

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL AGUA DE LOS
RÍOS PORCÓN, GRANDE Y MASHCÓN- CAJAMARCA, EN FUNCIÓN
DE LA MACROFAUNA BENTÓNICA COMO BIOINDICADOR

Para optar el Grado Académico de
DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

Luis Alberto Azabache Coronado

Asesora

Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado

Cajamarca-Perú

2018

COPYRIGHT 2018 by
LUIS ALBERTO AZABACHE CORONADO
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS APROBADA:

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL AGUA DE LOS RÍOS PORCÓN, GRANDE Y MASHCÓN- CAJAMARCA, EN FUNCIÓN DE LA MACROFAUNA BENTÓNICA COMO BIOINDICADOR

Para optar el Grado Académico de DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:
Luis Alberto Azabache Coronado

Comité Científico

Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Asesora

Dr. Homero Bazán Zurita
Presidente del Comité

Dr. Carlos Rosales Loredó
Primer Miembro Titular

Dr. Berardo Escalante Zumaeta
Segundo Miembro Titular

Dr. Valentín Paredes Oliva
Miembro Accesorio

Cajamarca, Perú
2018



Universidad Nacional de Cajamarca

Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERU

PROGRAMA DE DOCTORADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


DOCTORADO EN CIENCIAS


MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES


Siendo las cuatro de la tarde del día jueves veintitrés de agosto del año dos mil dieciocho, reunidos en el auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el Dr. Berardo Escalante Zumaeta, Dr. Homero Bazán Zurita, Dr. Carlos Rosales Loredo, como integrantes del jurado titular; y en calidad de Asesora, la Dra. Consuelo Plasencia Alvarado. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: "DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL AGUA DE LOS RÍOS PORCÓN, GRANDE Y MASHCÓN - CAJAMARCA, EN FUNCIÓN DE LA MACROFAUNA BENTÓNICA COMO BIOINDICADOR"; presentada por el M.Cs. LUIS ALBERTO AZABACHE CORONADO, con la finalidad de optar el Grado Académico de DOCTOR EN CIENCIAS, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó *aprobar* con la calificación de *Excelente (18)* la mencionada Tesis; en tal virtud, el M.Cs. LUIS ALBERTO AZABACHE CORONADO, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como DOCTOR EN CIENCIAS, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES.

Siendo las *18:00* horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Homero Bazán Zurita
Jurado Evaluador


.....
Dr. Carlos Rosales Loredo
Jurado Evaluador


.....
Dr. Berardo Escalante Zumaeta
Presidente Jurado Evaluador

A:

La paciente espera y confianza de mi entrañable familia, y de una manera singular a mis queridos hijos, sin cuya confianza, soporte moral, y afectivo, no habría sido posible conseguir esta meta

Sueña cuando acaba el día, sueña y tus sueños podrían hacerse realidad, las cosas nunca son tan malas como parecen, así que sueña, sueña, sueña.

- Johnny Mercer

CONTENIDO

	Página
LISTA DE ILUSTRACIONES	viii
AGRADECIMIENTOS.....	xiii
LISTA DE ABREVIACIONES	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases Teóricas	19
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	55
3.1. Ubicación Geográfica del Ámbito de Estudio	55
3.2. Caracterización Climática	60
3.3. Descripción del Diseño de la Investigación.....	60
3.4. Universo, Población y Muestra.....	61
3.5. Materiales y Métodos	61
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
4.1. Calidad Ambiental del Agua.....	66
4.2. Calidad Biológica del Agua	84
4.3. Calidad Ecológica del Agua.....	137
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	139
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142
CAPÍTULO VII: ANEXOS.....	157

LISTA DE ILUSTRACIONES

LISTA DE FIGURAS	Página
Figura 1. Niveles de organización y uso de indicadores biológicos.....	42
Figura 2. Relación entre la comprensión detallada de efectos de los Contaminantes y su relevancia ecológica.....	43
Figura 3. Mapa panorámico de las cuencas hídricas con divortium acuarium y el ámbito de estudio.	56
Figura 4. Mapa en detalle de la Cuenca Hídrica del río Mashcón, conformada por los ríos Porcón, Grande y Mashcón, materia de estudio.	57
Figura 5. Mapa con las Estaciones de Muestreo en el ámbito de estudio.....	58
Figura 6. Expresión numérica y gráfica de parámetros poblacionales en el área de estudio, durante el periodo de lluvia en el año 2012.....	98
Figura 7. Expresión numérica y gráfica de parámetros poblacionales en el área de estudio, durante el periodo de sequía en el año 2012.....	99
Figura 8. Expresión numérica y gráfica de parámetros poblacionales en el área de estudio, durante el periodo de lluvia en el año 2013.....	100
Figura 9. Expresión numérica y gráfica de parámetros poblacionales en el área de estudio, durante el periodo de sequía en el año 2013.....	101
Figura 10. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 1, río Porcón durante el periodo de lluvia del año 2012.....	103
Figura 11. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 1, río Porcón durante el periodo de lluvia del año 2013.....	104
Figura 12. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 1, río Porcón durante el periodo de sequía del año 2012.....	105
Figura 13. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 1, río Porcón durante el periodo de sequía del año 2013.	106
Figura 14. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 2, río Porcón durante el periodo de lluvia del año 2012.....	107
Figura 15. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 2, río Porcón durante el periodo de lluvia del año 2013.....	108
Figura 16. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 2, río Porcón durante el periodo de sequía del año 2012.....	109
Figura 17. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 2, río Porcón durante el periodo de sequía del año 2013.....	110
Figura 18. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 3, río Grande durante el periodo de lluvia del año 2012.....	111
Figura 19. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 3, río Grande durante el periodo de lluvia del año 2013.....	112
Figura 20. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 3, río Grande durante el periodo de sequía del año 2012.....	113
Figura 21. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 3, río Grande durante el periodo de sequía del año 2013.....	114
Figura 22. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 4, río Grande durante el periodo de lluvia del año 2012.....	11

Figura 23. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 4, río Grande durante el periodo de lluvia del año 2013.....	116
Figura 24. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 4, río Grande durante el periodo de sequía del año 2012.....	117
Figura 25. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 4, río Grande durante el periodo de sequía del año 2013.....	118
Figura 26. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 5, río Mashcón durante el periodo de lluvia del año 2012.....	119
Figura 27. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 5, río Mashcón durante el periodo de lluvia del año 2013.....	120
Figura 28. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 5, río Mashcón durante el periodo de sequía del año 2012.....	121
Figura 29. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 5, río Mashcón durante el periodo de sequía del año 2013.....	122
Figura 30. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e IMEERA, para la Estación RP-1 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	128
Figura 31. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e IMEERA, para la Estación RP-2 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	128
Figura 32. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e IMEERA, para la Estación RG-3 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	130
Figura 33. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e IMEERA, para la Estación RG-4 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	130
Figura 34. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e IMEERA, para la Estación RM-5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	132

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Clave Taxonómica Utilizada (tapa)	157
Foto 2. Clave taxonómica (contenido)	157
Foto 3. Confluencia de ríos Porcón (izquierda) y Grande (derecha), dando origen del río Mashcón.....	157
Foto 4. Río Porcón, con deterioro y contaminación de sus orillas.....	158
Foto 5. Río Grande, antes de la derivación hacia la Planta el Milagro.....	158
Foto 6. Río Mashcón, modificación y destrucción de su lecho y orillas.....	159
Foto 7. Sedimento de fondo	159
Foto 8. Tamizando el sedimento	159
Foto 9. Enjuagando la muestra	159
Foto 10. Rotulando envases.....	159
Foto 11. Preservando muestras	160
Foto 12. Empacando envases con muestras.....	160
Foto 13. Larva de Plecóptera.....	160
Foto 14. Larva de Efemeróptera (1).....	160
Foto 15. Larva de Efemeróptera (2).....	160

Foto 16. Larva de Tricóptera y estuche.....	160
Foto 17. Estuche de Tricóptera.....	160
Foto 18. Microscopio binocular estereoscópico.....	161
Foto 19. Procesamiento de datos físico-químicos.....	161
Foto 20. Procesamiento de datos biológicos.....	161

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Puntajes asignados a cada familia de macroinvertebrados, según el BMWP (Modelo base o estándar de Alba-Tercedor 1996).....	39
Tabla 2. Calidad de las aguas según el BMWP.....	40
Tabla 3. Valoración de la calidad del agua por el índice EPT%.....	41
Tabla 4. Métodos de muestreo actualmente usados para medir la calidad biológica mediante macroinvertebrados.....	44
Tabla 5. Algunas métricas usadas en la evaluación de la calidad biológica de las aguas utilizando Métodos Multimétricos.....	46
Tabla 6. Puntuaciones del Índice Biótico Andino (ABI) para las familias de macroinvertebrados acuáticos, distribuidas por encima de los 2000 msnm..	48
Tabla 7. Evaluación de los diferentes métodos sobre calidad del agua, usando macroinvertebrados como bioindicadores.....	52
Tabla 8. Ubicación de las estaciones de muestreo en los ríos Porcón, Grande y Mashcón.....	62
Tabla 9. Parámetros físico-químicos de la Estación 1 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	69
Tabla 10. Correlación de Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 1 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	70
Tabla 11. Parámetros físico-químicos de la Estación 2 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	72
Tabla 12. Correlación de Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 2 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	73
Tabla 13. Parámetros físico-químicos de la Estación 3 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	74
Tabla 14. Correlación de Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 3 en el río Grande durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	75
Tabla 15. Parámetros físico-químicos de la Estación 4 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	76
Tabla 16. Correlación de Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 4 en el río Grande durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	77
Tabla 17. Parámetros físico-químicos de la Estación 5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 201 y 2013.....	78
Tabla 18. Correlación de Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	79
Tabla 19. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 1 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 1013...	80

Tabla 20. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 2 en el río Porción, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013..	81
Tabla 21. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 3 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013...	82
Tabla 22. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 4 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013...	82
Tabla 23. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	83
Tabla 24. Taxonomía y sistemática de los macroinvertebrados en los ríos Porción, Grande y Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	85
Tabla 25. <i>Riqueza específica</i> y <i>Abundancia</i> o densidad en los ríos Porción, Grande y Mashcón durante el periodo de lluvia del año 2012, expresada como org/m ²	87
Tabla 26. <i>Riqueza específica</i> y <i>Abundancia</i> o densidad en los ríos Porción, Grande y Mashcón durante el periodo de sequía del año 2012, expresada como org/m ²	89
Tabla 27. <i>Riqueza específica</i> y <i>Abundancia</i> o densidad en los ríos Porción, Grande y Mashcón durante el periodo de lluvia del año 2013, expresada como org/m ²	91
Tabla 28. <i>Riqueza específica</i> y <i>Abundancia</i> o densidad en los ríos Porción, Grande y Mashcón durante el periodo de lluvia del año 2013, expresada como org/m ²	93
Tabla 29. Parámetros poblacionales integrados de los macroinvertebrados, en el área de estudio durante el periodo de lluvia del año 2012.....	94
Tabla 30. Parámetros poblacionales integrados de los macroinvertebrados, en el área de estudio durante el periodo de sequía del año 2012.....	95
Tabla 31. Parámetros poblacionales integrados de los macroinvertebrados, en el área de estudio durante el periodo de lluvia del año 2013.....	96
Tabla 32. Parámetros poblacionales integrados de los macroinvertebrados, en el área de estudio durante el periodo de sequía del año 2013.....	97
Tabla 33. <i>Nichos ecológicos</i> de los macroinvertebrados, identificados por el Método Multimétrico <i>IMEERA</i> , durante periodos de lluvia y sequía de los ríos Porción, Grande y Mashcón en promedio del bienio 2012 y 2013.....	123
Tabla 34. Valores de <i>índices bióticos</i> , de <i>diversidad</i> e <i>IMEERA</i> para las Estaciones RP-1 y RP-2 en el río Porción, durante los periodos de lluvia y sequía (LL y S) en los años 2012 y 2013.....	124
Tabla 35. Valores de <i>índices bióticos</i> , de <i>diversidad</i> e <i>IMEERA</i> para las Estaciones RG-3 y RG-4 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía (LL y S) en los años 2012 y 2013.....	125
Tabla 36. Valores de <i>índices bióticos</i> , de <i>diversidad</i> e <i>IMEERA</i> para la Estación RM-5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía (LL y S) en los años 2012 y 2013.....	126
Tabla 37. Valores promedio de <i>índices bióticos</i> , de <i>diversidad</i> e <i>IMEERA</i> para las Estaciones RP-1 y RP-2 en el río Porción, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	128
Tabla 38. Valores promedio de <i>índices bióticos</i> , de <i>diversidad</i> e <i>IMEERA</i> para las Estaciones RG-3 y RG-4 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y	

sequía en los años 2012 y 2013.....	130
Tabla 39. Valores promedio de <i>índices bióticos</i> , de <i>diversidad</i> e <i>IMEERA</i> para la Estación RM-5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	132
Tabla 40. Escala de valoración cuali-cuantitativa y cromática para la calidad Ecológica del agua por el <i>índice IMEERA</i> usada para los ríos Porcón, Grande y Mashcón durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.....	134
Tabla 41. Valores de la calidad ecológica del agua por el <i>índice IMEERA</i> de los ríos Porcón (RP), Grande (RG) y Mashcón (RM) por Estaciones de muestreo durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013..	135
Tabla 42. Rangos y valores promedios de calidad ecológica del agua por el <i>índice IMEERA</i> de los ríos Porcón, Grande y Mashcón por Estaciones de muestreo durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013..	136

AGRADECIMIENTOS

Debo expresar mi reconocimiento a las autoridades competentes y el personal administrativo de la Universidad Nacional de Cajamarca, quien desde la inicial solicitud de estudio doctoral brindaron su total disposición en el apoyo administrativo como en el soporte financiero, así como aliento durante la realización del presente trabajo. A mis estimados profesores locales, nacionales y extranjeros que constituyeron la plana docente del doctorado. Al M.C. Jorge Ponce González por su oportuna e importante orientación en el aspecto estadístico que fue requerido. Al Dr. Valentín Paredes Oliva por su permanente estímulo y motivación. Al señor Manuel Ramos Herrera por su valioso apoyo en las tareas de colecta y registro de información durante la fase de campo. Y, en estricta justicia, independiente de la labor de rutina, deseo expresar mi sincero agradecimiento por el constante estímulo de parte de la Dra. Consuelo Plasencia Alvarado, dada las condiciones especiales en las que se tuvo que redactar y editar el presente trabajo.

