amb la finalitat d'aportar una eina de fàcil enteniment per als gestors del recurs hídric.

Mitjançant les diferents fases es va poder conèixer el panorama actual pel que fa a l'estat de les masses d'aigua a la regió, i amb la informació recollida i generada, es van realitzar propostes de seguiment de la qualitat de l'aigua, adaptades a tot el territori de les dues microconques objecte d'estudi, procurant

optimizar els recursos disponibles.

En inglés (máximo 2000 palabras)

In recent years, mountain ecosystems in southern Ecuador have experienced increasing pressure associated with the exploitation and extraction of natural resources; These activities generally produce waste of different types, whose main receiving body is water, which means a decrease in quality of life for all living beings that inhabit those ecosystems. Therefore, the organization Naturaleza y Cultura Internacional has conducted various studies focusing on water recharge areas that supply water for the population, mainly considering the biophysical and socioeconomic characteristics of the upper watersheds; therefore, to give continuity to the work of this organization, this study was made based on the recommendations stated on the report entitled "Characterization of the recharge zone and the water supply system of the city of Zaruma" (NCI, 2012), which suggest the establishment of a permanent systems for monitoring water quality in order to assess the quality of the resource and to take the required measurements for its management .

The present study was carried out in three phases: The first phase of planning, in which the necessary support was sought to visit the study area; a second phase of fieldwork, where in situ measurements of physicochemical parameters were performed, samplings of water and macroinvertebrates where taken for further analysis; and a third phase of laboratory, in which the determination of chemical parameters, microbiological and identification of the families of aquatic macroinvertebrates were made. With these data the Water Quality Index of the National Sanitation Foundation (NSF ICA) and the Biological Monitoring Working Party Index (IBMWP) was applied, resulting in most of the samples, that the raw water that goes to the drinking water plant of city of Zaruma is of good quality; these indexes were applied in order to provide a tool that's easily understood by managers of water resources.

Through the different stages of the study, it was shown the current situation regarding the monitoring of water bodies in the region, and with the information collected and generated, a proposals for monitoring water quality were made, adapted to the whole territory of the two watersheds under study, seeking to optimize the resources available.

Palabras clave (máximo 5): Zaruma, calidad, agua, macroinvertebrados, índices.

Trabajo de Fin de Máster

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE DOS MICROCUENCAS EN EL CANTÓN ZARUMA (ECUADOR) Y ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Intensificación: **TRATAMIENTOS DE AGUAS**

Autor:

ALEXANDER OSWALDO ESPINOZA REYES

Director:

DR. MIGUEL MARTÍN MONERRIS

Codirector/es:

DR. VICENT BENEDITO DURÁ

ING. JOSÉ ROMERO MOTOCHÉ

JUNIO, 2015



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

DEDICATORIA

A mis padres, Dolores y Rolando,
quienes siempre han puesto nuestro
bienestar por encima del suyo para
dejarnos la mejor arma:

La educación.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar gracias a mis padres y hermanos por ser ese apoyo incondicional que ha mantenido siempre la llama encendida en todos los buenos y malos momentos.

A mis tutores de la Universitat Politècnica de Valencia (UPV), Miguel Martín Monerris y Vicent Benedito Durá, quienes han sabido guiarme en todo momento para poder culminar el presente trabajo con éxito.

A mi codirector, José Romero Motoche, miembro de la Organización Naturaleza y Cultura Internacional (NCI), quien me apoyó desde el primer momento en el que le expuse mi idea. Del mismo modo agradezco a Cristian Román y Luis López, miembros de NCI, quienes apoyaron activamente en las salidas de campo. Además un especial agradecimiento a NCI por su gran labor en cuanto a la conservación del patrimonio natural y cultural en América Latina.

Al GADM de Zaruma, cuyo alcalde, Jhansy López Jumbo, manifestó su apoyo al proyecto pensando siempre en el beneficio de los habitantes del cantón. Del mismo modo a Tomás Aguilar, director del departamento de agua potable y alcantarillado y a Yomara Corella, laboratorista de la planta de agua potable de la ciudad, gracias por ayudarme en la coordinación para poder realizar los análisis en el laboratorio de la planta de agua potable. Gracias a Alexandra Jaramillo, jefe de sección de la unidad de gestión ambiental, quien me ayudo con la información disponible en el archivo del municipio. Agradezco también a todos los miembros del municipio que me ayudaron en alguna de las salidas de campo.

Un agradecimiento muy especial a Mario Villareal Villacís, quien como miembro de SENAGUA, siempre se mostró dispuesto a echarme una mano, tanto en la organización de las salidas de campo como en la coordinación entre las instituciones gestoras del agua. Así mismo agradezco a Raúl Gaona, Alejandro Peñaherrera y Luis Jacinto Román, técnicos de SENAGUA, quienes me ayudaron en la coordinación de las salidas a los puntos de muestreo.

A don Arturo Carrión, cuidador de la captación de agua del Mirmir, quien siempre nos ayudó con todo lo que estaba en sus manos, colaborándonos en los muestreos, prestándonos su mula para transportar el equipo y brindándonos una rica comida preparada por su mujer después de realizar cada trabajo de muestreo.

A Juan Rueda Sevilla, quien con su experiencia, me ayudó en el reconocimiento de algunas de las familias de macroinvertebrados que recolecté en campo; del mismo modo a Mattia, quien siempre estuvo dispuesto a echarme una mano en todo lo que necesité en el laboratorio de ecología de la ETSICCP de la UPV.

A la Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de Ecuador (SENESCYT), gracias a su aporte económico ayudan a miles de estudiantes ecuatorianos a realizar sus estudios superiores alrededor del mundo, equipando al país con profesionales de nivel internacional; gracias por su labor y que entre todos construyamos un país mejor cada día.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
1.1.1. Ubicación.....	3
1.1.2. Clima	7
1.1.3. Cobertura vegetal, capacidad y conflictos del uso del suelo	10
1.1.4. Biodiversidad.....	16
1.1.5. Infraestructura hídrica.....	17
1.2. PROBLEMÁTICA	19
1.2.1. Presión antropogénica sobre los cauces naturales	20
1.2.2. Usos del agua	22
1.2.3. Legislación referida a la calidad del agua.....	24
1.2.4. Necesidad de monitoreo de la calidad del agua	27
1.2.5. Medidas de prevención, protección y restauración.....	28
2. INDICADORES E INDICES DE CALIDAD DE AGUA.....	31
2.1. INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA	32
2.1.1. Físicos	32

2.1.2. Químicos	34
2.1.3. Biológicos	38
2.2. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA	40
2.2.1. Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation (ICA NSF)	41
2.2.2. Bioindicación con macroinvertebrados.....	44
3. OBJETIVOS	51
3.1. OBJETIVO GENERAL	51
3.2. OBJETIVOS PARCIALES	51
4. METODOLOGÍA.....	53
4.1. FASE DE PLANIFICACIÓN	53
4.2. FASE DE CAMPO.....	55
4.2.1. Mediciones in situ.....	58
4.2.2. Toma de muestras	62
4.3. FASE DE LABORATORIO	68
4.3.1. Análisis químicos.....	68
4.3.2. Análisis microbiológico.....	69
4.3.3. Identificación de familias de macroinvertebrados.....	73
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	77
5.1. ÍNDICE NSF	77

5.1.1.	Físico Químicos	77
5.1.2.	Microbiológicos	83
5.1.3.	Cálculo del Índice NSF	86
5.2.	ÍNDICE BMWP Y PROMEDIO ASPT.....	90
5.2.1.	Macroinvertebrados recolectados	90
5.2.2.	Fichas de las familias de macroinvertebrados recolectados.....	91
5.2.3.	Cálculo del índice BMWP y del ASPT	103
6.	PROPUESTAS DE SEGUIMIENTO DE CALIDAD DEL AGUA.	109
6.1.	OBJETIVOS DEL SEGUIMIENTO	109
6.2.	GESTIÓN DE DATOS APLICADA AL SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA	111
6.3.	PUNTOS DE MONITOREO	115
6.4.	PERIODICIDAD Y PARAMETROS DE MONITOREO.....	120
6.5.	EQUIPOS Y MATERIAL NECESARIO.....	123
6.6.	MEDICIÓN DEL CAUDAL EN EL CONTROL DE CALIDAD DE AGUA.....	124
7.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	127
8.	BIBLIOGRAFÍA	131
	ANEXO I	137
	ANEXO 2	141
	ANEXO 3	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especies vegetales representativas de las microcuencas El Guando y Mirmir (NCI, 2012).....	16
Tabla 2. Fauna representativa de las microcuencas El Guando y Mirmir (NCI, 2012).	17
Tabla 3. Clasificación de la calidad del agua según el ICA NSF.....	44
Tabla 4. Puntuaciones de las <i>familias</i> de macroinvertebrados incluidas en el IBMWP/Col y IBMWP/RP NdS agrupados según el <i>orden</i> al que pertenecen dentro de la clasificación taxonómica.	48
Tabla 5. Clasificación de las aguas según el puntaje total obtenido mediante el Índice BMWP (Roldan, 2003).....	50
Tabla 6. Georeferencia de los puntos de muestreo.....	57
Tabla 7. Fechas de salidas de campo y parámetros muestreados.	58
Tabla 8. Resultados de las variables fisicoquímicas de la microcuenca El Guando.	78
Tabla 9. Resultados de las variables fisicoquímicas de la microcuenca Mirmir.....	78
Tabla 10. Resultados de los análisis microbiológicos en la microcuenca El Guando.....	84
Tabla 11. . Resultados de los análisis microbiológicos en la microcuenca Mirmir.	84
Tabla 12. Resultados del ICA NSF en la microcuenca El Guando.	88
Tabla 13. Resultados del ICA NSF en la microcuenca Mirmir.....	88
Tabla 14. Número de individuos de cada <i>familia</i> encontrados en las microcuencas El Guando y Mirmir.	90
Tabla 15. Cálculo de los índices BMWP/Col y BMWP/RP-NdS para la microcuenca El Guando.	104
Tabla 16. Cálculo de los índices BMWP/Col y BMWP/RP-NdS para la microcuenca Mirmir.....	105
Tabla 17. Cálculo de ASPT de las microcuencas El Guando y Mirmir.	107

Tabla 18. Georreferencia de los puntos de monitoreo propuestos en la microcuenca El Guando	117
Tabla 19. Georreferencia de los puntos propuestos de monitoreo de la microcuenca Mirmir.....	119
Tabla 20. Calendario de monitoreo propuesto para la microcuenca El Guando.	121
Tabla 21. Calendario de monitoreo propuesto para la microcuenca Mirmir.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.....	3
Figura 2. Ubicación de la Cuenca Hidrográfica del Puyango (NCI, 2012).....	4
Figura 3. Ubicación de las microcuencas El Guando y Mirmir (NCI, 2012).....	5
Figura 4. Ubicación de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).	6
Figura 5. Ubicación de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).	7
Figura 6. Precipitación media anual de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).	8
Figura 7. Precipitación media anual de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).	8
Figura 8. Temperatura media de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).....	9
Figura 9. Temperatura media de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).	10
Figura 10. Cobertura vegetal de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).	11
Figura 11. Cobertura vegetal de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).	11
Figura 12. Capacidad de uso del suelo de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).	13
Figura 13. Capacidad de uso del suelo de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).	13
Figura 14. Conflictos de uso del suelo de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).....	15
Figura 15. Conflictos de uso del suelo de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).	15
Figura 16. Infraestructura de la captación de El Guando.	18
Figura 17. Infraestructura de la captación del Mirmir.....	19
Figura 18. Ejemplo de curva de función de calidad [Tomada y traducida por Fernández y Solano (2007) del ICA NSF].	42
Figura 19. Excrementos de vaca en el cauce y ribera del río El Guando	55
Figura 20. Cauce y zonas de ribera del río Mirmir.....	56

Figura 21. Ribera del Mirmir cerca de la captación de agua antes y después de la construcción de la carretera.	56
Figura 22. Bebedero de vacas en la microcuenca del Mirmir	57
Figura 23. Ubicación de los puntos de monitoreo dentro del cantón Zaruma.....	57
Figura 24. Medición in situ en el río El Guando.	58
Figura 25. Medidor multiparámetro de Tra, CE y STD.	59
Figura 26. Oxímetro.	60
Figura 27. Medidor de pH, test de colorimetría y reactivo (rojo fenol)	61
Figura 28. Turbidímetro.	61
Figura 29. Botella para la recolección de la muestra, enfriador y nevera portátil lista para ser transportada.	64
Figura 30. Construcción de la red de patada.	65
Figura 31. Remoción del lecho del río.	66
Figura 32. Lavado de la red.	66
Figura 33. Filtrado del exceso de agua de la muestra.....	66
Figura 34. Muestra lavada en plástica de fondo blanco.	67
Figura 35. Separación de los macroinvertebrados del resto de muestra.....	67
Figura 36. Espectrofotómetro HACH DR 2800	69
Figura 37. Soporte de membrana y vaso de filtración.....	70
Figura 38. Colocación de la membrana de celulosa sobre el soporte del aparato de filtración.	70
Figura 39. Tubo de aluminio sobre el soporte membrana.	71
Figura 40. Llenado del tubo de filtración con la muestra de agua y succión.	71

Figura 41. Medio de cultivo sobre la almohadilla.....	71
Figura 42. Colocación de la membrana sobre el medio de cultivo.....	72
Figura 43. Incubadora.....	72
Figura 44. Muestras microbiológicas	72
Figura 45. Estereomicroscopio utilizado en la identificación de las <i>familias</i> de macroinvertebrados (LEICA MZ16 y cámara DFC420).....	74
Figura 46. Muestra de macroinvertebrados lista para su separación e identificación. ...	75
Figura 47. Almacenamiento de macroinvertebrados por familias.....	75
Figura 48. Variación del número de UFC en las microcuencas El Guando y Mirmir. ...	85
Figura 49. Mascara del programa ICATest v1.0.	87
Figura 50. Reporte del ICATest v1.0 para el ICA NSF.	87
Figura 51. Variación del ICA NSF en las microcuencas El Guando y Mirmir.	89
Figura 52. Macroinvertebrados recolectados: Orden amphípoda.....	92
Figura 53. Macroinvertebrados recolectados: Orden arácnidos.	92
Figura 54. Macroinvertebrados recolectados: Orden coleópteros.	95
Figura 55. Macroinvertebrados recolectados: Subfilo crustáceos.	95
Figura 56. Macroinvertebrados recolectados: Orden dípteros.	97
Figura 57. Macroinvertebrados recolectados: Orden efemerópteros.....	98
Figura 58. Macroinvertebrados recolectados: Orden heterópteros.....	99
Figura 59. Macroinvertebrados recolectados: Orden neurópteros/megalópteros.....	99
Figura 60. Macroinvertebrados recolectados: Orden lepidópteros.....	100
Figura 61. Macroinvertebrados recolectados: Orden odonatos.	100

Figura 62. Macroinvertebrados recolectados: Subclase oligoquetos.	101
Figura 63. Macroinvertebrados recolectados: Orden plec6pteros.	101
Figura 64. Macroinvertebrados recolectados: Orden tric6pteros.	103
Figura 65. Mapa de la ubicaci6n de puntos de monitoreo propuestos en la microcuenca El Guando.	118
Figura 66. Mapa de la ubicaci6n de puntos de monitoreo propuestos en la microcuenca Mirmir.	119
Figura 67. Curva de funci6n para coliformes fecales (Fern6ndez y Solano, 2007).	137
Figura 68. Curva de funci6n para temperatura (Fern6ndez y Solano, 2007).	137
Figura 69. Curva de funci6n para pH (Fern6ndez y Solano, 2007).	138
Figura 70. Curva de funci6n para DBO ₅ (Fern6ndez y Solano, 2007).	138
Figura 71. Curva de funci6n para STD (Fern6ndez y Solano, 2007).	138
Figura 72. Curva de funci6n para ox6geno disuelto (Fern6ndez y Solano, 2007).	139
Figura 73. Curva de funci6n turbidez (Fern6ndez y Solano, 2007).	139
Figura 74. Curva de funci6n para nitratos (Fern6ndez y Solano, 2007).	139
Figura 75. Curva de funci6n para fosfatos totales (Fern6ndez y Solano, 2007).	140

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE DOS MICROCUENCAS EN EL CANTÓN ZARUMA (ECUADOR) Y ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios generados en Ecuador en los últimos años en relación con la actividad productiva, han acentuado la preocupación de la sociedad respecto a la gestión de los recursos naturales del país, debido a que supone también una transformación del medio que rodea la vida de todos los habitantes; esta reestructuración afecta directamente al medio ambiente, debido a que está basada principalmente en el aprovechamiento de materias primas.

En la mayoría de los casos, la explotación o extracción de los recursos naturales generan desechos, cuyo principal cuerpo receptor es el agua, los cuales pueden causar problemas, tanto en la de salud de la población que capta directamente el líquido vital para su consumo o que vive cerca de aguas contaminadas, como en el medio biótico que rodea a estas masas de agua. Esta situación se ha extendido rápidamente a zonas en donde tradicionalmente no había ningún tipo de actividad humana, como en el caso de los bosques andinos, los cuales se degeneran cada vez más debido a la explotación ganadera y forestal, o el caso de las actividades mineras, que han ido ampliando su territorio hacia regiones hasta ahora no explotadas. En el caso de los núcleos urbanos, el principal problema se origina por el vertido de aguas residuales domésticas o industriales si ningún tratamiento previo.

Si bien es cierto que el modelo de desarrollo convencional conlleva unos outputs negativos para el medio ambiente, no se puede justificar esta degeneración con el único objetivo de lograr el desarrollo económico, que muchas veces va más allá de la racionalidad, sino también se tiene que basar en principios de sostenibilidad, respetando la capacidad de resiliencia del medio que nos rodea.

Conjuntamente con el desarrollo económico, también se está generando una revisión de la legislación ambiental del país, como es el caso de la nueva *Ley de Aguas (6 de agosto del 2014)*, la cual mediante una *Autoridad única del Agua*, pretende realizar una gestión integrada del recurso agua a nivel nacional. El “Artículo 1” de esta ley dice que “el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria”; a partir de este principio se debería desarrollar la matriz productiva del Ecuador, pero esto no está siendo así, debido a que en muchas regiones la situación ambiental empeora cada día.

El presente estudio está motivado por la situación ambiental descrita anteriormente, y se basa en el informe realizado por la organización Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) titulado “*Caracterización de la zona de recarga y del sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Zaruma*” (NCI, 2012), el cual se centra en las fuentes de agua que abastecen a la población de Zaruma. El informe tiene en cuenta solamente la zona de influencia de las microcuencas que afectan al agua de consumo y no a todo su territorio, por tanto los datos de generados en la caracterización preliminar de la calidad del agua tiene en cuenta únicamente los condicionantes de las zonas altas de estas dos microcuencas llamadas El Guando y Mirmir.

Esta caracterización preliminar servirá como punto de partida para conocer cuáles son los medios y mecanismos disponibles para realizar el monitoreo de la calidad del agua en esta región, y a partir de la información recolectada y generada, elaborar propuestas de seguimiento aplicadas a todo el territorio de las dos microcuencas y que a su vez se puedan replicar a otras zonas de la región.

Es importante destacar que el presente trabajo académico está vinculado oficialmente a la Universitat Politècnica de Valencia (UPV) y a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia y Tecnología de Ecuador (SENESCYT); las otras instituciones de apoyo como Naturaleza y Cultura Internacional (NCI), el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Zaruma y la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) brindaron los medios técnicos y logísticos para poder llevar a cabo las tareas de recolección y generación de la información necesaria.

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.1.1. Ubicación

Ecuador está ubicado al noroeste de América del Sur, limita al norte con Colombia, al sur y este con Perú y al este con el océano Pacífico. La zona estudio está ubicada dentro del cantón Zaruma, perteneciente a la provincia de El Oro, al sur del Ecuador.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

En cuanto a la hidrografía, Ecuador se divide en dos grandes vertientes; por un lado en la región occidental se encuentra la vertiente del Pacífico conformada por 24 sistemas hidrográficos, incluida la región insular, con una superficie de 124.644 Km², y por otro lado en la región oriental se encuentra la vertiente del Amazonas, con una superficie de 131.726 Km². Las microcuencas objeto de estudio se encuentran en la vertiente de Pacífico, en la Cuenca Hidrográfica del río Puyango-Tumbes, localizado en el sur de Ecuador y norte de Perú.

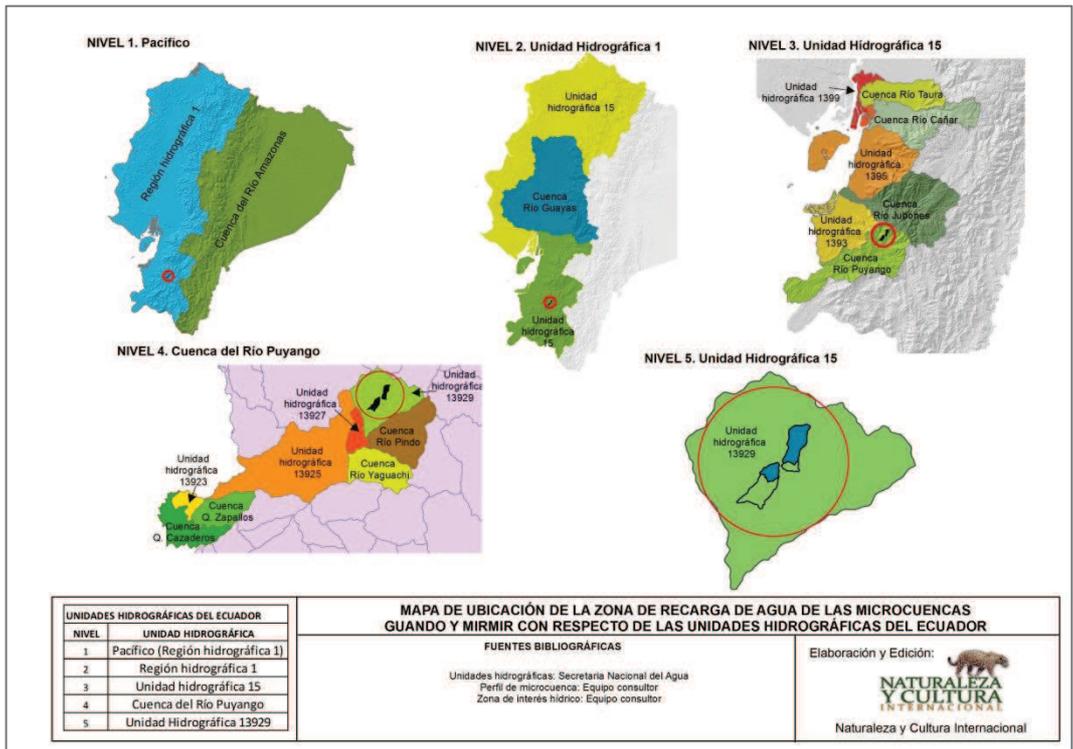


Figura 2. Ubicación de la Cuenca Hidrográfica del Puyango (NCI, 2012).

El Puyango es un río fronterizo, cuya cabecera se encuentra en los andes ecuatorianos, entre las provincias de El Oro y Loja, sus principales tributarios son el río Calera, Amarillo, Ambocas y Luis; a menudo llamado río Grande, conserva su nombre hasta llegar a la frontera con Perú, donde recibe el nombre de río Tumbes hasta su desembocadura en la costa del Pacífico.

En la parte alta del río Puyango, en la jurisdicción del cantón Zaruma, se encuentran ubicadas las microcuencas del río Mirmir y del río El Guando (figura 3), las cuales son de vital importancia para el cantón debido a que abastecen de agua a gran parte de la población.

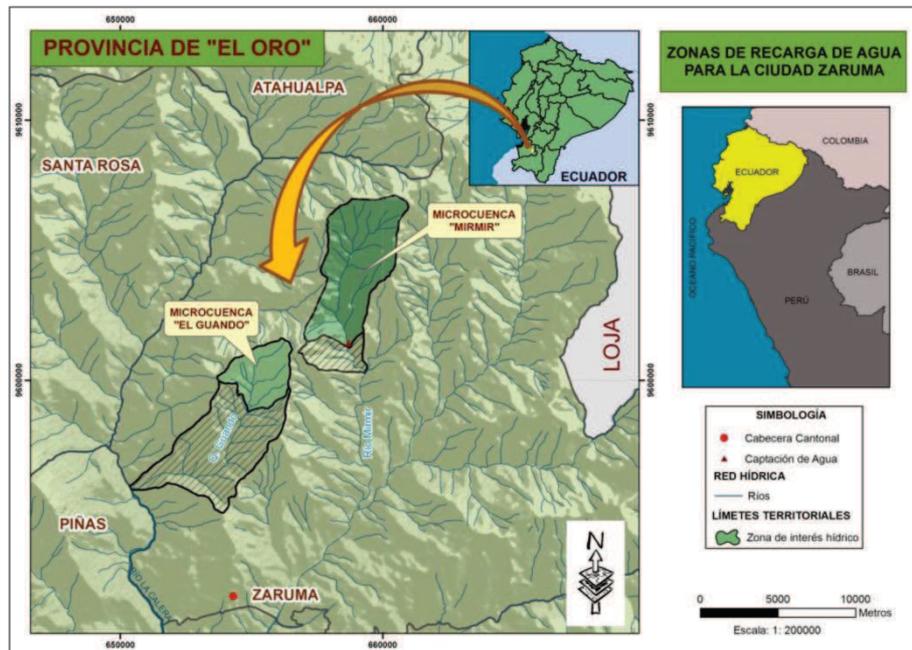


Figura 3. Ubicación de las microcuencas El Guando y Mirmir (NCI, 2012).

De aquí en adelante, el presente estudio se centrará en estas dos microcuencas, las cuales fueron caracterizadas biofísicamente por el equipo consultor de la organización Naturaleza y Cultura Internacional (NCI), la cual también apoyó técnicamente para el presente estudio. **Hay que tener en cuenta que esta caracterización se realizó para las zonas de escorrentía superficial que fluyen hacia la captación de agua cruda y no para toda la microcuenca, como se puede observar en la figura 3; sin embargo a efectos de estudio de las dos unidades hidrográficas, se las seguirá llamando microcuencas y no zonas de recarga de agua (ZRA) como las nombran en el estudio llevado a cabo por NCI.**

Microcuenca El Guando

La microcuenca El Guando está ubicada al suroeste del cantón Zaruma y al norte del núcleo urbano; la captación de agua cruda se encuentra a una distancia aproximada de 10,2 km del centro de la ciudad y su área de escorrentía es de aproximadamente 480,11 ha. Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM 654866 - 656151 m Este y 9600102 - 9601182 m Norte; su altitud está entre los 1550 a 2240 m.s.n.m (NCI, 2012).

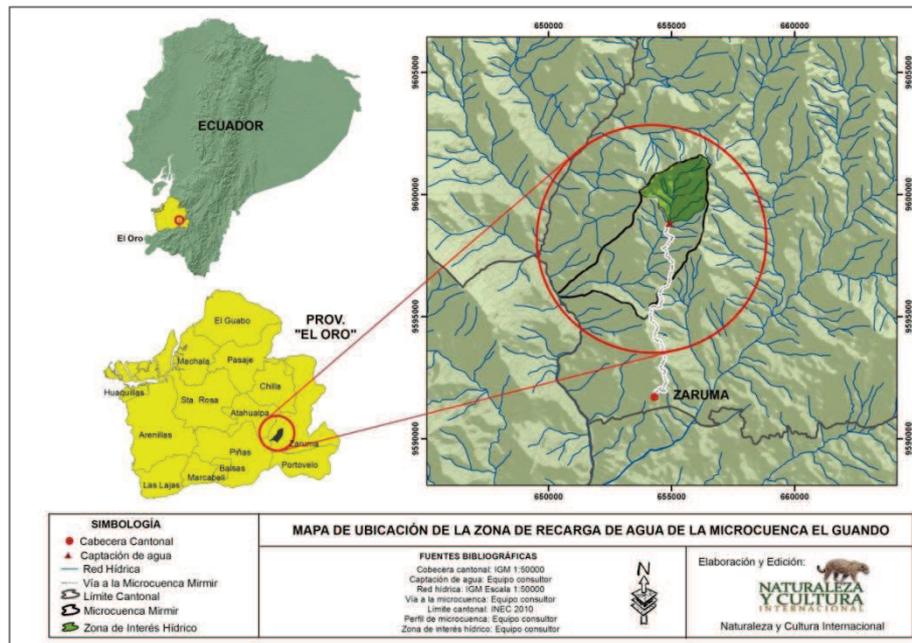


Figura 4. Ubicación de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).

Microcuenca Mirmir

La microcuenca del “Mirmir” está ubicada al suroeste del cantón Zaruma y al noreste del núcleo urbano; la captación de agua cruda se encuentra a una distancia aproximada de 22,9 km del centro de la ciudad y su área de escorrentía es de aproximadamente 1286 ha. Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM 658718 - 660472 m Este y 9601786 - 9606684 m Norte; su altitud está entre los 1560 a 3840 m.s.n.m. (NCI, 2012).

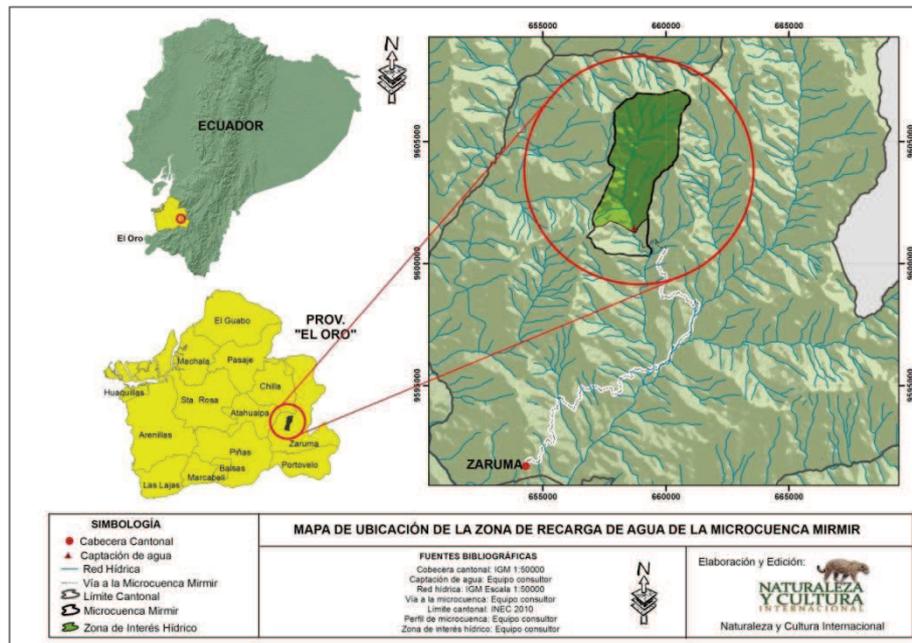


Figura 5. Ubicación de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).

1.1.2. Clima

El estudio del clima en esta región es difícil de realizar debido a que existe información muy limitada al no haber estaciones meteorológicas cercanas que aporten datos fiables, los datos que se presentan a continuación fueron calculados por el equipo de NCI.

Precipitación

La precipitación media anual en la microcuenca El Guando oscila entre los 1750 mm en las zonas más altas hasta los 2500 mm en las zonas más bajas, siendo estas de tipo convectivo y orográficas (figura 6).