ABREVIACIONES

ed.:	Edición
ed :	Editor (Editores)
s.f.:	Sin fecha
p. (pp.):	Página (páginas)
Vol.:	Volumen
ONERN:	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
CERA:	Protocolo para estimar la Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos.
REBIOL:	Órgano oficial de la investigación científica y tecnológica en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo.
CABIRA:	Aplicativo informático del Protocolo CERA para estimación de la Calidad Biológica de Ríos Altoandinos.
IMEERA:	Índice Multimétrico del Protocolo CERA para la Evaluación Ecológica de Ríos Altoandinos.
Bach.:	Bachiller
U.N.T.:	Universidad Nacional de Trujillo
OLDEPESCA:	Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero
SELA:	Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe
CAF:	Corporación Andina de Fomento
IMARPE:	Instituto del Mar del Perú
UMSA:	Universidad Mayor San Andrés (La Paz, Bolivia)
ASPADERUC:	Asociación para el Desarrollo Rural de Cajamarca
APLAC:	Asociación Peruana de Limnología y Acuicultura Continental
ECSA:	Ecoplaneación Civil S.A.
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
MEM:	Ministerio de Energía y Minas
EPA:	Agencia de Protección Ambiental (USA)
CNR:	Comisión Nacional de Riego (Chile)
CEA:	Centro de Ecología Aplicada (Chile)
CONAMA RM:	Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana.
EULA:	Condiciones para el uso de un programa o servicio web.
IB ChSignal:	Aplicación de Mensajería Chilena sobre Índices Bióticos.
EPT:	Índice de Diversidad, Efemeróptera, Plecóptera y Tricóptera.
ACTAF:	Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales
PENSOFT:	Pensoft Publishers Sofia, Moscú.
Rev. Biol. Trop.:	Revista de Biología Tropical, Nicaragua.
Rev. Chil. Hist. Nat.:	Revista Chilena de Historia Natural.
OED:	Oxford English Dictionary
NSF:	Comisión Nacional de Saneamiento (USA)
Índice DINIUS:	Índice de calidad de Agua, diseñada por Linda L.Dinius (1972).
Índice BMWP:	Índice de Calidad de Agua, diseñado por J. M. Hellawell (1978)
ORSTOM:	Oficina Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas en los Territorios de Ultramar (Francia).
MINAM:	Ministerio del Ambiente (Perú).
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental (según MINAM)

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en cinco estaciones muestrales en tres ríos de la región Cajamarca, dos en el río Porcón, dos en el río Grande y una en el río Mashcón, con muestras por triplicado en cada estación, durante los periodos de lluvia (enero) y sequía (setiembre) de los años 2012 y 2013. Se evaluaron la temperatura, pH, descarga, turbiedad, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Se determinó la estructura poblacional de la macrofauna bentónica, constituida por 5 phyla: Cnidaria, Annelida, Nematoda, Mollusca y Arthropoda; 10 órdenes y 23 familias; los órdenes y sus géneros más *abundantes*, fueron: Tricóptera (28,6%), con *Sericostoma* (1°), *Ochrotrichia* (2°) y *Atanotica* (6°); Díptera (25%), con *Alluaudomyia* (3°), *Chironomus* (5°) y *Tipula* (10°); Coleóptera (10,7%), con *Latelmis* (4°); Efemeróptera (7%), con *Baetis* (7°); Haplotáxida (7,1%), con *Lumbriculus* (8°); Hydroida (3,6%), con *Hydra* (9°); Bassomatophora y Plecóptera (3,6%), respectivamente. La *calidad ecológica* de las aguas, fue determinada por la *calidad ambiental* a través de los parámetros físico-químicos, y por la *calidad biológica* a través de los índices bióticos y de diversidad; la primera de acuerdo a los Estándares de Calidad (ECA) del MINAM, y la segunda de acuerdo al índice *multimétrico IMEERA*, con el que se valoró de buena a excelente calidad para el río Grande, de regular calidad para el río Mashcón, y de regular a pésima calidad para el río Porcón, calificando la calidad ecológica de las aguas dentro de la categoría A3 (*que pueden ser utilizadas para agricultura y pecuaria*), según los Estándares ECA del MINAM. Los *nichos ecológicos* reportados en orden de dominancia fueron: los *Colectores-recolectores*, representados por efemerópteros, dípteros, tricópteros y plecópteros; los *Depredadores*, *Trepadores*, *Fijadores*, *Trituradores*, *Raspadores* y *Filtradores*, presentes con menor relevancia. Los organismos *Taxa/tolerantes* dominaron sobre los *Taxa/intolerantes* en los tres ríos, con mayor expresión durante las épocas de sequía.

Palabras Clave: Calidad Ecológica del agua, Función de la Macrofauna Bentónica, Bioindicador

ABSTRACT

The work was carried out in five sampling stations in three rivers of the Cajamarca region, two in the Porcón river, two in the Grande river and one in the Mashcón river, with samples in triplicate in each season, during the rainy periods (January) and drought (September) of the years 2012 and 2013. Temperature, pH, discharge, turbidity, dissolved oxygen and electrical conductivity were evaluated. The population structure of the benthic macrofauna was determined, constituted by 5 phyla: Cnidaria, Annelida, Nematoda, Mollusca and Arthropoda; 10 orders and 23 families; the orders and their more abundant genera were: Tricóptera (28.6%), with *Sericostoma* (1 °), *Ochrotrichia* (2 °) and *Atanatolica* (6 °); Diptera (25%), with *Alluaudomyia* (3 °), *Chironomus* (5 °) and *Tipula* (10 °); Coleoptera (10.7%), with *Latelmis* (4th); Ephemeroptera (7%), with *Baetis* (7 °); Haplotaxida (7.1%), with *Lumbriculus* (8 °); Hydroid (3.6%), with *Hydra* (9 °); Bassomatophora and Plecóptera (3.6%), respectively. The ecological quality of the waters was determined by the environmental quality through the physical-chemical parameters, and by the biological quality through the biotic and diversity indexes; the first according to the Quality Standards (ECA) of the MINAM, and the second according to the IMEERA multimetric index, with which it was assessed from good to excellent quality for the Rio Grande, of regular quality for the Mashcón river, and regular to very poor quality for the Porcón River, qualifying the ecological quality of the waters within the category A3 (which can be used for agriculture and livestock), according to the ECA Standards of the MINAM. The ecological niches reported in order of dominance were: collectors-gatherers, represented by ephemeroptera, diptera, trichoptera and plecoptera; Predators, Climbers, Fixers, Crushers, Scrapers and Filters, present with less relevance. The Taxa / tolerant organisms dominated over the Taxa / intolerant in the three rivers, with greater expression during times of drought.

Keywords: Ecological quality of water, Function of Benthic Macrofauna, Bioindicator

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Explorar a profundidad la naturaleza, implica descifrar los misterios de su organización y funcionamiento. En los ecosistemas acuáticos, una primera contemplación, induce a una observación más detallada y posterior comprensión de la complejidad estructural y fisiológica que se suscitan al interior de estos ambientes como ríos, lagos, lagunas y también el ecosistema marino. Los ríos altoandinos son importantes precursores de grandes ríos, pero el impacto humano ha agregado mayor heterogeneidad al paisaje natural de los Andes, por lo que es importante tener conocimiento acerca de su calidad, cantidad, distribución, valoración económica, usos y dinámica (Pimentel 2014).

Los cuerpos de agua continentales sostienen una amplísima variedad de formas de vida, en aguas libres y también en los sedimentos y sustratos de fondo. Las comunidades acuáticas mantienen una estructura heterogénea, que se inicia con un grupo de organismos autótrofos denominado fitoplancton, que sirve de alimento a un segundo grupo, consumidores de aquel y que se denomina zooplancton; ambos por mantenerse errantes en las corrientes acuáticas, conforman la comunidad del plancton. Luego, un tercer grupo que dispone de mecanismos de locomoción propia al que se le denomina necton, constituido por peces y otros organismos mayores. Finalmente, un cuarto grupo de organismos que *viven sobre el fondo de los cuerpos de agua*, entre troncos, superficies pedregosas, arenosas o lodosas, conocido como bentos o macroinvertebrados, y constituido por protozoarios, cnidarios, anélidos, nemátodos, crustáceos, moluscos, y especialmente larvas de insectos o adultos, *con cuya presencia, ausencia y modificaciones en su estructura poblacional* se hacen estudios sobre calidad del agua, materia de la presente investigación. En este contexto se ha generado el desarrollo de índices bióticos para valorar el impacto antropogénico sobre dichos ecosistemas (González *et al.* 2013), resaltando aquellos que usan comunidades de

macroinvertebrados, sobre cuya estructura se evidencian los cambios más rápido que con otros bioindicadores, cuyas respuestas puedan notarse tal vez muy tarde para la conservación de cuencas (Wolfram *et al.* (2012).

Un río es más que una corriente de agua que se origina en las partes altas de las montañas y fluye en descenso por colinas, valles y llanuras hasta desembocar en otro río mayor o un lago. Es una fuente de recursos para la flora, fauna y los seres humanos. Esto implica que cada río al depurar el agua contribuye a establecer el equilibrio el medio ambiente, la biodiversidad y, en general la vida. Sin embargo, los impactos de las diversas faenas humanas como el represamiento y remoción de la vegetación ribereña, que ocasionan cambios drásticos en el flujo natural de la materia y la energía y modificaciones en el ciclo de nutrientes, especialmente del nitrógeno y fósforo, y en la disponibilidad de sustratos orgánicos (Jorcín y Nogueira 2008), y en términos generales las actividades agrícolas, pecuarias, acuícolas, forestales, domésticas, industriales, se traduce en perturbaciones de carácter físico, químico, biológico, económico, social y cultural que inciden sobre el ambiente (Menchaca 2018), justifican y amerita todo esfuerzo sobre evaluación de los sistemas dulceacuícolas, uno de cuyos métodos es el uso de la macro fauna bentónica como indicadores de calidad, porque reflejan las condiciones físicas, químicas y bióticas e integran y acumulan los efectos de diferentes presiones sobre los ecosistemas naturales, también porque se realizan con organismos indicadores del medio en que habitan, los cuales están integrados al recurso durante toda su vida, y de esta forma pueden reflejar las fluctuaciones de contaminación (Alba-Tercedor 1996, Roldán 2003), y adicionalmente por ser fáciles de muestrear, tener ciclos biológicos cortos y fácil de identificar hasta nivel de familias, para determinar de manera indirecta el estado ambiental del agua, y con ello predecir las condiciones el agua en un futuro (Ramírez y Gutiérrez 2014).

Precisamente, con la finalidad de determinar la magnitud de estudios sobre este tema, así como sobre otros aspectos de ecología acuática continental en los últimos años en Latinoamérica, se realizaron dos importantes estudios:

El primero, consistió en una recopilación literaria que cubrió 500 artículos publicados hasta el año 2013, donde el 65% de ellos se realizaron en tres países (Brasil, Argentina y Costa Rica), y el 35% en 18 países; de ellos la taxonomía fue el tema más importante en la región (28.1%), con los órdenes Ephemeroptera y Tricóptera como los más estudiados; los otros temas trataron sobre cuantificación de la biodiversidad (22.7%), distribución de grupos acuáticos (11.1%), temas varios sobre ecología e historia natural (27.8%) y, el tema de biomonitorio tan recurrido y en aumento en los últimos años (10.3%). De este esfuerzo se concluyó que las tareas para mejorar nuestro conocimiento sobre los macroinvertebrados de agua dulce de América Latina son: (1) continuar con los estudios taxonómicos, (2) determinar los mecanismos responsables por los cambios en biodiversidad, (3) evaluar el papel de los macroinvertebrados en los procesos ecológicos, (4) llevar los esfuerzos de biomonitorio más allá de los métodos unimétricos, (5) implementar una visión de ecosistema, y (6) establecer estudios a largo plazo (Ramírez y Gutiérrez-Fonseca 2014).

Un segundo estudio, fue realizado propiamente sobre el *uso los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua* durante las últimas cuatro décadas en Colombia y Latinoamérica, desarrollado y publicado por Roldán-Pérez (2016).

En Venezuela, Segnini (2003), revisó los diferentes enfoques del concepto de los macroinvertebrados como bioindicadores. Otro trabajo importante sobre la ontología de insectos acuáticos, que sirve de repositorio de los conceptos y relaciones del dominio,

facilitando y posibilitando la organización, centralización, reutilización y *estandarización de la terminología de la información y el conocimiento* durante el estudio de los Plecópteros en Venezuela, fue realizado por Ramos et al. (2014).

En México, un estudio llevado a cabo en el río las Habitas (Sinaloa), reportó una puntuación de 0.07 para el índice de Simpson, que indica que la diversidad y equidad fueron bajas, en tanto el índice de Shannon también tuvo un valor bajo de 2.7 (Reyes et al. 2013).

En Nicaragua, se llevaron a cabo investigaciones en varios tramos del río Gil González, usando macroinvertebrados acuáticos como herramienta fundamental en el biomonitoreo, ello permitió identificar 32 categorías taxonómicas en total, siendo la Clase Insecta con el mayor número de órdenes, y los Dípteros los más numerosos y frecuentes, con dos familias dominantes: Chironomidae y Ceratopogonidae, y que según el índice BMWP'-CR usado, las aguas fueron consideradas de buena calidad (Selvia 2012). En otro estudio sobre macroinvertebrados acuáticos en tres microcuencas, se encontró que el Phylum Arthropoda fue dominante con cinco órdenes y 14 familias, entre ellas Candonidae, Tricorythidae y Chironomidae como las más frecuentes y abundantes (Salvatierra 2014).

En Cuba, en un estudio realizado en el río Ariguanabo, se registraron valores de DQO y coliformes fecales por encima de la norma, debido a la gran cantidad de aportes de aguas residuales, con altas concentraciones de materia orgánica de origen doméstico y porcino. En la fauna macroinvertebrada existe un predominio de familias con alta tolerancia a la contaminación, fundamentalmente del orden Molusca (Miravet et al. 2016).

En Ecuador, investigaciones realizadas en dos micro cuencas del río el Ángel, mostraron que el nicho ecológico *colectores-recolectores* fue dominante en todas las zonas de estudio, y que la presencia del bosque de ribera disminuye los impactos del cambio de uso del suelo, motivo por el cual su preservación es de suma importancia en la conservación de los ecosistemas (Santos 2017).

Yépez et al. (2017), realizaron estudios para caracterizar las condiciones físico-químicas del agua, identificar la diversidad de macroinvertebrados y determinar la calidad hídrica en dos sitios de descarga de efluentes del río en la ciudad de Quevedo (Ecuador): efluentes residenciales (ER) y efluentes agrícola-industriales (EAI); encontrando una menor calidad de agua en el sitio de descargas residenciales (ER), de acuerdo a las bajas puntuaciones de diversidad y del índice de calidad BMWP-Col utilizado.

En Colombia, Riss et al. (2002), adaptaron el sistema BMWP para evaluar varias cuencas, en tanto iniciaron también un importante trabajo sobre la implementación de un método basado en redes integrales para estimar la calidad del agua en las cuencas media y alta del río Bogotá.

Posteriormente, en otro trabajo importante, con el objeto de evaluar la composición de las comunidades de macroinvertebrados y la calidad de agua en zonas de río provistas de vegetación ribereña nativa y exótica y zonas sin vegetación, fueron muestreadas tres quebradas: El Diamante, La Oliva y el río Chinchiná (Departamento de Caldas); la primera estación con bosque nativo como vegetación ribereña, la segunda con influencia de *Eucalyptus sp.*, y la tercera sin vegetación ribereña. Los resultados mostraron diferencias muy significativas en la riqueza de macroinvertebrados entre las estaciones

con y sin presencia de vegetación ribereña, siendo esta un factor determinante para el establecimiento de la comunidad de macroinvertebrados, y la vegetación nativa para la presencia de un mayor número de géneros exclusivos en la comunidad bentónica local (Meza et al 2012).

Igualmente, en otro estudio sobre la determinación de la calidad de agua mediante variables físico químicas, y el uso de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa-Boyacá (Colombia), se demostró que las comunidades de macroinvertebrados parecen estar fuertemente influenciadas por el régimen hidrológico, que no sólo modifica las condiciones físicas sino también las variables químicas del agua, favoreciendo o limitando en diferente grado y forma su composición y abundancia. Así, la comunidad de macroinvertebrados y la calidad biológica del agua según el índice BMWP fue mejor durante el periodo de sequía, posiblemente porque el bajo caudal y velocidad de la corriente favorecen la conformación de muchos micro hábitats y una comunidad más estructurada y representativa, como de los órdenes *taxa tolerantes* Díptera y Basommatophora, favorecidos con el aumento de sedimentos y materia orgánica, y donde, los organismos *colectores*, estuvieron asociados con rápidos, cuyas corrientes y sustrato facilitan la colección y filtrado del alimento; dicho estudio fue llevado a cabo por Gil (2014).