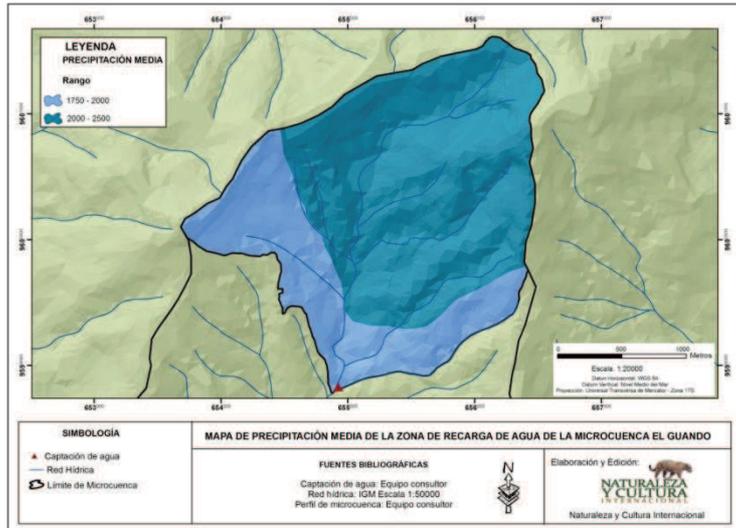


Figura 6. Precipitación media anual de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).

La precipitación media anual en la microcuenca Mirmir fluctúa entre 1500 en las zonas más altas hasta los 2500 mm en las zonas más bajas; se caracterizan por ser de origen convectivas y orográficas (figura 7).

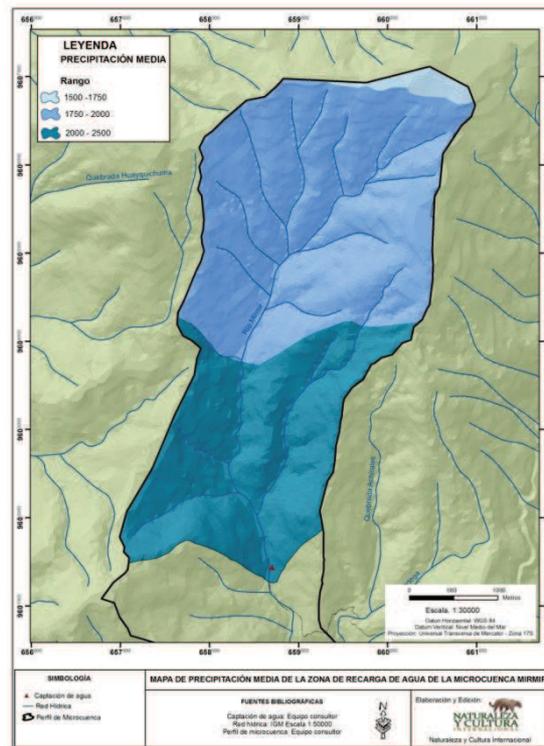


Figura 7. Precipitación media anual de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).

La precipitación a lo largo del año se distribuye principalmente en dos épocas, una lluviosa que va desde principios de enero hasta finales de mayo, y otra seca, que va desde principios de junio hasta finales de diciembre.

Temperatura

La temperatura media en la microcuenca El Guando oscila entre los 18 y 20 grados según el mapa adjunto (figura 8), sin notarse una marcada diferencia entre la zona más alta y el punto de captación de agua.

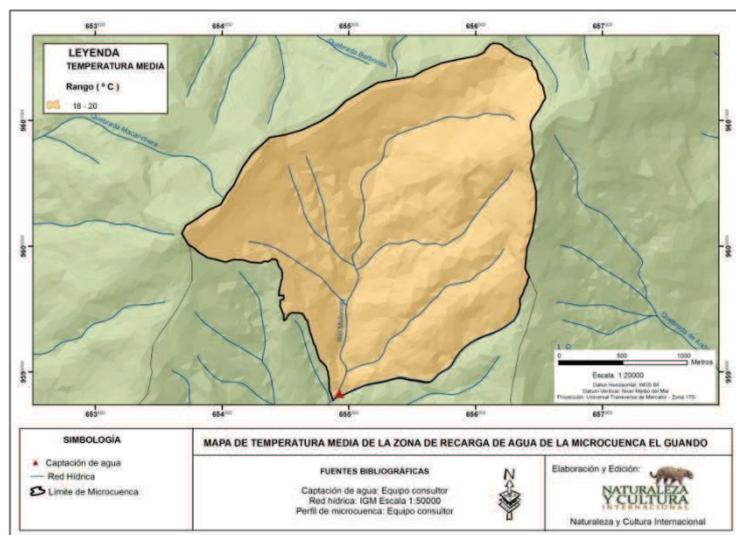


Figura 8. Temperatura media de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).

Respecto a la microcuenca del Mirmir, se observa que existe una relación directamente proporcional con la altitud, es decir a mayor altitud mayor es la temperatura fluctuante, lo cual corrobora con la teoría; la temperatura media fluctúa desde los 12 a 18 °C, predominando la que se encuentra entre los rangos 14 y 18 °C (figura 9).

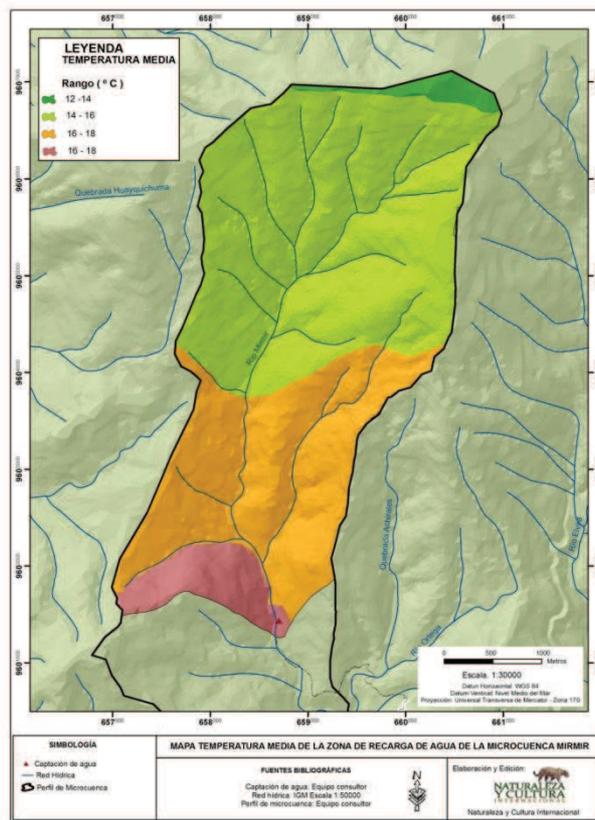


Figura 9. Temperatura media de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).

1.1.3. Cobertura vegetal, capacidad y conflictos del uso del suelo

Cobertura vegetal y uso actual

Cerca del 24% del territorio de la microcuenca El Guando está ocupada por bosque intervenido, sólo el 1% está en proceso de recuperación (matorral) y la mayor parte (75% aproximadamente) está ocupada por pastizales dedicados a la ganadería vacuna, que incluso llegan a los márgenes de los ríos y quebradas.

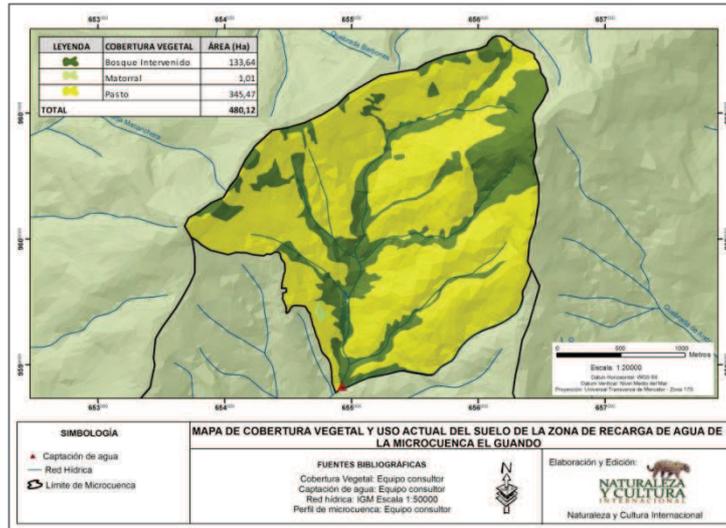


Figura 10. Cobertura vegetal de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).

Más de la mitad del territorio de la microcuenca del Mirmir (54%), está cubierta por bosque natural e intervenido, sólo el 1% está en proceso de recuperación (matorral), 6% corresponde al páramo por encontrarse sobre los 3000 m.s.n.m. y alrededor del 40% está ocupada por pastizales dedicados a la ganadería vacuna específicamente.

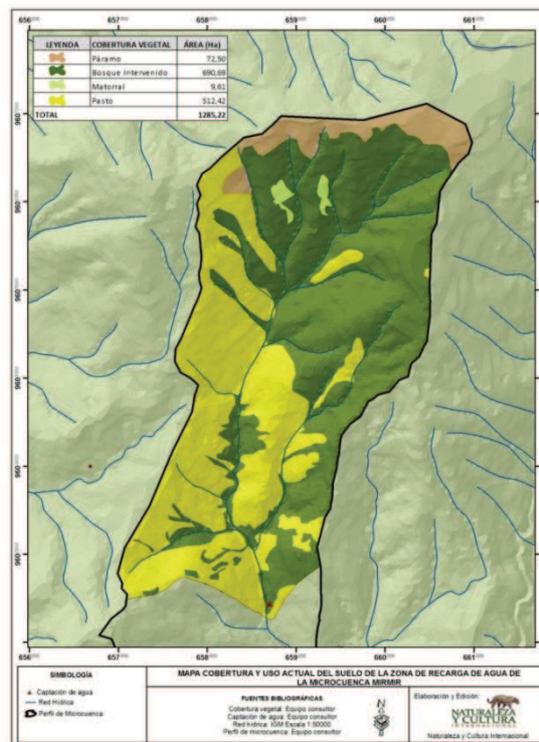


Figura 11. Cobertura vegetal de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).

Capacidad de uso del suelo

Tanto en la microcuenca del Mirmir como en la de El Guando, la actividad productiva que más se ha desarrollado ha sido la ganadería extensiva, probablemente por limitaciones físicas y topográficas, como pueden ser la lejanía a los centros urbanos, la accesibilidad, la pendiente del terreno o el clima. Esta actividad está generando el continuo avance de los pastizales hacia las zonas de bosques, sin tener en cuenta la capacidad o el uso adecuado de los suelos de las microcuencas.

Para poder definir cuál es el uso adecuado del suelo, hay que tener en cuenta los servicios ambientales que estas dos microcuencas aportan a las poblaciones del cantón, **no solo en términos ecológicos, sino también en términos de servicios básicos**, como es el suministro de agua para consumo doméstico, del cual se abastecen aproximadamente 2843 usuarios, según el estudio realizado en el 2012 por NCI.

La nueva *Ley de Aguas* define un orden de prelación en los usos del agua, en la que el consumo humano tiene prioridad por encima del riego (que garantice la soberanía alimentaria), el caudal ecológico y las actividades productivas; por tanto, teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, el uso potencial de los suelos de ambas microcuencas debe enfocarse a la recuperación y conservación de estas áreas, mediante actividades como la reforestación con especies locales o sistemas de producción agrosilvopastoriles o silvopastoriles; de modo que se permita proveer y mantener los servicios ecosistémicos encauzados a la regulación hídrica.

Para la clasificación de la capacidad de uso del suelo, se aplicó la metodología de la FAO (Manual de Campo para el Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas de Montaña, 1991), que combina los criterios de profundidad del suelo y pendiente.

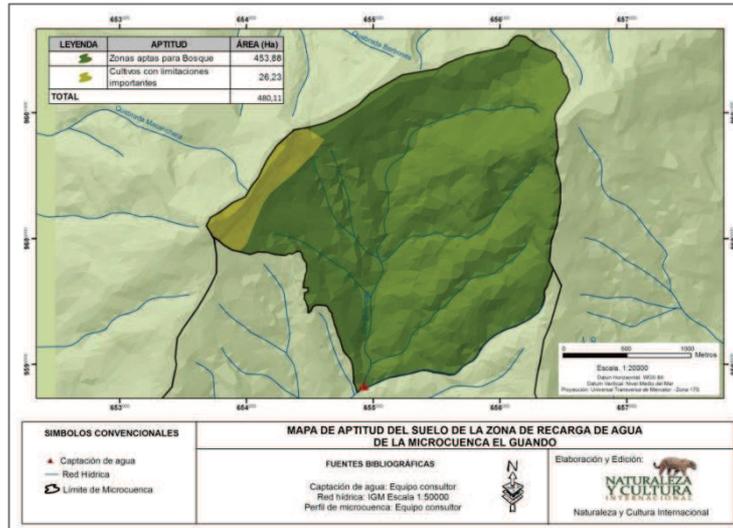


Figura 12. Capacidad de uso del suelo de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).

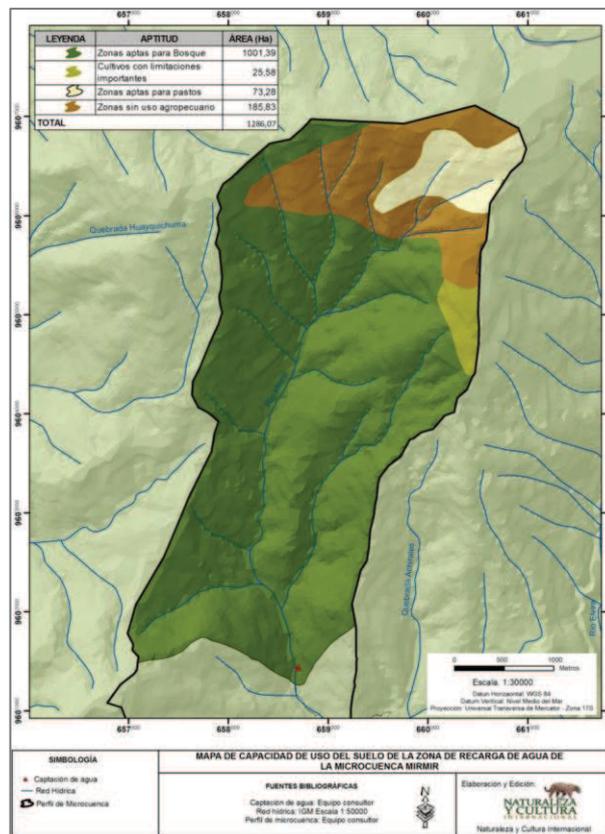


Figura 13. Capacidad de uso del suelo de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).

Conflictos de usos del suelo

Para definir los conflictos de uso del suelo, se intersecó el mapa de cobertura vegetal y la capacidad de uso del suelo, lo cual permitió identificar las zonas caracterizadas con uso adecuado, sub-utilizado y sobre-utilizado; estas clasificaciones establecidas fueron interpretadas de acuerdo al siguiente criterio:

- **Uso adecuado:** Cuando el uso actual del suelo o uso real está acorde a la capacidad de uso del suelo o uso potencial, existe equilibrio entre el aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación de la estructura físico-biótica de la microcuenca, particularmente de sus recursos hídricos.
- **Subutilizado:** Cuando el recurso suelo responde a una capacidad favorable para el aprovechamiento agrícola y/o pecuario, pero el uso actual o real está dado por actividades de mayor restricción de uso.
- **Sobreutilizado:** Cuando el uso actual o real del suelo es diferente o está por encima de lo recomendado en el uso potencial o capacidad de uso. Los recursos naturales (suelo y agua principalmente) son afectados y deben ser intervenidos para tratar de restablecerlos a su condición natural.

En la figura 14 se puede apreciar que el 30 % de los suelos de la microcuenca El Guando están siendo usados adecuadamente; el 2 % están sub-utilizados, y un 68 % (327 ha) están siendo sobre-utilizados.

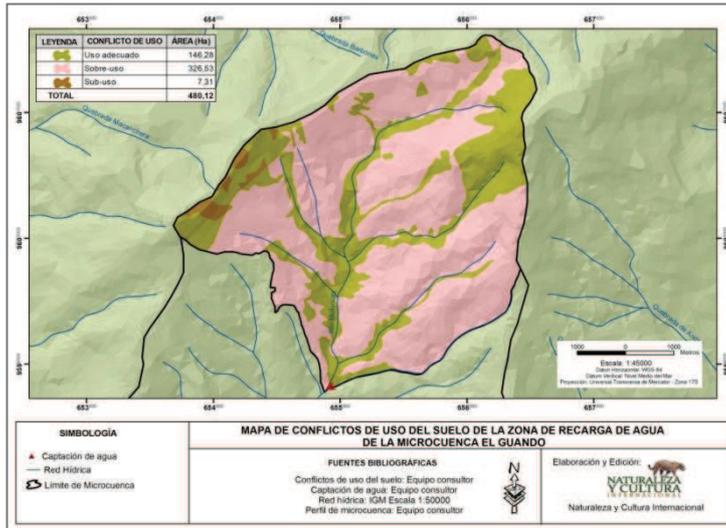


Figura 14. Conflictos de uso del suelo de la microcuenca El Guando (NCI, 2012).

En la microcuenca Mirmir (figura 15), se puede apreciar que la mayor parte (54%) de los suelos están siendo usados adecuadamente; el 8% esta sub-utilizado y un 38% (493.30 ha) están siendo sobre-utilizadas.

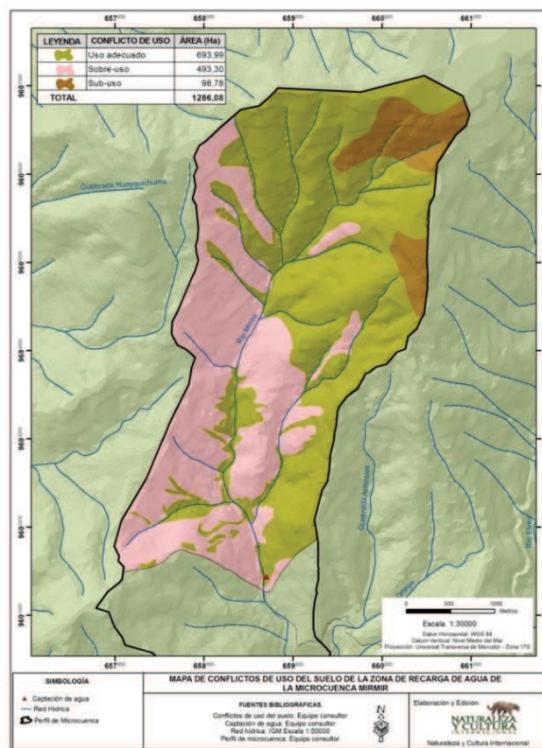


Figura 15. Conflictos de uso del suelo de la microcuenca Mirmir (NCI, 2012).

1.1.4. Biodiversidad

Vegetal

La Región Sur del Ecuador, es conocida como uno de los lugares biológicamente más diversos de los Andes y la Amazonía. Varios autores han intentado describir la vegetación y los diferentes tipos de hábitats en diferentes niveles; todos ellos coinciden en la extraordinaria complejidad ecosistémica, originada de la heterogeneidad y diversidad geotectónica, geológica, topográfica y climática.

Basados en la información disponible relacionada con el inventario ambiental de la zona de estudio, parte de cuyas referencia ya se han indicado en el párrafo anterior, se constata la existencia de gran diversidad de especies de flora silvestre, la misma que es aprovechada para diferentes fines: medicinal, cercas, insecticidas, alimentación de aves, entre otros. Entre las más representativas, se tiene:

Tabla 1. Especies vegetales representativas de las microcuencas El Guando y Mirmir (NCI, 2012).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
Caña guadua	<i>Guadua angustifolia</i> K.	Poaceae
Higuerón	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae
Cedro	<i>Cedrela montana</i>	Miliaceae
Canelo	<i>Endlicheria</i> sp.	Lauraceae
Poleo, polo polo	<i>Clocospermun vitifolium</i>	Chlocosperaceae
Guabo bejuco	<i>Inga edulis</i>	Mimosaceae
Guabo verde	<i>Inga quaternata</i>	Mimosaceae
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae
Pomarrosa	<i>Zyzygium malaccense</i>	Mirtaceae
Porotillo	<i>Erythrina smithiana</i>	Fabaceae
Balsa	<i>Ochoroma pyramidale</i>	Bombacaceae
Guabiduca	<i>Piper carpunya</i>	Piperaceae
Cascarilla	<i>Cinchona pubescens</i>	Rubiaceae
Amarillo	<i>Centrollobium paraense</i>	Fabaceae

Animal

Al igual que la flora, aún persiste un sinnúmero de especies animales, mayormente aves. En la microcuenca Mirmir permanecen la mayoría de estas poblaciones por cuanto aún se dispone de bosque primario, hábitat y refugio para gran variedad de especies de aves y mamíferos; mientras que en la microcuenca El Guando, la población de fauna silvestre es minúscula, puesto que la actividad antrópica ha alterado el ecosistema y por ende la sobrevivencia de dichas poblaciones. Entre la principal población faunística silvestre, está:

Tabla 2. Fauna representativa de las microcuencas El Guando y Mirmir (NCI, 2012).

	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
AVES	Pava de monte	<i>Penelope barbata</i>
	Loro pecho rojo	<i>Pionus sordidus</i>
	Lechuza	<i>Tyto alba</i>
	Gavilán	<i>Harpia harpyja</i>
	Loro	<i>Ara severa</i>
	Colibrí	<i>Archilochus colubris</i>
MAMÍFEROS	Venado	<i>Mazama rufina</i>
	Tigrillo	<i>Felis pardalis</i>
	Armadillo	<i>Priodontes giganteus</i>
	Guatusa	<i>Dacyprocta sp.</i>
	Zorro	<i>Vulpes vulpes</i>
	Ardilla	<i>Sciurus vulgaris</i>

1.1.5. Infraestructura hídrica

La infraestructura hídrica de la zona alta de las dos microcuencas está destinada principalmente a proveer agua para el consumo humano y uso doméstico de la población de Zaruma. En la zona baja de la microcuenca El Guando se encuentran las captaciones que proveen de agua a la población de Arcapamba, Malvas, El Osorio y Muluncay Grande.

La obra de captación de El Guando para la ciudad de Zaruma está en las coordenadas UTM 654939 m Este y 9598892 m Norte, aproximadamente a 1580 m.s.n.m.; su infraestructura es de hormigón armado y abarca un área aproxima de 60 m², está distribuida en toda la sección del río, represando el agua para luego ser

conducirla al desarenador y posteriormente a la planta de tratamiento. Esta infraestructura, ya cumplió su vida útil, por lo que sus condiciones no se encuentran en buen estado para su normal funcionamiento.



Figura 16. Infraestructura de la captación de El Guando.

La captación del Mirmir para la ciudad de Zaruma se encuentra en las coordenadas UTM 658701 m Este y 9601432 Norte, aproximadamente a 1574 m.s.n.m., la infraestructura es de hormigón armado y abarca toda la sección del cauce del río, represando el agua para ser trasladada al desarenador, y conducirla por tubería hasta la planta de tratamiento.



Figura 17. Infraestructura de la captación del Mirmir.

1.2. PROBLEMÁTICA

La creciente presión que se viene ejerciendo sobre los ecosistemas montañosos de la zona sur del Ecuador debido al avance de las zonas agrícolas, la contaminación, la quema y la deforestación como fuente de ingreso para sus pobladores, está generando graves problemas en la calidad del agua de las fuentes que abastecen a las poblaciones circundantes. Este mal uso del suelo que rodea las captaciones de agua, se ve agravado por el aumento poblacional de las cabeceras cantonales, razón por la cual se genera un déficit hídrico, principalmente en las épocas de baja pluviometría.

Estos ecosistemas, además de ser fuentes de agua para el consumo humano, son zonas de un elevado valor ecológico debido a su biodiversidad; sin embargo, a pesar de su importancia, no han sido valorados más que como un recurso desde el punto de vista económico, dejando de lado el trasfondo social, cultural y ambiental de estos recursos.

1.2.1. Presión antropogénica sobre los cauces naturales

Como se explicó en el punto “1.1. Descripción de la zona de estudio”, la caracterización de ambas microcuencas tiene en cuenta solamente la zona de escorrentía superficial que afecta a las tomas de agua cruda, no a toda la microcuenca en conjunto, por lo que para explicar la presión antropogénica que sufren los cauces de agua, se explicará primero que acciones afectan al área de influencia de estas captaciones, a la que llamaremos zona alta de la microcuenca, y luego cuales afectan a las zonas más bajas de las microcuencas, con el fin de tener una visión general de los problemas potenciales a los que están sometidas las zonas altas de ambas microcuencas.

Zona alta

La principal actividad económica que se desarrolla en estas zona es la ganadería vacuna, la cual se realiza de forma extensiva; esta afecta directamente a los cauces de agua, debido a que al no haber una barrera física que limite el paso de los animales a las masas de agua, estos deambulan libremente, depositando su excrementos a los márgenes o directamente en los ríos y quebradas, los cuales son arrastrados por la corriente y pudiendo llegar a las tomas de agua.

Otra actividad ligada directamente a la ganadería es la deforestación, la cual se realiza con el fin de ampliar el terreno dedicado a pastizales y también abastecerse de madera para la construcción de cercos. Como se puede observar en los mapas de cobertura vegetal de las microcuencas (figura 10 y 11), existen zonas en las que los pastizales lindan con los cauces de agua, sin existir bosque de ribera, lo que podría afectar a la calidad del agua, debido a que al no existir una zona de amortiguamiento de las escorrentías superficiales, podrían llegar al cauce distintos contaminantes como pueden ser partículas sólidas, excrementos o incluso pesticidas provenientes del tratamiento de los pastizales.

Del mismo modo, cualquier cambio o actuación en los márgenes de los cauces naturales, como pueden ser carreteras o asentamientos humanos, interrumpen la conectividad entre el bosque de ribera y el cuerpo de agua, lo que incide negativamente

sobre la zona de amortiguamiento de las escorrentías. Así mismo, suponen un obstáculo para las medidas de recuperación del bosque de ribera, debido a que al encontrarse cerca del cauce natural del río, ocupan el territorio destinado a la masa vegetal.

Además, al construirse nuevas vías de acceso, se incrementa la presión antropogénica sobre la microcuenca, debido a que los terrenos son más atractivos para la compra y producción de ganado u otras actividades.

Zona baja

Para conocer cuáles son los problemas potenciales a los que están sometidas las partes altas de las microcuencas, es conveniente conocer el estado de las partes bajas de las mismas, con el fin evitar que estas afecciones se propaguen aguas arriba de las vertientes.

Las zonas bajas de las microcuencas, además de estar sometidas a los mismos problemas que las altas, presentan otros de mayor envergadura como son los vertidos de aguas residuales sin tratamiento provenientes de las poblaciones, de la producción agraria o de la industria minera.

Los núcleos poblacionales que se ubican en las zonas bajas de las microcuencas, no poseen sistemas de tratamiento de aguas residuales, por lo que estas se vierten directamente a las masas de aguas, pudiendo provocar distintos problemas, tanto a las personas como al medio natural que los rodea.

Además de la ganadería bovina, en las zonas bajas de las microcuencas también se desarrollan actividades de cría de cerdos y aves, cuyos residuos, al igual que los domésticos, se vierten directamente a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo.

Sin embargo, el principal problema que afecta a las zonas bajas y que amenaza con extenderse a las partes altas de las microcuencas es la contaminación por residuos

provenientes de la actividad minera, los cuales contienen metales pesados tales como mercurio, plomo, zinc; así como compuestos cianurados, sulfuros y sulfatos, entre otros.

A pesar de no ser parte de este estudio, cabe mencionar la alarmante contaminación de los ríos de las zonas bajas de las microcuencas, así un informe de la Red Iberoamericana de Comunicación y Divulgación Científica de la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (García, 2013), señala que “la evaluación de resultados de metales pesados del monitoreo del río Puyango-Tumbes y tributarios, efectuado por los sectores públicos del Perú y Ecuador, desde el año 2001 hasta marzo del 2006, registraron niveles que superaban los límites máximos permisibles en algunas estaciones de monitoreo tanto en las aguas superficiales del río Puyango-Tumbes como en los sedimentos”.

Por tanto, es conveniente tener en cuenta, además de los problemas que afectan a las captaciones o tomas de agua, los que afectan a las partes bajas de las microcuencas, debido a que son problemas latentes que pueden presentarse en toda la microcuenca.

1.2.2. Usos del agua

El uso del agua que se extrae de las microcuencas está ligado también a los problemas que afectan a éstas, por tanto, al igual que en el estudio de la presión antropogénica sobre los cauces naturales, se separará a cada microcuenca en zona alta y zona baja.

Zona alta

El principal destino del agua que se capta de las zonas altas de las microcuencas, es al uso de la población de la ciudad de Zaruma, que cuenta con 2205 usuarios. Según el estudio hecho por el equipo de NCI, se estima que el caudal medio que se toma de la microcuenca de El Guando para el consumo de la ciudad de Zaruma es de 50 l/seg, llegando a la planta de tratamiento de agua 31,55 l/seg, lo que supone una pérdida de

18,45 l/seg; mientras que en Mirmir se toma un caudal medio de 43,12 l/s, llegando a la planta de tratamiento 37,2 l/s, lo que supone una pérdida de 5,92 l/s (NCI, 2012).

En menor medida también se toma agua para alimentar a los bebederos de vacas repartidos por toda la microcuenca, cuyo suministro se realiza de forma continua, y para el riego de pastizales en época de estiaje.

Zona baja

Al igual que en las zonas altas de las microcuencas, en las zonas bajas también se capta agua para el consumo humano, los bebederos y el riego de pastizales; pero además, se usa para el riego de cultivos agrícolas y en la actividad minera.

Las poblaciones que se abastecen de la zona baja de la microcuenca El Guando son: Arcapamba con 158 usuarios, Malvas con 140 usuarios y El Osorio con 40 usuarios; mientras que de la zona baja de la microcuenca del Mirmir, se desconoce la cantidad de usuarios que se benefician de sus aguas.

La actividad agrícola que se desarrolla en el cantón Zaruma es bastante escasa, por lo que el consumo de agua destinado a los cultivos no es elevado; sin embargo cabe señalar que según las opiniones de los agricultores locales, hace falta mayor oferta de agua destinada para el riego. Los cultivos que se irrigan en las zonas bajas son la caña de azúcar, los cítricos, los cafetos, pequeños huertos familiares, entre otros.

Otro destino del agua de las zonas bajas de las microcuencas es la minería, cuyo uso va destinado al lavado de la maquinaria utilizada en la extracción de metales, principalmente de oro; así como en el proceso extractivo en todas sus etapas.

1.2.3. Legislación referida a la calidad del agua

En este apartado se dará una visión general de la legislación vigente en relación con la calidad del agua, con el objetivo de conocer con que mecanismos cuenta el estado y las personas para la protección los recursos hídricos en el país.

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento del Agua (R.O. N° 305, 6 de agosto de 2014)

Actualmente, el sector de los recursos hídricos en Ecuador está en plena reestructuración, la cual se cimienta en la nueva “*Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento del Agua*” o también llamada “*Ley de Aguas*”, que entró en vigencia el 6 de agosto del 2014. En esta ley se crea un nuevo modelo, cuyo responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinaran a consumo humano y riego, es el Estado, que mediante una Autoridad Única del Agua pretende garantizar la soberanía alimentaria, el caudal ecológico y las actividades productivas, en este orden de prioridad.

El “Artículo 8. Gestión integrada de los recursos hídricos” dice que: “La Autoridad Única del Agua es responsable de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos con un enfoque *ecosistémico* y por *cuenca* o *sistemas de cuencas hidrográficas*, la misma que se coordinará con los diferentes niveles de gobierno según sus ámbitos de competencia”. Para el presente caso de estudio, es importante recalcar este enfoque, debido a que cada cuenca o sistema de cuenca hidrográfica se manejará de un modo particular teniendo en cuenta cuales son las necesidades de cada unidad hidrológica.

Así mismo, es necesario conocer cómo afecta la nueva Ley de Aguas al control de la calidad del agua, cuál es el mecanismo de funcionamiento de la misma en este ámbito y que competencias tienen los actores involucrados.

En el “Artículo 15” se decreta la creación de un sistema nacional estratégico del agua, el cual está constituido por un conjunto de procesos, entidades e instrumentos que

sirven para la interacción de los diferentes organismos, sociales e institucionales encargados de coordinar y organizar la gestión de los recursos hídricos del país.

Según consta en la ley, el sistema nacional estratégico del agua estará conformado por:

1. La Autoridad Única del Agua, quien la dirige.
2. El Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua.
3. Las instituciones de la Función Ejecutiva que cumplan competencias vinculadas a la gestión integral de los recursos hídricos.
4. La Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), adscrita a la Autoridad Única del Agua.
5. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD).
6. Los Consejos de cuenca.

El sistema nacional estratégico del agua tiene como objetivo articular a los actores que lo conforman, para llevar a cabo la gestión integral e integrada de los recursos hídricos; así como generar mecanismos e instancias para coordinar la planificación y aplicación de las políticas públicas referentes al agua; cada uno de estos actores tiene definidas sus competencias y atribuciones, las cuales están contempladas en los distintos artículos de la Ley de Aguas.

En el ámbito del control de calidad de las masas de aguas, el organismo competente dentro de la Autoridad Única del Agua es la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), cuyas labores se citan en el “Artículo 21” de la Ley de Aguas : “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 y zonas de recarga**, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua”; además de este organismo vinculado a la Autoridad Única del Agua, existen otras instituciones de la función ejecutiva que cumplen con competencias vinculadas, como el Ministerio de Salud encargado de la calidad del agua para consumo humano y el Ministerio del Ambiente encargado de la calidad de las aguas vertidas.

Ley de Gestión Ambiental (R.O. N° 245, 30 de julio de 1999)

La “Ley de Gestión Ambiental” actualmente vigente en Ecuador, en su “Artículo 1” establece que “los principios y directrices de política ambiental, determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia”.

En cuanto a los instrumentos de aplicación de las normas ambientales, en su “Artículo 33” establece los instrumentos necesarios para la aplicación de las normas ambientales: “Parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento”.

Por tanto, todas las acciones que puedan suponer una alteración de la calidad ambiental dentro del ámbito nacional, deberán estar sujetas a las disposiciones de esta ley y aplicar las respectivas normas ambientales.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente-TULSMA (R.O. Supl. N° 2, 31 de marzo del 2003).

Este texto reúne todas las normas relacionadas con la protección de los recursos naturales del país, las cuales se aplican bajo el amparo de la “Ley de gestión Ambiental”. Para el presente estudio nos centraremos en el “Libro VI de la Calidad Ambiental”, cuyo ámbito de aplicación se detalla en el “Artículo 1” y dice que “este libro establece los procedimientos y regula las actividades y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental. Se entiende por calidad ambiental al conjunto de características del ambiente y la naturaleza que incluye el aire, el agua, el suelo, y la biodiversidad, en relación a la ausencia o presencia de agentes nocivos que

puedan afectar al mantenimiento y regeneración de los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza”.

Anexo I del libro VI: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes, Recurso Agua (R.O. Ed. Esp. N° 270, 13 de febrero del 2015).

El objeto de esta norma es prevenir y controlar la contaminación de los recursos hídricos, protegiendo la calidad del agua, con el fin de salvaguardar la integridad de las personas, los ecosistemas y del ambiente en general. Por tanto, deberá aplicarse a todas las acciones que vayan enfocadas a la preservación, conservación o recuperación de la calidad del agua.

Esta norma determina los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado, los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos y los métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

1.2.4. Necesidad de monitoreo de la calidad del agua

Como se explicó anteriormente, los recursos hídricos de las microcuencas El Guando y Mirmir presentan alteraciones procedentes de distintas fuentes, por lo que es necesario valorar la naturaleza química, física y biológica del agua, en relación con su calidad natural, efectos humanos y uso pretendido, con el fin de conocer cómo afectan estas alteraciones y poder conocer si la actividades, tanto regularizadas y no regularizadas, cumplen con la Normativa Ambiental vigente.

Para poder llevar a cabo esta valoración de la calidad del agua, es necesario implementar medidas de control y seguimiento ambiental, las cuales, según el “Art. 254” del “Anexo I” del TULSMA, se pueden efectuar por los siguientes mecanismos:

- Monitoreos.
- Muestreos.
- Inspecciones.

- Auditorías ambientales.
- Informes ambientales de cumplimiento.
- Mecanismos establecidos en los reglamentos de actividades específicas
- Otros que la Autoridad Ambiental competente disponga.

Según Parada y Solano (2007), en el proceso de valoración de la calidad del agua, la principal herramienta para definir la condición del recurso, es el uso del monitoreo; este mecanismo de control nos permitirá conocer el éxito o el fracaso de las medidas de protección y restauración que se pretenden aplicar en el territorio de las microcuencas El Guando y Mirmir.

En referencia al monitoreo, según el “Art. 254” del “Anexo I” del “Libro VI de la calidad ambiental” (2015), lo define como “el seguimiento sistemático y permanente, continuo o periódico, que se realiza mediante reportes cuyo contenido está establecido en la normativa y en la licencia ambiental, que contiene las observaciones visuales, los registros de recolección, los análisis y la evaluación de los resultados de los muestreos para medición de parámetros de la calidad y/o de alteraciones en los medios físico, biótico, socio-cultural; esto permite evaluar el desempeño de un proyecto, actividad u obra en el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental y de la normativa ambiental vigente”. Y sigue “los monitoreos de los recursos naturales deberán evaluar la calidad ambiental por medio del análisis de indicadores cualitativos y cuantitativos del área de influencia de la actividad controlada y deberán ser contrastados con datos de muestras testigo y con datos de muestreos anteriores, de ser el caso.

1.2.5. Medidas de prevención, protección y restauración

En este apartado se citan las medidas de prevención, protección y restauración llevadas a cabo y las proyectadas, con el fin de conocer de manera general, en que consiste cada una de ellas.

Ordenanza de Reserva Municipal (Ecuador, 2012)

El 16 de agosto del año 2012, gracias a la colaboración entre el Gobierno Autónomo Descentralizado (G.A.D.) Municipal de Zaruma y la Organización Naturaleza y Cultura Internacional, se promulgó la “ORDENANZA PARA LA PROTECCIÓN DE FUENTES Y ZONAS DE RECARGA DE AGUA, ECOSISTEMAS FRÁGILES Y OTRAS ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y EL PATRIMONIO NATURAL DEL CANTÓN ZARUMA”, mediante la cual se brinda el estatus legal de acuerdo a la Constitución del 2008, declarando como RESERVAS MUNICIPALES a estas zonas. Esta ordenanza está orientada a la protección de los bosques en estado natural, espacios hídricos, ecosistemas frágiles y otras áreas prioritarias de conservación, relacionadas con los recursos naturales del cantón.

Para garantizar la aplicación de esta ordenanza, se ha implementado una tasa ambiental, la cual sirve como mecanismo para fomentar la participación ciudadana en la conservación y recuperación de estas fuentes de agua y que los programas implantados en la actualidad sirvan para obtener resultados a largo plazo.

Del mismo modo, para comprobar si estas medidas de conservación y recuperación tienen efectos positivos sobre la calidad del agua, se recomienda la realización de monitoreo periódico, con el fin de evaluar mediante distintos indicadores, el estado de los ríos y quebradas que fluyen por estas reservas.

Plan de manejo de las microcuencas Guando y Mirmir (Blacio, et al, 2011)

Este documento se realizó por encargo del GADM de Zaruma, cuyo objetivo principal fue el diseño de un plan a largo plazo para la conservación y mantenimiento de las microcuencas Guando y Mirmir, con el fin de realizar una gestión permanente del recurso hídrico. Los objetivos específicos de este plan fueron llevar a cabo la caracterización ambiental, social y económica de las microcuencas Guando y Mirmir, además de diseñar un instrumento para poner en marcha el plan de manejo de las microcuencas.

Este plan compiló distinta información necesaria para la caracterización de ambas microcuencas, la cual sirvió de base para la realización del informe realizado por la organización NCI; sin embargo, según la experiencia personal, no se han observado resultados concretos, cuyos factores se desconocen. Se recomienda que la información contenida en este documento sirva de base para la realización de futuros planes de manejo.

Ecoclubs

Se trata de una iniciativa llevada a cabo por la organización NCI, y está orientada a aumentar el conocimiento y la concientización de los estudiantes de primaria y secundaria sobre diversos temas que afectan al medio ambiente, especialmente sobre el recurso agua.

A través de talleres, se transmite a los alumnos la necesidad de preservar el medio que los rodea, con el fin de despertar un pensamiento crítico desde las aulas y que esta información llegue a sus familias, de modo que toda la sociedad sea participe de la problemática ambiental. Una de las actividades que se realizan, es la visita de los alumnos a las zonas desde donde se capta el agua para consumo, de tal manera que sean conscientes de la necesidad de preservar estas áreas.

2. INDICADORES E INDICES DE CALIDAD DE AGUA

Cuando se estudia la alteración o contaminación de las aguas, se necesitan de datos que sean capaces de indicar, mediante parámetros de calidad, los cambios en los cuerpos de agua naturales. Estos parámetros, normalmente vinculados entre sí, suministran “información cuantitativa capaz de tener sentido cualitativo” (Folch, et al., 1999). Los parámetros que habitualmente se utilizan como indicadores de calidad de agua son de tipo físico, químico y biológico, los cuales nos pueden decir el grado de contaminación de un cuerpo de agua basándose en una escala de valores previamente definida.

En cambio, los índices se refieren a “algoritmos más o menos complejos, es decir, que responden a modelos matemáticos, o como mínimo a ecuaciones, de modo que no se comportan linealmente, sino que las variaciones de cada parámetro afectan al valor final del índice de forma supeditada a los valores de los demás parámetros” (Folch, et al., 1999). Además, estos sirven de nexo entre la información real, que muchas veces es compleja y difícil de interpretar, y los requerimientos de los interesados en acceder a ella; es por esto que los índices de calidad de aguas son una importante herramienta comunicativa entre los distintos actores que intervienen en la gestión del recurso hídrico, como pueden ser ingenieros, biólogos, administradores públicos o comunidad en general, con el fin de llegar a una gestión participativa y de fácil entendimiento.

Sin embargo, a pesar de la ventaja que presentan los índices de calidad de aguas, hay que trabajar con mucho tacto con estos, debido a que algunos son capaces de solapar, por ejemplo, valores de contaminación no aceptables y dar una agua como de buena calidad, sin esta serlo. Además, la mayoría de índices en la actualidad son enfocados a ramas específicas, sin haber interacción entre estas, por lo que a efecto del uso en políticas ambientales, no son capaces de integrar el ámbito técnico con el socioeconómico.

2.1. INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA

Dentro de los indicadores de calidad de agua se pueden distinguir parámetros físicos, químicos y biológicos.

2.1.1. Físicos

Para la caracterización de las aguas dulces naturales, los parámetros físicos que habitualmente se miden son:

Turbidez

Mide la capacidad de dispersión o absorción de la luz en el agua debida a materiales en suspensión como, arcillas, limos, coloides orgánicos, plancton y organismos microscópicos. Su medición se realiza fotométricamente, con el uso de turbidímetros.

Si la turbidez es muy elevada, en el caso de que el destino de agua sea la potabilización, esta puede anular la acción de los desinfectantes, como puede ser el cloro, o producir una gran demanda de este; además, podría estimular la presencia de bacterias en el agua.

Sólidos

Los sólidos presentes en el agua se pueden clasificar en función de su sedimentabilidad, tamaño, temperatura de calcinación o biodegradabilidad. Su medición se realiza por distintos métodos, según la fracción que se desee medir.

La presencia de sólidos en el agua dificultan el paso de la luz y dan color agua, lo que puede ocasionar oscuridad en las zonas más profundas, impidiendo la actividad fotosintética de ciertos organismos. También pueden funcionar como centros activos,

adsorbiendo sustancias como microorganismos, metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos.

Color

El color en el agua está relacionado con su calidad estética, sobretodo en aguas destinadas al consumo humano. Se puede medir por comparación con materiales estandarizados o por espectrofotometría.

La coloración del agua puede indicar una posible contaminación, debido a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, sustancias inorgánicas disueltas u organismos vivos (algas).

Sabor y olor

Son parámetros indicativos de calidad estética y se determinan mediante valoraciones de tipo subjetivo, basándose en un umbral de sabor y olor.

El sabor puede ser debido a sustancias inorgánicas (alcalinas o sales metálicas) o sustancias orgánicas (algas, plancton o industriales); la ausencia de sabor en el agua no garantiza la ausencia de gérmenes patógenos o sustancias tóxicas inorgánicas.

El olor en el agua se debe fundamentalmente a la presencia de sustancias orgánicas o de tipo industrial, como puede ser la degradación anaerobia de residuos orgánicos o de compuestos orgánicos volátiles (COVs) de tipo industrial.

Temperatura

Está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con el agua; su variación puede deberse a cambios estacionales o climáticos, o también a vertidos de aguas residuales de tipo urbano o industrial.

La variación de la temperatura del agua puede alterar la diversidad de los organismos que viven en ella; además de incidir en la velocidad de las reacciones químicas y procesos biológicos. También afecta a la solubilidad de los gases, como en el caso del oxígeno, que a mayor temperatura, es menos soluble.

2.1.2. Químicos

Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias, tanto de origen orgánico como inorgánico.

Materia orgánica

Puede ser materia orgánica natural (descomposición de materia de origen humano, animal o vegetal) o sintética (residuos domésticos, industriales y agrícolas tales como detergentes, pesticidas y productos agrícolas, disolventes orgánicos o trihalometanos).

Su presencia puede disminuir la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua, debido a la demanda de este gas en el proceso de descomposición de la materia orgánica; además de aportar características indeseables en el agua de consumo humano como aparición de olor, color o sabor. En el caso de aguas destinadas a la potabilización con cloro, al reaccionar la materia orgánica con el desinfectante, se pueden formar trihalometanos; según la Organización Mundial de la Salud (OMS), estos compuestos son cancerígenos a determinadas concentraciones y tiempos de exposición largos.

La materia orgánica se puede medir de distintas formas:

- Demanda Química de Oxígeno-DQO (mg O₂/l)
- Demanda Biológica de Oxígeno-DBO (mg O₂/l)
- Carbono Orgánico Total-COT (mg C/l)
- Demanda Total de Oxígeno-DTO (mg O₂/l)
- Demanda Teórica de Oxígeno-DTO (mg O₂/l)

Materia inorgánica

De origen natural o antrópico; estas sustancias pueden ser nutrientes, aniones y cationes capaces de variar el pH del agua, la conductividad eléctrica, su dureza, o alcalinidad; además, un elemento químico vital para la conservación de la biodiversidad acuática es la concentración de oxígeno (O_2) en el agua, cuya variación está determinada tanto por parámetros físicos y químicos como biológicos.

Nutrientes

El aumento de la concentración de nutrientes en los cauces naturales puede ser debido a vertidos de aguas residuales sin tratamiento, fertilizantes usados en la agricultura o a residuos orgánicos y detergentes. Estos pueden ocasionar problemas de eutrofización, sobretodo en aguas estancadas como lagos o estanques artificiales, aumentando la turbidez y provocando variaciones drásticas de O_2 entre el día y la noche, afectando a la biodiversidad. También se pueden generar problemas de contaminación de acuíferos. Los nutrientes que se encuentran en mayor proporción son compuestos nitrogenados (N) y fosforados (P).

Aniones y cationes

El aporte de aniones y cationes en las aguas superficiales se puede producir de manera natural, cuando las aguas entran en contacto con depósitos minerales o puede originarse por residuos de la actividad industrial y agrícola, como pueden ser relaves producto de la actividad minera o vertidos de diversa índole. La actividad de algas y bacterias puede también aportar al agua aniones y cationes. Las principales especies iónicas presentes en el agua son el calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+) bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), cloruro (Cl^-) y nitrato (NO_3^-). Las especies iónicas minoritarias presentes en el agua son el aluminio (Al^{3+}), amonio (NH_4^+), cobre (Cu^{2+}), hierro (Fe^{3+} , Fe^{2+}), manganeso (Mn^{3+}), bisulfato (HSO_4^-), bisulfito (HSO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}), fluoruro (F^-), fosfatos (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$), sulfuro (S^{2-}), sulfito (SO_3^{2-}) y boro-borato (BO_3^{3-}).

Existe otro grupo de iones añadidos por el hombre, a los cuales es necesario prestarles especial atención debido a la elevada toxicidad que supone para los organismos microscópicos, plantas y animales, tales como el arsénico (As^{3+}), bario (Ba^{2+}), cadmio (Cd^{2+}), cromo (Cr^{3+} , Cr^{6+}), plomo (Pb^{2+}), mercurio (Hg^{2+}), zinc (Zn^{2+}) y cianuro (CN^-).

pH

El pH es la medida de la concentración de los iones hidrogeno, el cual puede variar en una escala de 0 a 14, siendo 7 el valor neutro; valores menores que 7 corresponden a pH ácidos y mayores corresponden a pH básicos. En aguas superficiales este puede oscilar entre 6 y 8,5 (Marín, R. 2003), y su variación está relacionada a contaminantes con grupos H^+ y OH^- .

La variación del pH se puede producir de manera natural; así por ejemplo la formación de ácido sulfhídrico (H_2S) formado en aguas poco oxigenadas y fuerte ambiente reductor, la lluvia ácida o la mineralización de la materia orgánica, puede aportar acidez a las aguas superficiales; por el contrario, puede alcalinizarse de forma natural debido a la disolución de rocas y minerales de metales alcalinos y alcalinotérreos producto del arrastre natural del agua de las microcuencas.

Esta oscilación también se relaciona a los vertidos de aguas residuales; la actividad minera, metalúrgica y química, los cuales suelen tener valores muy ácidos, mientras que las aguas de minas calcáreas o de industrias de bebidas no alcohólicas suelen presentar valores básicos (Marín, R. 2003).

Valores altos o bajos de pH pueden afectar a la biodiversidad, incidiendo de manera negativa sobre las poblaciones que viven o dependen de los cuerpos de agua; del mismo modo, se puede romper el equilibrio químico del agua, lo que puede provocar que los contaminantes se movilicen, generando ambientes tóxicos donde antes no los había.

Oxígeno disuelto

Conocer la concentración de oxígeno disuelto (OD) en las aguas superficiales es muy importante cuando se estudia la calidad del recurso hídrico y su contaminación, debido a que muchos de los procesos químicos y biológicos dependen de este gas; su solubilidad varía en función de varios factores como son la temperatura, presión, salinidad, coeficiente de solubilidad, tensión de vapor y composición fisicoquímica del agua; además, el porcentaje de saturación de este gas en el agua depende de la turbulencia y de la superficie de contacto entre el gas y el agua (Marín, R. 2003).

El oxígeno puede “entrar” al agua desde distintas fuentes: Intercambio atmosférico, fotosíntesis o aportes externos; y “salir” de esta mediante distintos sumideros: Degradación de materia orgánica, nitrificación, respiración o demanda de oxígeno desde los sedimentos. Es importante conocer cuáles son las fuentes y sumideros de O₂, con el fin de prever como va a variar su concentración y de qué manera puede afectar esta variación sobre los ecosistemas acuáticos.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del agua mide la capacidad de esta para conducir la corriente eléctrica y está relacionada con la materia ionizable total presente en el agua (aniones y cationes); por tanto, su variación puede servir de indicador de problemas de contaminación.

Dureza

La dureza es un indicador de la concentración de sales disueltas de calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺) en el agua y se relaciona con la capacidad de producir incrustaciones cuando se trata de aguas dura, es decir, con elevada concentración de estas sales; por el contrario, aguas con una mínima concentración de sales pueden ser agresivas para las conducciones de agua, pudiendo disolver el plomo y el zinc y resultar tóxicas para el consumidor.

Alcalinidad

La alcalinidad mide la capacidad del agua para neutralizar ácidos y se obtiene mediante la suma de concentraciones de los iones carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e hidróxido (OH^-), menos la concentración de iones hidrogeno (H^+).

En aguas naturales es importante conocer este parámetro debido a que valores altos de alcalinidad indican que esas aguas tienen una alta capacidad de amortiguación cuando hay una gran actividad fotosintética o recibe vertidos industriales; además, en aguas destinadas a la potabilización, una alcalinidad elevada requiere altas dosis de coagulante en el proceso de coagulación-floculación.

2.1.3. *Biológicos*

La vida de los organismos que componen los ecosistemas acuáticos depende de la interacción entre estos y los factores abióticos que los rodean (parámetros fisicoquímicos, la atmósfera y el medio terrestre circundante), de modo que cualquier alteración sobre alguno de estos factores, incide directamente sobre su población.

Por tanto, la presencia o ausencia de organismos acuáticos puede utilizarse como un indicador de calidad de las aguas; así como la diversidad que se encuentre en cada hábitat. Estos pueden variar en tamaño y complejidad, desde organismos unicelulares a grandes peces, por lo que existe un amplio rango de posibilidades de bioindicación, como pueden ser bacterias, algas, protozoos, invertebrados, peces o macrófitas; sin embargo, es necesario que la identificación de estos organismos se pueda realizar de una manera relativamente fácil para que pueda ser viable en el tiempo.

El uso de unos u otros elementos depende del objetivo de monitoreo que se persiga. Los macroinvertebrados son indicadores de la calidad general de medio acuático, y son sensibles frente a variaciones cualitativas como a estructurales; mientras que los microorganismos están indicados para estudiar principalmente alteraciones debidas a contaminación fecal antrópica o por animales.

Para el presente estudio se estudiarán dos grupos de organismos, los microorganismos patógenos y los macroinvertebrados, debido a que su uso como indicadores de calidad es el más fácil y extendido.

Microorganismos patógenos

Dentro de los microorganismos que viven en el agua, se pueden encontrar bacterias, hongos, virus, protozoos o algas capaces de producir enfermedades; sin embargo, no todos son fácilmente medibles, por lo que únicamente se tendrán en cuenta a las bacterias coliformes de origen fecal, debido a que su metodología está bien desarrollada y responden rápidamente a cambios ambientales como puede ser los vertidos domésticos o en el caso de las partes altas de las microcuencas, las heces del ganado.

Las bacterias coliformes fecales pueden vivir en el agua de manera libre o introducirse al medio acuático desde el intestino de personas y animales, pudiendo llegar a los sistemas de abastecimiento de agua y en caso de que la potabilización sea inadecuada, llegar a las personas, lo que puede ocasionar graves problemas de salud pública.

El grupo mayoritario de este tipo de bacterias son las pertenecientes al grupo *Escherichia coli*, las cuales no suponen una gran amenaza para personas sanas, pero sirven de indicadoras de contaminación microbiológica porque su presencia está relacionada con otras bacterias causantes de graves enfermedades.

Macroinvertebrados

El uso de macroinvertebrados en la evaluación del daño ecológico en los cuerpos de agua causado por los residuos domésticos e industriales se remonta a mediados del siglo XIX y es el más extendido entre los expertos que se dedican a la bioindicación, debido a la facilidad de medición que estos presentan respecto al resto de organismos; según Roldan, G. (1999), presentan las siguientes ventajas:

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar
- Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos menores
- Son sedentarios en su mayoría y reflejan las condiciones locales
- Poseen ciclos de vida largos
- Son apreciables a simple vista
- Se pueden cultivar en laboratorio
- Varían poco genéticamente
- Responden rápidamente a los tensores ambientales

Sin embargo, el problema que presentan los países tropicales, como Ecuador, respecto a otros países más nórdicos, es que la información es muy limitada, por lo que la identificación a nivel de especies o género es muy complicada debido a la falta de estudios taxonómicos. Sin embargo, a efectos de una fácil aplicación, se puede llegar solo hasta el nivel de familias, lo que nos dará una información relevante y a la vez su identificación no requiere de personal altamente cualificado.

2.2. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA

La aplicación de un Índice de Calidad De Agua (ICA) en una determinada región está condicionada por varios factores; en primer lugar hay que tener en cuenta si existen índices adaptados a las condiciones propias de la zona de estudio y que su uso tenga aceptación por los expertos que trabajan en el ámbito de calidad de aguas; en el caso de Ecuador, y más concretamente de la zona en donde está ubicadas las microcuencas El Guando y Mirmir, no se ha encontrado ICAs adaptados específicamente para esta región, por tanto se propone la utilización de índices aplicados a nivel nacional pero que han sido desarrollados en otras regiones del mundo.

Además, hay que tener en cuenta el propósito de la aplicación de los ICAs; según Ott, W. (1978), estos pueden tener las siguientes utilidades:

- *Manejo del recurso*, para facilitar información a los actores involucrados en la toma de decisiones.

- Clasificación *de áreas*, para poder comparar estado de los cuerpos de agua del área de estudio con otras regiones.
- Aplicación *de normatividad*, para determinar si se cumple la normativa ambiental respecto al recurso
- *Análisis de la tendencia*, para comprobar si la calidad del agua mejora o empeora a lo largo del tiempo.
- *Información pública*, para concienciar y educar ambientalmente a la ciudadanía.
- *Investigación científica*, para simplificar los datos y poder analizarlos fácilmente con el fin de conocer los fenómenos medioambientales de los cuerpos de agua.

Dependiendo del objetivo buscado, se optará por el uso de uno u otro índice; en el caso de las microcuencas objeto de estudio, lo que se pretende es caracterizar la calidad del agua que abastece a la población de Zaruma, con el fin de conocer su estado físico, químico y biológico, y a partir de estos datos y de la experiencia adquirida en la fase de campo, realizar propuestas para el monitoreo, no solo de la parte alta de las microcuencas, que es de donde se capta el agua para abastecimiento humano, sino de toda la microcuenca, para poder conocer los posibles puntos de contaminación aguas abajo de las captaciones.

Por tanto, se optará por la aplicación de índices sencillos, ampliamente utilizados y que respondan al uso que se pretende dar a la información.

2.2.1. Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation (ICA NSF)

Este índice fue desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos y tiene la característica de ser un índice multivariable, el cual tiene en cuenta tanto variables fisicoquímicas, como microbiológicas. La ventaja de este índice radica en que es el más empleado a nivel mundial, según la revisión bibliográfica realizada, y que tiene en cuenta pocas variables, respecto al resto de índices consultados.

El Índice NSF tiene en cuenta 9 variables, las cuales han si valoradas por el grupo de expertos encargado de su desarrollo: Coliformes Fecales, Oxígeno Disuelto (OD), desviación de la Temperatura (T^a), pH, Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5), Sólidos Totales Disueltos (STD), Turbidez, Nitratos y Fosfatos totales; cada una tiene una de curva de función, las cuales están representadas por los diferentes valores de las variables en el eje de las abscisas y por un rango de 0 a 100 en el eje de las ordenadas.

Además de estas 9 variables, hay otras 2 que generalmente no son incluidas pero pueden ser evaluadas si se requiere, estas son los pesticidas y las sustancias tóxicas; en este caso, según Fernández y Solano (2007), “si la concentración detectable de pesticidas de todo tipo excediera la cantidad de 0,1 mg/l, el ICA NSF automáticamente podría ser 0”, del mismo modo respecto a las sustancias tóxicas “se lleva a cabo un procedimiento similar, es decir, sobrepasar el límite superior permitido conlleva a un resultado de cero en el índice. Para los diferentes tóxicos, los límites superiores se tomarán de la normatividad para agua potable”.

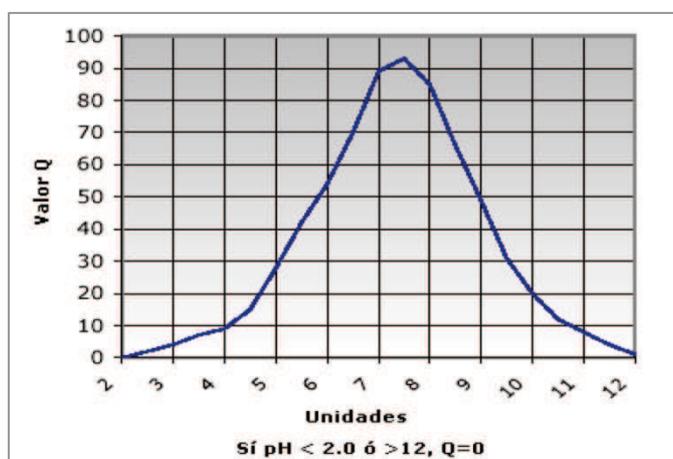


Figura 18. Ejemplo de curva de función de calidad [Fuente: Tomada y traducida por Fernández, N. y Solano, F. (2007) del URL-http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqi_nsf].

Como se observa en la figura anterior, para cada valor de la variable, en este caso el pH, se asigna un Valor de Calidad (Q), entre más bajo es la Q, menor puntuación se asigna a esa variable, por lo que menor será la el valor del índice; esto se explica en los siguientes párrafos. Las curvas de función para el cálculo de la Q se muestran en el “ANEXO 1. CURVAS DE FUNCIÓN DEL ICA NSF”.

A cada variable, además del valor correspondiente, se le asigna un peso o factor de ponderación (W), cuya suma debe dar un total de 1. Los pesos para cada variable son: DBO₅, 0,11; T^a, 0,10; pH, 0,11; STD, 0,07; OD, 0,17; turbidez, 0,08; nitratos, 0,1; fosfatos, 0,1 y coliformes fecales, 0,16. La asignación de cada peso se realizó teniendo en cuenta las valoraciones hechas por el grupo de expertos encargado de formular el índice; para ello, según Parada y Solano (2007), “se calcularon promedios aritméticos de las valoraciones para todas las variables; los pesos temporales eran calculados dividiendo la importancia de cada parámetro sobre la valoración del peso de la variable de mayor importancia, es decir, el oxígeno disuelto. Así, los pesos temporales eran divididos individualmente entre la suma de los pesos temporales, lo que produjo los pesos finales”.

Para el cálculo del valor total del Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation (ICA NSF), se usa el siguiente promedio aritmético ponderado:

$$ICA\ NSF = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot W_i$$

Dónde:

Q_i: Valor de la variable i

W_i: Factor de Ponderación de la variable i

Al realizarse una agregación del producto total ponderado, es decir, la suma del valor de los subíndices correspondientes a cada variable, se evita eclipsar el resultado, debido a que si subíndice es cero, automáticamente el índice total es cero. Además, si alguna de las variables falta, el valor total del índice puede ser recalculado por la distribución de su peso en las demás variables y recalculándolo posteriormente (Fernández y Solano, 2007).

Una vez obtenido el valor total del ICA NSF, se interpreta de acuerdo a la siguiente tabla de valoración, la cual asigna un color para cada calidad de agua:

Tabla 3. Clasificación de la calidad del agua según el ICA NSF.

VALOR ICA NSF	CALIDAD DE AGUA	COLOR
91-100	Excelente	
71-90	Buena	
51-70	Media	
26-50	Mala	
0-25	Muy mala	

Con el fin de detectar tendencias y observar el comportamiento de la contaminación en los cuerpos de agua, se elaboran gráficos colocando el índice en el eje vertical y el tiempo-distancia en el eje horizontal, generando una herramienta intuitiva de como varia o puede variar la calidad del agua a lo largo de un ciclo o periodo hidrológico.