En Argentina, varios trabajos permitieron realizar la evaluación de las variables físico-químicas que afectan la distribución y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua, como el realizado en el río Mendoza, uno de los pocos trabajos que dieron inicio al estudio de insectos acuáticos en la región andina centro oeste de Argentina, bajo la conducción de Scheibler (2002).

En un estudio contemporáneo hecho el sudoeste de la provincia del río Negro (Argentina), sobre el rol de los macroinvertebrados como bioindicadores del impacto antrópico sobre ecosistemas de humedales de agua dulce, donde la calidad del agua reflejó aumentos de pH, salinidad, biomasa de fitoplancton con evidente eutrofización por mayor impacto de la ganadería y la urbanización, con diferentes respuestas en los macroinvertebrados a través de los grupos de quironómidos y crustáceos, que serían apropiados como indicadores de disturbio y usados en el diseño de planes de vigilancia y monitoreo ambiental, para una mejor gestión y conservación (Machi 2017).

En Chile, Jara (2002), Toro et al. (2003) y Leiva (2004), entre otros, desarrollaron importantes investigaciones aplicando diversos índices bióticos en ríos meridionales, trabajando con familias de organismos macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua, por haber demostrado ser muy prácticos, de bajo costo, fácil de entender, de alta sensibilidad en la calidad de agua y con resultados confiables (Roldán-Pérez 2016).

En Perú, el estudio del bentos en general, y de los macroinvertebrados en particular, se viene desarrollando con importante impulso en el último quinquenio, en gran medida por las evaluaciones de impacto ambiental y biomonitoreo derivados mayormente de la inversión minera de gran escala y otras actividades extractivas de recursos. Existen trabajos realizados por Azabache (1975, 1979, 1990, 1996, 1997, 2005, 2006, 2008, 2009), sobre calidad ambiental, comunidades planctónicas, macroinvertebrados y peces, en las cuencas de la Amazonía, Junín y Cajamarca.

Igualmente, Azabache et al. (2013), llevaron a cabo biomonitoreos en ambientes acuáticos del proyecto minero Sarín (Huamachuco), reportando que las familias

taxa/tolerantes Chironomidae, Hydrophilidae, Haplotaxidae y Hyallelidae fueron más abundantes que las familias *taxa/intolerantes* Leptoceridae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, del orden Tricópteros, determinándose con ello que las aguas tuvieran una calificación de entre regular a mala calidad.

También destacamos las investigaciones realizadas en la laguna de Paca (Junín), sobre caracterización de la estructura comunitaria del macrobentos y de los principales factores físico-químicos del agua y sedimentos, en la que reportaron bajos tenores de oxígeno disuelto (1 a 2 mg/L), baja *diversidad* (10 especies), y alta *abundancia* (400 a 4,400 org/m²), encontrándose que *Tubifex tubifex* y *Chironomus* sp. del orden Díptera fueron las especies *taxa/tolerantes* más abundantes; constituyendo un claro testimonio biológico de eutrofización de la laguna (Huamán et al. 2002).

De igual modo, en estudios sobre biodiversidad de los macroinvertebrados de la fauna bentónica efectuados en las lagunas de Puerto Viejo (Lima), se calculó la diversidad usando los *índices de Shannon-Wiener (H')*, *de Equidad de Pielou (J')* y *de Dominancia de Simpson (C)*, la misma que no varió significativamente en todas las estaciones de muestreo, obteniéndose como resultado aguas de mala calidad, por una baja *riqueza específica* y alta *abundancia*, donde la *dominancia* estuvo fuertemente marcada por las especies *taxa/tolerantes* *Melanoides tuberculata* y *Heleobia cumingi* (moluscos), y el díptero *Chironomus* sp. (Iannacone et al. 2003).

De otro estudio sobre calidad del agua llevado a cabo en el río Santa Eulalia (Lima), usando simultáneamente los índices bióticos EPT, BMWPCol e índice ABI, se reportó que con el *índice EPT*, en tramos del curso superior del río se

registraron rangos que variaron desde mala a muy buena calidad; en el curso medio, de mala a buena calidad, y en el curso bajo, variaron entre mala, regular y buena calidad. En tanto que, usando el índice BMWPCol, la calidad en el tramo superior vario de entre muy crítica (V), hasta aceptable (II); en el curso medio, de crítica (IV), a dudosa (III); mientras que en el curso inferior fue desde muy crítica (V), hasta dudosa (III). Y finalmente, usando el índice ABI, la calidad ecológica para el curso superior fue de pésima a muy buena; en el curso medio varió de entre pésima, mala y moderada, y en el curso inferior, de pésima y mala calidad (Arana 2008).

En Cajamarca, se promueve en los últimos años una activa corriente de interés por el conocimiento sobre las estructuras poblacionales, diversidad biológica, los procesos ecológicos que los sustentan y su potencial, en los ecosistemas dulceacuícolas. Así, existen estudios iniciados por Bazán et al. (1995), sobre biodiversidad y ecología en áreas bajo denuncia minero; evaluaciones taxonómicas del plancton y la micro fauna bentónica para Minas Conga y Greystoke (1998).

Entre otros, Azabache (2005), efectuó biomonitoreos sobre comunidades del plancton y macroinvertebrados bentónicos para la ONGD ASPADERUC en la cuenca del río Cedro (prov. de Santa Cruz), dentro del ámbito del proyecto La Zanja, donde reportó aguas de regular a buena calidad, por dominancia de los géneros *taxa/intolerantes* Sericostoma, Stenophylax y Limnephilus del orden Tricoptera, indicador de buena calidad, sobre el género Chironomus del orden Diptera, indicador de aguas de mala calidad (taxa/tolerante). Posteriormente, se realizó un estudio sobre estructura poblacional del plancton y macroinvertebrados, así como sobre la calidad ecológica del agua en las sub cuencas de Cerro Azul y San Cirilo, ambos del proyecto minero El Solitario

(Cajamarca); donde utilizando el índice de Shannon-Wiener, se reportó en ellas aguas de calidad moderada (Azabache 2006).

Posteriormente, Knigth Piésold Consultores S.A. (2005), en su Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Cerro Corona de la Sociedad Minera La Cima S.A (Gold Fields), reportó en una de sus conclusiones que aguas arriba del pueblo de Hualgayoc no había degradación en la calidad; pero hacia abajo luego de la confluencia con la quebrada Mesa de Plata, si hubo degradación en la calidad del agua por presencia de metales y sólidos totales de antiguos pasivos ambientales.

A su vez, la consultora Nippon Koei Co. Ltd. (2009), en el Plan de gestión de los recursos hídricos en las Cuencas del Mashcón y Chonta-Cajamarca, elaborado para Minera Yanacocha, concluyó que no existen amenazas inminentes a la vida o la salud humana, ni al ganado ni cultivos, y que el agua es apta para todo uso humano en el corto plazo.

Igualmente, Plasencia (2010), desarrolló su trabajo de Tesis sobre la dinámica poblacional del fitoplancton en los ríos Porcón y Grande y determinó que las aguas de los ríos Grande y Porcón son de mala calidad.

Y, la Universidad Nacional de Cajamarca en Convenio con la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España), realizaron en el año 2011 una evaluación de la calidad ecológica del agua en la cuenca del río Jequetepeque, (Cajamarca), implementando para ello por primera vez en la región el Índice Biótico Andino (ABI), y el protocolo CERA; donde según este último, los resultados mostraron valores heterogéneos que varían de

entre natural, buena, intermedia, mala y pésima calidad para las diferentes estaciones de muestreo y tributarios de la cuenca.

Respecto a la influencia de los factores fisicoquímicos y ambientales sobre las comunidades de macroinvertebrados, existen versiones heterogéneas, pues mientras algunos investigadores enfatizan que la conductividad, pH y temperatura son los factores principales en su distribución y composición (Morelli y Verdi 2014), otros citan que la velocidad de la corriente, la temperatura del agua y la disponibilidad de oxígeno son los factores determinantes, habiendo encontrado valores más altos en la velocidad y más bajos en temperatura en lugares con mayor riqueza y abundancia de macroinvertebrados (Domínguez y Fernández 2009). Por su parte, Londoño et al. (2017), encontraron que los factores físico-químicos estuvieron dentro de los parámetros normales favoreciendo el desarrollo de la vida, y que el hábitat y los impactos ambientales fueron más determinantes en la estructura de la biodiversidad que la calidad química. Otro importante aporte a ello precisa que la distribución y composición de la comunidad bentónica es determinada por el gradiente de estrés sinérgico generado por la degradación hidromorfológica, la conductividad y la temperatura, especialmente en la zona media y baja de la cuenca, donde la agricultura, el emplazamiento de embalses y las zonas urbanas generan el mayor impacto (Carvacho 2012).

En Cajamarca la responsabilidad sobre el manejo de cuencas la asumen la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Ministerio de Agricultura (MINAG), la Dirección Regional de Salud (DIRESA), y la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento (SEDACAJ); y a la Universidad Nacional de Cajamarca, le compete conducir la investigación de los ecosistemas hídricos como los ríos Porcón, Grande, Mashcón y otros, para generar propuestas y mejor gestión futura.

Todo ello, pone en contexto que el uso de macroinvertebrados bentónicos para valorar el estado ecológico de los cuerpos de agua, es ahora uno de los principales componentes en la legislación ambiental sobre recursos hídricos en todo el mundo (Pond *et al.* 2013), porque estos organismos han demostrado ser buenos indicadores de la calidad ecológica del agua, al proporcionar una respuesta cuantificable sobre las alteraciones del ecosistema acuático (Gabriels *et al.* 2010).

Sin embargo, a pesar de que el conocimiento de la composición y estructura de las comunidades bentónicas, así como de la calidad ecológica de las aguas en los ríos altoandinos, en Perú no es tan denso como en otros ecosistemas fluviales andinos (Acosta 2009), se llevó a cabo la presente investigación en los ríos Porcón, Grande y Mashcón, que están siendo impactados, pues sus afluentes reciben descargas pluviales, cloacales, agroquímicos, sustancias tóxicas, material de desecho de tipo orgánico e inorgánico, así como una persistente destrucción de sus lechos, orillas y bosque ribereño por extracción de materiales de construcción, limitando de esta manera la posibilidad de su regeneración y mejor uso inmediato. En consecuencia, el presente estudio contribuye a generar y ampliar conocimientos sobre taxonomía, estructura poblacional, y principalmente sobre determinación de la calidad del agua en función de los macroinvertebrados como bioindicadores, en los ríos Porcón, Grande y Mashcón, principales fuentes de abastecimiento de agua a la planta de tratamiento El Milagro, que provee con el 80% de agua potable a la población de Cajamarca como se indica en el Plan de Desarrollo Concertado al 2021 (Ordenanza Municipal N° 440-CMPC 2013).

El trabajo se realizó en tres etapas, de campo, laboratorio y gabinete, con la metodología apropiada, para los ríos Porcón, Grande y Mashcón durante los periodos de lluvia

(enero) y sequía (setiembre), en los años 2012 y 2013. Fue una investigación descriptiva, inductivo-deductiva, confirmacionista, de tipo no experimental y transeccional, que requirió de aporte personal y de laboratorio, equipo, material e instrumental la Universidad Nacional de Cajamarca.

Para una mejor orientación, la presente tesis se organizó de la siguiente manera:

Capítulo I, que corresponde a la Introducción, donde se planteó las preguntas que guiaron la investigación, la justificación, los objetivos y la hipótesis de la misma.

Capítulo II, Marco Teórico donde citan, exponen y sustentan los conceptos y teorías principales de especialistas que le dan fundamento a la presente investigación.

Capítulo III, Materiales y Métodos, se indica la ubicación, técnica e instrumental usados para la colecta, registro de la data físico-química y procesamiento.

Capítulo IV, Resultados y Discusión, se muestra la data de registros y colectas procesadas, con una discusión y análisis de la investigación.

Capítulo V, Conclusiones, se responde a la pregunta formulada en la introducción, y que deriva como evidencia científica.

Capítulo VI, Referencias bibliográficas, para lo cual se usó la guía IICA-CATIE.

Capítulo VII, Anexos.

Por ello se planteó el siguiente problema, general y problemas específicos:

Problema General

¿Cómo se determina la calidad ecológica del agua en los ríos Grande, Porcón y Mashcón en función de la macrofauna bentónica como bioindicador?

Problemas específicos:

1. ¿Cuál es la tipificación taxonómica y sistemática de la macrofauna bentónica en los ríos Porcón, Grande y Mashcón?
2. ¿Cuál es la estructura poblacional de la macrofauna bentónica en los ríos Porcón, Grande y Mashcón?
3. ¿Cuál es la calidad ecológica del agua y los índices utilizados en los ríos Porcón, Grande y Mashcón?
4. ¿Qué factores validan a los índices utilizados y a la macrofauna bentónica la función de bioindicador?

Objetivo General:

Determinar la calidad ecológica del agua en los ríos Porcón, Grande y Mashcón en función de la macrofauna bentónica como bioindicador.

Objetivos Específicos:

1. Determinar la tipificación taxonómica y sistemática de la macrofauna bentónica en los ríos Porcón, Grande y Mashcón.
2. Determinar la estructura poblacional de la macrofauna bentónica en los ríos Porcón, Grande y Mashcón.
3. Determinar calidad ecológica del agua y los índices utilizados en los ríos Porcón, Grande y Mashcón.
4. Determinar los factores que validan a los índices utilizados y a la función de la macrofauna bentónica como bioindicador.

Hipótesis

Para la presente investigación se planteó la siguiente hipótesis:

La calidad ecológica del agua de los ríos Porcón, Grande y Mashcón, en función de la macrofauna bentónica como bioindicador, es determinada mediante índices cuyos valores expresan el efecto de la contaminación sobre la macrofauna.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Los conflictos entre la explotación y la preservación de los ecosistemas son frecuentes en América del Sur y en algunos casos su efecto sobre los ecosistemas acuáticos es incluso más dramático (Pringle et al. 2000). Existe importante literatura sobre ese tema en América del Sur, tanto en zonas altoandinas como en tropicales. También existe una buena tradición en la evaluación biológica de los efectos de la contaminación para conocer el efecto de los vertidos de ciudades de los impactos producidos por sólidos en suspensión (Fossati et al. 2001), o la actividad minera (Pringle et al. 2000). En realidad, los efectos de la contaminación han generado gran cantidad de estudios de impacto ambiental en dichos países, pero muchos de ellos no son publicados, por lo que existe una extensa, pero restringida en su difusión, literatura gris que no se refleja en publicaciones científicas y además raramente estos estudios han originado protocolos estandarizados (Roldán 2003).

En un importante acercamiento al índice original BMWP de Hellawell (1978), la mayoría de las familias de macroinvertebrados que viven en la Península Ibérica se agregaron al índice original y algunas de los puntajes fueron cambiados; en comparación con algunos otros índices bióticos y de diversidad, los diferentes valores del nuevo enfoque (BMWP'), se correlacionaron con las clases de calidad y la tasa de contaminación (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega 1988).

En Argentina (cuenca del Río La Plata), destacan entre otros, desde los clásicos estudios taxonómicos y ecológicos hechos por Ringuelet (1962), otros como los de Domínguez et

al. (1998), quienes diseñaron índices bióticos para evaluar la calidad ecológica de ríos altoandinos, a partir de los cuales posteriormente se desarrollaron otros índices bióticos.