2.2.2. Bioindicación con macroinvertebrados

Para evaluar la respuesta de las comunidades de macroinvertebrados a la contaminación, según Metcalf (1989), se distinguen tres enfoques principales: El saprobio, el de diversidad y el biótico.

El *enfoque saprobio*, se refiere a la capacidad que tienen ciertos organismos para vivir en medios que contienen sustancias orgánicas en descomposición, diferenciándose distintos niveles de saprobiidad. En este tipo de índice se tienen en cuenta no solo macroinvertebrados, sino también otros organismos acuáticos como pueden ser las algas y los hongos; además de parámetros fisicoquímicos como la DBO, el amonio y el oxígeno disuelto. Según Roldan (2003), la ventaja de este tipo de índices es que incluye gran variedad de taxones y es aplicable a todos los ríos, pero en países tropicales, como Ecuador, su aplicación sería muy complicada debido a que el reconocimiento de los organismos se debe realizar hasta el nivel de especie y esta información no está disponible de momento o es difícil de encontrar.

El *enfoque de diversidad* tiene en cuenta dos factores fundamentales de las comunidades que habitan en las aguas naturales; estos son la riqueza y la abundancia de

individuos. Una comunidad se caracteriza por tener un elevado número de especies y un bajo número de individuos, o viceversa; en el caso de hábitats influenciados por la contaminación, el número de especies suele ser bajo y la cantidad de individuos elevada, esto también se puede observar en zonas muy profundas de lagos, en zonas altas de montaña o cuando las temperaturas son extremas. Por tanto, la diversidad de individuos en una comunidad sirve como una medida de la calidad de agua; sin embargo, los resultados están condicionados a factores tales como la variación de las estaciones, al tipo de sustrato, al método de recolección o al conocimiento del personal encargado del muestreo respecto a los hábitos de los organismos.

El tercer enfoque se basa en los aspectos esenciales de la saprobiedad, teniendo en cuenta aspectos cuantitativos y cualitativos de las comunidades presentes en el agua; cuya presencia depende de la sensibilidad ecológica de los organismos a los distintos contaminantes. Este *enfoque biótico* clasifica a los macroinvertebrados entre especies tolerante e intolerantes, asignando valores que van desde 0 a 10.

Todos estos enfoques son válidos cuando se requiere llevar a cabo la evaluación ecológica de un río y la incidencia de la contaminación sobre los organismos que lo habitan; sin embargo, el empleo de uno u otro vendrá determinada por las condiciones locales.

Lo que se pretende en este estudio es la aplicación de un índice sencillo y adaptado a las microcuencas objeto de estudio; en la revisión bibliográfica se han encontrado principalmente dos índices que se usan en la región: El Andean Biotic Index (ABI) y el Biological Monitoring Working Party (BMWP).

El ABI es un índice adaptado a las condiciones y características propias de los ríos altoandinos a partir de 2000 msnm; desarrollado por Ríos et al (2011), se basa en el índice BMWP desarrollado en Reino Unido, pero teniendo en cuenta un menor número de familias que en otras regiones, debido a que la altitud restringe la distribución de los distintos organismos. En las zonas altas de las microcuencas, se cumple la condición de altura para el ABI, siendo mayor el territorio por encima de los 2000 msnm en la microcuenca Mirmir que en El Guando; sin embargo, la mayor del área de El Guando y

aproximadamente la mitad de Mirmir está por debajo de esta altura, llegando aproximadamente a los 780 msnm en el punto de drenaje de la microcuenca El Guando y a los 1760 en el punto de drenaje de la microcuenca del Mirmir, por lo que el ABI no se puede aplicar a todo el territorio de ambas microcuencas. Además, habría que estudiar la posibilidad de aplicar un índice distinto en cada zona, lo que complicaría más el estudio debido a que sería más difícil la comparación de los distintos puntos de monitoreo.

Según la revisión bibliográfica, el Índice BMWP, desarrollado en Inglaterra en 1970, ha sido acondicionado a ríos de países vecinos como Perú y Colombia, pero no se ha encontrado una adaptación para Ecuador, por lo que la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) propone la aplicación del Índice BMWP/Col en el estudio de la calidad de agua de los ríos ecuatorianos; este índice es una adaptación del BMWP a la cuenca Piedras Blancas en el departamento de Antioquia en Colombia, el cual es ampliamente usado en los países tropicales.

Además de la adaptación de Roldan, se propone también la utilización del Índice BMWP/RP-NdS acondicionado al río Pamplonita (Colombia) por el Grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Francisco de Paula-Santander, el cual tiene en cuenta alturas que van desde los 50 hasta los 2800 msnm; cuyas características son más parecidas a las microcuencas estudiadas en este trabajo de fin de master.

Por tanto, se utilizará el Índice BMWP adaptado a dos ríos del país vecino, Colombia, para evaluar la calidad del agua de las microcuencas El Guando y Mirmir, con el fin de realizar una aproximación al estudio de los macroinvertebrados presentes en ambas microcuencas y comparar si difieren significativamente los resultados obtenidos en ambos índices, y a partir de los datos obtenidos, tener una idea contrastada de la calidad del agua.

El Índice BMWP se basa en un criterio cualitativo, es decir, que solamente tiene en cuenta la presencia de los macroinvertebrados acuáticos mas no su cantidad y clasifica a las familias en grupos, a cada uno se le asigna una puntuación que va desde el 1, correspondiente a las familias más tolerantes a la contaminación, hasta el 10,

correspondiente a las familias menos tolerantes a la contaminación; sin embargo, no hay que caer en el error de que las familias con puntajes más bajos indican estrictamente aguas contaminadas, debido a que estas pueden vivir tanto en aguas muy limpias como en aguas de muy mala calidad.

En el siguiente cuadro se agrupa cada *familia* de macroinvertebrados según al *orden* al que pertenecen dentro de la clasificación taxonómica y se detalla la puntuación asignada tanto en el Índice BMWP/Col como en el BMWP/RP-NdS:

Tabla 4. Puntuaciones de las familias de macroinvertebrados incluidas en el IBMWP/Col y IBMWP/RP NdS agrupados según el orden al que pertenecen dentro de la clasificación taxonómica.

CLASIFICACIÓN	ÍNDICE		CLASIFICACIÓN	ÍNDICE	
	BMWP /Col	BMWP /RP-NdS		BMWP /Col	BMWP /RP-NdS
AMPHÍPODOS			HETERÓPTEROS		
Hyaletidae	7	6	Corixidae	7	SP
ARÁCNIDOS*			Gelastocoridae	5	3
Hydracarina(=Acariformes)	SP	4	Gerridae	8	4
Limnssiidae	10	SP	Hebridae	8	7
HYDROZOOS*			Hydrometridae	4	SP
Hydridae	10	SP	Mesoveliidae	5	SP
COLEÓPTEROS			Naucoridae	7	4
Chrysomelidae	4	SP	Nepidae	5	SP
Curculionidae	4	4	Notonectidae	7	SP
Dryopidae	7	7	Pleidae	8	4
Dytiscidae	9	3	Veliidae	8	4
Elmidae	6	4	Saldidae	8	SP
Elodidae		SP	HIRUDÍNEOS*		
Gyrinidae	9	5	Cyclobdellidae	3	3****
Haliplidae	4	4	Glossiphoniidae	3	
Hydraenidae	9	SP	NEURÓPTEROS (=MEGALÓPTEROS)		
Hydrophilidae	3	3	Corydalidae	6	5
Lampyridae	10	SP	Sialidae	6	SP
Leptinidae	SP	7	NEMATOMORPHOS		
Limnichidae	6	SP	Chordodidae	10	6
Lutrochidae	6	SP	LEPIDÓTEROS		
Noteridae	4	4	Pyralidae(=Crambidae)	5	5
Psephenidae	10	7	MOLUSCOS		
Ptilodactylidae	10	10	Ampullariidae	9	SP
Scirtidae	7	SP	Ancylidae	6	5
Staphylinidae	6	4	Hydrobiidae	8	SP
COLLÉMBOLOS*			Lymnaeidae	4	3
Isotomidae	SP	7	Physidae	3	3
CRUSTACEOS**			Planorbidae	5	3
Ostrácoda*	SP	5	Sphaeriidae	4	5
Palaemonidae	8	4	Thiaridae	5	SP
Pseudothelphusidae	8	4	ODONATOS		
DÍPTEROS			Aeshnidae	6	5
Anthomyiidae [#]	2	2	Calopterygidae	7	6
Blephariceridae	10	10	Coenagrionidae	7	5

Ceratopogonidae	3	3
Chironomidae	2	2
Culicidae	2	2
Dixidae	7	4
Dolichopodidae	4	4
Empididae	4	4
Ephydriidae	SP	2
Psychodidae	7	3
Scathophagidae [#]	2	2
Sciomyzidae	2	SP
Simuliidae	8	5
Stratiomyidae	4	2
Syrphidae	2	1
Tabanidae	5	SP
Tipulidae	3	4
EFEMERÓPTEROS		
Baetidae	7	4
Caenidae	7	4
Ephemeridae	9	SP
Euthyplociidae	10	SP
Leptohyphidae	7	5
Leptophlebiidae	9	6
Oligoneuriidae	10	7
Polymitarcidae	9	SP
HETERÓPTEROS		
Belostomatidae	5	5
Gomphidae	10	5
Lestidae	8	SP
Libellulidae	6	5
Megapodagrionidae	6	SP
Polythoridae	10	SP
OLIGOQUETOS***		
Tubificidae	1	1
PLECÓPTEROS		
Perlidae	10	8
TRICÓPTEROS		
Anomalopsychidae	10	SP
Atriptectididae	10	SP
Calamoceratidae	10	10
Glossomatidae	7	7
Helicopsychidae	8	7
Hydrobiosidae	9	7
Hydropsychidae	7	5
Hydroptilidae	7	6
Leptoceridae	8	8
Limnephilidae	SP	7
Odontoceridae	10	10
Philopotamidae	9	8
Polycentropodidae	9	7
Xiphocentronidae	9	8
TURBELARIOS		
Planariidae	7	5

[#] Anthomyiidae y Scatophagidae se agrupaban antes como Muscidae, por lo que en ambos índices aparece la familia Muscidae y separadas en estas dos.

SP: Sin puntaje., *Clase, **Subfilo, ***Subclase, ****Se refiere a todos las familias correspondientes a ese orden o clase.

Para la aplicación del índice, una vez contados e identificados todos los organismos recolectados, se procede a asignarles el puntaje correspondiente según la tabla anterior y la suma de todos los puntajes nos dará un valor único el cual nos servirá para evaluar la calidad del agua, según la siguiente tabla:

Tabla 5. Clasificación de las aguas según el puntaje total obtenido mediante el Índice BMWP (Roldan, 2003).

CLASE	CALIDAD	PUNTUACIÓN	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	>120	Aguas muy limpias	AZUL
		101 -120	Agua no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	VERDE
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	AMARILLO
IV	Crítica	15-31	Aguas muy contaminadas	NARANJA
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	ROJO

Además del valor total del IBMWP, se puede obtener el puntaje promedio por taxón, conocido como ASPT (Average Score per Taxon), el cual se calcula dividiendo el puntaje total del IBMWP entre el número total de familias encontradas, lo que nos dará un valor entre 0 y 10, este puntaje promedio es particularmente valioso para la evaluación del sitio (Roldan, 2003); valores bajos del ASPT indicará que existen problemas de contaminación graves en la zona estudiada.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar una propuesta de protocolos de seguimiento de calidad de las aguas superficiales de las microcuencas El Guando y Mirmir en función de las necesidades locales como una herramienta en la planificación hídrica.

3.2. OBJETIVOS PARCIALES

- Realizar la caracterización preliminar de la calidad del agua y las comunidades biológicas en las microcuencas de El Guando y Mirmir.
- Aplicación de un índice de calidad de aguas basado en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- Aplicación de un índice biótico basado en el estudio de los macroinvertebrados presentes en las microcuencas.

4. METODOLOGÍA

En este apartado se describe la metodología seguida para la recopilación y generación de la información necesaria para realizar una primera evaluación de la calidad de las aguas superficiales de las microcuencas El Guando y Mirmir.

Hay que tener en cuenta que el presente estudio se centró específicamente en el agua para abastecimiento de la población, por es este motivo los muestreos se realizaron antes de las captaciones; sin embargo, las propuestas de seguimiento que se propondrán más adelante, estarán enfocadas en todo el territorio de las microcuencas, con el fin de conocer como varia la calidad de agua desde las zonas de alta montaña hasta las zonas de drenaje de la microcuenca, es decir, donde se unen con otros cuerpos de agua pertenecientes a otras unidades hidrológicas.

Para poder explicar cómo se estructuró el presente estudio, se divide la metodología en 3 fases:

- Fase de planificación
- Fase de campo
- Fase de laboratorio

4.1. FASE DE PLANIFICACIÓN

La planificación empieza en la búsqueda de información respecto a las medidas que se están tomando para el cuidado de la calidad del agua que abastece a la población de Zaruma. Mediante esta búsqueda se pudo conocer el proyecto que está llevando a cabo la organización Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) juntos con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) del sur del Ecuador sobre la conservación de las fuentes de agua para abastecimiento humano; cuyos resultados publicados en el informe final del proyecto “*Caracterización de la Zona de Recarga y del Sistema de Abastecimiento de Agua de la ciudad de Zaruma*”, sirvieron de base para la realización del presente estudio.

El siguiente paso fue ponerse en contacto con los organismos responsables del cuidado de las fuentes de agua en la región; en esta etapa se encontraron algunos inconvenientes debido a que las competencias respecto a la calidad del agua en el medio natural no están definidas claramente, a causa del proceso de cambio en la legislación respecto al recurso agua que está atravesando el país, de modo que el primer contacto fue con la organización NCI, la cual trabaja en convenio con el GADM de Zaruma. Después de enviar una carta explicando las motivaciones del presente trabajo de fin de master, la organización NCI se comprometió a brindar el apoyo técnico necesario del que ellos disponen.

Una vez obtenido el apoyo de esta organización, lo siguiente fue contactar con los miembros del GADM de Zaruma, los cuales, después de explicárseles esta iniciativa académica, también manifestaron su apoyo con los medios técnicos y del personal; apoyo fundamental debido a que se pudo hacer uso del laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad. Este laboratorio cuenta con el instrumental necesario para realizar mediciones fisicoquímicas del agua (Temperatura, pH, conductividad eléctrica, color, turbidez, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, cloro, entre otros) y microbiológicas (Coliformes totales y fecales).

Otro de los organismos encargados de la gestión del recurso hídrico en la región y a nivel nacional es la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), de cuyo personal también se obtuvo el apoyo técnico para la realización de la fase correspondiente al trabajo de campo; sobre todo en el transporte hasta las zonas de montaña en donde se realizaron los muestreos.

Es muy importante matizar que el presente trabajo de fin de máster no está vinculado oficialmente a ninguno de estos tres organismos de apoyo, por lo que la organización de la fase de campo estuvo condicionada a la disponibilidad que estos brindaban, siendo necesario adecuarse a los medios disponibles; sin embargo, esta primera etapa resultó ser viable, por lo que se pudo continuar con la siguiente fase.

También cabe destacar que esta fase fue realizada desde la ciudad de estudios del autor (Valencia-España), y que los gastos de traslado hasta la región objeto de estudio fueron financiados por el rubro destinado a “*costos de investigación y tesis*” pertenecientes al presupuesto otorgado por la Secretaria de Educación Superior, Ciencia y Tecnología del Ecuador (SENESCYT).

4.2. FASE DE CAMPO

La fase de campo tuvo una duración de 6 meses, durante los cuales se realizaron 5 salidas a las captaciones de agua ubicadas en las microcuencas de El Guando y Mirmir; aunque lo ideal hubiera sido obtener como mínimo datos de un año natural, con el fin de realizar una aproximación de cómo cambia la calidad del agua a lo largo de la época seca y lluviosa.

Durante las salidas de campo se pudo constatar la problemática descrita en el apartado “1.2.1. Presión antropogénica sobre los cauces naturales” de la zona alta de ambas microcuencas. Como se puede observar en la siguiente fotografía (figura 19), realizada unos 80 m aproximadamente aguas arriba de la captación de El Guando, los excrementos de las vacas son depositados en las riberas y en el cauce del río.



Figura 19. Excrementos de vaca en el cauce y ribera del río El Guando

Del mismo modo, en cuanto la cobertura vegetal, se pudo comprobar que en ciertas zonas el bosque de ribera está prácticamente desplazado por los pastizales dedicados a la ganadería, mayormente en la microcuenca Mirmir (figura 20).



Figura 20. Cauce y zonas de ribera del río Mirmir

Además, mientras duró la fase de campo se observó la construcción de una carretera que llega hasta la captación de agua y desde allí se dirige paralela al río aguas arriba (figura 21).



Figura 21. Ribera del Mirmir cerca de la captación de agua antes y después de la construcción de la carretera.

A pesar de los inconvenientes mencionados en el apartado de problemática, la construcción de esta vía, según ganaderos y autoridades, supone una ayuda para las labores agrarias, así como para el mantenimiento de la captación de agua.

En cuanto a los usos del agua, se pudo observar bebederos para vacas repartidos por toda la zona de producción ganadera y también el riego de pastizales por aspersión, en algunas propiedades.



Figura 22. Bebedero de vacas en la microcuenca del Mirmir

Hay dos puntos de monitoreo, uno en cada microcuenca, los cuales se localizan unos 50 m aproximadamente aguas arriba de las captaciones de agua cruda:

Tabla 6. Georeferencia de los puntos de muestreo.

PUNTO	COORDENADAS UTM Zona 17		ALTURA (m)
	X	Y	
El Guando	654940	9598960	1571
Mirmir	658686	9601480	1539

En el siguiente mapa se puede localizar los puntos de monitoreo dentro del cantón Zaruma:

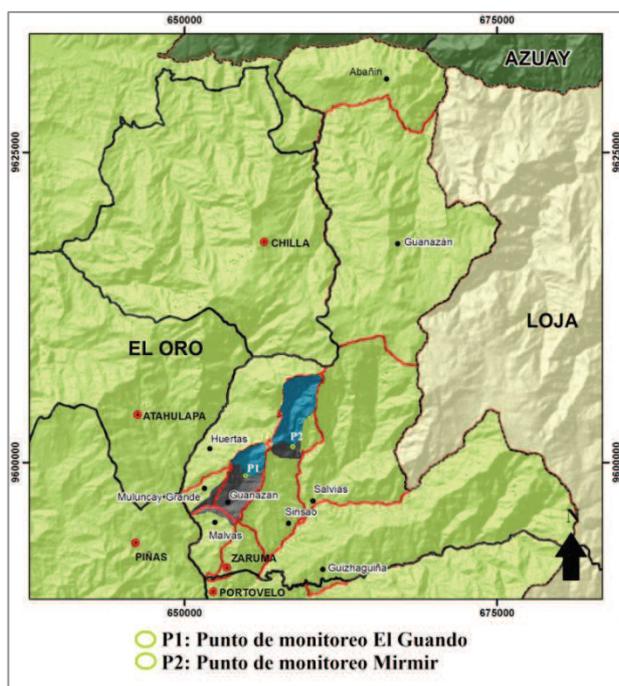


Figura 23. Ubicación de los puntos de monitoreo dentro del cantón Zaruma.

Se logró realizar salidas tanto en la época seca como al principio de la época de lluvias, por lo que se espera obtener datos representativos de la variación de la calidad del agua con ambas condiciones climáticas. Por otro lado, las fechas de salidas de campo no se pudieron realizar de una manera regular, por lo que las salidas se realizaron en función de los medios disponibles.

Tabla 7. Fechas de salidas de campo y parámetros muestreados.

PARAMETROS	SALIDAS DE CAMPO				
	28/08/2014	18/09/2014	12/11/2014	17/12/2014	30/12/2014*
Fisicoquímicos	X	X	X	X	X
Microbiológicos	X	X		X	X
Macroinvertebrados		X		X	

La fase de campo se divide en dos partes:

- 1) Mediciones realizadas in situ.
- 2) Toma de muestras para realizar su análisis en laboratorio.

4.2.1. Mediciones in situ

En el campo se midieron: Temperatura (T^a), sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), pH y turbidez.



Figura 24. Medición in situ en el río El Guando.

Antes de realizar las mediciones correspondientes a los parámetros fisicoquímicos, es necesario en primer lugar anotar en la ficha de campo la hora en la que se realizó la medición y georeferenciar el lugar de muestreo.

A continuación se detallan las características principales de los equipos utilizados, sin embargo en el “ANEXO 2. PROTOCOLOS DE MEDICIÓN IN SITU”, se describen los pasos a seguir para utilizar de manera adecuada cada equipo.

Temperatura, STD y CE

La medición de estos parámetros se realizó con un equipo multiparámetro de la marca HACH, modelo Sesión 5, el cual cuenta con una sonda capaz de medir la temperatura (°C), STD (mg/l) y CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), con una precisión de un decimal en los tres casos.



Figura 25. Medidor multiparámetro de Tra, CE y STD.

El rango de medición de esa sonda es de -10 a 110 °C para la temperatura, de 0 a 50000 mg/l para los STD y de 0 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la CE.

Oxígeno disuelto (OD)

El OD se midió con un oxímetro de la marca YSI, serie EcoSense, modelo DO200A, cuya sonda mide el porcentaje de saturación de oxígeno (%); es decir, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua en relación a la cantidad máxima de oxígeno que puede contener a la misma temperatura y presión.



Figura 26. Oxímetro.

El rango de precisión de este oxímetro es de 0 a 200 % de oxígeno disuelto en el agua; además, esta sonda cuenta con un medidor de temperatura, cuyo valor es muy importante debido a que la disolución de este gas en el agua varía con esta. Se recomienda colocar la sonda en un lugar fijo para evitar el cansancio al sostenerla, debido a que la estabilización de la lectura puede llevar varios minutos.

pH

La medición del pH se realizó con dos métodos distintos:

1. En las dos primeras salidas se utilizó un medidor de sonda multiparámetro de la marca HANNA, modelo HI-98129, el cual además mide la Tra y la CE, y tiene una precisión de dos decimales.
2. En las siguientes salidas la determinación del pH se la realizó por test de colorimetría, para lo cual se utilizó un recipiente marcado con una escala de colores, con una precisión de dos decimales. Como indicador de pH se utilizó un reactivo conocido como rojo fenol pH, de la marca WAGTECH.



Figura 27. Medidor de pH, test de colorimetría y reactivo (rojo fenol)

El rango de medición de la sonda es de 0 a 14 y el del test por colorimetría es de 6,8 a 8.

Turbidez

La turbidez del agua se midió con un turbidímetro portátil de la marca HACH, modelo 2100P, el cual mide en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) y tiene una precisión de dos decimales.



Figura 28. Turbidímetro.

El rango de medición del turbidímetro es de 0 a 1000 NTU. Se recomienda realizar esta medición un mínimo de tres veces por muestra, debido a que la lectura es inestable y puede haber variación; el valor que se tiene en cuenta es la media aritmética de todos los valores.

Georeferenciación y hora

Además, es necesario ubicar geográficamente los puntos de medición in situ y muestreo, con el fin obtener valores de calidad de agua siempre del mismo lugar. Otro dato que es necesario anotar es la hora en la que se realizaron las mediciones, debido a que hay valores como la temperatura que varía en función del momento del día.

4.2.2. Toma de muestras

Las muestras se dividen en dos tipos: Muestras de agua para su análisis químico y microbiológico en laboratorio y muestras de macroinvertebrados para su posterior identificación.

Además, para que los métodos de muestreo se realicen de manera adecuada y no existan errores en la recolección, el transporte y el almacenamiento de las muestras, se recomienda consultar las siguientes normativas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN):

- NTE INEN 2226:2013. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO.
- NTE INEN 2169:2013. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.
- NTE INEN 2176:2013. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.
- NTE INEN-ISO 19458. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO (ISO 19458:2006, IDT).
- NTE INEN-ISO 10870. CALIDAD DEL AGUA. DIRECTRICES PARA LA SELECCIÓN DE MÉTODOS Y DISPOSITIVOS DE MUESTREO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN AGUA DULCE (ISO 10870:2012, IDT).

A continuación se describe la metodología seguida para la recolección de cada tipo de muestras:

Muestreo para análisis químicos y microbiológicos

Al tratarse una muestra simple, el punto de muestreo elegido debe contener las características representativas del cauce del río, por tanto se elegirá un punto en donde la turbulencia sea media; es decir, que no sea una zona de rápidos ni tampoco una zona de agua estancada.

Es muy importante saber que volumen por muestra se necesita recoger para su análisis; en nuestro caso se necesitará 100 ml de muestra para el análisis microbiológico y 50 ml para el fisicoquímico, sin embargo se recomienda recoger el doble de muestra necesaria por si es necesario duplicar el análisis por causa de algún error en el procedimiento. En nuestro caso necesitaremos 300 ml de muestra.

Materiales:

- Botellas de polietileno de 450 ml para uso especial en laboratorio.
- Rotulador indeleble.
- Agua destilada.
- Nevera portátil.
- Bloques de hielo enfriadores para nevera portátil.

Método:

- La botella en la que se va a recoger la muestra debe estar previamente esterilizada y se debe lavar varias veces con el agua que se va a recolectar.
- Se sumerge la botella tapada hasta una profundidad media, se retira la tapa hasta que la botella se llena y se vuelve a tapar.
- Se seca la botella y se anotan los datos de la muestra:
 - Fecha y hora de la recolección.
 - Nombre del sitio de muestro.
 - Localización del punto de muestreo.
 - Nombre del recolector.

- Se guarda inmediatamente la botella en la nevera portátil, la cual contiene los bloques de hielo enfriadores.



Figura 29. Botella para la recolección de la muestra, enfriador y nevera portátil lista para ser transportada.

- Transportar las muestras al laboratorio en la mayor brevedad posible.

Muestreo de macroinvertebrados

Para la recolección de los organismos se siguió el método de “red de patada”, el cual es sencillo y rápido de realizar, y es adecuado para ríos medianamente torrentosos y poco profundos, como es nuestro caso. Este método consiste en que uno de los muestreadores tiene que ir dando patadas con los pies, removiendo piedras y hojarasca, tanto del fondo del cauce como de las orillas y el otro muestreador sujeta una red aguas abajo, con el fin de recolectar todo el material removido, entre el cual se encuentra los macroinvertebrados.

Los puntos de muestreo elegido deberán reunir características representativas del cauce, por tanto cada muestra estará compuesta de material recolectado en tres puntos del cauce: Zona de turbulencias, de remanso e intermedia.

Materiales:

- Red plástica de 1 m² y paso de 0,5 a 1 mm aproximadamente.
- Tiras de madera resistente de aproximadamente 1,5 m de largo.
- Tachuelas

- 2 Pinzas metálicas de punta fina.
- Frasco plástico de 100 ml.
- Alcohol etílico de 96 °.
- Bandeja plástica de fondo blanco de aproximadamente 50X40 cm.
- Un cubo grande y uno mediano.
- Tamiz o cernidero de aproximadamente 20 cm de diámetro.
- Rotulador indeleble o lápiz de carbón y tiras de papel vegetal.
- Lupa.
- Botas de agua.

Método:

- Antes de empezar el muestreo, se debe construir la red; para ello se la clava en los listones de madera con las tachuelas.



Figura 30. Construcción de la red de patada.

- Colocar la red aguas abajo del punto de remoción, sujetarla firmemente y darle una inclinación de aproximadamente 45°.
- Remover durante 3 minutos aproximadamente las piedras, gravas, arenas, fango, hojarasca y raíces, tanto de las orillas como del fondo del lecho del río.



Figura 31. Remoción del lecho del río.

- Lavar la red con el cubo pequeño para depositar todo el material recolectado dentro del cubo grande.



Figura 32. Lavado de la red.

- Quitar el exceso de agua de la muestra con el tamiz o cernidero.



Figura 33. Filtrado del exceso de agua de la muestra.

- Colocar la muestra lavada en la bandeja plástica de fondo blanco



Figura 34. Muestra lavada en plástica de fondo blanco.

- Verter el alcohol en los frascos sin necesidad de llenarlos del todo.
- Separar con las pinzas a los macroinvertebrados encontrados del resto de la muestra y colocarlos en los frascos con alcohol; este proceso se debe realizar por dos personas durante aproximadamente 20 minutos. Si la muestra es muy voluminosa, se recomienda fraccionarla para que la identificación de los organismos sea más fácil. Si es necesario se puede utilizar la lupa.



Figura 35. Separación de los macroinvertebrados del resto de muestra.

- Etiquetar los frascos con la siguiente información:
 - Fecha y hora de la recolección.
 - Nombre del sitio de muestro.
 - Localización del punto de muestreo.
 - Nombre de los recolectores.

- Almacenar los frascos en un lugar oscuro y fresco hasta su identificación en laboratorio.

4.3. FASE DE LABORATORIO

Esta fase se divide en tres partes:

- 1) Análisis químicos.
- 2) Análisis microbiológicos.
- 3) Identificación de familias de macroinvertebrados.

4.3.1. Análisis químicos

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de la planta de agua potable de la ciudad de Zaruma; Se determinó las concentraciones de: Nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), fosfatos totales (PO_4^{3-}) y sulfatos (SO_4^{2-})

Las determinaciones se realizaron por espectrofotometría, usando como reactivos compuestos suministrados por el fabricante. Debido a que estamos trabajando con aguas de alta montaña y poco intervenidas, la concentración de estos compuestos será baja, por lo que se utilizaron métodos de análisis de rango bajo.

Materiales:

- Espectrofotómetro de las marca HACH modelo DR2800.
- Cubetas cuadradas especiales para el espectrofotómetro.
- Sobres de reactivo en polvo NitriVer 3 (HACH).
- Sobres de reactivo en polvo NitraVer5 (HACH).
- Sobres de reactivo en polvo PhosVer3 (HACH).
- Sobres de reactivo en polvo SulfaVer4 (HACH).
- Agua destilada.



Figura 36. Espectrofotómetro HACH DR 2800

El método para la determinación de cada parámetro se detalla en el “ANEXO 3. PROTOCOLOS DE ANALISIS QUÍMICOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA”.

4.3.2. Análisis microbiológico

El método utilizado para la determinación de coliformes fecales presentes en el agua es el de filtración por membrana (FM). Este método consiste en filtrar una muestra del agua problema a través de una membrana de celulosa de tamaño de poro 0,45 μm y colocarla en un medio de cultivo durante aproximadamente 24 horas y una temperatura de $44 \pm 0,2$ °C.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de la planta de agua potable de la ciudad de Zaruma.

Materiales:

- Incubadora WAGTECH para 37 y 44 °C.
- Aparato de filtración WAGTECH.
- Ampollas de medio de cultivo m-FC con ácido rosólico MILLIPORE.
- Membranas celulosa de tamaño de poro 0,45 μm .
- Almohadillas y dispensador.
- Placas Petri.

- Alcohol metílico.
- Agua destilada.
- Pinzas metálicas.
- Mechero.
- Rotulador indeleble.

Método:

- Esterilizar el equipo de filtración, para ello se humedece con alcohol metílico las partes que van a estar contacto con la muestra y se quema con el mechero hasta que este se haya evaporado por completo y se espera a que este se enfríe.
- Colocar el soporte de membrana del sobre el frasco de filtración de color rojo.



Figura 37. Soporte de membrana y vaso de filtración.

- Abrir el sobre que contiene la membrana de celulosa con cuidado de que no entre en contacto con ninguna superficie y con la pinza esterilizada, colocarla sobre el disco poroso de bronce del aparato de filtración.



Figura 38. Colocación de la membrana de celulosa sobre el soporte del aparato de filtración.

- Colocar suavemente el tubo graduado de aluminio sobre el soporte de membrana.