En Chile, en la cuenca del río Lluta (desierto de Atacama), se realizaron trabajos para determinar la estructura comunitaria de macroinvertebrados y caracterizar los grupos funcionales tróficos; los grupos con mayor riqueza fueron los Dípteros (20 taxa), Coleóptera y Tricóptera (ambos con 7 taxa), y dentro de ellos la familia de los Quironómidos fueron los más abundantes. Entre los grupos tróficos, los *colectores-recolectores* fueron los más representativos en la mayoría de estaciones de muestreo, mientras que los *ramoneadores* dominaron sólo en dos estaciones cercanas a la desembocadura; la gran representatividad de aquellos que se alimentan de fragmentos orgánicos menores a 1 mm depositados en el fondo, demuestran la importancia de este recurso alimentario en ríos del desierto de Atacama (Ferro y Fierro 2015).

Por su parte, en Colombia, la comunidad de macroinvertebrados acuáticos mejor estudiada es la entomofauna, incluyendo los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son los mejor conocidos en cuanto a su taxonomía, ecología y su utilización como bioindicadores de la calidad del agua; pero es necesario profundizar en el estudio de algunos grupos como los anélidos, moluscos, ácaros y dípteros, de los que aún faltan conocimientos de su taxonomía y autoecología, sin embargo, el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), desarrollado en Europa en el siglo XX a partir de la década de los años setenta, es muy popular en Colombia y Latinoamérica, pero es necesario hacer adaptaciones para las diferentes regiones en el continente (Roldán 2016). Por tanto, el empleo del índice biótico BMWP/Col permite evaluar la calidad de las aguas, conociendo el estado fisicoquímico y la comunidad biológica en

diferentes sitios, como en la quebrada La Ayurá en Envigado Antioquia, Colombia (González et al. 2013).

Existe una premisa de que los índices utilizados permiten demostrar que la calidad del agua de un río desciende por influencia de la zona urbana, y que puede experimentar cierta recuperación al alejarse de aquellas (Rodríguez et al. 2016).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Gestión Ambiental

La gestión ambiental es un proceso orientado a prevenir, mitigar y resolver los problemas de carácter ambiental, dentro un desarrollo sustentable, aquel que le permite al hombre desenvolverse con sus potencialidades, patrimonio biofísico y cultural en el tiempo y en el espacio. Las áreas normativas que involucran actualmente la gestión ambiental y que son adoptados en forma gradual por la mayoría de países en el mundo son, según Estevan (1993):

1. *La Política Ambiental*: Relacionada con la dirección pública y /o privada de los asuntos ambientales internacionales en todo nivel.
2. *Ordenamiento del Territorio*: Entendida como la distribución y mejor uso del territorio de acuerdo con sus características.
3. *Evaluación del Impacto Ambiental*: Conjunto de acciones que permiten determinar el impacto de proyectos, planes o programas sobre el ambiente y elaborar medidas correctivas, compensatorias y protectoras.
4. *Contaminación*: Estudio, control y tratamiento de los efectos por adición de sustancias y formas de energía extrañas al medio ambiente.

5. *Vida Silvestre*: Estudio y conservación de seres vivos silvestres en su medio y de sus relaciones, con el objeto de conservar la biodiversidad.
6. *Educación Ambiental*: Cambio de actitud humana frente a su medio para una mejor comprensión y solución de los problemas ambientales.
7. *Indicadores*: Es la medida cuantitativa u cualitativa de cambios en el tiempo con el propósito de determinar el funcionamiento de un sistema, dando la voz de alerta ante un problema y tomar medidas de solución.

2.2.2. Calidad Ambiental

Calidad ambiental es el conjunto de características del medio ambiente, relacionado con la disponibilidad y facilidad de acceso a los recursos naturales y a la ausencia o presencia de agentes nocivos (SINIA-MINAM 2009).

2.2.3. Estándares de Calidad Ambiental

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es un instrumento de gestión ambiental que se establece para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional. El ECA establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente (MINAM 2017).

2.2.4. Calidad de Aguas Naturales

Desde un punto de vista funcional, la calidad del agua se puede conceptualizar como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella. Y desde un punto de vista ambiental, son aquellas condiciones que

deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumpla unos determinados objetivos de calidad, según la definición de la Directiva Marco Europea del Agua-DMA (Directiva 2000/60/CE).

2.2.5. Impactos Antropogénicos

Son las alteraciones significativas causadas por el hombre en los ecosistemas, denominados en términos generales como *impactos ambientales*, debido a tres características antrópicas: hábitats gregarios, actividad depredadora y, capacidad de raciocinio, esta última exclusiva del ser humano. Estos impactos ambientales se pueden traducir como el insuficiente tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales, el vertimiento de aguas residuales no tratadas, el manejo inadecuado de los residuos sólidos, los pasivos ambientales (mineros, hidrocarburíferos, agrícolas y poblacionales) y características naturales, según el Estudio de Desempeño Ambiental del Ministerio del Ambiente (ESDA/MINAM 2013).

2.2.6. Caracterización del Bentos

Definición del Bentos

Etimológicamente, bentos deriva del griego *benthos*, que significa profundidad o fondo. Término creado por Haeckel (1891) y definido como el *conjunto de organismos que viven en y sobre el fondo*. Los macroinvertebrados ($500\mu\text{m}$) acuáticos son principalmente bentónicos, que habitan en o sobre el fondo, donde participan en la recirculación de nutrientes y en la degradación de materia orgánica (Riss et al. 2002; Roldán, 2003).

Categorización y Diversidad

El bentos dulceacuícola constituye un grupo muy diverso y polifilético, que han surgido independientemente en tiempos geológicos, y muchos de ellos se hallan dispersos en la multiplicidad de ecosistemas de todo el mundo, comprende Cnidarios, Anélidos, Nemátodos, Moluscos, Artrópodos y Peces, que ocupan el espacio acuático con otras comunidades, propiciando un intenso intercambio nutricional y energético (González et al. 2013).

Morfología

El bentos tiene un rango de expresión morfológica muy grande, desde unicelulares con movimientos ameboideos los más simples y comunes, hasta una amplia variación de formas según su filogenia, y tamaño (Ringuelet 1962).

Reproducción

Siendo un grupo filogenéticamente amplio, el bentos muestra formas variadas de reproducción asexual y sexual, que van desde simple fisión binaria, pasando por regeneración, ovípara, ovovivípara, etc. La diversidad morfológica y reproductiva del bentos tiene similar paralelo con la variedad de hábitats donde viven estos animales: desiertos cálidos, suelos húmedos, aguas dulces y salobres, nieve, mares, y en relación con organismos vegetales y animales diversos. Para evitar pérdidas poblacionales por la deriva, los macroinvertebrados han desarrollado diferentes estrategias, como i) las hembras adultas voladoras remontan el río de para depositar los huevos aguas arriba, ii) tasas elevadas de desove , iii) migración hacia las orillas o

hacia el flujo subterráneo y iv) estrategias morfológicas para resistir el arrastre del agua, como el desarrollo de ventosas para adherirse fuertemente y de manera temporal al sustrato, como las familias de dípteros Blephariceridae y Simuliidae, y en otras un aplanamiento dorso ventral, como la familia Heptageniidae (efemerópteros). Por su parte, las larvas de los tricópteros sin estuche se sujetan al sustrato mediante dos ganchos situados en el último segmento abdominal y en los tricópteros con estuche, éste puede lastrarse con piedrecillas o tener prolongaciones hidrodinámicas que contribuyen a mantenerlos fijos en el fondo (Ladrera et al. 2013).

Taxonómica y Sistemática

Aunque la literatura sobre este tema no es muy abundante, se ha tomado como referentes a textos sobre biología de agua dulce, como Ringuelet (1962), y los textos clásicos de Needham y Needham (1978), Wetzel (1975) y también a Woodiwiss (1964), y Confederación Hidrográfica del Ebro (2011).

Sinopsis Bioecológica de los Principales Órdenes de Insectos Reportados

A continuación, se ha considerado exponer una sinopsis bioecológica de los principales órdenes reportados en la presente investigación.

Orden Díptera

Los Dípteros son uno de los principales órdenes de insectos acuáticos cosmopolitas, más diversos y abundantes en todo el mundo. Sus larvas no poseen patas torácicas. El cuerpo está formado por tres segmentos torácicos y nueve abdominales, blando y

cubierto de cerdas, espinosas apicales que ayudan a la locomoción o adhesión. Color amarillo, blanco o negro. Respiración cuticular, por sifones aéreos, agallas traqueales o pigmentos respiratorios como la hemoglobina que le da el color rojizo a sus larvas. Viven en ríos, arroyos, quebradas, lagos, a toda profundidad, depósitos de agua, orificios de troncos viejos y costas marinas. Existen especies de aguas muy limpias como los Simuliidae o contaminadas como los Tipulidae y Chironomidae (Barranco 2003).

Orden Efemeróptera

Son insectos cosmopolitas presentes en ríos y lagunas, hemimetábolos (ninfas acuáticas y adultos voladores). Viven en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas, adheridas a rocas, troncos, hojas, o pocas especies enterradas en los fondos. Sus ninfas son intolerantes a bajos tenores de oxígeno y muy sensibles a aguas ácidas, siendo indicadores de buena calidad del agua. Sus larvas poseen un par de cercos alargados y un filamento central en el extremo abdominal que permite su fácil identificación, son exclusivamente acuáticas y viven hasta 2 años, su nombre deriva por ser muy efímeros de adultos, viviendo un día, minutos, u horas, sin alimentarse hasta el momento de su apareamiento masivo, fecundación y muerte (Gutiérrez y Díaz 2015).

Orden Plecóptera

Los Plecópteros, o moscas de la piedra, es un grupo pequeño de insectos, cosmopolitas, y sus especies suramericanas son pocas y poco conocidas, con dos familias Gripopteridae, de origen sureño y Perlidae (subfamilia Acroneuriinae) de

origen nortño (Roldán 1988), las familias presentes en América del sur están muy restringidas al extremo sur. Sus ninfas tienen dos cercos post abdominales y largas antenas de 10 a 30 mm, color amarillo pálido, a café oscuro, y viven en aguas bien oxigenadas, y fondos pedregosos hasta los 2.000 m de altura. Son indicadores de aguas de buena calidad (Zúñiga 2004).

Orden Tricóptera

Los Tricópteros son insectos que se caracterizan por construir casa o refugios de forma variada en estado larval, propios de cada especie, con finos granos de arena, arenisca, restos de hojas y filamentos vegetales que colectan del fondo o de la vegetación, y que sirven a menudo para protección, captura de alimento y para su identificación, por ser una característica taxonómica a nivel de orden principalmente. Las larvas son fitófagas y algunas depredadoras. Son cosmopolitas y algunas endémicas. La mayoría viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas debajo de piedras, troncos y material vegetal, y otras viven en remansos de ríos y quebradas. En general, son buenos indicadores de aguas oligotróficas (Zúñiga et al 2015).

Orden Coleóptera

Este orden es conocido como escarabajos y el nombre del orden deriva de *alas envainadas*, por el primer par de alas dispuestas de forma tal que, en reposo, cubren por completo al segundo como si fueran estuches. Es el orden más numeroso de los insectos, y según muchos autores de todo el reino animal e incluso de todos los seres vivos. Muchos de ellos son semi acuáticos, algunas formas terrestres caen accidentalmente al agua, haciendo difícil su clasificación (Bar 2010). Viven en

hábitats aéreos, subterráneos de agua dulce, con diferentes formas de alimentación (saprófaga, fitófaga, entomófaga). Muchas familias de este orden tienen efectos positivos al ser saprófagos y reciclar la materia orgánica (Margalef 1983)

Orden Hydroida

La filogenia del grupo continúa siendo muy polémica y especulativa, y las pruebas moleculares (como el ADN mitocondrial) refuerzan el carácter primitivo de este grupo. Su tamaño de 2 a 3 cm, cuerpo blanquecino, amarillento, verdoso o hasta transparente, y viven tanto individuales como en colonias. Presentan ciclos reproductivos metagénicos (formas alternas de pólipo y medusa). Se reproducen de manera asexual, sexual y también existen especies que son hermafroditas. Las hidras que tienen formas de pólipo son cilíndricas, huecas (pie o tallo) en cuyo extremo se sitúa una boca rodeada de tentáculos radiales en número de 6 a 12. Podemos encontrarlas en casi todos los ambientes lóticos o lénticos *no contaminados* (arroyos, ríos, canales, charcas, lagos, embalses) con abundante oxígeno, vegetación, zooplancton y fitoplancton (Gracia-Criado et al. 2005).

Orden Haplotaxida

Los miembros de este orden son lombrices que viven en pantanos de agua superficial, estanques, charcas y ciénagas, pero también en suelos naturales. Estas lombrices representan la mayor biomasa y abundancia en los suelos menos perturbados, reafirmando su potencial como bioindicadores de la calidad del suelo para agroecosistemas estudiados. Estas lombrices se alimentan de microorganismos y material orgánico. Un ejemplar adulto posee más de 150 segmentos, cada cual

puede regenerarse como nuevo individuo. Su hábitat natural son aguas poco profundas de pantanos, estanques o bordes los lagos con vegetación en descomposición, restos orgánicos o limo, su principal fuente de alimentos. Son capaces de sobrevivir durante largos períodos de tiempo en aguas con poco oxígeno (Botina et al. 2010).

Phyla Nemátoda

Los Nemátodos son el segundo grupo más común en el planeta, estimados en hasta medio millón de especies. Proliferan en medios ricos en materia orgánica. Las especies de vida libre son abundantes en ambientes acuáticos, de aguas dulces o saladas, y suelos. Demuestran una resistencia al proceso de filtrado (eliminación de los elementos tóxicos o nocivos) de las aguas residuales por cloro en las concentraciones que actualmente se utilizan. La vasta mayoría de especies están mal ubicadas biológicamente, y existen miles de especies desconocidas que aún no han sido descubiertos (Rivera 2007).

Orden Bassomatophora

Las especies de este grupo viven en aguas quietas de poco movimiento sobre troncos, rocas, plantas y residuos vegetales. Conchas de 9 a 12 mm de largo y 4 a 6 mm de ancho, de forma ovalada con 5 vueltas de salientes moderadas, con incrustaciones negruzcas de óxidos de hierro. Se encuentran de preferencia en aguas contaminadas. Participan activamente en la cadena trófica como alimento inmediato de organismos mayores del necton (Bern, 1963).

Orden Amphipoda

Los Anfípodos son Crustáceos sin caparazón, cuerpo comprimido, branquias en la base de algunos pereiópodos, ojos sésiles, pereion con siete pares de patas y pleón con tres pares de apéndices birrámeos. Cosmopolitas, marinos, estuarios y dulceacuícolas, sobre algas y plantas de ríos, o lagunas en contacto con el fondo. Son importantes en la economía energética de las comunidades bentónicas. Son tolerantes a diferentes características físico-químicas del sedimento y del agua, y relativamente alta sensibilidad a los sedimentos contaminados respecto a otros organismos bentónicos (Mazé 2015).

2.2.7. Los Bioindicadores de Calidad de Aguas

Concepto de Bioindicadores

Bioindicadores son *organismos o comunidades de estos que a través de su presencia indican el nivel de preservación o el estado de un hábitat* (Morais et al. 2009). Por sus características como sensibilidad a contaminantes, dispersión, éxito reproductivo, distribución, las especies bioindicadores pueden ser utilizadas como estimadoras de las condiciones ambientales que resulten complicadas y costosas de medir (Isasi-Catalá 2010).