Figura 39. Tubo de aluminio sobre el soporte membrana.

- Enjuagar el vaso con el agua problema, llenarlo hasta la marca superior correspondiente a 100 ml y succionar hasta filtrar toda la muestra.



Figura 40. Llenado del tubo de filtración con la muestra de agua y succión.

- Colocar la almohadilla absorbente sobre la placa Petri y verter sobre esta el medio de cultivo.

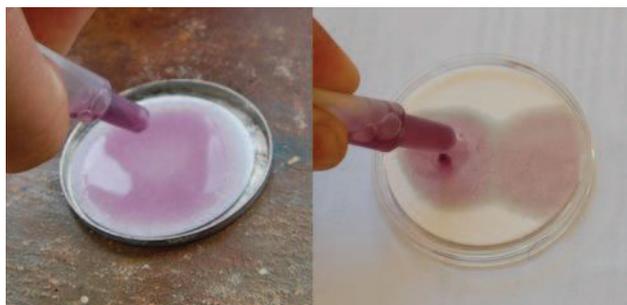


Figura 41. Medio de cultivo sobre la almohadilla.

- Retirar la membrana de celulosa con la muestra filtrada y con cuidado de no contaminarla, colocarla sobre la almohadilla con el medio de cultivo.



Figura 42. Colocación de la membrana sobre el medio de cultivo.

- Tapar la placa Petri y anotar sobre esta: Hora, fecha, coliformes fecales, nombre el analista y código de la muestra.
- Colocar la placa Petri en la incubadora y esperar como mínimo una hora antes de encenderla; esto se hace con el objetivo de resucitar a las bacterias debido al estrés fisiológico al que han sido sometidas.



Figura 43. Incubadora

- Pasado el tiempo de resucitamiento, encender la incubadora a 44 °C y esperar un tiempo aproximado de 24 horas antes de apagar la incubadora y extraer la muestra para su conteo.



Figura 44. Muestras microbiológicas incubadas

Es muy importante en todo momento trabajar en condiciones de total esterilidad, desde el muestreo, hasta el análisis de las muestras, con el fin de no contaminarlas y que no influya en los resultados.

4.3.3. Identificación de familias de macroinvertebrados

La identificación taxonómica de las *familias* de macroinvertebrados se realizó en el laboratorio de ecología del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

Para la clasificación de los organismos se utilizó la siguiente documentación de apoyo:

- Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie (Tachet, et al, 2002)
- Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col (Roldán, 2003).
- Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia (Roldán, 1988).
- Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I (Springer, *et al* 2010).
- Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos-CERAs (Rios-Touma, et al, 2011).

Las muestras se conservaron y transportaron dentro de frascos plásticos con alcohol etílico de 96° y libres de impurezas, por lo que no hizo falta lavarlas previamente para su separación e identificación.

Materiales:

- Estereomicroscopio de laboratorio marca LEICA (modelo MZ16) con cámara digital integrada (modelo DFC420) y luces.
- Cajas Petri.
- Viales de vidrio de varios tamaños con tapones herméticos.

- Pinzas entomológicas.
- Agujas de disección.
- Gotero.
- Alcohol etílico de 96^a.
- Lápiz.
- Papel vegetal.
- Tijeras.
- Fichas de laboratorio.
- Bibliografía para identificación de *familias*.



Figura 45. Estereomicroscopio utilizado en la identificación de las *familias* de macroinvertebrados (LEICA MZ16 y cámara DFC420).

Método:

- Preparar las fichas de laboratorio, las cuales deben contener:
 - Clasificación por *órdenes* y *familias* de macroinvertebrados.
 - Fecha de muestreo.
 - Fecha de identificación.
 - Lugar de muestreo
 - Código de la muestra.
- Identificar la muestra y anotar sus datos en la ficha de laboratorio.

- Vaciar la muestra en una placa Petri grande, cambiar el alcohol por uno nuevo, teniendo cuidado que los organismos queden totalmente cubiertos.



Figura 46. Muestra de macroinvertebrados lista para su separación e identificación.

- Colocar la caja Petri en el estereomicroscopio y separar los organismos en placas Petri más pequeñas, según el *orden* al que pertenecen.
- Una vez separados los organismos según el orden, identificarlos según la *familia* a la que pertenecen y fotografiarlos.
- Contarlos y anotar el número de individuos en la ficha de laboratorio.
- Cortar tiras de papel vegetal y anotar con lápiz el nombre de la *familia* y a que muestra pertenecen.
- Llenar con alcohol los diales de vidrio hasta la mitad, introducir los organismos y la tira de papel que los identifica.
- Tapar el vial y almacenar cada muestra por separado.



Figura 47. Almacenamiento de macroinvertebrados por familias.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presentación de resultados y su discusión se divide en dos partes; por un lado se muestran los valores de las variables fisicoquímicas y microbiológicas necesarias para el cálculo del Índice NSF (National Sanitation Foundation) y por otro se presentan los valores correspondientes al cálculo del Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party).

5.1. ÍNDICE NSF

De las variables necesarias para aplicar el índice de la National Sanitation Foundation (NSF), no se consiguió medir la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), debido a la falta de medios disponibles para realizar su determinación; sin embargo, según Fernández y Solano (2007), si no se pudo medir una variable, se puede dividir su peso para el resto de variables.

Además, también se midió la conductividad eléctrica (CE), nitritos y sulfatos, debido a que se contaba con los medios necesarios para realizarlos y también sirven de indicadores de contaminación del agua.

5.1.1. Físico Químicos

Los valores obtenidos en la microcuenca de El Guando se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Resultados de las variables fisicoquímicas de la microcuenca El Guando.

MICROCUENCA EL GUANDO							
COORDENADAS		Zona UTM: 17 Sistema: WGS 84 x: 654940 y: 9598960 Altitud (m): 1571					
VARIABLES	UNIDADES	28/08/14	18/09/14	12/11/14	17/12/14	30/12/14	
HORA	HH:MM	13:30	16:00	15:10	14:00	15:30	
ICA NSF	TEMPERATURA	°C	17,2	18	17,9	17,5	18,3
	pH		7,17	7,3	7,6	7,2	6,8
	STD	mg/l	12,5	13,2	13,8	13,3	13,5
	OD	%	95,5	96,7	94,3	95,9	94,7
	TURBIDEZ	NTU	0,3	0,35	0,44	0,43	1,1
	NITRATOS	mg N-NO ₃ ⁻ /l	0,5	0,3	0,5	0,6	0,7
	FOSFATOS TO.	mg PO ₄ ³⁻ /l	0,07	0,05	0,90	0,45	0,36
CE	µS/cm	27,2	28,6	30	30,3	29,3	
SULFATOS	mg SO ₄ ²⁻ /l	3	3	4	4	4	
NITRITO	mg N-NO ₂ ⁻ /l	0,018	0,011	0,011	0,013	0,011	

Los valores obtenidos en la microcuenca del Mirmir se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados de las variables fisicoquímicas de la microcuenca Mirmir.

MICROCUENCA MIRMIR							
COORDENADAS		Zona UTM: 17 Sistema: WGS 84 x: 658686 y: 9601480 Altitud (m): 1539					
VARIABLES	UNIDADES	28/08/14	18/09/14	12/11/14	17/12/14	30/12/14	
HORA	HH:MM	9:15	9:45	9:40	10:00	11:00	
ICA NSF	TEMPERATURA	°C	16,5	17	16,8	16,8	17,2
	pH		7,38	7,28	7,3	7,4	7,1
	STD	mg/l	22,1	23,2	21,2	20,6	15,4
	OD	%	98,5	98,3	99,2	97,6	97,2
	TURBIDEZ	NTU	0,5	0,23	0,49	0,45	1,5
	NITRATOS	mg N-NO ₃ ⁻ /l	0,4	0,7	0,3	0,5	0,9
	FOSFATOS TO.	mg PO ₄ ³⁻ /l	0,08	0,03	0,05	0,41	0,22
CE	µS/cm	47,1	49,6	45,6	44,2	40,1	
SULFATOS	mg SO ₄ ²⁻ /l	9	9	10	7	5	
NITRITO	mg N-NO ₂ ⁻ /l	0,01	0,009	0,012	0,011	0,012	

Para la discusión de los resultados se tendrán en cuenta los criterios de calidad de agua contenidos en el “Anexo I del libro VI” del “Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador” (TULSMA, 2015), en el cual se recoge la “Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua”.

En esta norma se recogen los límites máximos permisibles según el uso que se vaya dar al agua, en nuestro caso de estudio se tendrá en cuenta dos criterios, a los que llamaremos de aquí en adelante:

- *Criterio 1:* “De calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico y que para su potabilización solo requieren desinfección”.
- *Criterio 2:* “De calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios”.

Hay que destacar que en la última revisión del “Libro V de la Calidad Ambiental” del TULSMA (2015), no se incluyen los criterios para fosfatos (PO_4^{3-}), sólidos totales disueltos (STD) y conductividad eléctrica, por lo que para su análisis se tendrán en cuenta otras normas aplicadas a nivel nacional o internacional.

Temperatura

Para la temperatura no existe un criterio de calidad dentro de la normativa ambiental; sin embargo es un factor importante a tener en cuenta cuando existen descargas de aguas residuales de tipo urbano o industrial, debido a que su variación puede influir en las comunidades biológicas del cuerpo receptor o sobre las variables fisicoquímicas del agua.

En el caso de las zonas altas de las microcuencas El Guando y Mirmir, la variación de la temperatura está sujeta solamente a las condiciones ambientales, como se puede observar en los resultados, no existe una variación significativa a lo largo del periodo de monitoreo. La oscilación máxima de temperatura en este periodo fue de 1,1 °C en la microcuenca El guando y de 0,7 °C en la del Mirmir.

pH

Los valores de pH en la microcuenca El Guando varían entre 6,8 y 7,6, mientras que en Mirmir de 7,1 a 7,4; en ambos casos el valor se encuentra dentro del límite permisible para el criterio 1 (de 6 a 9) y 2 (de 6,5 a 9,5).

Durante el periodo de monitoreo, la oscilación del pH fue muy leve, por lo que se deduce que las condiciones se han mantenido estables.

Solidos Totales Disueltos (STD)

Los STD en la microcuenca El Guando varían entre 12,5 y 13,8 mg/l, mientras que en Mirmir van desde 15,4 a 23,2 mg/l; en el TULSMA no existe un límite máximo permisible para esta variable, así que se tendrán en cuenta los estándares secundarios para agua potable según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), cuyo valor máximo admisible es de 500 mg STD/l, por tanto en ninguna de las dos microcuencas se supera este valor.

En cuanto a la oscilación de los STD durante el periodo de monitoreo, en El Guando apenas es de 1,3 mg/l, mientras que en Mirmir es de 8,1 mg/l, coincidiendo el valor mínimo (15,4 mg/l) con el principio de la época de lluvias.

Oxígeno Disuelto (OD)

El porcentaje de OD en ambos puntos de monitoreo es elevado, llegando casi a la saturación; en El Guando el valor mínimo es de 94,3 % y el máximo de 96,7 %, mientras que en Mirmir el mínimo es de 97,2 % y el máximo de 99,2 %; según el TULSMA, el porcentaje de oxígeno disuelto en el agua debe estar por encima el 80 % según el criterio 2, pero en el criterio 1 no se incluye esta variable, por tanto, los valores obtenidos en ambas microcuencas están por encima del valor que marca el criterio 2.

Turbidez

Los valores de turbidez en la microcuenca El Guando varían entre 0,3 y 1,1 NTU, mientras que en Mirmir están entre 0,23 y 1,5; según el TULSMA, el límite máximo permisible es de 5 NTU para el criterio 1, mientras que en el criterio 2 no se incluye, por tanto se cumple la norma de calidad para aguas destinada a potabilización.

En ambas microcuencas se puede ver un aumento brusco de la turbidez en el último muestreo, el cual coincide con el inicio de la época de lluvias; esta variación se debe al arrastre de sedimentos provocado por la lluvia, la cual tiende a aumentar según avanza el invierno.

Nitritos y Nitratos

Los valores de nitritos en la microcuenca El Guando se encuentran entre 0,011 y 0,018 mg N- NO₂⁻/l, mientras que en Mirmir están entre 0,009 y 0,012 mg N- NO₂⁻/l. Es importante tener en cuenta que las unidades de medición (mg N- NO₂⁻/l) sean las mismas que las expresadas en el TULSMA (mg NO₂⁻/l); en este caso al ser distintas, hay que realizar una conversión de unidades, para ello se utiliza la relación NO₂⁻=N- NO₂⁻*2,388443. Aplicando esta conversión, se deduce que la concentración de nitritos en ambas microcuencas cumple con los criterios 1 y 2 cuyo límite máximo permisible es de 0,2 mg NO₂⁻/l en ambos casos.

En cuanto a los nitratos, en la microcuenca El Guando los valores se encuentran entre 0,3 y 0,7 mg N- NO₃⁻/l, mientras que en Mirmir están entre 0,3 y 0,9 mg N- NO₃⁻/l. Al igual que en el caso anterior, las unidades de medición (mg N- NO₃⁻/l) deben ser las mismas que las expresadas en la normativa (mg NO₃⁻/l); en este caso al ser distintas habría que realizar una conversión, para ello se utiliza la relación NO₃⁻=N- NO₃⁻*4,42664. Por tanto, se comprueba que la concentración de nitritos en ambas microcuencas cumple con los criterios 1, cuyo límite máximo permisible es de 50 mg NO₃⁻/l y con el criterio 2, cuyo límite máximo permisible es de 200 mg NO₃⁻/l.

En cuanto a la variación durante la época de monitoreo, no se observa un cambio significativo en la concentración de nitritos y nitratos; aunque en el caso de los nitratos se puede ver un ligero aumento en el último muestreo, el cual coincide con el inicio de la época de lluvias, esto puede ser debido a la escorrentía de nutrientes desde las zonas de actividad ganadera.

Fosfatos totales

En la microcuenca El Guando, la concentración de fosfatos totales en el agua varía entre 0,05 y 0,9 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{l}$, mientras que en Mirmir va de 0,03 a 0,41 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{l}$; en el TULSMA tampoco se incluye esta variable, por lo que se tendrá en cuenta el criterio de la Norma Técnica Ecuatoriana para Agua Potable (NTE INEN 1 108-2006), la cual fija el límite máximo permisible en 0,1 mg P- $\text{PO}_4^{3-}/\text{l}$; debido a que las unidades de la norma son distintas a las de medición, se debe aplicar la relación $\text{PO}_4^{3-} = 3,0645 * \text{P-PO}_4^{3-}$, quedando un límite máximo permisible de 0,30645 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{l}$.

Según los resultados, las concentraciones de fosfatos de los tres últimos muestreos en la microcuenca El Guando no cumplen con la norma para agua potable, mientras que en Mirmir no se cumple únicamente en el penúltimo muestreo. Estos valores elevados de fosfatos podrían relacionarse a causas de origen antrópico, aunque no se descarta que su origen sea natural.

Hay que tener en cuenta que en la NTE vigente (NTE INEN 1 108-2011), no se incluye el fósforo, por lo que se tuvo en cuenta la versión anterior de la norma para poder realizar la discusión de los resultados.

Sulfatos

Los valores de las concentraciones de sulfatos en la microcuenca El Guando varían entre 3 y 4 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$, mientras que en Mirmir entre 5 y 10 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$; según el TULSMA, en ambos casos se cumplen los límites máximos permisibles para el criterio 1, cuya concentración máxima permitida es de 250 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$; sin embargo, para el criterio 2 no se tienen en cuenta el contenido de sulfatos en el agua.

Como se puede observar en los resultados, las concentraciones de sulfatos en la microcuenca Mirmir son más elevadas que en El Guando; aunque esto podría deberse a causas naturales, al igual que los fosfatos, no se descarta que sea originado por causas antrópogenicas.

Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica en la microcuenca El Guando varían entre 27,2 y 30,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en Mirmir están entre 40,1 y 59,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$; en el TULSMA no existe un criterio para la CE, esto puede ser debido a que se considera una variable de tipo organoléptico, sin embargo es un valor a tener en cuenta debido a que su variación puede indicar problemas de contaminación asociados a sales disueltas de distinto origen, por lo que se tendrá en cuenta los valores de calidad de la Directiva Europea 98/83/CE, la cual fija como parámetro indicador un valor de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por tanto los valores de ambas microcuencas se encuentran muy por debajo de este límite.

Al igual que los STD, la CE oscila muy poco durante los meses de monitoreo, por lo que no se consideran cambios importantes en la calidad del agua respecto a esta variable.

5.1.2. Microbiológicos

A continuación se presentan los resultados de los análisis de coliformes fecales realizados en las dos microcuencas:

Tabla 10. Resultados de los análisis microbiológicos en la microcuenca El Guando.

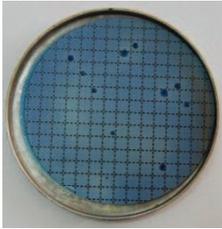
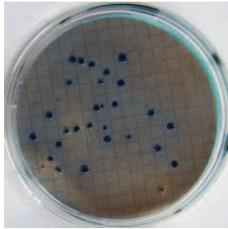
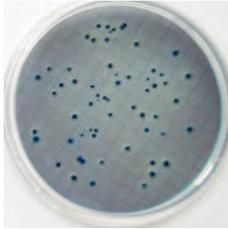
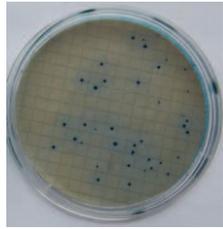
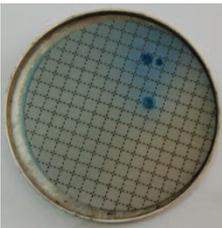
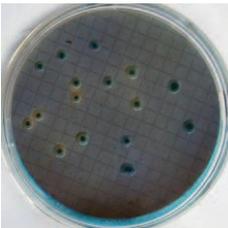
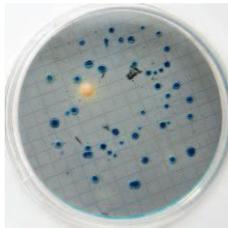
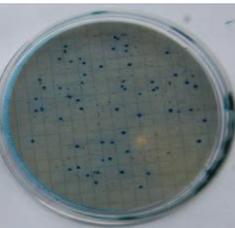
MICROCUENCA EL GUANDO			
COORDENADAS		Zona 17 Sistema WGS 84 x: 654940 y: 9598960 Altitud (m): 1571	
			
FECHA: 28/08/2014	FECHA: 18/09/2014	FECHA: 17/12/2014	FECHA: 30/12/2014
UFC/100 ml= 11	UFC/100 ml= 29	UFC/100 ml= 59	UFC/100 ml= 39

Tabla 11. . Resultados de los análisis microbiológicos en la microcuenca Mirmir.

MICROCUENCA MIRMIR			
COORDENADAS		Zona 17 Sistema WGS 84 x: 658686 y: 9601480 Altitud (m): 1571	
			
FECHA: 28/08/2014	FECHA: 18/09/2014	FECHA: 17/12/2014	FECHA: 30/12/2014
UFC/100 ml= 3	UFC/100 ml= 16	UFC/100 ml= 44	UFC/100 ml= 61

En la figura siguiente se muestra la variación de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) durante los meses de monitoreo:

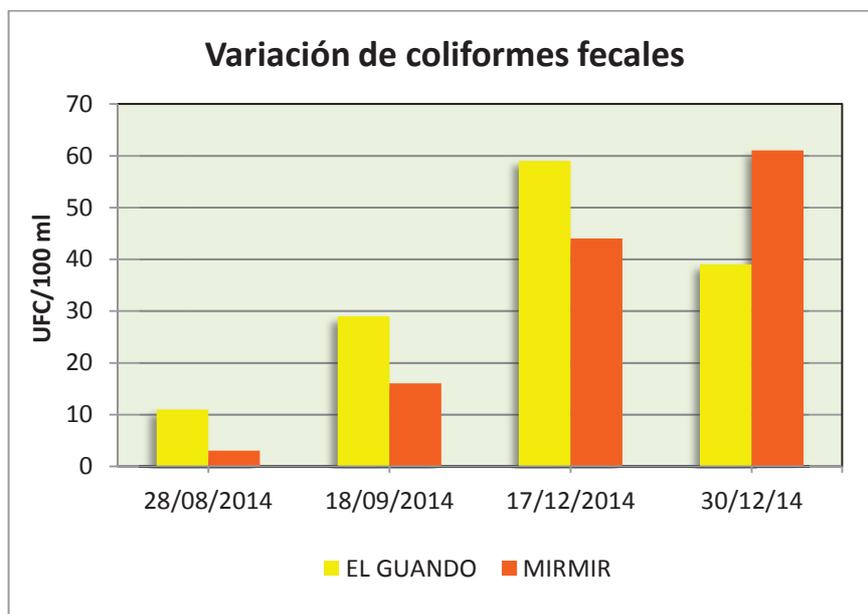


Figura 48. Variación del número de UFC en las microcuencas El Guando y Mirmir.

Los límites máximos permisibles contenidos en el “Anexo I del libro VI” del “Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA)”, en el cual se recoge la “Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua”, se expresan como el Número Más Probable por 100 ml de muestra (NMP/100 ml), sin embargo el método utilizado expresa el número de coliformes fecales como Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml de muestra (UFC/100 ml), por tanto, para la comparación de los resultados no se puede aplicar esta normativa, debido a que los métodos empleados son distintos, por este motivo se emplearán los criterios de la Directiva Europea 75/440/CEE, en la cual las unidades utilizadas son las mismas que las expresadas en el presente estudio.

En la microcuenca El Guando, el número mínimo de UFC/100 ml es de 11 y el máximo es de 59, mientras que en Mirmir el mínimo es de 3 y el máximo de 61 UFC/100 ml; según la “Categoría A1” de la Directiva Europea 75/440/CEE, la cual se refiere a aguas que únicamente requieren para su potabilización un “tratamiento físico simple y desinfección, por ejemplo, filtración rápida y desinfección”, el máximo número de UFC/100 ml es de 20 unidades; este criterio se cumple solo para el primer mes de

monitoreo en la microcuenca El Guando y para los dos primeros meses en la microcuenca Mirmir, por tanto el resto de meses se encuentran por encima del número máximo permisible para la “Categoría A1”.

Teniendo en cuenta la “Categoría A2”, aplicado a aguas que para su potabilización necesitan “tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección, por ejemplo, precloración, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección (cloración final)”, todos los meses de monitoreo cumplen este criterio, el cual fija el número máximo en 2000 UFC/100 ml.

Como se puede observar en el gráfico de variación de UFC durante los meses de monitoreo, se registra un claro aumento de bacterias fecales según se termina la época seca y empieza la época de lluvias, este aumento se podría relacionar con el arrastre de materia orgánica de origen animal desde las laderas hacia los cuerpos de agua objeto de estudio.

5.1.3. Cálculo del Índice NSF

Para el cálculo de este índice, se seguirá el método explicado en el punto “2.2.1. Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation (ICA NSF)”, en el cual se detalla el proceso a seguir.

Como se explicó anteriormente, no se pudo realizar la determinación de la DBO₅, por lo que se tiene que dividir su factor de ponderación ($W=0,1$) entre el resto de variables necesarias para el cálculo del índice NSF, siendo los nuevos pesos: Tª, 0,11375; pH, 0,12375; STD, 0,08375; OD, 0,18375; turbidez, 0,09375; nitratos, 0,11375; fosfatos, 0,11375 y coliformes fecales, 0,17375.

Para el cálculo del ICA NSF se utilizó el Software “ICATest v1.0”, desarrollado por la Universidad de Pamplona (Colombia), el cual sirve para el cálculo de distintos índices de calidad de aguas aplicados a nivel internacional. Este software se basa en las mismas curvas de función adjuntas en el ANEXO I y su aplicación es muy sencilla,

simplemente se deben introducir los datos de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de cada muestreo.



Figura 49. Mascara del programa ICATest v1.0.

Una vez calculado el índice, se genera un reporte con los datos obtenidos del Valor de Calidad (Q), el Factor de Ponderación (W), el subtotal de cada variable, el Valor Total del ICA NSF, la clasificación del tipo de agua y el color asignado:

The screenshot shows the 'ICATest v1.0 - Reporte NSF' window. It contains a summary of the test results and a detailed table of parameters. The summary includes: 'Fecha: 17/12/2014', 'Hora: 10:00', 'Lugar: Mimir', 'Analista: Alexander Espinoza Reyes', 'Valor del índice: 84,54', 'Número de parámetros: 8', 'Clasificación: Buena', 'Rango: 71-90', and 'Color: Verde'. Below the summary is a table with the following data:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor pond.	Subíndice
DBO				
Oxígeno disuelto	97,6	98,9	0,18	17,8
Coliformes fecales	44	53,8	0,17	9,15
Nitratos	2,2133	93,93	0,11	10,33
pH	7,4	93	0,12	11,16
Temperatura	0,2	92,2	0,11	10,14
Sólidos totales	20,6	84,03	0,08	6,72
Fosfatos totales	0,1248	95,01	0,11	10,45
Turbidez	0,45	97,65	0,09	8,79

Figura 50. Reporte del ICATest v1.0 para el ICA NSF.

A continuación se detallan los resultados obtenidos del Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation para ambas microcuencas:

Tabla 12. Resultados del ICA NSF en la microcuenca El Guando.

MICROCUENCA EL GUANDO														
VARIABLE	UNIDADES	W	28/08/2014			18/09/2014			17/12/2014			30/12/2014		
			Valor	Q	Subtotal	Valor	Q	Subtotal	Valor	Q	Subtotal	Valor	Q	Subtotal
Temperatura*	°C	0,11	17,2	88,6	9,75	18	89,8	9,88	17,5	91	10,01	18,3	89,8	9,88
pH		0,12	7,17	91,4	10,97	7,3	92,5	11,1	7,2	92	11,04	6,8	83	9,96
STD	mg/l	0,08	12,5	82,5	6,6	13,2	82,64	6,61	13,3	82,66	6,61	13,5	82,7	6,62
OD	%	0,18	95,5	98,38	17,71	96,7	98,68	17,76	95,9	98,48	17,73	94,7	90,33	16,26
Turbidez	NTU	0,09	0,3	98,1	8,83	0,35	97,95	10,52	0,43	97,71	8,79	1,1	95,7	8,61
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /l	0,11	2,21	93,93	10,33	1,33	95,67	8,82	2,66	91,72	10,09	3,10	88,03	9,68
Fosfatos T.	mg P-PO ₄ ³⁻ /l	0,11	0,021	99,15	10,91	0,015	99,39	10,93	0,107	95,74	10,53	0,110	95,62	10,52
Coliformes F.	NMP/ 100 ml	0,17	11	70,5	11,99	29	58,6	9,96	59	50,2	8,53	39	55,4	9,42
TOTAL ICA NSF					87,09		85,58		83,33		80,95			

*El valor de la temperatura se introduce como “cambio de temperatura” entre muestreos.

Tabla 13. Resultados del ICA NSF en la microcuenca Mirmir.

MICROCUENCA MIRMIR														
VARIABLE	UNIDADES	W	28/08/2014			18/09/2014			17/12/2014			30/12/2014		
			Valor	Q	Subtotal	Valor	Q	Subtotal	Valor	Q	Subtotal	Valor	Q	Subtotal
Temperatura	°C	0,11	16,5	90,2	9,92	17	91	10,01	16,8	92,2	10,14	17,2	91,4	10,05
pH		0,12	7,38	92,9	11,15	7,28	92,4	11,09	7,4	93	11,16	7,1	90	10,8
STD	mg/l	0,08	22,1	84,1	6,73	23,2	84,16	6,73	20,6	84,03	6,72	15,4	83,08	6,65
OD	%	0,18	98,5	99	17,82	98,3	99	17,82	97,6	98,9	17,8	97,2	98,8	17,8
Turbidez	NTU	0,09	0,5	97,5	8,78	0,23	98,31	8,85	0,45	97,65	8,79	1,5	94,5	8,5
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /l	0,11	1,77	95,23	10,48	3,10	88,03	9,68	2,21	93,93	10,33	3,98	70,32	7,74
Fosfatos T.	mg P-PO ₄ ³⁻ /l	0,11	0,024	99,02	10,89	0,009	99,64	10,96	0,125	95,01	10,45	0,067	97,32	10,71
Coliformes F.	NMP/ 100 ml	0,17	3	86	14,62	16	66	11,22	44	53,8	9,15	61	49,8	8,47
TOTAL ICA NSF					90,39		86,36		84,54		80,72			

*El valor de la temperatura se introduce como “cambio de temperatura” entre muestreos.

En la siguiente tabla se muestra la variación del ICA NSF durante los meses de monitoreo:

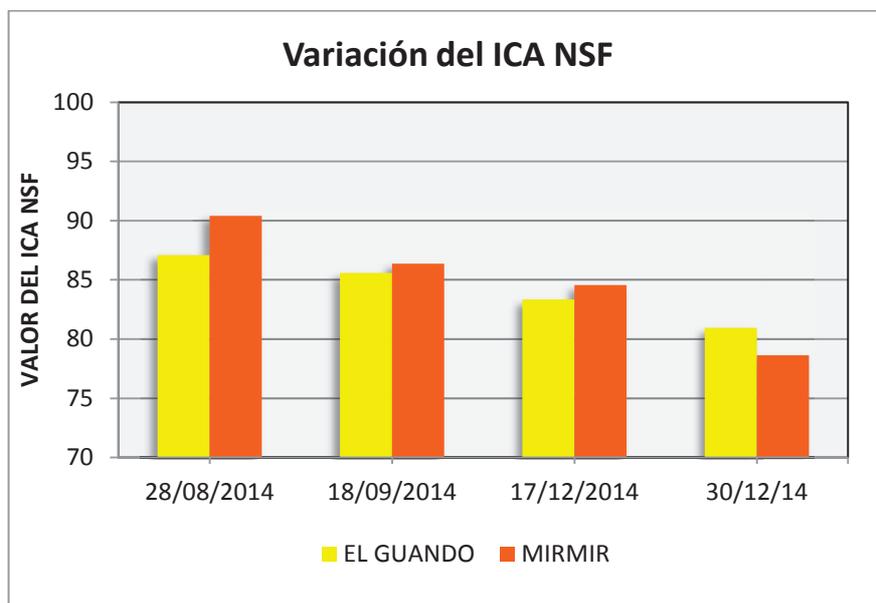


Figura 51. Variación del ICA NSF en las microcuencas El Guando y Mirmir.

Como se puede observar en las dos microcuencas, el valor del ICA NSF se encuentra en un rango de 71-90, el cual corresponde a agua de BUENA CALIDAD-VERDE según la “tabla 3. Clasificación de la calidad del agua según el ICA NSF”; Sin embargo en el primer mes de monitoreo de la microcuenca Mirmir, el valor se encuentra entre 90 Y 91, siendo 91 el valor para aguas de EXCELENTE CALIDAD-AZUL.

Como se puede observar en la gráfica de variación del ICA NSF durante los meses de monitoreo, se ve una clara disminución del valor del índice, por tanto de la calidad, según se avanza a la época de lluvias; al igual que en el caso de los indicadores físicoquímicos y microbiológicos, se relaciona la disminución de la calidad con el arrastre de sedimentos ocasionado por las precipitaciones.

5.2. ÍNDICE BMWP Y PROMEDIO ASPT

Para realizar el cálculo del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), es necesario hacer una lista de todos los macroinvertebrados acuáticos recolectados en cada muestreo y asignarles la puntuación respectiva a cada *familia* y adaptación, cuyo sumatorio nos dará el valor total del índice.

5.2.1. Macroinvertebrados recolectados

En la tabla siguiente se detallan los macroinvertebrados recolectados en los puntos de monitoreo y el número de individuos de cada familia:

Tabla 14. Número de individuos de cada *familia* encontrados en las microcuencas El Guando y Mirmir.

ORDEN	MICROCUENCA EL GUANDO		MICROCUENCA MIRMIR	
	18/09/2014	16/12/2014	18/09/2014	16/12/2014
AMPHÍPODA				
Hyalellidae				1
ARÁCNIDOS*				
Hydracarina		1	1	
COLEÓPTEROS				
Dryopidae	15	3		6
Dytiscidae	1			1
Elmidae	6	9	15	29
Gyrinidae		1		
Hydrophilidae			3	3
Psephenidae	3	31	42	64
Ptilodactylidae	3	22	26	56
CRUSTÁCEOS**				
Pseudohelmsidae				2
Isópoda	1			
DÍPTEROS				
Athericidae	2	12	6	6
Blephariceridae			1	
Chironomidae	8		11	1
Dixidae	2			
Simuliidae	8		6	
Tabanidae		1		1
Tipulidae	3			
EFEMERÓPTEROS				
Baetidae	5	3	31	

Leptohyphidae	85		89	7
Leptophlebiidae	10		6	
Oligoneuriidae			4	1
HETEROPTEROS				
Naucoridae	2	5	3	28
Veliidae	1	1	7	6
NEURÓPTEROS/MEGALOPTEROS				
Corydalidae	1	7	1	
LEPIDÓTEROS				
Pyralidae				2
ODONATOS				
Calopterygidae	1	1		2
Polythoridae	2	18	4	11
OLIGOQUETOS***				
Turbificidae				1
PLECÓPTEROS				
Perlidae	4		1	6
TRICÓPTEROS				
Calamoceratidae	38	11	5	27
Glossomatidae			3	
Helicopsychidae				1
Hydrobiosidae			5	
Hydropsychidae	34	32	71	15
Philopotamidae	2		3	3
Polycentropodidae	3			1

*Clase, **Subfilo, ***Subclase, SP: Sin puntaje

5.2.2. Fichas de las familias de macroinvertebrados recolectados

Para la realización de estas fichas se utilizó la misma documentación de apoyo utilizada para la identificación de los organismos acuáticos; además, también se consultó la página web del Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica (INBio) y la del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (MAGRAMA).

A continuación se adjuntan las fichas de cada una de las familias de macroinvertebrados recolectadas, con sus características principales y el hábitat en donde se los puede encontrar:

Orden amphípoda



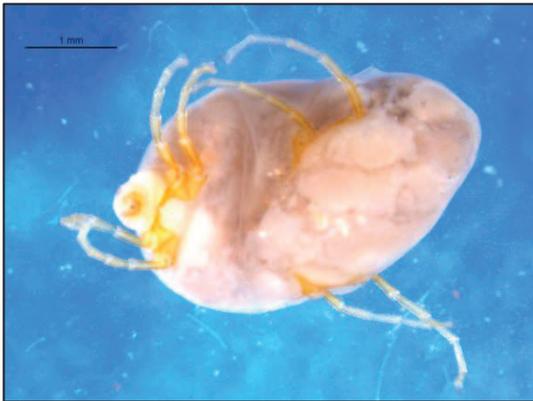
FAMILIA: Hyalellidae.

Características: Mide entre 3 y 20 mm, son blanquecinas o amarillentas y suelen formar densas poblaciones.

Hábitat: Viven tanto en corrientes como en remansos, entre la materia orgánica en descomposición.

Figura 52. Macroinvertebrados recolectados: Orden amphípoda.

Clase arácnidos



FAMILIA: Hydracarina.

Características: Miden entre 1 y 7 mm, los adultos tienen 4 pares de patas, tienen forma circular y globosa, muy pequeñas y generalmente presentan colores brillantes como el rojo.

Hábitat: Viven en los sedimentos o asociados a la vegetación acuática.

Figura 53. Macroinvertebrados recolectados: Orden arácnidos.

Orden coleópteros



FAMILIA: Dryopidae (adulto).

Características: Miden de 3 a 8 mm según la especie, su cuerpo puede estar cubierto de pelos o ser lisos, poseen antenas cortas y compactas y su cabeza esta introducida en el protórax casi completamente.

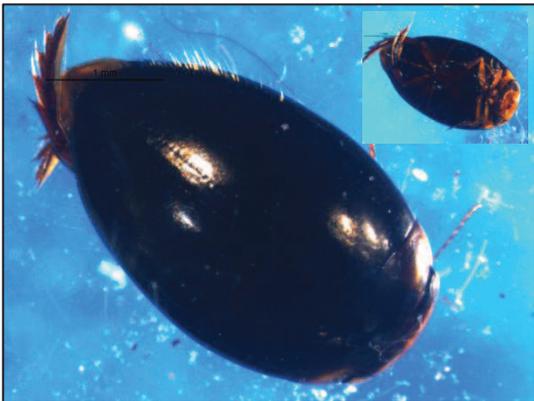
Hábitat: La mayoría viven en aguas lólicas, entre las piedras, troncos y residuos vegetales.



FAMILIA: Dytiscidae (larva).

Características: Son alargados y poseen unas fuertes mandíbulas; sus patas medias y anteriores son más cortas que las posteriores.

Hábitat: Viven asociados a la vegetación y zonas de deposición, tanto en aguas lénticas como lólicas.



FAMILIA: Dytiscidae (adulto).

Características: Existe una gran variedad de especies, son de color oscuro y pueden ser globosos o aplanados dependiendo de la especie; además pueden medir desde 2 hasta 40 mm. Sus patas posteriores son más largas que las anteriores y medias, y poseen pelos que les ayudan a nadar.

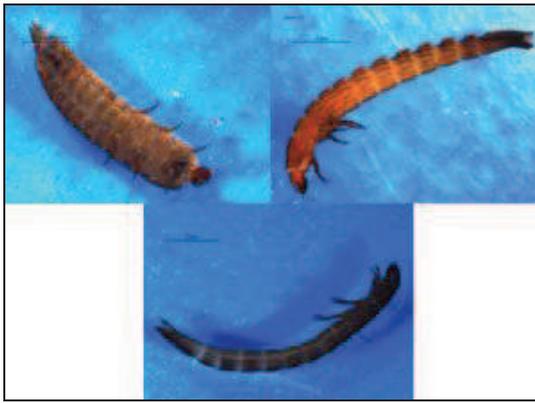
Hábitat: Viven en zonas de aguas lénticas.



FAMILIA: Elmidae (adulto)

Características: Miden entre 1 y 10 mm según la especie, su cabeza está metida en el protórax, se pueden confundir con la familia dryopidae, sin embargo los elmidos tienen sus antenas alargadas.

Hábitat: Viven en aguas corrientes, entre las rocas, musgos y troncos u orillas de las corrientes.



FAMILIA: Elmidae (larva).

Características: Miden de 8 a 10 mm, la longitud de las antenas es menor que la cabeza, generalmente alargados, algunos son anchos y planos, su cuerpo tiene 9 segmentos, poseen un abdomen duro y tienen 2 ganchos anales sobre el opérculo.

Hábitat: Normalmente comparten hábitat con los adultos de la misma familia.



FAMILIA: Gyrinidae (larva).

Características: Miden entre 3 y 30 mm, poseen branquias laterales.

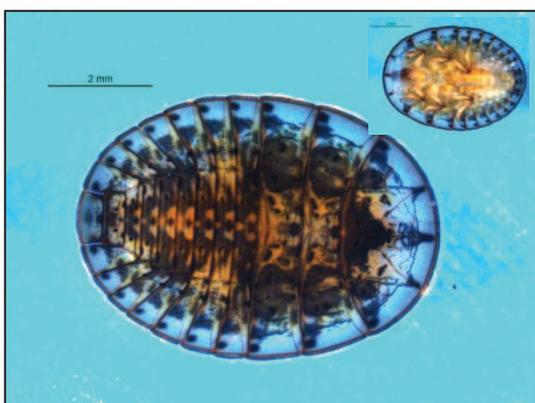
Hábitat: Generalmente viven en aguas lénticas, en las orillas de los ríos y lagos.



FAMILIA: Hydrophilidae (adulto).

Características: Miden entre 1 y 50 mm, son lisos y sin pelos en su parte superior pero tienen pelos cortos en su parte inferior, palpos maxilares alargados, incluso más que las antenas.

Hábitat: Viven tanto en aguas lénticas como lóxicas, entre la vegetación marginal y emergente.



FAMILIA: Psephenidae (Larva).

Características: Miden entre 2 y 6 mm, su cuerpo es ovalado y segmentado, las agallas poseen un par de penachos filamentosos y son de color amarillento o café claro.

Hábitat: Se encuentran en aguas lóxicas, debajo de residuos vegetales, troncos y piedras.



FAMILIA: Ptilodactylidae (larva).

Características: Miden entre 5 a 12 mm, poseen cuerpo cilíndrico y alargado; tiene 2 apéndices cubiertos de espinas.

Hábitat: Viven en aguas lóxicas, sobre arena, residuos vegetales y cascajo.

Figura 54. Macroinvertebrados recolectados: Orden coleópteros.

Subfilo crustáceos



FAMILIA: Pseudothelphusidae

Características: Además de branquias, posee pseudopulmones que les permite estar fuera del agua por más tiempo.

Hábitat: Vive en las orillas de aguas corrientosas.



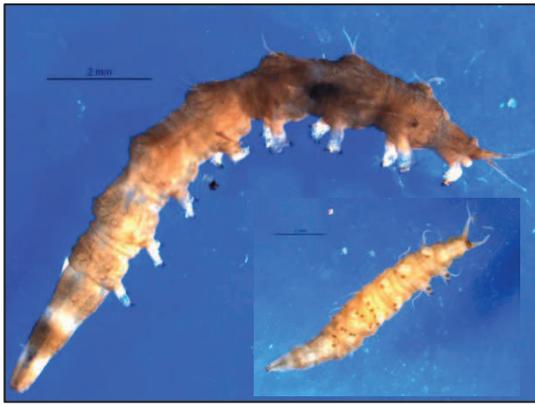
FAMILIA: Isópoda

Características: Miden entre 5 y 10 mm de largo, su cuerpo puede ser aplanado o delgado y alargado

Hábitat: Son bentónicos, es decir, viven sobre fondo del río.

Figura 55. Macroinvertebrados recolectados: Subfilo crustáceos.

Orden dípteros



FAMILIA: Athericidae (larva).

Características: Miden hasta 10 mm, su capsula cefálica está incompleta, a menudo retraída en el tórax, mandíbulas en forma de gancho, poseen pseudópodos, tienen tubérculos laterales y dorsolaterales en los segmentos abdominales y tiene el extremo caudal con prolongaciones más largas que el último par de pseudópodos.

Hábitat: Viven entre la vegetación en zonas de corriente rápida.



FAMILIA: Blephariceridae (larva).

Características: Miden entre 7 y 8 mm, tienen el cuerpo segmentado y poseen ventosas ventrales para adherirse a las rocas.

Hábitat: Viven en aguas lóaticas, sobre cascadas y rocas.



FAMILIA: Chironomidae (larva).

Características: Miden entre 2 y 10 mm, son alargados y cilíndricos, tiene la cabeza capsulada no retráctil y esclerotizada, poseen 2 pseudopatas en el protórax y prolongaciones en el último segmento abdominal.

Hábitat: Viven en aguas lóaticas y lénticas con abundante materia orgánica en descomposición.



FAMILIA: Dixidae (larva).

Características: Miden de 3 a 7 mm, poseen un par de prolongaciones ventrales en los dos primeros segmentos abdominales y tienen el segmento 5°, 6° y 7° con placas esclerotizadas.

Hábitat: Viven tanto en aguas lóaticas como lénticas, adheridos a la vegetación y a sustratos rocosos.



FAMILIA: Simuliidae (larva).

Características: Miden de 3 a 15 mm, tiene su cuerpo en forma de botella, poseen una pseudopatas; posee un anillo anal con ganchos diminutos y tiene papilas anales.

Hábitat: Viven en zonas corrientosas, fuertemente adheridos al sustrato.



FAMILIA: Tabanidae (larva).

Características: Miden entre 20 y 40 mm, su capsula cefálica esta débilmente esclerotizada y es retráctil, presentan un sifón respiratorio terminal, poseen anillos con pequeños tubérculos en el abdomen y pueden tener pseudopatas.

Hábitat: Viven tanto en aguas lénticas como lóticas donde hay abundante materia orgánica en descomposición.



FAMILIA: Tipulidae (larva).

Características: Tiene la capsula cefálica retráctil, metida completa o incompletamente dentro del tórax, presenta segmentación abdominal y espiráculos terminales rodeador por lóbulos carnosos.

Hábitat: Normalmente viven en los sedimentos, entre las hojas del fondo de corrientes o en el material vegetal en descomposición.

Figura 56. Macroinvertebrados recolectados: Orden dípteros.

Orden efemerópteros



FAMILIA: Baetidae (ninfa).

Características: Tienen cuerpos delgados y branquias en forma de láminas ovaladas; su cuerpo está modificado para nadar.

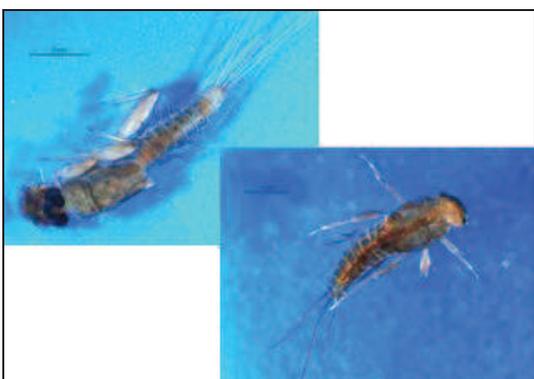
Hábitat: Viven en aguas rápidas, agarradas a las piedras, troncos, hojas o vegetación sumergida.



FAMILIA: Leptohyphidae (ninfa).

Características: Son pequeños y robustos, con el segundo par de branquias operculadas, este par (oval o triangular) es grande y no se juntan en la mitad del cuerpo.

Hábitat: Viven entre las piedras, hojarasca sumergida y vegetación acuática, en donde se refugian de las corrientes fuertes.



FAMILIA: Leptophlebiidae (ninfa).

Características: Miden entre 6 y 15 mm, poseen branquias bifurcadas y a simple vista se pueden confundir con otras familias como heptageniidae.

Hábitat: La mayoría de especies viven en aguas lóxicas, entre la vegetación, residuos vegetales y debajo de rocas.



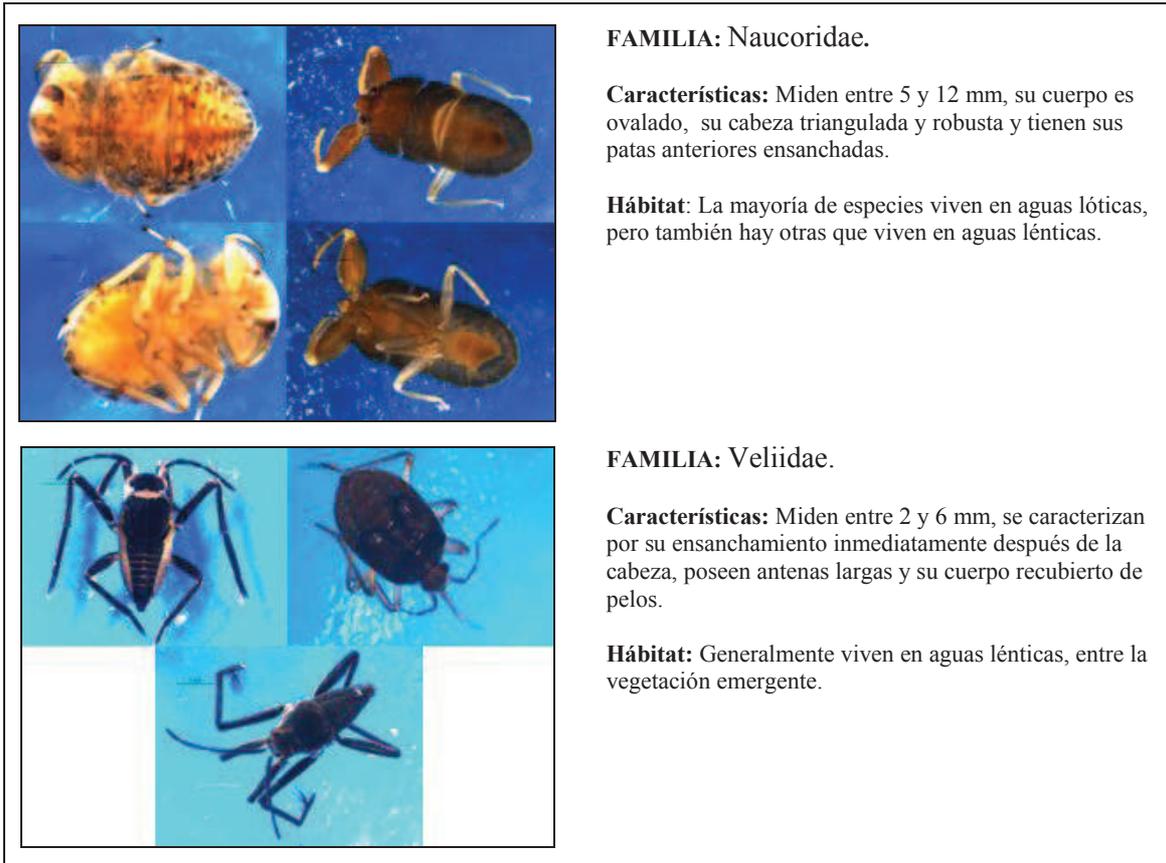
FAMILIA: Oligoneuriidae (ninfa).

Características: Mide entre 10 y 22 mm, poseen 2 filamentos caudales; se caracterizan por tener una doble fila de pelos en el interior de las patas anteriores.

Hábitat: Viven en aguas rápidas, debajo de hojas, troncos y piedras.

Figura 57. Macroinvertebrados recolectados: Orden efemerópteros.

Orden heterópteros



FAMILIA: Naucoridae.

Características: Miden entre 5 y 12 mm, su cuerpo es ovalado, su cabeza triangulada y robusta y tienen sus patas anteriores ensanchadas.

Hábitat: La mayoría de especies viven en aguas lóaticas, pero también hay otras que viven en aguas lénticas.

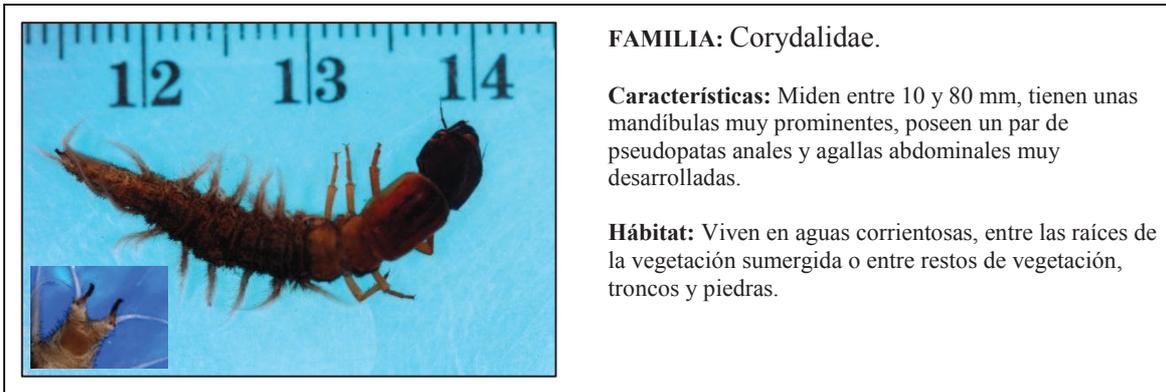
FAMILIA: Veliidae.

Características: Miden entre 2 y 6 mm, se caracterizan por su ensanchamiento inmediatamente después de la cabeza, poseen antenas largas y su cuerpo recubierto de pelos.

Hábitat: Generalmente viven en aguas lénticas, entre la vegetación emergente.

Figura 58. Macroinvertebrados recolectados: Orden heterópteros.

Orden neurópteros/megalópteros



FAMILIA: Corydalidae.

Características: Miden entre 10 y 80 mm, tienen unas mandíbulas muy prominentes, poseen un par de pseudopatas anales y agallas abdominales muy desarrolladas.

Hábitat: Viven en aguas corrientosas, entre las raíces de la vegetación sumergida o entre restos de vegetación, troncos y piedras.

Figura 59. Macroinvertebrados recolectados: Orden neurópteros/megalópteros.

Orden lepidópteros



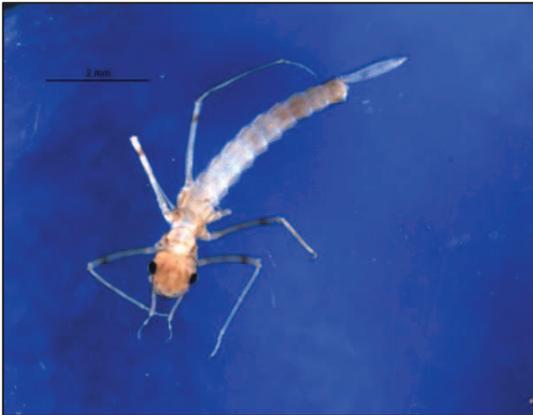
FAMILIA: Pyralidae (larva).

Características: Miden de 9 a 28 mm, posee un par de patas segmentadas en cada segmento torácico, tienen 10 segmentos abdominales y posee pseudopatas a veces reducidos a unos ganchos.

Hábitat: Viven tanto en aguas lénticas como lólicas, sobre la vegetación sumergida o fondos pedregosos.

Figura 60. Macroinvertebrados recolectados: Orden lepidópteros.

Orden odonatos



FAMILIA: Calopterygidae (ninfa).

Características: Son alargados, el segundo segmento antenal es tan largo como la combinación del resto, el labio tiene una incisión media profunda y las branquias caudales poseen tres caras.

Hábitat: Viven en aguas de corriente fuerte a moderada, en acumulaciones de hojas y vegetación sumergida en las orillas.



FAMILIA: Polythoridae (ninfa).

Características: Miden entre 14 y 20 mm, tiene agallas caudales y abdominales en forma de lóbulos muy desarrollados; no posee ganchos dorsales.

Hábitat: Viven sobre residuos de troncos y vegetales en descomposición. Se encuentran en zonas sombreadas rodeadas de bosque primario o secundario.

Figura 61. Macroinvertebrados recolectados: Orden odonatos.

Subclase oligoquetos



FAMILIA: Turbificidae.

Características: Tienen el cuerpo segmentado, son generalmente de color rojo aunque cambian de color cuando se los introduce en alcohol.

Hábitat: Viven sobre fondos y lodos donde hay abundante materia orgánica en descomposición.

Figura 62. Macroinvertebrados recolectados: Subclase oligoquetos.

Orden plecópteros



FAMILIA: Perlidae (Ninfa).

Características: Miden entre 10 y 30 mm, tienen antenas muy largas, poseen agallas torácicas en la parte ventral, son de coloración amarillenta/café oscuro y tienen dos cercos.

Hábitat: Sobre rocas, troncos sumergidos, fondos pedregosos y restos de vegetación.

Figura 63. Macroinvertebrados recolectados: Orden plecópteros.

Orden tricópteros



FAMILIA: Calamoceratidae (larva).

Características: Construyen estuches hechos de pedacitos de hojas, aplanados dorso-ventralmente y presentan 2 prolongaciones puntiagudas al margen anterolateral del pronoto.

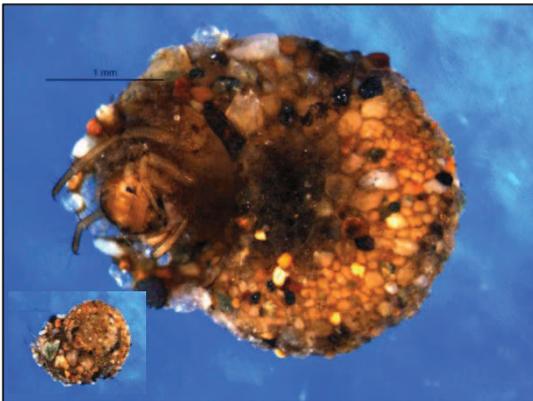
Hábitat: Viven en aguas corrientes, debajo de residuos vegetales, troncos y piedras.



FAMILIA: Glossomatidae (larva).

Características: Miden de 3 a 4 mm, forman casitas de piedras o granos de arena como una tortuga, su cuerpo es algo engrosado y su meso y metanoto no está cubierto totalmente por escleritos.

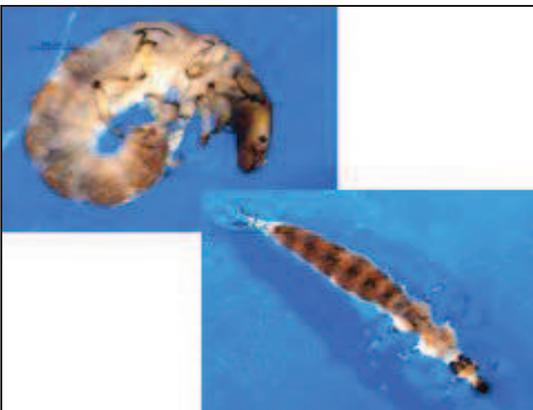
Hábitat: Viven encima de piedras en zonas de corriente moderada y suelen encontrarse en gran número.



FAMILIA: Helicopsychidae (larva).

Características: Construyen casas helicoidales con restos de arena y piedrecillas; presentan una protuberancia en el primer segmento abdominal.

Hábitat: Viven en aguas de corriente media adheridos a las rocas.



FAMILIA: Hydrobiosidae (larva).

Características: Miden entre 10 y 12 mm, tienen sus patas anteriores modificadas para agarrar a sus presas.

Hábitat: Viven de forma libre sobre material pedregoso en aguas corrientosas.



Figura 64. Macroinvertebrados recolectados: Orden tricópteros.

5.2.3. Cálculo del índice BMWP y del ASPT

Se realizará el cálculo del índice BMWP para las dos adaptaciones descritas en el apartado “2.2.2. Bioindicación con macroinvertebrados”: índice BMWP/Col e índice BMWP/RP-NdS .

A continuación se adjuntan las tablas con el cálculo del índice BMWP para ambas adaptaciones:

Tabla 15. Cálculo de los índices BMWP/Col y BMWP/RP-NdS para la microcuenca El Guando.

EL GUANDO				
CLASIFICACIÓN	18/09/2014		16/12/2014	
	PUNTAJE IBMWP/COL	PUNTAJE IBMWP/RP NdS	PUNTAJE IBMWP/COL	PUNTAJE IBMWP/RP NdS
ARÁCNIDOS				
Hydracarina			SP	4
COLEÓPTEROS				
Dryopidae	7	7	7	7
Dytiscidae	9	3		
Elmidae	6	4	6	4
Gyrinidae			9	5
Psephenidae	10	7	10	7
Ptilodactylidae	10	10	10	10
DÍPTEROS				
Chironomidae	2	2		
Dixidae	7	4		
Simuliidae	8	5		
Tabanidae			5	SP
Tipulidae	3	4		
EFEMERÓPTEROS				
Baetidae	7	4	7	4
Leptohyphidae	7	5		
Leptophlebiidae	9	6		
HETERÓPTEROS				
Naucoridae	7	4	7	4
Veliidae	8	4	8	4
NEURÓPTEROS				
Corydalidae	6	5	6	5
ODONATOS				
Calopterygidae	7	6	7	6
Polythoridae	10	SP	10	SP
PLECÓPTEROS				
Perlidae	10	8		
TRICÓPTEROS				
Calamoceratidae	10	10	10	10
Hydropsychidae	7	5	7	5
Philopotamidae	9	8		
Polycentropodidae	9	7		
TOTAL IBMWP	168	118	109	75

Tabla 16. Cálculo de los índices BMWP/Col y BMWP/RP-NdS para la microcuenca Mirmir.

MICROCUENCA MIRMIR				
CLASIFICACIÓN	18/09/2014		16/12/2014	
	PUNTAJE IBMWP/COL	PUNTAJE IBMWP/RP NdS	PUNTAJE IBMWP/COL	PUNTAJE IBMWP/RP NdS
AMPHÍPODA				
Hyaellidae			7	6
ARÁCNIDOS				
Hydracarina	SP	4		
COLEÓPTEROS				
Dryopidae			7	7
Dytiscidae			9	3
Elmidae	6	4	6	4
Hydrophilidae	3	3	3	3
Psephenidae	10	7	10	7
Ptilodactylidae	10	10	10	10
CRUSTÁCEOS				
Pseudothelpusidae			8	4
DÍPTEROS				
Athericidae	SP	SP	SP	SP
Blephariceridae	10	10		
Chironomidae	2	2	2	2
Simuliidae	8	5		
EFEMERÓPTEROS				
Baetidae	7	4		
Leptohyphidae	7	5	7	5
Leptophlebiidae	9	6		
Oligoneuriidae	10	7	10	7
HETERÓPTEROS				
Naucoridae	7	4	7	4
Veliidae	8	4	8	4
NEURÓPTEROS				
Corydalidae			6	5
LEPIDÓTEROS				
Pyralidae			5	5
ODONATOS				
Calopterygidae			7	6
Polythoridae	10	SP	10	SP
OLIGOQUETOS				
Todos			1	1
PLECÓPTEROS				

Perlidae	10	8	10	8
TRICÓPTEROS				
Calamoceratidae	10	10	10	10
Glossomatidae	7	7		
Helicopsychidae			8	7
Hydrobiosidae	9	7		
Hydropsychidae	7	5	7	5
Philopotamidae	9	8	9	8
Polycentropodidae			9	7
TOTAL IBMWP	159	120	176	128

Como se puede observar, las puntuaciones totales de ambas adaptaciones difieren significativamente, siendo siempre menor el valor del índice BMWP/RP-NdS que el del BMWP/Col.

Para realizar la clasificación del tipo de agua de cada muestreo, se utilizará la “tabla5. Clasificación de las aguas según el puntaje total obtenido mediante el índice BMWP”, en la cual se tienen en cuenta los mismos puntajes y clasificaciones, tanto para la adaptación /Col, como para la /RP-NdS.

En el caso de la microcuenca El Guando, el puntaje mínimo obtenido es de 75 (RP-NdS) y corresponde a aguas de CLASE II (calidad ACEPTABLE), cuyo significado es AGUAS LIGERAMENTE CONTAMINADAS (color verde); mientras que en Mirmir, el puntaje mínimo obtenido es de 120 (RP-NdS) y corresponde a aguas de CLASE I (calidad BUENA), cuyo significado es AGUAS NO CONTAMINADAS O NO ALTERADAS DE MODO SENSIBLE (color azul).

En la microcuenca El Guando, el puntaje máximo obtenido es de 168 (Col) y corresponde a aguas de CLASE I (calidad BUENA), cuyo significado es AGUAS MUY LIMPIAS (color azul); mientras que en Mirmir, el puntaje máximo obtenido es de 176 (Col) y corresponde a aguas de CLASE I (calidad BUENA), cuyo significado es AGUAS MUY LIMPIAS (color azul).

A pesar de la diferencia de puntuaciones asignadas en cada adaptación, en la mayoría de casos se obtienen aguas de buena calidad; únicamente en el último muestreo

en la microcuenca El Guando se obtiene una calidad aceptable para la adaptación /RP-NdS.