Características de un Buen Bioindicador

La tolerancia o nivel de respuesta del bentos, diferente para cada contaminante, es lo que determina la característica de un buen bioindicador (Figueroa et al. 2003), con las siguientes ventajas:

1. Son de validez taxonómica y de fácil reconocimiento.
2. Y presentan baja variabilidad genética y ecológica.
3. Son de tamaño corporal grande y movilidad limitada.
4. Es posible realizar integraciones espaciales y temporales.
5. Son útiles y sensibles a la variabilidad ambiental.
6. Sus patrones de distribución se pueden estimar cuantitativamente.
7. Obtener información del estado del hábitat y los datos pueden ser transformados a expresiones numéricas.
8. Incorporan información biológica que puede proveer información más robusta que otros descriptores para cierto tipo de contaminación.
9. Es posible realizar estudios de bioacumulación en especial en los grupos de alto nivel de organización biológica.
10. Pueden dar conocimiento de las contaminaciones crónicas y puntuales, aunque a veces con baja sensibilidad temporal.
11. Algunos poseen ciclo de vida manejable.

El Uso de Insectos Como Bioindicadores

La mayor parte de los investigadores señalan que dentro de los grupos faunísticos que son considerados como bioindicadores de la calidad del agua, son los

macroinvertebrados cuyo uso tiene cuando menos 100 años de antigüedad (Leiva 2004; Alonso y Camargo 2005). Y dentro de ellos han sido los insectos, que integran dicho grupo en un 70-90 % más estudiados para evaluar la calidad del agua por muchos investigadores, por presentar las siguientes ventajas (Rosenberg y Resch 1993): los

- 1) Son casi omnipresentes
- 2) Son abundantes
- 3) Son sedentarios, lo que facilita poder reflejar condiciones locales
- 4) Son extremadamente sensibles a perturbaciones
- 5) Presentan largos ciclos de vida
- 6) Son longevos, y acumulan los efectos contaminantes con el tiempo.
- 7) Presentan una alta diversidad de especies
- 8) Es posible su identificación taxonómica
- 9) Se pueden cultivar en laboratorio y poseen baja variabilidad genética
- 10) Similar distribución en zonas altas, media y baja en los ríos.
- 11) Muestran una respuesta inmediata ante un determinado impacto
- 12) Un patrón de estímulo-respuesta ante alteraciones fisicoquímicas
- 13) Ya existen métodos de evaluación y conocimiento bien documentados sobre taxonomía para algunas regiones.

Según dichos autores, se debe indicar que, aunque la especie puede ser la unidad básica apropiada para muchos estudios ecológicos en sistemas acuáticos, si al menos se llega a nivel de familia u orden, dichas categorías nos pueden brindar suficiente evidencia, con la selección del método apropiado, sobre el estado que guardan los recursos hídricos (Rosenberg y Resch 1993).

Los patrones de distribución de las especies son resultado de sus hábitos ecológicos (locomoción, fijación, escondites, etc), los factores físicos del hábitat como, sustrato, flujo de la corriente, turbulencia, etc. y la disponibilidad de alimento supeditada a las perturbaciones y heterogeneidad de condiciones locales. Así, aquellos insectos adaptados a los arroyos de montaña donde la fuerza de la corriente es evidente, han desarrollado y muestran estrategias con formas aerodinámicas en su estructura corporal (aplanado dorso ventralmente), que les facilita nadar a contra corriente, fijarse en las rocas o vivir a la deriva (Allan y Flecker 1993).

En términos generales, *en estos ríos de montaña de aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, se espera siempre hallar poblaciones dominantes de plecópteros, tricópteros y efemerópteros, muy diferentes a las de los ríos y quebradas de aguas turbias y poco oxígeno, contaminados con materia orgánica; pero también se espera encontrar en bajas proporciones, a los odonatos, hemípteros, dípteros, neurópteros, ácaros, crustáceos, así como otros grupos menores* (Roldán 1999).

La *diversidad* es utilizada como indicadora del buen estado de los sistemas ecológicos, y ésta es baja en las aguas contaminadas debido a la eliminación de las especies menos resistentes así el biomonitoreo puede ser definido como *el uso sistemático de sensores biológicos para evaluar cambios en el ambiente que permitan fundamentar medidas para mejorar la calidad del agua y el hábitat circundante* (Margalef 1983).

Enfoques Sobre Nivel de Respuesta o Tolerancia de los Bioindicadores

Metcalfe (1989), distingue tres enfoques principales para evaluar la respuesta de las comunidades de macroinvertebrados a la contaminación. Estos son: el *saprobio*, el de *diversidad* y el *biótico*.

A. El Enfoque Saprobio

Cañon (2015), cita que Kolwitz y Marson (1909), acuñaron en Alemania el término *saprobio* (del griego descompuesto, rancio), como la capacidad en algunos organismos de vivir en ciertos niveles de contaminación. Usando cerca de 800 plantas y animales saprobiontes, desarrollaron el *sistema sapróbico* de clasificación con cinco niveles: a) Altamente contaminado o zona *polisapróbica*; b) Muy contaminado: o zona *alfamesosapróbica*; c) Moderadamente contaminado: o zona *betamesosapróbica*; d) Poco contaminado: o zona *oligosapróbica*; e) Sin contaminación: o zona *catabórica*.

Liebmann (1962), empleó el sistema sapróbico añadiendo cerca de 206 especies más. Selecciono también especies indicadoras de ácido sulfhídrico H₂S e introdujo, además, los análisis de oxígeno disuelto, porcentaje de saturación y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Al igual que los otros sistemas de bioindicación, el sistema sapróbico da un índice numérico, conocido como *índice sapróbico*, que en Alemania se utiliza ampliamente este sistema para evaluar la calidad del agua, y cada quinquenio actualiza los mapas de calidad del agua para cada región. Este sistema utiliza todos los organismos dulceacuícolas, desde los hongos y las algas hasta los vertebrados, como indicadores de la calidad del agua, e incluye el *índice sapróbico* cuyo valor de cualificación va de 1,0 a 4,0. La ventaja de este sistema es que incluye

gran variedad de taxones y es aplicable a todo tipo de ríos, pero la desventaja es que los bioindicadores deben emplearse a nivel de especie y en el neotrópico esta información aún no está disponible (Roldán 2003).

B. El Enfoque de Diversidad

Según Hurlbert (1971), la *diversidad específica* es la expresión de los tres componentes básicos de toda comunidad natural, el primero es el número de especies presentes en la comunidad o *riqueza de especies* (S); el segundo es la *abundancia* o individuos por cada una de las especies, y el tercero es la *equitabilidad*, que describe como se distribuye la *abundancia* o número de individuos (n) entre las especies. Si en una comunidad con 10 especies, el 90 % de los individuos pertenecen a una sola especie y el restante 10% se distribuye entre las otras 9, la *equitabilidad* será baja. Pero, si cada una de las 10 especies tiene 10% del total de los individuos, la *equitabilidad* será máxima. Los *índices de diversidad específica* son aquellos índices que combinan en un solo valor tanto la riqueza de especies (*índice de riqueza*) como la *equitabilidad* (*índice de equitabilidad*) respectivamente de una comunidad. Si la riqueza específica es el número de especies, entonces un índice apropiado para expresar la riqueza de especies de una comunidad sería el ‘número total de especies’ (S). Pero, como es imposible enumerar todas las especies de la comunidad porque S depende del tamaño de la muestra, los índices propuestos para medir la riqueza específica independiente al tamaño de la muestra, se basan en la relación entre S y el ‘número total de individuos observados’ (n), que aumentan al aumentar la muestra. Así, los *índices de diversidad* miden la riqueza específica y su equitatividad, donde a mayor diversidad específica mayor puntuación. Una de las ventajas de estos índices sobre otros índices, es que no requieren identificación taxonómica, ni información sobre la tolerancia a la

contaminación (Hurlbert 1971). Algunos de los índices de diversidad más usados son:

1. Índice de diversidad de Margalef (1958). Expresa la *riqueza específica* de una muestra de forma sencilla, teniendo en cuenta simultáneamente el número de especies (S), y el número de individuos (N). Con $< 1 =$ muy baja diversidad; $> 1 - 2 =$ baja diversidad; $> 2 - 2.7 =$ media diversidad; $> 2.7 - 3 =$ alta diversidad; $> 3 =$ muy alta diversidad; se expresa (Zarco-Espinoza et al. 2010):

$$I = \frac{S - 1}{\log N}$$

Donde:

S = número de especies o *riqueza*

N = número de individuos

Log n = logaritmo natural

2. Índice de diversidad de Shannon-Wiener, H (1949). Se usa en ecología y ciencias afines para medir la diversidad específica. Este índice refleja igualdad, mientras más uniforme es la distribución de las especies que conforman la comunidad, mayor es el valor. Relaciona el número de especies o *riqueza específica* con la proporción de individuos pertenecientes a cada especie (*abundancia relativa o densidad relativa*), en la muestra. Se le critica porque no considera aspectos muy importantes como la periodicidad y el tipo de muestreo, el nivel de la resolución taxonómica y porque responde de manera irregular a los cambios naturales del medio acuático (Davis 1995). Se calcula con la expresión:

$$H = - \sum_{i=1}^s (n_i/N) \log (n_i/N)$$

Donde:

H = índice de diversidad

n_i = número de individuos por especie

N = número total de individuos

En la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre un mínimo de 0,5 y 4,5 como máximo valor para los macroinvertebrados de los ríos. Aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores menores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies. Valores inferiores a 2,4 - 2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, etc.). Este índice disminuye mucho en aguas muy contaminadas. Así, cuanto mayor sea el índice de Shannon-Wiener, mayor calidad tendrá el agua (Zarco-Espinosa et al. 2010).

3. Índice de equitabilidad o abundancia de Simpson (1949). Brinda información indirecta sobre la distribución de recursos en el hábitat, es decir la equitabilidad (abundancia o número de individuos por especie) de las especies, y sirve para la interpretación del índice de Shannon. Si todas las especies en una muestra presentan la misma abundancia, el índice usado para medir la equitabilidad debería ser el máximo, y debería decrecer a cero a medida que las abundancias relativas sean menos equitativas. Fue el primer índice de *equitatividad* usado en ecología. Su fórmula (Zarco-Espinosa et al. 2010) es:

$$I = 1 - \frac{n_i (n_i - 1)}{N (N - 1)}$$

Donde:

n_i = número de individuos por especie

N = número total de individuos

4. **Índice de equitabilidad de Piélou, P o J' (1969)**. Se expresa mediante la fórmula (Zarco-Espinosa et al. 2010):

$$J' = H / \ln S$$

Donde:

H = Índice de Shannon

S = número máximo de individuos de la muestra que se obtendría si la distribución de las abundancias por especie en la comunidad fuera perfectamente equitativa.

Ln = logaritmo natural o neperiano.

C. El Enfoque Biótico

Este enfoque combina aspectos de la saprobiedad, con valores de diversidad de especies e información de la sensibilidad ecológica de taxones reportados a través de una expresión numérica relativamente simple. Los *Índices bióticos* suelen ser específicos para un tipo de contaminación y/o región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Permiten valorar el estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por contaminación. Para ello a los grupos de una muestra se les asigna un valor numérico en función a su tolerancia a una contaminación, los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor mayor, la suma de todos ellos nos dará la calidad del agua de ese ecosistema (Metcalfé 1989).

El uso de los macroinvertebrados como indicadores biológicos tiene larga data en países desarrollados y han sido incorporados en todas las evaluaciones de calidad ecológica de sus sistemas hídricos. Muchos de ellos derivan del Sistema Saprobiótico Continental, trabajado y desarrollado por Kolwitz y Marson (1909), como por ejemplo los índices Trent Biotic Index (TBI), Biological Monitoring Working Party (BMWP), Belgium Biotic Index (BBI), y otros. En América Latina estos estudios son aún menos frecuentes y las normas sobre protección de recursos acuáticos comienzan a insertarse en sus legislaciones, a partir de trabajos en Argentina, Chile, Colombia, Brasil, Perú, etc. Ahora, existen muchos índices bióticos (IB), pasibles de modificaciones y/o adaptaciones a diferentes condiciones ambientales y fines específicos de las evaluaciones, como el ABI para los ríos altoandinos (Metcalf 1989). A continuación, se indican algunos de los índices más usados:

1. Biological Monitoring Working Party, BMWP. Fue diseñado inicialmente por Hellawell (1978), para los ríos de Gran Bretaña. Este índice se basa en asignar a las familias de macroinvertebrados acuáticos, valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes). La suma de los valores de cada familia detectada en un punto de muestreo, nos proporciona el grado de contaminación. En el presente trabajo, el índice BMWP estándar representa al Índice Biótico Andino ABI, adaptado para los ríos altoandinos. La puntuación que se le asigna a cada familia de macroinvertebrados según el índice BMWP se indican en la tabla 1 y la valoración cuantitativo-cromática de la calidad ecológica, indicada en la tabla 2.

Tabla 1. Puntajes asignados a cada familia de macroinvertebrados según el BMWP (Modelo base o estándar de Alba-Tercedor 1996).

Familia	Puntaje
<i>Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophebiidae Potamanthid g, Perlidae, Chloroperlidae, Aphelocheiridae, Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae, Athericidae, Blephariceridae</i>	10
<i>Astacidae, Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Philopotamidae, Glossosomatidae</i>	8
<i>Ephemereididae, Nemouridae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae</i>	7
<i>Neritidae, Viviparidae, Ancylidae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Platycnemididae, Coenagriidae</i>	6
<i>Oligoneuriidae, Dryopidae, Elmidae, Helophoridae, Hydrochidae, Hydraenidae, Clambidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesiidae</i>	5
<i>Baetidae, Caenidae, Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae, Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae, Sialidae, Piscicolidae, Hidracarina</i>	4
<i>Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Pleidae, Notonectidae, Corixidae, Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dysticidae, Gyrinidae, Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Sphaeridae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae, Asellidae, Ostracoda</i>	3
<i>Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Thaumaleidae, Ephydriidae</i>	2
<i>Oligochaeta (todas las clases), Syrphidae</i>	1

Fuente: Alba-Tercedor 1996.

Actualmente se cuenta con muchas adaptaciones de este índice. Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega (1988), crearon la adaptación para la Península Ibérica como BMWP', y una de las últimas adaptaciones para ella es la Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP), de Alba-Tercedor et al. (2002), por acuerdo en el III Congreso Ibérico de Limnología, debido a necesarias actualizaciones taxonómicas con las respectivas modificaciones de algunas de las puntuaciones de las familias de macroinvertebrados. Así, la suma de los valores correspondientes a cada una de las familias presentes en la zona de estudio, nos proporciona la calidad del agua, dentro de cualquiera de las 6 categorías indicadas en la tabla 2:

Tabla 2. Valoración cuali-cuantitativa y cromática de la calidad ecológica de las aguas según el IBMWP.

Clase	Valor de BMWP	Característica ambiental	Calidad	Color
I	> 120	Aguas muy limpias	EXCELENTE	Celeste
II	100 - 120	Aguas limpias no contaminadas o no alteradas de modo sensible	MUY BUENA	Azul
III	61 - 100	Aguas ligeramente con algunos evidentes efectos de contaminación	BUENA	Verde
IV	36 - 60	Aguas contaminadas	ACEPTABLE	Amarillo
V	16 - 35	Aguas muy contaminadas	CRÍTICA	Naranja
VI	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	MUY CRÍTICA	Rojo

Fuente: Alba-Tercedor et al. (2002)

2. Índice Biótico de Familia, IBF. Se origina del índice de Chutter (1972), modificado por Hilsenhoff para Norteamérica y requiere de bajo nivel taxonómico, por ello lo índice biótico de familia. Es un índice de aproximación cuantitativa, que incorpora los índices de abundancia y diversidad de familia. Las ventajas para determinar la calidad de agua a nivel de familias, son por su sensibilidad a la contaminación, por su simple aplicación, pero particularmente por su bajo costo.

3. Índice del EPT %. Efemeróptera, Plecóptera y Tricóptera. Este índice permite estimar la calidad ecológica del agua a través del porcentaje (%) de las especies (n), o taxa indicadores de buena calidad, constituidos por los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, expresado como nEPT % (Carrera y Fierro 2001), y cuyos rangos de valoración quedan expresados en la tabla 3:

Tabla 3. Valoración de calidad del agua por el índice EPT (%)

Clase	Índice EPT (%)	Calidad del agua
1	75 – 100	Muy buena
2	50 – 74	Buena
3	25 – 49	Regular
4	0 – 24	Mala

Fuente: Carrera y Fierro 2001

Así, cuando el índice EPT alcanza valores mayores de 50, le confiere a las aguas una calificación de buena calidad ($nEPT \% > 50 \% =$ agua de buena calidad), y se calcula según la siguiente fórmula:

$$nEPT \% = \frac{nE + nP + nT}{N} \times 100$$

Donde:

nE = número de individuos del orden Ephemeroptera

nP = número de individuos del orden Plecoptera

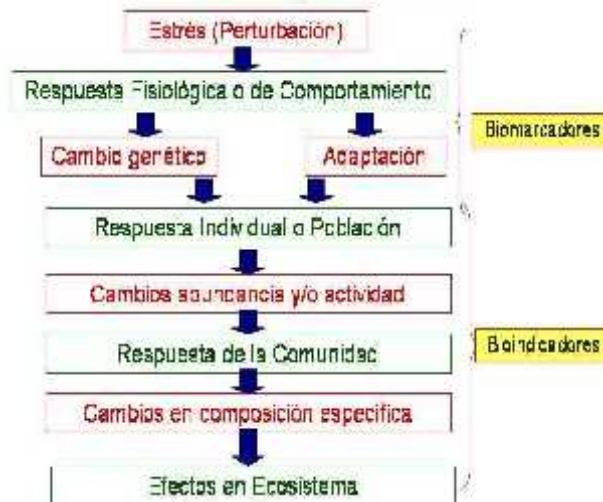
nT = número de individuos del orden Trichoptera

N = número de todos los individuos de todos los taxa de la muestra

2.2.8. Uso de Bioindicadores, Efecto de Contaminantes y Evaluación

1. Uso de indicadores biológicos según niveles de organización

Hay una marcada diferencia entre un bioindicador y marcador. Mientras que a nivel de población, comunidad o ecosistema se utilizan los *bioindicadores* para evaluar los efectos de los contaminantes sobre los aspectos estructural o funcional, a nivel de individuos, se usa *biomarcadores*; y a nivel suborgánico, se considera desde el nivel de molécula hasta órganos, pasando claro está por la célula (Adams 2002), como se ilustra en la figura 1:

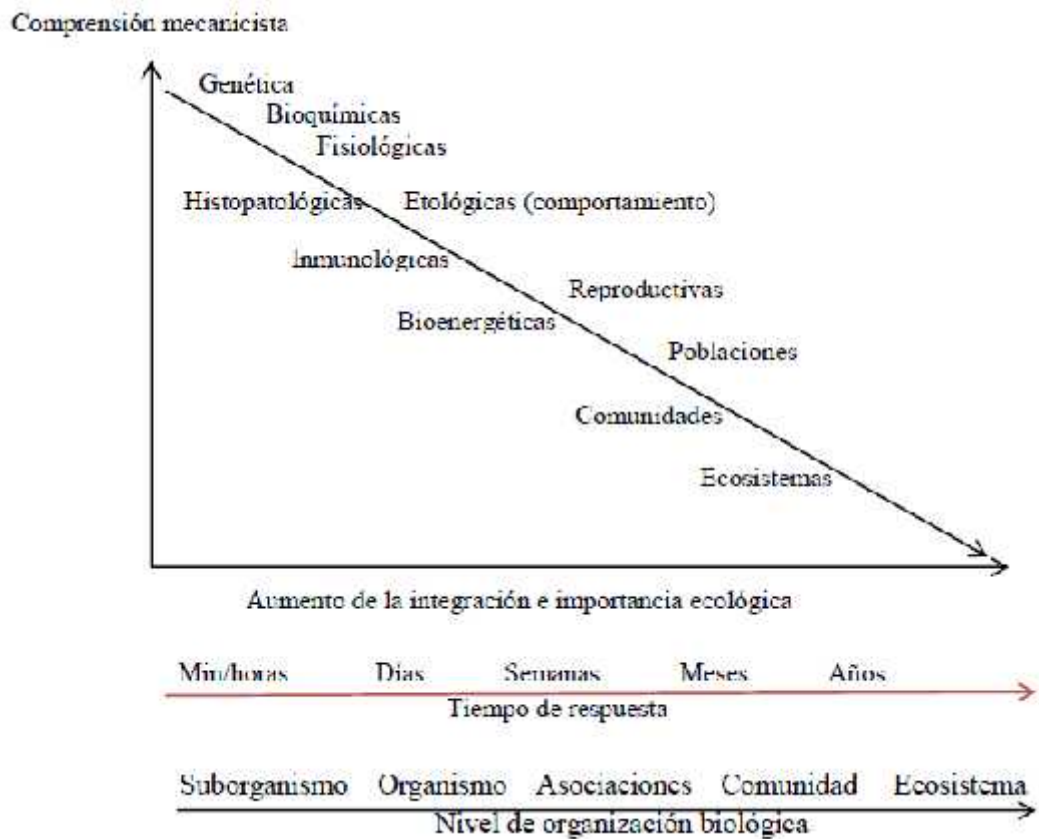


Fuente: Adams (2002)

Figura 1. Niveles de organización y uso de indicadores biológicos.

2. Efectos de los contaminantes y su relevancia ecológica

A medida que avanzamos en el nivel de organización, los resultados son más relevantes desde el punto de vista ecológico, pero comprendemos mucho menos la relación causa-efecto, que es más evidente cuanto menor es el nivel de organización. Se estima también el tiempo de respuesta para las diferentes aproximaciones, lo que implica por ello una menor o mayor integración de los resultados (Adams 2002), como se ilustra en la figura 2.



Fuente: Adams 2002

Figura 2. Relación entre la comprensión detallada de efectos de los contaminantes y su relevancia ecológica.

3. Métodos usados para medir la calidad biológica del agua mediante macroinvertebrados

Existen varios métodos para medir la calidad biológica de ríos, índices unimétricos, índices multimétricos, índices multivariados y otros. En la tabla 4 se indican los métodos más comunes utilizados, de los cuales se hace una explicación sobre el método unimétrico (índice Biótico ABI), y el método multimétrico (índice IMEERA). Los índices bióticos constituyen una de las maneras más comunes de establecer la calidad biológica los ríos, y los más utilizados son aquellos basados en el método BMWP (Armitage 1983), algunos de los cuales se muestran en la tabla 4:

Tabla 4. Métodos de muestreo actualmente usados para medir la calidad biológica mediante macroinvertebrados.

Método	Correlativo	Causa-Efecto	Escala	Uso Geográfico	Teoría Subyacente
Nivel SO/OR					
Bioensayos, test de toxicidad	SI	SI	G	W	TN
Métodos “in situ/on line”	NO	SI	G	W	TN
Nivel A/C/E					
Riqueza específica	NO/SI	SI/NO	G	E, NA, A	HPI
Métricas basadas en la tolerancia	SI	NO	L	E, NA, A	HPI,TH,HT
Índices bióticos	SI SI	NO	R	E, NA,A	HPI,TN,HPI
Índices multimétricos IMEERA, IBI)		NO	R	E, NA	TN, HT
Multivariabales (e.g. RIVPACS)	SI	NO	R	E, NA, A	TN

Leyenda: Para cada método se indica si es un método basado en correlaciones o si hay una relación causa-efecto clara, su escala de aplicación (**G**lobal, **R**egional o **L**ocal); su uso actual (W, en todo el mundo, E: Europa; NA: América del Norte; A: Australia) y la teoría ecológica que subyace en la concepción del índice (HPI: Hipótesis de la Perturbación Intermedia; TN: Teoría del nicho; HT: Hábitat templet. Los métodos se dividen en dos secciones según usen la escala de Organismo (OR) o inferior (Suborganismo, SO) o si son métodos que utilizan escalas superiores como Asociaciones (A), Comunidades de especies (C) o bien propiedades emergentes de los Ecosistemas (E).

Fuente: Prat et al. 2009.

Índices unimétricos

Prat et al. (2009), citan que la manera más simple de evaluar la calidad biológica es mediante un valor que mida una característica clave de la comunidad que responda claramente a la perturbación que nos interesa evaluar, como la *riqueza específica*. La más simple es el número de taxa, disminuida por la intensidad de la contaminación o destrucción del hábitat. Otra métrica muy utilizada últimamente es el total de familias de los órdenes Efemeróptera, Plecóptera o Tricóptera, o porcentaje de individuos de cada uno de ellos, que de manera muy importante se caracterizan por tener especies intolerantes a la contaminación, disminuyendo su número global con el aumento de esta.

El problema que se presenta con las métricas simples es que su variación no es muy clara, ante bajos tenores de metales pesados, no alteran mucho en el número de especies totales, y algunas especies intolerantes pueden ser sustituidas por otras más tolerantes, igualando así el número total en una población; mientras que en las perturbaciones fuertes la alteración si se hace evidente en la estructura comunal (Prat et al. (2009).

Los métodos unimétricos son los más utilizados para determinar la calidad ecológica de los ríos. Se expresan mediante un valor numérico único que sintetiza las características de todas las especies presentes en la muestra o población, combinando dos o las tres propiedades de la asociación: la riqueza específica, la tolerancia/intolerancia a la contaminación, y la abundancia absoluta o relativa (Prat et al. 2009).

Algunas de las métricas indicadas de mayor uso, por categorías así como su respuesta a la mayor o menor contaminación, son mostradas en la tabla 5, y a su vez en la tabla 6 las puntuaciones de los taxa presentes para el índice ABI (Índice Biótico Andino).

Tabla 5. Algunas métricas usadas en la evaluación de la calidad biológica de las aguas utilizando métodos Multimétricos

Categoría	Metría	Respuesta al impacto	Bolivia	Brasil
Riqueza	Número total de taxa	Disminución	+ 1	+
	Taxa familias	Disminución		+ 1
	Taxa EPT	Disminución	+ 1	+ 1
	Taxa Ephemeroptera	Disminución		+
	Taxa Plecoptera	Disminución		+
	Taxa Trichoptera	Disminución		+
Composición	% EPT	Disminución	+ 1	+
	% Chironomidae	Aumento	+ 1	
	% Ephemeroptera	Disminución		+
	% Plecoptera	Disminución		+
	% Trichoptera	Disminución		+
	% Coleoptera	Disminución		+
	% Odonata	Aumento		+
	% Diptera	Aumento		+
Tolerancia/Intolerancia	Número de taxa intolerantes	Disminución		
	% de organismos	Aumento		
	% del taxón dominante	Aumento		
	BMWP	Disminución		+ 1
	EPT/Chironomidae	Disminución		+
	Baetidae/Ephemeroptera	Aumento		+
Abundancia (valor absoluto)	Abundancia de EPT	Disminución	+	
	Abundancia de	Incremento	+ 1	
	Abundancia total	Disminución	+	
Características	% Filtradores	Variable	+	+
Tròficas	% Raspadores	Disminución	+	+
	% Recolectores	Disminución	+	+
	% Trituradores	Disminución	+	+ 1
	% Depredadores	Disminución	+	+
Habitat	% de animales adheridos	Disminución		

Leyenda: Como ejemplo se indican las métricas aplicadas como candidatas (+) y las escogidas (+1) en la cuenca de los ríos Isiboro y Securé (Bolivia) (Moya *et al.* 2007) y en los ríos de Serra dos Órgãos (Brasil) (Baptista *et al.* 2007).

Fuente: Prat et al (2009).

El índice ABI (Índice Biótico Andino)

Éste índice se basa en el índice BMWP, y es parte integral del nuevo índice multimétrico IMEERA diseñado para ríos alto andinos. Incluye un menor número de familias que en otras regiones del mundo para el índice BMWP, porque la altitud restringe la distribución de varias de ellas. Es sumamente útil para detectar el deterioro general de los ríos. Ampliamente utilizado en Ecuador y Perú. Una de las dificultades de este índice es su adaptación a diferentes zonas donde las familias presentes no son las mismas y su grado de tolerancia o intolerancia a la contaminación tampoco se conoce. Incluso los taxa dentro de una misma familia pueden tener una respuesta a la contaminación diferente en una zona geográfica respecto a otra. Por ello hay que asegurar que las puntuaciones otorgadas en cada lugar se corresponden con la realidad de la zona donde se aplica. En el caso del índice ABI la adaptación se ha realizado después de consultar numerosos estudios hechos en los Andes y comparar la distribución de las diferentes familias con la contaminación (Ríos et al. 2014).

En la tabla 6 se presenta el ABI que es una adaptación para los Andes de este tipo de índice unimétrico. En este caso se parte de una lista de taxa que tienen la distribución por encima de los 2000 m.s.n.m. y después de una exhaustiva revisión de los valores de tolerancia/intolerancia para cada familia, a partir de cruzar los datos de distribución de las familias con los datos de contaminación del medio, tomados de la bibliografía existente.

Tabla 6. Puntuaciones del Índice Biótico Andino (ABI) para las familias de Macroinvertebrados acuáticos distribuidas por encima de los 2000 m.s.n.m

Orden	Familia	Puntuación	Orden	Familia	Puntuación
Turbellaria		5	Lepidoptera	Pyralidae	4
Hirudinea		3	Coleoptera	Ptilodactylidae	5
Oligochaeta		1		Lampyridae	5
Gasteropoda	Ancylidae	6		Psephenidae	5
	Physidae	3		Scirtidae	
	Hydrobiidae	3		(Helodidae)	5
	Limnaeidae	3		Staphylinidae	3
	Planorbidae	3		Elmidae	5
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Dryopidae	5
Amphipoda	Hyaellidae	6		Gyrinidae	3
Ostracoda		3		Dytiscidae	3
Hydracarina		4		Hydrophilidae	3
Ephemeroptera	Baetidae	4	Diptera	Hydraenidae	5
	Leptophlebiidae	10		Blepharocerida	10
	Leptohephidae	7		Simuliidae	5
	Oligoneuridae	10		Tabanidae	4
Odonata	Aeshnidae	6		Tipulidae	5
	Gomphidae	8		Limoniidae	4
	Libellulidae	6		Ceratopogonida	4
	Coenagrionidae	6		Dixidae	4
	Calopterygidae	8		Psychodidae	3
	Polythoridae	10		Dolichopodidae	4
Plecoptera	Perlidae	10		Stratiomyidae	4
	Gripopterygidae	10		Empididae	4
Heteroptera	Veliidae	5		Chironomidae	2
	Gerridae	5		Culicidae	2
	Corixidae	5		Muscidae	2
	Notonectidae	5		Ephydriidae	2
	Belostomatidae	4		Athericidae	10
	Naucoridae	5		Syrphidae	1
Trichoptera	Helicopsychidae	10			
	Calamoceratidae	10			
	Odontoceridae	10			
	Leptoceridae	8			
	Polycentropodida	8			
	Hydroptilidae	6			
	Xiphocentronidae	8			
	Hydrobiosidae	8			
	Glossosomatidae	7			
	Hydropsychidae	5			
	Anomalopsychida	10			
	Philopotamidae	8			
	Limnephilidae	7			

Fuente: (Rios *et al.* 2014)

Índices multimétricos

Los índices Multimétricos se llaman así porque combinan en una puntuación final el valor independiente de diversas métricas simples o índices bióticos ya descritos anteriormente. La combinación de métricas es característica de cada índice y se suele adaptar para cada región o incluso para varias sub cuencas de un mismo río. La forma de construir el índice puede ser muy variada con dos estrategias principales, la de los Índices de Integridad Biótica (IBI), y la de aquellos que combinan varias métricas de forma específica dándoles pesos diferentes, que son los que se llaman métodos Multimétricos más propiamente. Los IBI fueron propuestos por Karr (1991), inicialmente para peces y fueron diseñados para una ecorregión determinada, prácticamente limitadas a Norteamérica (Prat et al 2009).