En cuanto al mayor número de individuos recolectados por *familia*, en la microcuenca El Guando corresponde a los leptohiphidae, hydropsychidae, psephenidae y calamoceratidae; mientras que en Mirmir corresponden a las *familias* leptohiphidae, hydropsychidae, psephenidae, ptilodactylidae, baetidae, naucoridae y calamoceratidae.

Para el cálculo del puntaje promedio por taxón (Average Score per Taxon-ASPT), se divide el puntaje total del IBMWP entre el número total de familias encontradas, lo que nos dará un valor entre 0 y 10.

Tabla 17. Cálculo de ASPT de las microcuencas El Guando y Mirmir.

	18/09/2014				16/12/2014			
	EL GUANDO		MIRMIR		EL GUANDO		MIRMIR	
	IBMWP/COL	IBMWP/RP NdS	IBMWP/COL	IBMWP/RP NdS	IBMWP/COL	IBMWP/RP NdS	IBMWP/COL	IBMWP/RP NdS
PUNTAJE TOTAL	168	118	159	120	109	75	176	128
Nº FAMILIAS	24	24	22	22	15	15	24	24
ASPT	7,0	4,9	7,2	5,5	7,3	5,0	7,3	5,3

Para el índice BMWP/Col, el valor del ASPT en ambas microcuencas se encuentra entre 7 y 7,3; mientras que para el índice BMWP/RP-NdS los valores van desde 4,9 a 5,5. Lógicamente el índice adaptado al río Pamplonita, Norte de Santander da unos valores de ASPT más bajos, debido a que es más restrictiva; a excepción un valor (4,9), el resto de puntajes promedio por taxón se encuentra por encima del valor medio.

Los valores del ASPT son muy importantes para la evaluación del sitio, debido a que un puntaje de ASPT bajo, asociado a un BMWP bajo, indica aguas con graves problemas de contaminación (Roldan, 2003).

6. PROPUESTAS DE SEGUIMIENTO DE CALIDAD DEL AGUA

En el informe final de la caracterización biofísica de las microcuencas El Guando y Mirmir, realizado por el equipo consultor de la organización Naturaleza y Cultura Internacional (NCI), se recomienda el establecimiento de sistemas permanentes de monitoreo de la cantidad y calidad del agua cruda; a partir de estas recomendaciones se planteó el presente trabajo académico, con el fin de dar continuidad al estudio realizado por esta organización.

En este apartado se desarrollarán propuestas para el seguimiento de la calidad del agua a partir de la información recolectada y generada, con el objetivo de brindar una herramienta que sirva a los actores implicados en la gestión del recurso hídrico, para conocer cuáles son los medios a implementar y de qué manera se debe ejecutar este seguimiento.

Es importante recalcar que la caracterización de la calidad fisicoquímica y biológica del agua de las dos microcuencas se enfocó en la zona alta de las microcuencas, cuya zona de escorrentía afecta a las captaciones de agua para el abastecimiento humano; sin embargo, las propuestas de seguimiento que se desarrollarán, pretenden evaluar las acciones que afectan a todo su territorio.

6.1. OBJETIVOS DEL SEGUIMIENTO

Para el desarrollo de estas propuestas es necesario tener en cuenta cuales son los objetivos buscados; ya que estos definirán los lugares, la frecuencia, la duración y los procedimientos de muestreo, así como el manejo de las muestras y que requisitos deben tener estas según el procedimiento analítico al que serán sometidas; con el fin de tomar las precauciones necesarias durante el muestreo.

En el caso de ambas microcuencas, el principal objetivo del monitoreo es evaluar la calidad del agua en distintos puntos, con el fin de identificar los posibles focos de contaminación a lo largo de flujo de agua.

Además existen otros objetivos más específicos que hay que tener en cuenta y que nos ayudarán en la elaboración de las propuestas de seguimiento de la calidad del agua:

- Comprobar que la calidad del agua es adecuada para el uso requerido según el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental, en la cual se establecen los límites máximos permitidos según su uso.
- Establecer tendencias en la calidad del agua y en la evaluación de impactos, los cuales pueden ser negativos en el caso del vertido de contaminantes o positivos en el caso de que las medidas de restauración estén surtiendo efecto.
- Medir de forma aproximada el flujo de contaminantes o nutrientes vertidos a los cuerpos de agua.
- Realizar una valoración global del estado del ambiente acuático de las microcuencas.

Además de la complejidad de este enfoque multiobjetivo, hay que tener en cuenta que el monitoreo debe abarcar distintas ramas como son la ingeniería, legislación, economía, biología, estructura política y demás disciplinas que interfieren directa o indirectamente en la gestión del recurso hídrico; por tanto, para que las propuestas de seguimiento sean viables, deben enfocarse desde un punto de vista multidisciplinar, de modo que faciliten la inclusión de todos los actores involucrados; así mismo la información debe obtenerse de una forma *eficiente y económica*, de manera que el tiempo y los recursos que se asignen justifiquen el plan de seguimiento.'

6.2. GESTIÓN DE DATOS APLICADA AL SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

El objetivo principal del presente estudio es la realización de protocolos de seguimiento de la calidad del agua en base a la información recogida, con el fin de que sirva de herramienta para los actores involucrados en la planificación hídrica; para que esta tenga éxito, es fundamental que los datos recogidos sean exactos y adecuados, caso contrario la planificación fracasará aunque las otras fases del proyecto se realicen de manera adecuada (Andreu, J. 1993).

Según la experiencia personal y la compartida por otros compañeros vinculados al sector de los recursos hídricos en el país, la generación de datos en el ámbito de calidad de aguas de ciertas zonas se realiza de manera meramente informativa, es decir, que la trascendencia de los datos generados no va más allá de informes puntuales de calidad, sin ser sometidos a un proceso de análisis y de intercambio de información con el fin de tener una base de datos fiable que permita su utilización en otros estudios como pueden ser modelos matemáticos de calidad de aguas.

Esta falta de análisis de la información puede ocasionar la aparición de errores sistemáticos en la toma de datos; por ejemplo, en el caso de la determinación de parámetros de calidad de agua, si desde un principio se siguió un método erróneo y no se detectó en su momento, este error se hará visible cuando los datos sean sometidos a un proceso de estudio y aparezcan incoherencias, por lo que todo el trabajo realizado hasta entonces podría quedar inutilizable. Por tanto, la gestión de datos es tan importante que puede condicionar el éxito o el fracaso de un proyecto.

Según Andreu, J. (1993), en el proceso de gestión de datos se pueden distinguir cinco pasos: Recogida, Catalogación, Evaluación, Proceso y Análisis.

En este apartado se estudiará cada paso, aplicado a las circunstancias del presente estudio y a raíz de este, proponer mejoras para la gestión de datos en el seguimiento de la calidad del agua de las microcuencas El Guando y Mirmir.

Recogida

La etapa de recogida de datos puede realizarse mediante recopilación de información generada anteriormente o bien se la puede obtener a través de estudios realizados específicamente para el proyecto en cuestión. En nuestro caso, como en la mayoría, se partió de una información previa, la cual se dio como válida para poder dar continuidad al estudio; pero además, se generaron datos durante los 6 meses que duró la fase de campo y que nos sirvieron como base para la elaboración de estas propuestas de seguimiento de la calidad del agua de las microcuencas El Guando y Mirmir.

El proceso de recogida de datos debe tener en cuenta cuatro parámetros: Cantidad, calidad, tiempo y lugar (Andreu, J. 1993):

Cantidad

Para conocer que cantidad de datos es necesaria en un proyecto, hay que conocer con qué tipo de datos se va a trabajar; en nuestro caso se trabajará principalmente con datos de calidad de agua, por lo tanto se debe tener en cuenta que parámetros son necesarios para evaluar un cuerpo de agua y en caso de haber alteración, cuál puede ser su origen; esto definirá la cantidad y el tipo de datos que se necesitan para el proyecto.

Por ejemplo, la cantidad de datos que se necesitan para el monitoreo de la microcuenca El Guando van a ser mayores que los necesarios en la microcuenca Mirmir, debido a que el tipo de alteración que afecta a cada una es distinto, en Mirmir la alteración de la calidad del agua se debe principalmente a la actividad agropecuaria, sin embargo en El Guando, además de esta actividad, existen otras como son la minería y los vertidos de aguas residuales de tipo doméstico en las zonas bajas, por tanto la cantidad y tipo de datos será mayor.

Calidad

Se refiere a la precisión y representatividad de los datos; cuando se trabaja con calidad de aguas, los datos deben tener la máxima precisión posible, esta depende

principalmente de que los métodos de muestreo empleados sean los correctos y que las mediciones realizadas sean capaces de representar de la manera más aproximada posible lo que ocurre en la realidad.

En cuanto a la representatividad, hay que procurar que los datos obtenidos den una idea clara de lo que ocurre en la zona de estudio, tanto en el tiempo como en el espacio; por ejemplo, en el caso de los vertidos mineros en la zona baja de la microcuenca El Guando, si se realiza un monitoreo trimestral y a la misma hora del día, reflejará una situación errónea de la variación de la calidad del agua, debido a que estos se realizan de manera puntual y no de manera constante a lo largo del tiempo.

Tiempo

En nuestro caso se refiere a las fechas de monitoreo y al periodo de estudio de la calidad del agua; para la caracterización preliminar de las dos microcuencas se realizaron muestreos entre los meses de agosto y diciembre del 2014, condicionado principalmente por el tiempo disponible para este estudio; sin embargo, si se pretende realizar un monitoreo periódico de la calidad del agua, los muestreos se deberán realizar durante todo el año, teniendo en cuenta que los parámetros incluidos en cada fecha tengan una correlación, con el fin de poder realizar análisis comparativos de causa y efecto entre la variación de los distintos valores; por ejemplo, no sería lógico aplicar un índice BMWP en una fecha distinta al índice NSF, debido a que una variación en las condiciones físicoquímicas del agua podría afectar a la población de macroinvertebrados presentes en el medio acuático.

Lugar

Se refiere al área geográfica de interés; el estudio realizado se centró en la zona de influencia que afecta a la calidad del agua que consume la población de Zaruma, por lo tanto los valores obtenidos hasta ahora solo representan la situación de esta zona; sin embargo, si se pretende conocer la situación de todo el territorio de las microcuencas, es necesario extender los puntos de monitoreo a otras áreas.

Catalogación

El almacenamiento de los datos pueden realizarse en bases de datos informatizadas (ACCESS, ORACLE, etc.) o Sistemas de Información Geográfica (ARCVIEW, GVSIG, GISWATER, etc); estos deben de ser fácilmente accesibles, para ello se deben de catalogar de una manera ordenada, segura y estar acompañados de la mayor información posible.

El principal problema que tiene el Ecuador en cuando a la gestión de datos es que no existe un sistema estructurado de catalogación de datos que permita su intercambio entre las instituciones generadoras de la información y las demandantes de la misma. En el caso de la calidad del agua, según el informe final del “Diagnostico de las Estadísticas del Agua (2012)”, realizado por la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas, los organismos generadores de información de calidad de agua en el Ecuador son la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INMH), el Ministerio del Ambiente (MAE) y los municipios; sin embargo, ninguna de estas instituciones posee un catálogo de datos accesible y ordenado de las distintas unidades hidrológicas del país.

Esta falta de infraestructura de datos dificulta el proceso de vigilancia, regulación y control de la calidad de agua en el país, pero además del problema de intercambio de datos, también existe una escases de estos; por tanto es necesario la realización de estudios preliminares, para obtener información y que esta sirva de instrumento base para los actores involucrados en la gestión del recurso hídrico.

Evaluación

Evaluar los datos es comprobar que estos respondan a las exigencias marcadas en la etapa de recogida de datos; los cuales deben ser sometidos a un proceso de evaluación debido a que pueden presentar incoherencias originadas por errores tanto de tipo humano, por ejemplo en la transcripción, o de los aparatos de medición.

Procesado

Cuando se estudia temas de calidad de agua, normalmente el número de datos con los que se trabaja suele ser elevado, por tal motivo es necesario que estos datos sean procesados de manera que permita ahorrar tiempo y se puedan observar de una forma resumida que es lo que ocurre en un cuerpo de agua; por ejemplo, cuando se realiza el seguimiento de la calidad del agua, un gráfico de los valores de los distintos parámetros a lo largo de un periodo nos puede decir de manera general, como varia la calidad y poder sacar conclusiones más fácilmente que si trabajamos solamente con datos numéricos.

Análisis

El último paso en la gestión de datos es su análisis, en este punto trabajaremos con la información ya procesada para su fácil interpretación y uso. Por ejemplo para el análisis de datos de calidad de agua se puede trabajar con modelos matemáticos de simulación que permitan obtener simulaciones de como varia los parámetros a lo largo de un periodo.

6.3. PUNTOS DE MONITOREO

Debido a que el trabajo realizado por NCI estaba centrado en las zonas de recarga hídrica que abastecen de agua para consumo humano y uso doméstico de la población de Zaruma, los muestreos se realizaron en un solo punto antes de las captaciones de agua, aproximadamente 50 m aguas arriba, con el fin de conocer el estado de la calidad del agua cruda; sin embargo, es necesario ampliar los puntos de monitoreo con el propósito de conocer las posibles alteraciones que ocurren en toda la microcuenca.

La Norma Técnica Ecuatoriana de carácter voluntario “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. TÉCNICAS DE MUESTREO”, cuyo código es “NTE INEN 2176:2013 Primera Revisión”, en el apartado “4.1.3.1. Diseño de los programas de muestreo” recomienda que “dependiendo de los objetivos a ser ejecutados, el trabajo del muestreo

puede abarcar desde un solo punto a una completa represa de río. Un punto básico de trabajo puede incluir sitios de muestreo en el límite de marea, en el mayor tributario de su confluencia, y en la mayor descarga de aguas residuales o de efluentes industriales. En diseños de programas de muestreo en los puntos de trabajo para determinar la calidad, es necesario hacer mediciones de flujo en estaciones claves”.

Por tanto, para poder proponer los puntos de monitoreo, es necesario conocer las distintas condiciones que presenta el territorio estudiado, debido a que el grado de intervención antrópica es distinta a lo largo de cada microcuenca, la cual está ligada a los posibles puntos de contaminación de las aguas.

La microcuenca El Guando tiene un grado de alteración más elevado que Mirmir, sobretodo en la zona media y baja, en donde el río recibe las aguas residuales provenientes de las casas ubicadas en el sector El Guando, Las Cabañas y de la cabecera parroquial de Arcapamba; así como los residuos orgánicos de la actividad agropecuaria a la que se dedican algunos habitantes del sector. Además, hay que tener en cuenta que de la zona media de esta microcuenca se capta el agua que consume la población de Arcapamba, Malvas y El Osorio, lo que podría generar serios problemas si el tratamiento del agua potable es inadecuado.

La zona baja de la microcuenca El Guando, además de recibir las aguas residuales provenientes de las poblaciones de las zonas altas y sus actividades productivas, recibe las aguas residuales procedentes la actividad minera, las cuales no reciben ningún tipo de tratamiento previo antes de ser devueltas al río.

Por tanto, el punto 1 se ubicará cerca de la zona de nacimiento del El Guando, la cual presenta un grado de intervención mayor si la comparamos con el nacimiento del río Mirmir, cuya zona está prácticamente sin intervención humana; estos valores nos servirán de referencia para comparar la alteración que sufre la microcuenca aguas abajo.

El punto 2 se ubicará en el mismo lugar en donde realizaron los muestreos para el presente estudio, en donde se empieza a notar la alteración de la calidad del agua.

El punto 3 se localizará antes de la captación de agua de la parroquia Malvas, en donde es posible que la calidad del agua se vea afectada por residuos orgánicos de origen humano o animal.

El punto 4 estará ubicado aguas abajo de donde se vierten las aguas residuales de la cabecera parroquial de Arcapamba, las cuales no reciben tratamiento previo; además en este punto del río, se localizan los primeros vertidos procedentes de la actividad minera.

Y por último, el punto 5 se situará en la zona de drenaje de la microcuenca, en donde, además de los residuos orgánicos de origen humano y animal se vierten contaminantes como metales pesados y compuestos químicos originados por la actividad minera.

Tabla 18. Georreferencia de los puntos de monitoreo propuestos en la microcuenca El Guando

EL GUANDO			
PUNTO DE MONITOREO	COORDENADAS UTM ZONA 17S		ALTURA m.s.n.m.
	X	Y	
1	656052	9601235	2138
2	654970	9598932	1600
3	654422	9598026	1412
4	653429	9596346	1160
5	650431	9595834	800

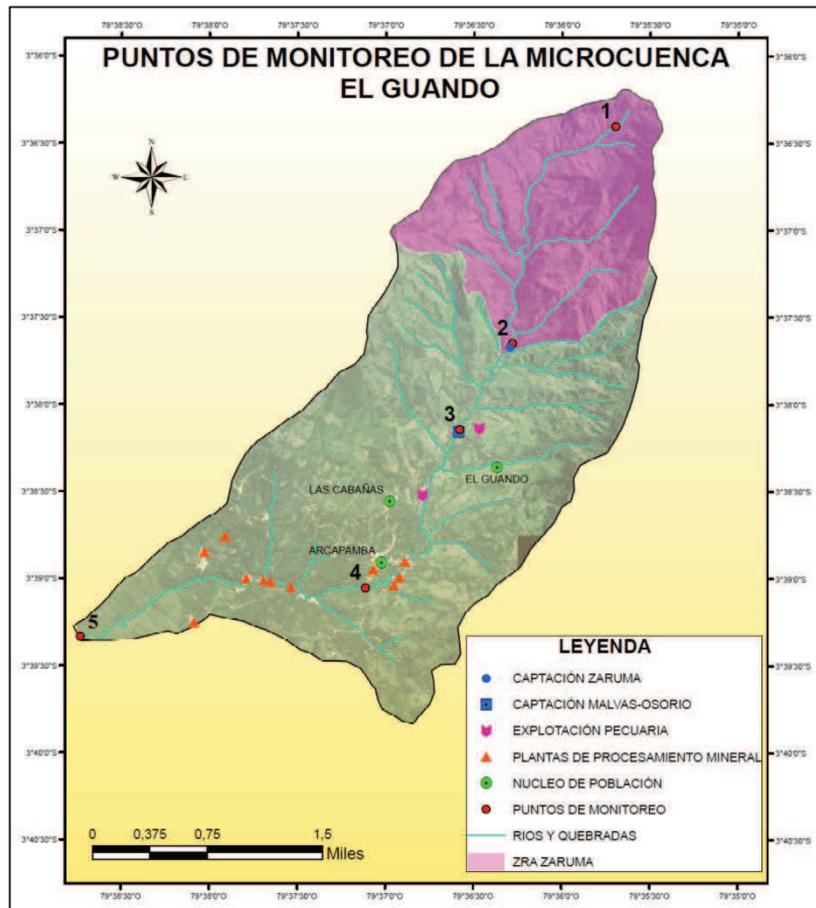


Figura 65. Mapa de la ubicación de puntos de monitoreo propuestos en la microcuenca El Guando.

La microcuenca del Mirmir es la menos alterada en todo su territorio, por tanto, se seleccionaran tres puntos de muestreo representativos de cada zona de la microcuenca. El punto 1 se ubicará en la zona alta de la microcuenca, lo correcto sería en la zona del nacimiento del río Mirmir, donde el ecosistema no ha sido alterado, pero debido a la inaccesibilidad a este lugar, se debe ubicar en un punto de fácil acceso, con el propósito de que los monitoreos resulten viables a lo largo del tiempo; en este punto se obtendrán valores de fondo que sirvan para comparar el grado de alteración que sufre el río aguas abajo.

El punto 2 será el unos metros más arriba de la captación de agua; en este sitio la actividad antrópica es visible, sobre todo por la ganadería extensiva.

Y el punto 3 se ubicará en la zona de drenaje de la microcuenca, en donde se recoge toda el agua de escorrentía y donde probablemente están más acentuados los efectos de la actividad agropecuaria.

Tabla 19. Georreferencia de los puntos propuestos de monitoreo de la microcuenca Mirmir.

MIRMIR			
PUNTOS DE MONITOREO	COORDENADAS UTM ZONA 17S		ALTURA m.s.n.m.
	X	Y	
1	658536	9604216	2080
2	658659	9601548	1585
3	659329	9600346	1360

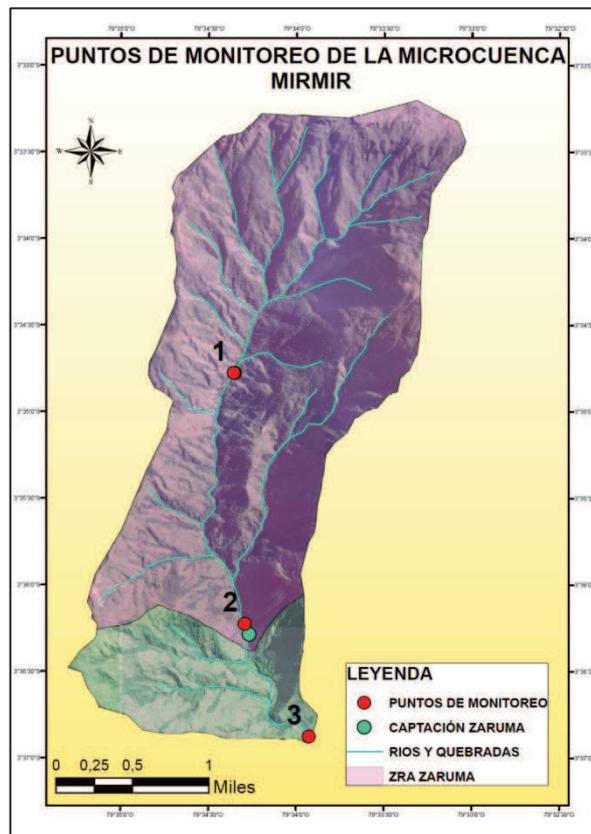


Figura 66. Mapa de la ubicación de puntos de monitoreo propuestos en la microcuenca Mirmir.

6.4. PERIODICIDAD Y PARAMETROS DE MONITOREO

Como se explica en el apartado “6.1. Objetivos del seguimiento”, para el desarrollo de las propuestas hay que tener en cuenta los objetivos buscados; en nuestro caso se busca conocer los posibles focos de contaminación a lo largo de la microcuenca, temporal y espacialmente.

En la problemática se describieron cuáles son las posibles alteraciones dentro del territorio de las microcuencas; sin embargo, cada alteración ocurre de manera distinta a lo largo del tiempo. En la zona alta de la microcuenca El Guando y en toda la microcuenca del Mirmir el principal problema es la escorrentía superficial producida en la época de lluvias entre los meses de diciembre y mayo, debido al arrastre de sólidos suspendidos, estiércol de vacas y posiblemente pesticidas usados en el tratamiento de los pastizales.

En la zona media de la microcuenca El Guando el principal problema es el vertido de aguas residuales de origen doméstico sin tratamiento previo; estos vertidos ocurren durante todo el año de forma continua, encontrándose variabilidad durante el día solamente.

Mientras que en la zona baja de la microcuenca el Guando, las alteraciones son debidas a la actividad minera, la cual vierte continuamente las aguas residuales resultado del proceso productivo, variando tanto durante el día, como durante los meses de más y menos producción; además, también existe arrastre de pasivos ambientales o relaves durante las épocas de lluvia.

En cuanto a los parámetros de monitoreo, además de los incluidos en el presente trabajo, hay que tener en cuenta otros asociados a la actividad que se produce en las zonas bajas de las microcuencas, especialmente en El Guando. Para conocer que parámetros hay que incluir en las mediciones, se consultó el “Anexo I del libro VI” del “Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA, 2015)”, en el cual se incluye la “Tabla 12. Parámetros de monitoreo de las descargas industriales”. Debido a que la principal actividad que afecta a la zona baja de

la microcuenca El Guando es la minería, se incluirán los parámetros de monitoreo relacionados con la “Extracción de metales preciosos”.

Según lo expuesto anteriormente, a continuación se propone el calendario de monitoreo a lo largo del año según cada parámetro en la microcuenca El Guando:

Tabla 20. Calendario de monitoreo propuesto para la microcuenca El Guando.

EL GUANDO														
PARÁMETROS		UNIDADES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
CAUDAL		l/s		X			X			X			X	
BIOLÓGICOS	MACROINVERTEBRADOS			X						X				
	COLIFORMES TOTALES	#/100 ml		X			X			X			X	
FÍSICOQUÍMICOS	TEMPERATURA	°C		X			X			X			X	
	pH			X			X			X			X	
	DBO	mg/l		X			X			X			X	
	STD	mg/l		X			X			X			X	
	OXIGENO DISUELTO	%		X			X			X			X	
	TURBIDEZ	NTU		X			X			X			X	
	NITRATOS	mg NO ₃ ⁻ /l		X			X			X			X	
	FOSFATOS TOTALES	mg P-PO ₄ ³⁻ /l		X			X			X			X	
	CE	μS/cm		X			X			X			X	
	AMONIO	mg NH ₄ ⁺ /l		X			X			X			X	
	(DQO, SST, SAAM, GRASAS Y ACEITES, FENOLES, CIANUROS, SULFATOS, SULFUROS, ALUMINIO, ARSÉNICO, CADMIO, CALCIO, COBRE, CROMO, HIERRO, MAGNESIO, MERCURIO, MOLIBDENO, NIQUEL, PLOMO, CINC)*		mg/l		X						X			

*Parámetros de monitoreo asociados a los vertidos de la industria minera de metales preciosos sugeridos por el TULSMA.

La actividad minera no afecta a los puntos de monitoreo 1, 2 y 3 propuestos en el apartado anterior, por tanto se recomienda medir los parámetros asociados a los vertidos de esta industria únicamente en los puntos 4 y 5 con el fin de ahorrar recursos económicos; sin embargo, también se recomienda realizar estas mediciones en el punto 3, con el objetivo de tener un valor de referencia y conocer como varía la calidad de las aguas abajo.

En la microcuenca Mirmir, la única actividad humana detectada que puede afectar a la calidad del agua es la agropecuaria (ganadería, pastizales), por tanto no es necesario medir los parámetros asociados a la minería. A continuación se propone el calendario de monitoreo a lo largo del año según cada parámetro en la microcuenca Mirmir.

Tabla 21. Calendario de monitoreo propuesto para la microcuenca Mirmir.

MIRMIR														
PARÁMETROS		UNIDADES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
CAUDAL		l/s		X			X			X			X	
BIOLÓGICOS	MACROINVERTEBRADOS			X						X				
	COLIFORMES TOTALES		#/100 ml	X			X			X			X	
FÍSICO QUÍMICOS	ICA NSF	TEMPERATURA	°C	X			X			X			X	
		pH		X			X			X			X	
		DBO	mg/l	X			X			X			X	
		STD	mg/l	X			X			X			X	
		OXIGENO DISUELTO	%	X			X			X			X	
		TURBIDEZ	NTU	X			X			X			X	
		NITRATOS	mg NO ₃ ⁻ /l	X			X			X			X	
		FOSFATOS TOTALES	mg P-PO ₄ ³⁻ /l	X			X			X			X	
		CE	µS/cm	X			X			X			X	
		AMONIO	mg NH ₄ ⁺ /l	X			X			X			X	

El monitoreo con macroinvertebrados se propone realizarlo dos veces al año, uno a principios de la época de lluvias y otro en plena época seca, con el fin de obtener valores representativos de ambas épocas y además que pueda ser viable a lo largo del tiempo, debido a que un mayor número de muestreos conllevaría más recursos económicos.

En cuanto a los parámetros asociados a la actividad minera en la microcuenca El Guando, también se propone realizarlos con la misma frecuencia que los macroinvertebrados; uno a inicios de la época de lluvias y otro en la época seca, principalmente con el fin de ahorrar recursos.

Sin embargo, es muy difícil conocer como varía la calidad del agua por la actividad minera a lo largo del año, debido a que esta variación suele ser en momentos puntuales, a lo largo del día o días y no de forma estacional, por lo que además se propone la implantación de SISTEMAS DE MEDICIÓN EN CONTINUO de parámetros que indican indirectamente la presencia de estos contaminantes, como son el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto o los sólidos suspendidos totales.

6.5. EQUIPOS Y MATERIAL NECESARIO

En el apartado “4.1. Planificación del trabajo”, se explica cuáles son los equipos con los que se contó para el presente estudio; sin embargo, para poder completar los parámetros del Índice de Calidad de Agua (ICA) de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF) de Estados Unidos, es necesario medir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), cuya medición no se pudo realizar por falta de medios.

Existen distintos métodos para medir la DBO, los cuales presentan distintos grados de complejidad; sin embargo el método que se aplica de forma estandarizada es el de la DBO₅, el cual consiste en incubar una muestra del agua problema en oscuridad a 20 °C durante 5 días, durante este tiempo los microorganismos presentes en el agua metabolizan una gran parte de la materia orgánica degradable, aproximadamente un 80 % de la DBO total. Esta metabolización requiere el consumo de oxígeno disuelto por parte de estos microorganismos, de modo que la diferencia entre el oxígeno disuelto medido antes y después del período de incubación proporciona una medida de la demanda biológica de oxígeno, esto es, del grado de contaminación.

En la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) “AGUA. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)”, cuyo código es “NTE INEN 1202:2013 Primera Revisión”, la cual es de carácter voluntario, se especifican las consideraciones generales que hay que tener en cuenta, así como el equipo y el método de ensayo estandarizado para llevar a cabo este análisis.

Por otro lado, tampoco se cuenta con un equipo de toma de muestras adecuado; los recipientes utilizados en el presente estudio consistieron en envases plásticos que se

usan normalmente para el envasado de agua destilada, por lo que es posible que no hayan generado alteración alguna en las muestras; sin embargo se recomienda la adquisición de envases destinados a la toma de muestras. En la NTE “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. TÉCNICAS DE MUESTREO”, cuyo código es “NTE INEN 2176:2013 Primera Revisión”, se especifican las características del equipo de muestreo y los tipos de recipientes utilizados en la recolección de las muestras.

En el caso del transporte, se utilizó una nevera portátil de propiedad personal, la cual sirvió para mantener las muestras a una temperatura baja hasta poder llegar al laboratorio en el caso de los parámetros medidos ex situ. Por tanto, se recomienda la adquisición de un medio de transporte que permita mantener las muestras a bajas temperaturas hasta poder analizarlas al momento de llegar al laboratorio o preservarlas para su posterior análisis.

Del mismo modo, no se cuenta con el equipo necesario para la identificación de las familias de macroinvertebrados, el cual consiste en un estereomicroscopio y el resto de materiales que se detallan en la metodología (cajas Petri, pinza entomológica, agujas de disección, etc.), por lo que se recomienda la adquisición del instrumental necesario.

6.6. MEDICIÓN DEL CAUDAL EN EL CONTROL DE CALIDAD DE AGUA

La importancia de medir el caudal de los cuerpos de agua natural ha incrementado en los últimos años debido a la utilización de modelos matemáticos aplicados a la calidad de las aguas; por ejemplo, las cargas de contaminantes no pueden ser evaluadas sin las mediciones del caudal (NTE INEN 2226:2013); además, es un dato básico para la realización de planes de gestión de recursos hídricos.

Hay tres componentes del caudal que son importantes medir cuando se realiza monitoreo de la calidad de aguas:

- Velocidad
- Sección

- Cantidad de descarga

La velocidad es un parámetro básico para el cálculo del caudal; además es un componente muy importante a medir debido a que interviene en el cálculo de la cantidad de descarga y de la velocidad media, que para propósitos de calidad es el tiempo necesario para que un cuerpo de agua se desplace a una distancia dada; además, la turbulencia que produce la velocidad homogeneiza el cuerpo de agua, lo que a efectos de estudio del transporte de contaminantes es importante conocer.

La sección del río, junto con la velocidad, son los componentes necesarios para conocer el valor del caudal en un cuerpo de agua; para su fácil medición es importante conocer exactamente la sección de aforo, con el fin de que su cálculo sea lo más exacto posible. En el caso de las captaciones de las microcuencas El Guando y Mirmir, esta medición se puede realizar fácilmente debido a que la infraestructura hidráulica cuenta con un azud de dimensiones conocidas; sin embargo, en el resto de puntos de monitoreo, no existe tal infraestructura, por lo que se recomienda la construcción de una sección de aforo, teniendo en cuenta que no interrumpa en la dinámica de las poblaciones biológicas del río.

En el caso de la cantidad de descarga, se refiere al volumen de líquido que pasa por un punto dado por unidad de tiempo, en el caso del presente estudio, es importante conocer este parámetro en los puntos en donde existan descargas conocidas, con el fin de conocer si se cumplen los límites de vertido que marca la Legislación Ambiental. En la microcuenca del Mirmir, no existen vertidos puntuales que se puedan medir; por el contrario en la de El Guando se podría medir la cantidad de descarga de contaminantes de las áreas pobladas o de la industria minera.

Por otro lado, son diversas las causas por las que medir el caudal del río o de los vertidos cuando se trata del control de calidad de aguas; en el caso del efecto de la dilución de un contaminante en el río es importante calcular el factor de dilución de este a determinado caudal cuando se consideran los posibles efectos de una descarga en el curso natural del río, debido al impacto negativo que puede producir sobre el ecosistema; por ejemplo en la zona baja de la microcuenca El Guando, en donde se

realizan vertidos con alta concentración de metales pesados y componentes tóxicos. También es importante conocer el efecto de la dilución de un contaminante cuando se tiene que imponer límites de calidad de estas descargas.

Según la “NTE INEN 2226:2013”, “Los cálculos del caudal de las cargas son utilizados ampliamente, para fijar los límites permitidos de las descargas y para evaluar los efectos en la calidad por las crecidas o disminuciones del río. Estos cálculos son fundamentales para modelos de calidad en la totalidad del río, y sistemas de desembocadura, y frecuentemente se basan, en la típica o caudal medio de la descarga. Las técnicas del modelo dinámico requiere de datos de caudales continuos y del cálculo de los valores caudal–frecuencia”.

Además, es conveniente conocer los mecanismos de transporte de los contaminantes en el flujo de agua desde el lugar de vertido hasta un punto x, los cuales están relacionados directamente con el caudal del río, con el fin de conocer cómo se dispersa o degrada el contaminante y poder evaluar la velocidad de recuperación que tiene el río.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En la fase de planificación del presente trabajo, se planteó como objetivo realizar la medición de parámetros fisicoquímicos y biológicos necesarios para la aplicación de dos índices de calidad de agua, con el fin de evaluar el estado del líquido vital que abastece a la población de Zaruma y que además sirvan de herramienta comunicativa entre los gestores del recurso. Estos índices se pudieron aplicar de manera satisfactoria, aportando información tanto de la época seca como del inicio de la época de lluvias, por lo que los valores obtenidos representan parcialmente la variación de la calidad del agua durante el ciclo hidrológico en la zona alta de las microcuencas El Guando y Mirmir.

El único parámetro que no se pudo medir para el cálculo del ICA NSF fue la DBO_5 , debido a circunstancias logísticas; a pesar de ello se pudo aplicar este índice de calidad de agua debido a que su método de cálculo lo permite

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, los valores del pH, oxígeno disuelto (OD), turbidez, sulfatos (SO_4^{2-}), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-), de ambas microcuencas, están dentro de los límites máximos permisibles contenidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Ministerio del Ambiente de Ecuador (TULSMA), tanto para “aguas destinadas al consumo humano y doméstico y que para su potabilización solo requieren desinfección”, como para los criterios de calidad admisible “para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces marinas y estuarios”.

Los sólidos totales disueltos (STD) en el agua de las dos microcuencas, se encuentran muy por debajo del valor máximo admisible según los estándares secundarios para agua potable sugeridos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

La concentración de fosfatos de los 3 últimos muestreos en la microcuenca El Guando y en uno de los muestreos en la microcuenca Mirmir, no cumplen el límite máximo permisible que dicta la Norma Técnica Ecuatoriana para Agua Potable (2006).

La conductividad eléctrica en los puntos de monitoreo de ambas microcuencas están muy por debajo del límite máximo permisible, según el criterio de la Directiva Europea 98/83/CE para aguas cuyo destino es la potabilización mediante únicamente filtración y desinfección.

La variación de los parámetros fisicoquímicos durante los meses de monitoreo permanecen prácticamente estables, solo se registra un aumento de la turbidez en ambas microcuencas al inicio de la época de lluvias.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, se registra un claro aumento de la concentración de coliformes fecales según se avanza hacia el invierno, acentuándose en los dos últimos monitoreos correspondientes al mes de diciembre. Teniendo en cuenta la Directiva Europea 75/440/CEE, según la “Categoría A1”, aplicada a aguas que para su potabilización necesitan “Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección, por ejemplo, precloración, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección”, todos los meses cumplen los estándares de calidad; pero si aplicamos la “Categoría A2”, la cual se refiere a aguas que únicamente requieren para su potabilización un “tratamiento físico simple y desinfección, por ejemplo, filtración rápida y desinfección”, solo cumpliría el primer mes en el monitoreo de la microcuenca El Guando y los dos primeros meses de la microcuenca Mirmir.

Los valores del ICA NSF de ambas microcuencas durante los meses de monitoreo se encuentran en un rango correspondiente a aguas de buena calidad, e incluso registrándose aguas de buena-excelente calidad en uno de los muestreos en la microcuenca Mirmir. Además, los valores del ICA NSF disminuyen según se avanza a la época de lluvias, por tanto también lo hace la calidad del agua.

Al comparar la adaptación del índice BMWP/Col y BMWP/RP-NdS, se concluye que el segundo es más restrictivo que el primero, debido a que las puntuaciones asignadas a cada familia de macroinvertebrados es menor que en la adaptación /Col.

A pesar de la diferencia entre ambas adaptaciones del IBMWP, en la mayoría de monitoreos se obtuvieron aguas de clase I, correspondiente a aguas de buena calidad, solo en la última fecha en la microcuenca El guando se obtuvo una agua de Clase II (calidad aceptable), para la adaptación IBMWP/RP-NdS.

Las familias con mayor número de individuos recolectados en la microcuenca El Guando corresponden a los órdenes leptohyphidae, hydropsychidae, psephenidae y calamoceratidae; mientras que en Mirmir corresponden a leptohyphidae, hydropsychidae, psephenidae, ptilodactylidae, baetidae, naucoridae y calamoceratidae.

Hay que resaltar la importancia que tiene el estudio de los macroinvertebrados acuáticos en la calidad del agua; estos aportan una información valiosa, no solo de la calidad de las masas de agua, sino también de la calidad ecológica de las microcuencas, debido a que son un recurso trófico importante necesario para el equilibrio en el ecosistema. Sin embargo hay que matizar ciertas limitaciones de la bioindicación, debido a que se puede caer en apreciaciones erróneas de “bueno” o “malo”; por ejemplo, en caso de vertidos de agua con concentraciones subletales de metales pesados, la mayoría de seres vivos serían capaces de soportar esas condiciones y no indicar aguas de mala calidad, por lo que en casos en los que se sospecha la posibilidad de encontrar sustancias concretas, se recomienda el monitoreo conjunto, tanto de parámetros fisicoquímicos, como biológicos.

Mediante la aplicación de los índices para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (ICA INSF) y para macroinvertebrados (BMWP), se pudo realizar la caracterización previa de la calidad del agua y de las comunidades biológicas de la zona alta de las microcuencas El Guando y Mirmir, dando como resultado aguas de buena calidad en la mayor parte de los casos.

Esta caracterización preliminar sirvió como instrumento básico para conocer tanto las limitaciones como las ventajas en cuanto al monitoreo en la región, de modo que mediante la información recolectada y generada, se realizaron propuestas para el seguimiento de la calidad del agua, adaptadas a los condicionantes locales. Con estas propuestas se persigue realizar un monitoreo periódico y que aporte información

representativa de todo el territorio de las microcuencas, con un nivel bajo de inversión. Es importante conocer con detalle el tipo de alteración que ocurre en cada punto de vertido, ya sean estos de tipo doméstico, como ocurre en la zona media de El Guando, o de tipo industrial, como es el caso de los vertidos de las procesadoras de minerales de la zona media y baja de esta misma microcuenca, con el objeto de adaptar el monitoreo a cada situación, ya sea en la misma unidad hidrológica, como en otras cercanas, cuyas zonas bajas también se ven afectadas por los núcleos poblacionales y las industrias mineras.

Cabe destacar el apoyo y predisposición de las autoridades para la realización del presente trabajo, las cuales se mostraron interesadas por conocer el estado de las masas de agua de la región; sin embargo, no existe un mecanismo eficiente de seguimiento y control de la calidad del agua, no solo a nivel local, sino también a nivel nacional, por lo que se cree que es necesario la realización de este tipo de estudios preliminares como herramienta básica para la implementación de planes de monitoreo.

8. BIBLIOGRAFÍA

ANDREU ALVAREZ, J. (1993). “Gestión de datos” en Andreu Alvarez, J. *Conceptos y métodos para la planificación hidrológica*. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

ALBA TERCEDOR, J. Y SÁNCHEZ ORTEGA, A. (1988). “Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corriente basado en el de Hellawell (1978)” en *Limnética*. Asociación Española de Limnología, vol. 4, p. 51-56.

BLACIO, J. et al. (2011). *Plan de Manejo de las microcuencas Guando y Mirmir*. Zaruma: GADM Zaruma.

CEPAL (2012). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador. Informe Final*. Ecuador: Comisión económica para América latina y el Caribe.

FERNÁNDEZ PARADA, N.J. y SOLANO ORTEGA, F (2007). *Índices de calidad del agua e índices de contaminación*. Colombia: Universidad de Pamplona.

FLOWERS, R.W. y DE LA ROSA, C (2010). “Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. Capítulo 4: Ephemeroptera” en *Biología Tropical*, vol. 58 (suppl. 4), p 63-93.

FOLCH, R. et al. (1999). “*Auditoria Ambiental Municipal del Prat De Llobregat i Proposta de Pla D'acció Ambiental (Agenda 21 Local)*”. Barcelona: Estudio Ramón Folch y Asociados.

GARCIA, B. (2013). “Contaminación transfronteriza en cuenca binacional Puyango-Tumbes”. Perú: Red Iberoamericana de comunicación y divulgación científica de la Organización de Estados Iberoamericanos. <<http://www.oei.es/divulgacioncientifica/?Contaminacion-transfronteriza-en>> [Consulta el 18 de febrero del 2015].

GUTIÉRREZ-FONSECA, P. (2010). “Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. Capítulo 6: Plecóptera” en *Biología Tropical*, vol. 58 (suppl.4), p 139-148.

HANSON, P., SPRINGER, M. y RAMIREZ, A. (2010). “Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos” en *Biología Tropical*, vol. 58 (suppl. 4), p 3-37.

MARÍN GALVÍN, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos, tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid: Editorial Díaz Santos.

NCI, (2012). “*Caracterización de la zona de recarga y del sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Zaruma*”. Loja: Naturaleza y Cultura Internacional (NCI).

OTT, W. (1978). *Environmental Indices, Theory And Practice*. Michigan: Ann Arbor Science.

RAMÍREZ, A. (2010). “Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. Capítulo 5: Odonata” en *Biología Tropical*, vol. 58 (suppl. 4), p 97-136.

RIOS-TOUMA, B. et al. (2011). “*Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERAs)*”. Quito: Univeridad San Francisco de Quito.

ROLDÁN PÉREZ, G. (1988). *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Santafé de Bogotá: Editorial Presencia Ltda.

ROLDÁN PÉREZ, G. (1999). “Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua” en *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 1999, 23(88), p. 375-387.

ROLDÁN PÉREZ, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col*. Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia.

SÁNCHEZ HERRERA, M. (2005). “El índice biológico BMWP (Biological, Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santanter” en *revista de la Facultad de Ciencias Básicas* de la Universidad de Pamplona, vol. 3, N° 2, p 54-67.

SPRINGER, M. (2010). “Macroinvertebrados de Agua Dulce de Costa Rica I. Capítulo 7: Trichóptera” en *Biología Tropical*, vol. 58 (suppl. 4), p 151-198.

TACHET, H. et al. (2003). *Invertébrés d'eau douce: Systématique, biologie, écologie*. Paris: CNR.

TORRES, P., CRUZ, C. Y PATIÑO, P. (2009). “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Un revisión crítica” en *Ingenierías Universidad de Medellín*. Vol. 8, N°. 15 especial, p. 79-94.

NORMATIVA

Ecuador. Ley 37/1999, de Gestión Ambiental. *Registro Oficial*, 30 de julio de 1999, N° 245.

Ecuador. Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. *Registro Oficial*, 13 de febrero del 2015 (última modificación), núm. 270.

Ecuador. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. *Registro Oficial suplemento 2*, 31 de marzo del 2003, núm.320.

Ecuador. Ordenanza para la protección de fuentes y zonas de recarga de agua, ecosistemas frágiles y otras áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad y el patrimonio natural del cantón Zaruma. *Registro Oficial*, 23 de noviembre del 2012, núm. 837.

España. Directiva 75/440/CEE del Consejo, de 16 de junio de 1975, relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potables en los Estados miembros. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.

España. Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 5 de diciembre de 1998, núm. 330, p. 32-54.

INEN (2006). *Norma Técnica Ecuatoriana. Agua Potable: Requisitos*. NTE INEN 1 108:2011 Segunda Revisión. Quito: INEN.

INEN (2006). *Norma Técnica Ecuatoriana. Calidad del agua. Muestreo para el análisis microbiológico*. NTE INEN-ISO 19458. Quito: INEN.

INEN (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana. Agua Potable: Requisitos*. NTE INEN 1 108:2011 Cuarta Revisión. Quito: INEN.

INEN (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana. Directrices para la selección de métodos y dispositivos de muestreo de macroinvertebrados bentónicos en agua dulce*. NTE INEN-ISO 10870. Quito: INEN.

INEN (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo*. NTE INEN 2226:2013. Quito: INEN.

INEN (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*. NTE INEN 2169:2013. Quito: INEN.

INEN (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*. NTE INEN 2176:2013. Quito: INEN.

ENLACES WEB

Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica. *Ordenes de insectos de Costa Rica*. <<http://www.inbio.ac.cr/papers/insectoscr/Listord.html>> [Consulta: 6 de mayo del 2015]

Miliarium, Ingenieria Civil y Medio Ambiente. *Índices globales de calidad de aguas*. <<http://www.miliarium.com/prontuario/Indices/IndicesCalidadAgua.htm#Introduccion>> [Consulta: 12 de marzo del 2015]

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Invertebrados*. <http://eportal.magrama.gob.es/id_tax/listado/3> [Consulta: 6 de mayo del 2015]

United States Environmental Protection Agency. *Water Quality Standards for Surface Waters*. <<http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/>> [Consulta: 19 de mayo del 2015]

ANEXO 1

CURVAS DE FUNCIÓN DEL ICA NSF

A continuación se adjuntan las curvas de función necesarias para obtener el valor Q de cada variable que compone al ICA NSF:

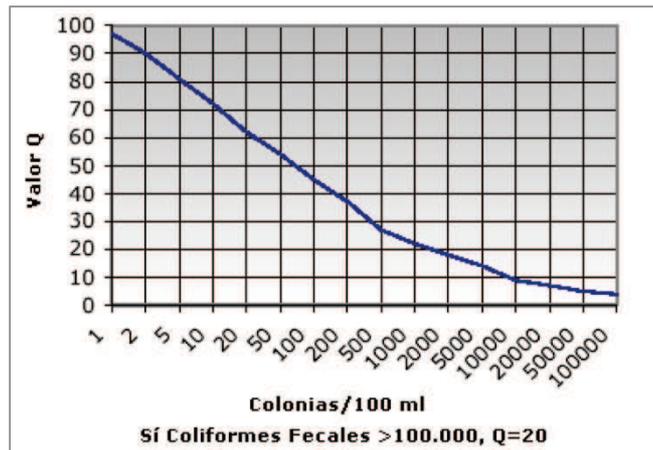


Figura 67. Curva de función para coliformes fecales (Fernández y Solano, 2007).

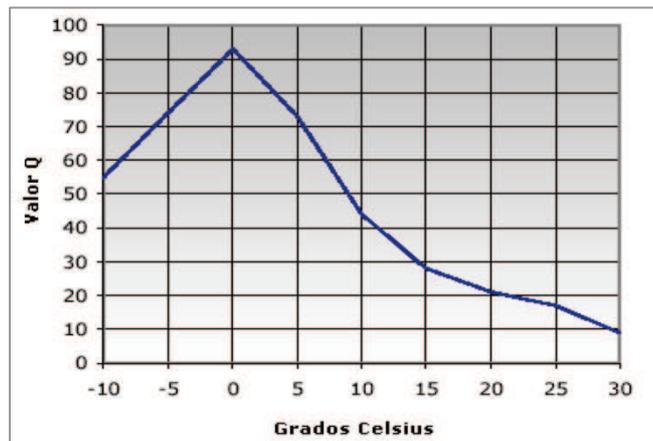


Figura 68. Curva de función para temperatura (Fernández y Solano, 2007).

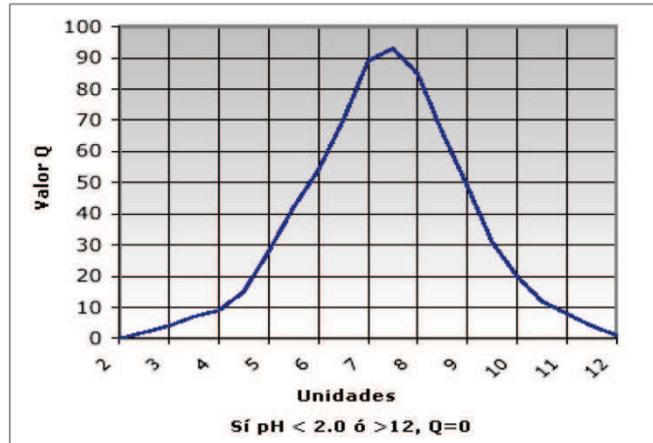


Figura 69. Curva de función para pH (Fernández y Solano, 2007).

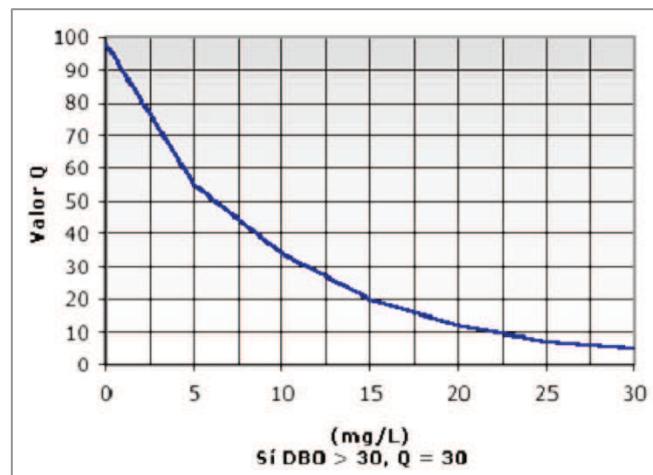


Figura 70. Curva de función para DBO₅ (Fernández y Solano, 2007).

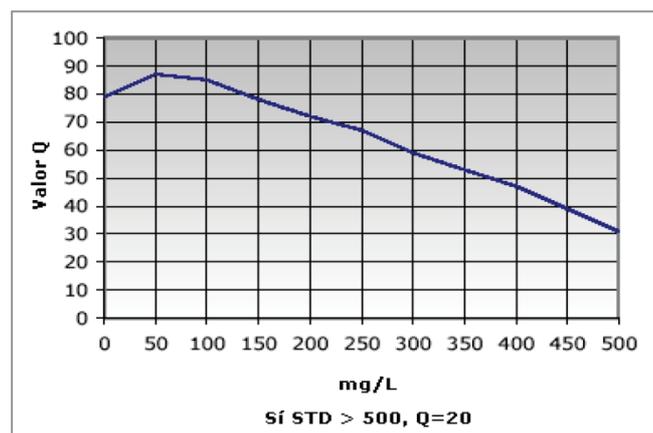


Figura 71. Curva de función para solidos totales disueltos (Fernández y Solano, 2007).

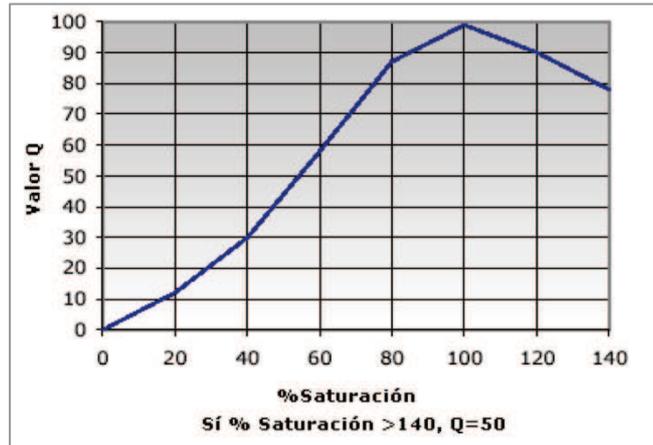


Figura 72. Curva de función para oxígeno disuelto (Fernández y Solano, 2007).

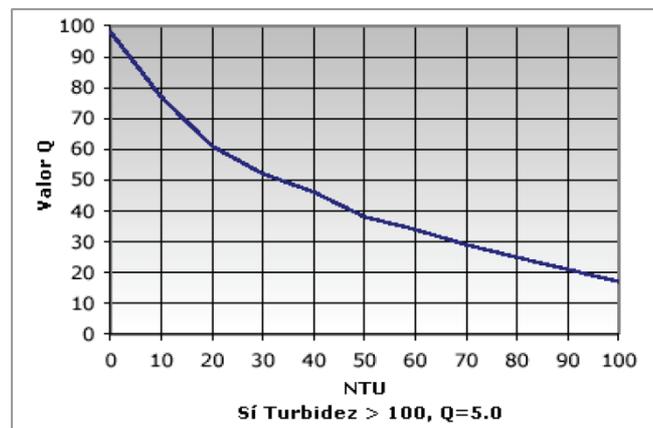


Figura 73. Curva de función turbidez (Fernández y Solano, 2007).

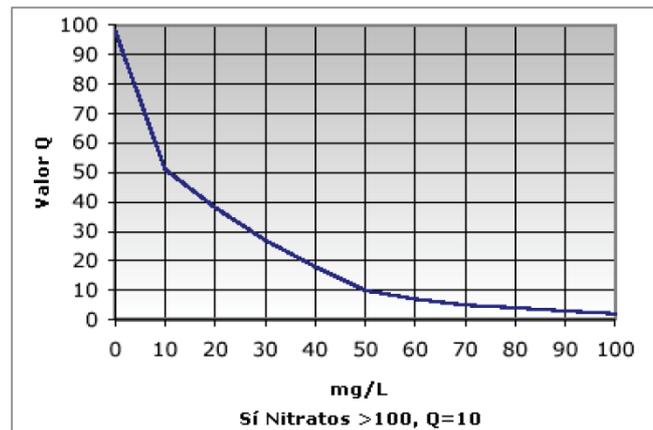


Figura 74. Curva de función para nitratos (Fernández y Solano, 2007).

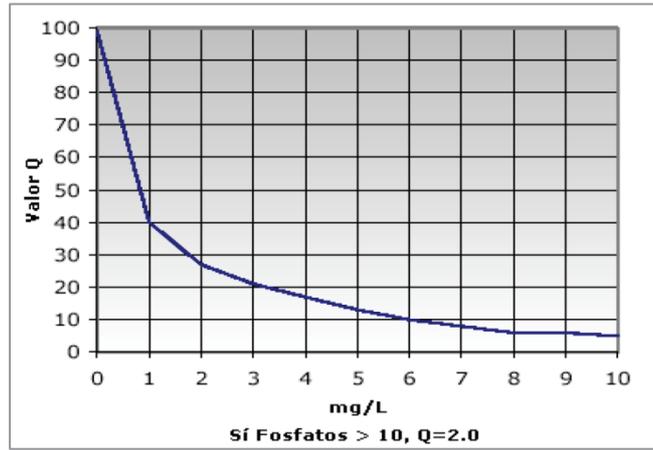


Figura 75. Curva de función para fosfatos totales (Fernández y Solano, 2007).

ANEXO 2

PROTOCOLOS DE MEDICIÓN IN SITU

En este anexo se incluyen los protocolos de medición in situ, para cada parámetro y aparato de medición.

Medición de temperatura, sólidos totales disueltos (STD) y conductividad eléctrica (CE)

Equipo:

- Multiparamétrico marca HACH, modelo Sesión 5.

Protocolo:

- Lavar previamente la sonda con agua destilada.
- Encender el equipo.
- Introducir la sonda en el agua, teniendo en cuenta que las celdas deben estar completamente sumergidas y presionar el botón "READ".
- Esperar a que la lectura se estabilice y anotar los valores en la hoja de campo.
- Lavar la sonda con agua destilada y guardarla en su estuche.

Medición de oxígeno disuelto (OD)

Equipo:

- Oxímetro marca YSI, serie EcoSense, modelo DO200A.

Protocolo:

- En primer lugar es muy importante que la sonda se encuentre siempre dentro de su capuchón y que sus paredes no estén en contacto con ninguna superficie.

- Lavar la sonda con agua destilada.
- Encender el equipo.
- Sumergir la sonda en el agua a medir y presionar el botón “CAL”; debido a que el tiempo de estabilización de esta sonda puede ser elevado, y más si se mide directamente en el río, se recomienda colocarla en un lugar fijo para evitar el cansancio al sostenerla (figura 25).
- Una vez estabilizada la lectura, anotar el valor en la hoja de campo.
- Lavar la sonda con agua destilada, poner el capuchón y guardarla en su estuche.

Medición de pH

El pH se midió por dos métodos: Sonda y colorimetría.

Equipo para medición con sonda

- Sonda multiparámetro de la marca HANNA, modelo HI-98129.

Protocolo para medición con sonda:

- Primeramente se lava la zona con agua destilada.
- Introducir la sonda en el agua teniendo en cuenta que esté cubierta por completo y presionar el botón “SET”.
- Esperar a que la lectura se estabilice y anotar el valor en la hoja de campo.
- Lavar la sonda con agua destilada y guardarla en su estuche.

Equipo para medición por colorimetría:

- Test de colorimetría

Protocolo para medición por colorimetría.

- En primer lugar hay que asegurarse que el recipiente en donde se va a introducir el agua y su tapón están bien lavados con agua destilada.
- Llenar el recipiente con el agua problema hasta el aforo que este marca.

- Introducir la pastilla de rojo fenol, tapan el recipiente con el tapón y agitar fuertemente en sentido vertical.
- Una vez disuelto el reactivo, realizar la lectura del valor comparando el color del agua problema con el de la escala de valores de pH y anotarlo en la hoja de campo.
- Lavar el recipiente y el tapón con agua destilada y guardarlo en su estuche.

Medición de Turbidez

Equipo:

- Oxímetro marca YSI, serie EcoSense, modelo DO200A.

Protocolo:

- En primer lugar es muy importante que la sonda se encuentre siempre dentro de su capuchón y que sus paredes no estén en contacto con ninguna superficie.
- Lavar la sonda con agua destilada.
- Encender el equipo.
- Sumergir la sonda en el agua a medir y presionar el botón “CAL”; debido a que el tiempo de estabilización de esta sonda puede ser elevado, y más si se mide directamente en el río, se recomienda colocarla en un lugar fijo para evitar el cansancio al sostenerla.
- Una vez estabilizada la lectura, anotar el valor en la hoja de campo.
- Lavar la sonda con agua destilada, poner el capuchón y guardarla en su estuche.

ANEXO 3

PROTOCOLOS DE ANALISIS QUÍMICOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA

En este anexo se incluyen los protocolos para realizar la determinación de la concentración de nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), fosfatos totales (PO_4^{3-}) y sulfatos (SO_4^{2-}), usando el espectrofotómetro HACH DR 2800.

Determinación de nitritos

- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el test “371 N Nitrito RB PP”.
- Llenar una cubeta con la muestra hasta la marca de 10 ml.
- Añadir a la cubeta el contenido de un sobre de reactivo en polvo NitriVer3 y agitarla con rotación hasta que se haya mezclado el contenido.
- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el símbolo del temporizador, presionar “OK” y esperar 20 minutos.
- Cuando suene el temporizador, se prepara el blanco, llenando la otra cubeta con agua destilada hasta la marca de 10 ml.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene el blanco y colocarla en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.
- Seleccionar en la pantalla “CERO”, la pantalla indicará 0,000 mg N- NO_2^- /l.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene la muestra y colocarla en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.
- Seleccionar en la pantalla “MEDICIÓN” y anotar el resultado que aparecerá en mg N- NO_2^- /l.

Determinación de nitratos

- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el test “255 N Nitrato RA PP”.
- Llenar una cubeta con la muestra hasta la marca de 10 ml.

- Añadir a la cubeta el contenido de un sobre de reactivo en polvo NitraVer5 y tapar la cubeta.
- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el símbolo de temporizador y presionar “OK”.
- Agitar vigorosamente la cubeta hasta que suene el temporizador (1 minuto).
- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el símbolo del temporizador, presionar “OK” y esperar 5 minutos.
- Cuando suene el temporizador, se prepara el blanco, llenando la otra cubeta con agua destilada hasta la marca de 10 ml.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene el blanco y colocarla en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.
- Seleccionar en la pantalla “CERO”, la pantalla indicará 0,0 mg N-NO₃⁻/l.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene la muestra y colocarla en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.
- Seleccionar en la pantalla “MEDICIÓN” y anotar el resultado que aparecerá en mg N-NO₃⁻/l.

Determinación de fosfatos totales

- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el test “490 P React. PV”.
- Llenar una cubeta con la muestra hasta la marca de 10 ml.
- Añadir en la cubeta el contenido de un sobre de reactivo en polvo PhosVer 3, tapar la cubeta y agitar vigorosamente durante 30 segundos para mezclar.
- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el símbolo del temporizador, presionar “OK” y esperar 2 minutos.
- Cuando suene el temporizador, se prepara el blanco, llenando la otra cubeta con agua destilada hasta la marca de 10 ml.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene el blanco y colocarla en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.
- Seleccionar en la pantalla “CERO”, la pantalla indicará 0,00 mg N-PO₄³⁻/l.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene la muestra y colocarla en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.

- Seleccionar en la pantalla “MEDICIÓN” y anotar el resultado que aparecerá en mg N-PO₄³⁻/l.

Determinación de sulfatos

- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el test “680 Sulfate”.
- Llenar una cubeta con la muestra hasta la marca de 10 ml.
- Añadir en la cubeta el contenido de un sobre de reactivo en polvo SulfaVer4 y agitar la cubeta con rotación hasta que se haya mezclado el contenido.
- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro el símbolo del temporizador, presionar “OK” y esperar 5 minutos.
- Cuando suene el temporizador, se prepara el blanco, llenando la otra cubeta con agua destilada hasta la marca de 10 ml.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene el blanco y colocarla en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.
- Seleccionar en la pantalla “CERO”, la pantalla indicará 0 mg SO₄²⁻/l.
- Limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene la muestra y colocarla en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.
- Seleccionar en la pantalla “MEDICIÓN” y anotar el resultado que aparecerá en mg SO₄²⁻/l.