Los índices Multimétricos son, en estricto, una de las metodologías más utilizadas actualmente en los estudios para definir la calidad biológica de los ríos, ya que reúnen en una única medida la variabilidad funcional y estructural de los componentes bióticos de un ecosistema fluvial, por lo que debe construirse para una región o cuenca determinada donde las características de los ríos sean similares en términos de temperatura, geología o vegetación de ribera (Segnini 2003). Por esa razón, se usa el índice IMEERA a través de su software integrador denominado CABIRA (Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos), diseñado en el protocolo CERA específicamente para ríos altoandinos.

4. La aplicación informática CABIRA (Calidad Biológica de los ríos altoandinos, 2013).

CABIRA fue diseñado por el grupo de investigación FEM (Freshwater Ecology and Management), del Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona, para el cálculo de métricas representativas de la calidad biológica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, como parte de la calidad ecológica de ríos altoandinos (CERA), por encima de los 2000 m.s.n.m., y muy especialmente para el cálculo del Índice IMEERA (Índice Multimétrico de Estado Ecológico de Ríos Altoandinos).

En armonía con las recomendaciones sugeridos por diversos autores, en especial del grupo FEM, en el presente estudio se utilizaron los índices de *Riqueza* (S), de diversidad de *Shannon-Wiener* (H'), de *Margalef*, de *Equitatividad* de Pielou (J'), índices bióticos de *abundancia*, índice *EPT%*, *ABI*, y el índice *IMEERA*, con el que finalmente queda tipificada la calidad ecológica del agua en el presente trabajo. Adicionalmente, se han evaluado en los ríos Porcón, Grande y Mashcón, los índices de *tolerancia/intolerancia*, así como de los principales grupos funcionales o nichos ecológicos.

5. Evaluación de los diferentes métodos en uso para la calidad ecológica del agua mediante macroinvertebrados.

Como se ha visto, la pertinencia y bondad de los diversos métodos que se dispone y que se usan para la evaluación de la calidad ecológica de las aguas a través de las poblaciones de macroinvertebrados, que resultan fundamentales en el momento de diseñar un programa o plan de biomonitoreo, fueron algunos de los principales

objetivos en los permanentes estudios realizados por varios autores mencionados, los mismos que deberán seguir siendo profundizados.

Bonada et al. (2006), llevó a cabo un estudio muy importante, utilizando 12 criterios de evaluación, 5 de los cuales eran relativos a la adecuación del método en función a la teoría ecológica, tres a su fácil implementación y los otros cuatro a su funcionamiento. Dichos resultados se muestran en la tabla 7, donde se observa que algunos de aquellos métodos son de menor y otros de mayor precisión. Se puede apreciar claramente que unos métodos llegan a cumplir muy poco (los saprobios), mientras que otros llegan a cumplir por lo menos parcialmente hasta diez de los atributos analizados (multimétricos, bioensayos, rasgos biológicos, etc).

Con el presente estudio se nos permite tener una variedad de opciones sobre los métodos al momento de seleccionar, de acuerdo a sus ventajas, brindándonos una orientación sobre su selección según las posibilidades logísticas, económicas, técnicas, o de experiencia propia con que se disponga y plantee en el proyecto de investigación. Existe considerable literatura sobre calidad de aguas, con diversos métodos usados en muchos ecosistemas de Sudamérica, pero ésta se encuentra muy dispersa y poco disponible para su estudio y revisión.

Tabla 7. Evaluación de los diferentes métodos sobre calidad del agua usando macroinvertebrados como bioindicadores.

Aproximación metodológica	Concepción				Implementación				Ejecución				S
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Sistemas de los saprobios	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Biomarcadores	-	-	-	+/-	+	+/-	+	+	?	?	?	+/-	6
Bioensayos	+	+/-	+/-	?	+	+/-	+	+	+/-	?	+/-	+/-	10
Asimetría fluctuante	+	+/-	-	+	+/-	+/-	+	+	?	-	-	?	7
Aproximación multimétrica y/o Unimétrica	+/-	+/-	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	-	+/-	+	-	10
Aproximación multivariante	+	+/-	?	+	+/-	+	+	+/-	-	+/-	?	+/-	9
Grupos tróficos	+	+	+	-	+/-	+	?	+/-	+/-	-	+/-	?	8
Rasgos biológicos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	10
Producción secundaria del	+/-	+/-	+	+	+/-	-	?	+/-	?	?	?	?	6
Descomposición de hojarasca	+	+/-	+	+	+/-	+	-	+	-	+/-	+/-	+	10

Leyenda: El signo + indica que la aproximación se cumple en la condición exigida para que sea un buen método; el signo +/- indica que a veces lo cumple y otras no; un - significa que el criterio se incumple sistemáticamente y un signo? indica que se desconoce su comportamiento. Los doce criterios aplicados son: I: Derivado de un concepto bien establecido en la teoría ecológica. II: A priori predictivo. III: Potencial para evaluar funciones ecológicas. IV: Potencial para discriminar impactos humanos globales (contaminación en general). V: Potencial para evaluar impactos específicos (e-g. nutrientes). VI: Bajos costos de muestreo y (métodos de campo) o de protocolos estandarizados (métodos de laboratorio). VII: Protocolo de muestreo fácil. VIII: Bajos costos de identificación taxonómica (no requiere experto). IX: Se puede aplicar en diferentes ecoregiones. X: Los cambios por impactos humanos son muy fiables. XI: Los cambios más específicos por impactos humanos son muy fiables. XII: La relación con los impactos antropogénicos es lineal. S: Indica la suma de todos los signos (+) y (+/-), los valores altos corresponden los indicadores que cumplen más condiciones.

Fuente: Bonada et al. (2006).

6. Dinámica poblacional de los macroinvertebrados en estudio.

Como indican muchos autores, una de las comunidades que mejor evidencia su respuesta a las perturbaciones es la de macroinvertebrados, que habitan en el lecho fluvial y visible a simple vista.

El estudio de esta comunidad permite evaluar el grado de alteración al que está sometido un ecosistema fluvial. La dinámica poblacional de la comunidad bentónica de macroinvertebrados para los ríos altoandinos Grande, Porcón y Mashcón, se estableció con los siguientes parámetros:

Densidad específica (D)

Este parámetro está referido como el número de individuos de una especie expresados en unidad de volumen o superficie, en el presente caso número organismos/m².

La densidad específica o abundancia es inversamente proporcional a la diversidad, esta se reduce cuando aumentan las densidades en cada una de las especies (González 1988). Las aguas contaminadas son habitadas por pocas especies (baja riqueza), pero en gran cantidad de individuos (abundancia) por especie (Patrick 1966).

Densidad = Número de organismos / Unidad de volumen.

Frecuencia (F)

Es el número de hábitats, puntos de referencia, estaciones de muestreo, o lugares en que aparece una determinada especie, en relación al número total de estaciones de muestreo (Franco et al. 1985) donde:

$$F = \frac{\text{Número de estaciones en las que aparece una especie}}{\text{Número total de estaciones de muestreo}}$$

Dominancia (Do)

Valor referencial que cuantifica el producto de la densidad de la especie en estudio por el factor que relaciona al número de estaciones en que la especie

dominó y el número total de estaciones de muestreo del trabajo. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Do = \frac{\text{Dens. de la especie} \times \text{N}^\circ \text{ estac. donde la especie dominó}}{\text{N}^\circ \text{ total de estaciones de muestreo}}$$

Especies con valor de importancia ecológica (VIE)

Resulta de la sumatoria de los principales atributos de una comunidad: densidad, dominancia y frecuencia relativas, por cada especie. Usualmente se obtiene una categorización de estas especies con elevados valores, que inducen a profundizar estudios sobre ellas (Franco 1985). Este es un campo que amerita mayores estudios para ver su potencialidad e implicancia. Se calcula con la fórmula siguiente:

$$VIE = \text{Dens. relativa} + \text{Dom. relativa} + \text{F. relativa}$$

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica del Ámbito de Estudio

El área de estudio de la presente investigación corresponde a la cabecera de cuenca del río Mashcón, conformada por las sub cuencas de los ríos Porcón, Grande, y curso superior del río Mashcón, ubicada entre los 2767 msnm y 2926 msnm, en los pisos ecológicos de Quechua y Jalca, entre los 07°05'37" y 07°07'11" de Latitud Sur y los meridianos 78°31'17" y 78°33'28" de Longitud Oeste, en los distritos de La Encañada, Baños del Inca y Cajamarca, tal como se muestra en las figuras 3, 4 y 5 y tabla 8.

En la figura 3 se muestra el mapa panorámico de las cuencas hídricas y divortium acuarium con el ámbito de estudio.

En la figura 4, se observa en detalle de cuenca hídrica del río Mashcón, conformada por los ríos Porcón, Grande.

En la figura 5 se muestra la cuenca del río Mashcón y las Estaciones de Muestreo.

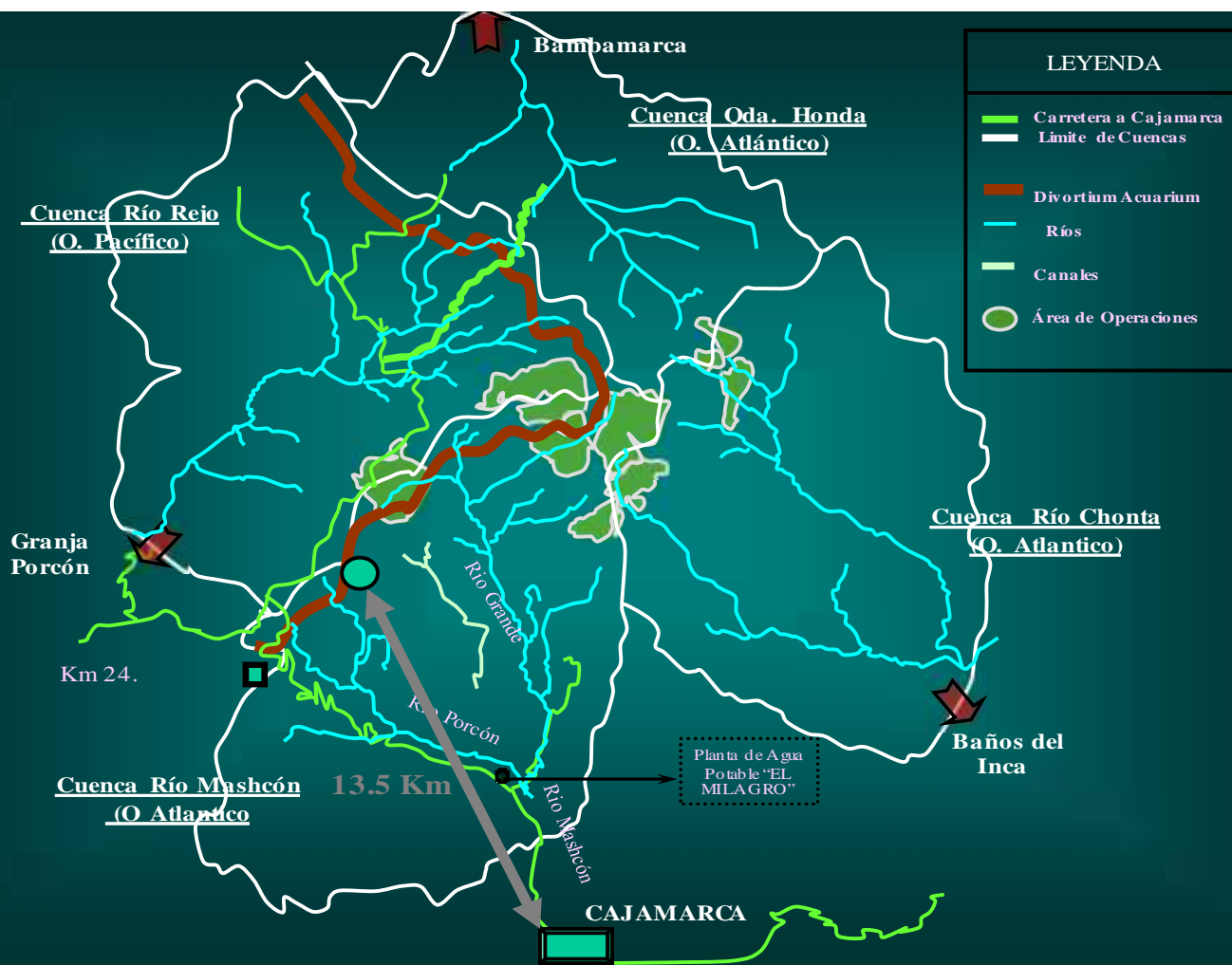


Figura 3. Mapa panorámico de las cuencas hídricas y divortium acuarium con el ámbito de estudio.

En la presente figura se muestra las cuatro cuencas hídricas de la provincia de Cajamarca y el divortium acuarium hacia las vertientes del Pacífico y del Atlántico:

- La cuenca del río Rejo, que drena hacia la vertiente del Océano Pacífico.
- Las cuencas de los ríos Mashcón, Chonta y Quebrada Honda, que drenan hacia la vertiente del Océano Atlántico.

La cuenca del río Mashcón, ámbito del presente estudio, está formada por los ríos Porcón y Grande, que confluyen formando el río Mashcón al norte de Cajamarca, y que luego cruza parte de los distritos la Encañada, Baños del Inca y Cajamarca.

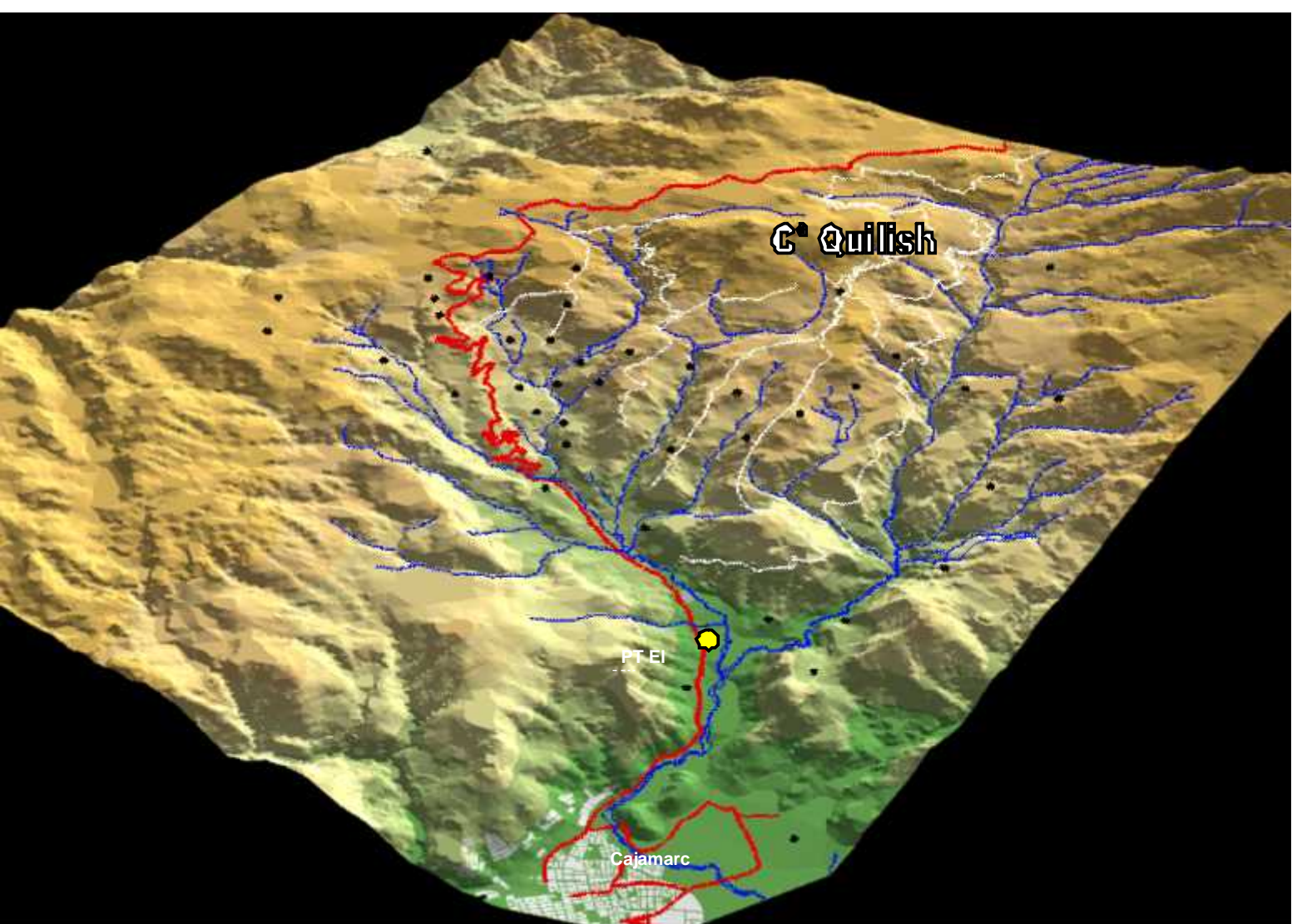


Figura 4. Mapa en detalle de la cuenca hídrica del río Mashcón, conformada por los ríos Porcón y Grande

En la presente figura se observa en detalle la cuenca del río Mashcón, formado por los ríos, Porcón y Grande, cuyos tributarios nacen en las estribaciones derecha e izquierda del Cerro Quilish que se encuentra ubicado en el centro. Se observa también los puntos referenciales de exploración del plan de expansión y explotación minera, que implicará un mayor impacto sobre la cuenca.

En amarillo se puede distinguir la ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua El Milagro, que surte de agua potable a la población de Cajamarca.

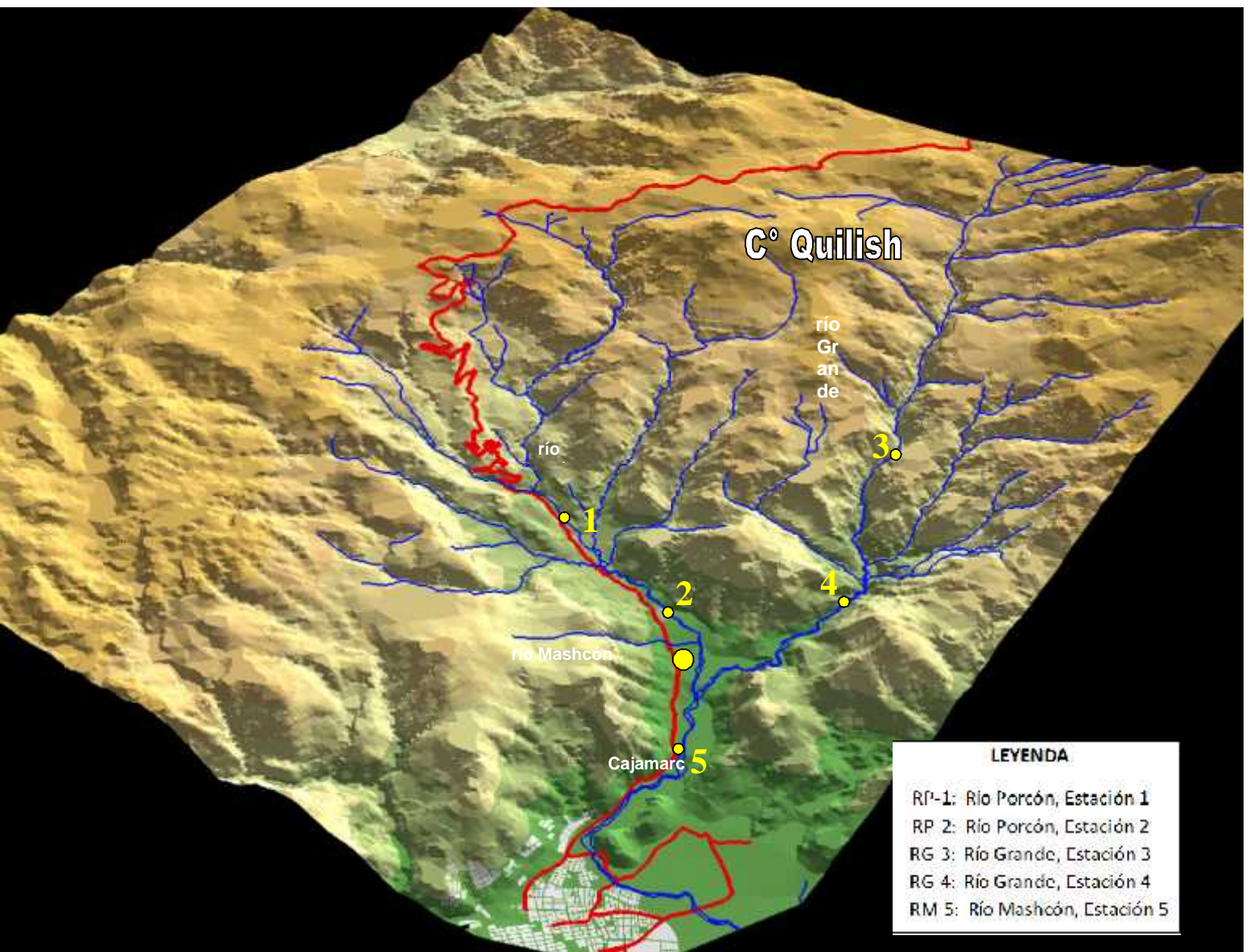


Figura 5. Mapa de la cuenca del río Mashcón y las Estaciones de Muestreo.

Las Estaciones de Muestreo 1 y 2 correspondieron al río Porcón que en curso descendente discurre a la margen izquierda del Cerro Quilish.

Las Estaciones 3 y 4 estuvieron ubicadas en el río Grande, que desciende por la margen derecha del Cerro Quilish. En su trayecto, ambos ríos se van alimentando de sus múltiples tributarios. La confluencia de ambos ríos curso abajo de la Planta de Tratamiento El Milagro forman el río Mashcón. La Estación 5 fue ubicada aguas debajo de la confluencia. Abajo, la ciudad de Cajamarca.

Las sub cuencas de estudio están separadas por el macizo del cerro Quilish y otras pequeñas colinas onduladas; hacia la derecha nacen y discurren descendentes en dirección sur este las quebradas Porcón, Chilincaga, Quilish y tributarios menores, que en conjunto forman la sub cuenca del Río Porcón. A la izquierda lo hacen las quebradas Callejón, Encajón, Quishuar Corral y Quengo, que en su trayectoria van conformando la sub cuenca del Río Grande. Ambas confluyen curso abajo después de la Planta de Tratamiento de Agua El Milagro, para formar la cuenca del Río Mashcón.

Según ONERN (1975) y siguiendo el sistema de Holdridge, la zona de vida identificada en el área de la presente investigación es el Páramo Muy Húmedo-Sub Alpino Tropical (pmh-sat), que limita en la parte inferior con el Bosque Muy Húmedo-Montano Tropical alrededor de los 3,000 msnm. La vegetación está constituida por asociaciones de pastos naturales o pajonales altoandinos, cuyas especies se detallan en los inventarios respectivos; la profundidad de los suelos es muy variable, encontrándose superficiales y profundos, con textura moderadamente gruesa y fina y provistos de materia orgánica en el horizonte superficial que es de color pardo grisáceo muy oscuro a negro, con un pH entre fuerte a estrechamente ácido (Bazán et al. 1995).

De acuerdo a las regiones fitogeográficas según criterio de Engler, modificado por Mattick (1964), el área de estudio pertenece a la Región Neotropical, que abarca los trópicos americanos desde el sur de los Estados Unidos de Norte América hasta el Estrecho de Magallanes, excepto los bosques patagónicos. Y el área de estudio se ubica en el Dominio Andino-Patagónico, Provincia Alto Andina. Bazán et al. (1995), consideran que estos espacios son una transición entre páramo y puna.

3.2. Caracterización Climática

De acuerdo a la clasificación del Sistema Thornthwaite, la ONERN (1977) estableció para las partes altas del área de estudio, un clima de tipo BrC'a', húmedo y frío con promedios de 1,400 mm de precipitación anual, y 10° C de temperatura; donde no está clara una estación seca y el cambio térmico invernal.

3.3. Descripción del Diseño de la Investigación

3.3.1. Selección de las Estaciones de Muestreo

Para este cometido, fue necesario realizar cuatro salidas previas de exploración, usando un mapa de la zona, un GPS para fijar los puntos de muestreo. Asimismo, se tuvo en cuenta aspectos fisiográficos, y diferenciales de los cursos de agua, a fin de que las estaciones fueran representativas.

3.3.2. Coordinación con Autoridades del Ámbito de Muestreo

Con la finalidad de mantener una armónica coordinación que permitiese el libre ingreso, desplazamiento y muestreo respectivo, por la sensibilidad social que tiene actualmente la explotación minera en todo el ámbito de Cajamarca, se establecieron previas coordinaciones con líderes y pobladores comunales.

3.4. Universo, Población y Muestra

La muestra estuvo constituida por los organismos de los macroinvertebrados bentónicos colectados al azar en cada uno de los tres puntos de muestreo. La población comprendió a los organismos presente en cada Estación establecida. Y, el universo quedó representado por todos los organismos presentes en los ríos Porcón, grande y Mashcón.

3.5. Materiales y Métodos

3.5.1. Materiales, equipos e instrumentos.

Se utilizaron los siguientes equipos, instrumentos y materiales:

- Unidad móvil de doble cabina
- Ropa de campo
- Guantes de jebe
- Oxímetro HACH LDO
- pH meter OAKLON RS232 (para pH y Temperatura).
- Conductímetro HACH Sension 5 (conductividad y sólidos disueltos)
- Checker HANNA HI 1208
- Bolsas de cierre ziplock de polietileno de 15 x 20 cm y plumones
- Juego de tamices de bronce, de 250 a 450 μ de malla
- Alcohol etílico de 95 %
- GPS Marca Garmin Modelo Etrex 30

- Muestreador Red de fondo tipo Surber de 20 cm x 40 cm
- Sedimento de fondo colectado en las 5 Estaciones de muestreo
- Cintas maskin tape
- Microscopio estereoscópico con filtros de color
- Placas Petri y estiletes
- Contómetro mecánico manual
- Computadora
- Cámara fotográfica

3.5.2. Métodos utilizados

Fase de campo

Esta fase se fijó las Estaciones de muestreo, dos en el río Porcón, dos en río Grande, y uno en el río Mashcón, como se ilustra en la tabla 8. Se tomaron los registros de los parámetros físico-químicos, y las muestras para macroinvertebrados. Los muestreos se hicieron durante los periodos de lluvia (enero) y sequía (setiembre) de los años 2012 y 2013.

Tabla 8. Ubicación de las estaciones de muestreo en los ríos Porcón, Grande y Mashcón

ESTACIONES DE MUESTREO		UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
		COORDENADAS		ALTITUD
		Lat. S.	Long. O.	(msnm)
RÍO PORCÓN	RP-1	7°05'56"	78°33'28"	2926
	RP-2	7°06'21"	78°32'08"	2816
RÍO GRANDE	RG-3	7°05'37"	78°31'17"	2877
	RG-4	7°06'12"	78°31'25"	2815
RÍO MASHCÓN	RM-5	7°07'11"	78°31'31"	2767

LEYENDA

RP-1: Río Porcón, Estación 1
 RP-2: Río Porcón, Estación 2
 RG-3: Río Grande, Estación 3
 RG-4: Río Grande, Estación 4
 RM-5: Río Mashcón, Estación 5

Las Estaciones de muestreo, se establecieron por puntos diferenciables en el curso de cada río, por su practicidad logística, y fijados con un GPS. Así, la Estación RP-1 se fijó aguas abajo de un puente carrozable y RP-2, aguas arriba de la Planta el Milagro. La Estación RG-3, junto a una casa comunal y RG-4, antes de la derivación del agua hacia la Planta el Milagro. Finalmente, la Estación RM-5, aguas abajo de la confluencia de los ríos Porcón y Grande.

Los registros físico-químicos fueron tomados con los respectivos instrumentos requeridos para cada parámetro. La temperatura ambiente y del agua fue registrada con un termómetro de canastilla. El caudal del agua se obtuvo multiplicando la sección media del río expresada en m², por la velocidad media del agua expresada en m/s, y luego por el factor 0,8 que indica la homogeneidad. El pH fue registrado con un pHmeter OAKLON y verificado con un Checker HANNA. La concentración de oxígeno disuelto en el agua fue registrada con un Oxímetro HACH *LDO*. Los valores de conductividad eléctrica, turbiedad y de sólidos totales disueltos (TDS), fueron registrados con un conductímetro HACH *Sension 5*. Toda la data fue anotada en una libreta de campo, junto con el número de muestra, número de la Estación, fecha y hora.

Las muestras biológicas fueron tomadas por triplicado en cada Estación, con ayuda de un muestreador red de fondo tipo Surber de 250 μ de malla, luego envasadas en bolsas de cierre tipo ziploc, preservadas con alcohol de 95%, y rotulada la fecha, hora, número de Estación y de muestra, con tinta indeleble y finalmente transportadas a laboratorio.

Fase de Laboratorio

En esta segunda fase tuvo lugar la separación e identificación de los macroinvertebrados bentónicos del material de fondo obtenida de los ríos. Mediante tamices de 200 a 450 μ de tamaño de malla se procedió a la separación de los organismos. Finalmente, con la ayuda de un microscopio estereoscópico con luz incorporada, regulable, estiletes, placas Petri y claves especializadas, se procedió a la identificación y cuantificación de los macroinvertebrados.

Fase de Gabinete

En esta fase, la información obtenida en campo y laboratorio fue procesada, tanto para los cálculos matemáticos, estadísticos y regresiones de los parámetros físico-químicos, como de ordenamiento taxonómico, sistemático, parámetros poblacionales y de índices para la calidad ecológica. Aplicando las fórmulas para los parámetros poblacionales vistas en el tema de la dinámica poblacional, del marco teórico, se obtuvo la data integrada de estos, para las épocas de lluvia y sequía durante los años 2012 y 2013.

Finalmente, la data de la calidad biológica, que es el objetivo central de la presente investigación, se obtuvo a través del Método e Índice Multimétrico IMEERA (Índice para Evaluación Ecológica de Ríos Altoandinos), que integra diversos aspectos de la

estructura poblacional por familias y órdenes de los macroinvertebrados, nichos ecológicos, índices de diversidad, índices bióticos y unimétricos como el ABI, que relacionan *riqueza específica*, o diversidad, *abundancia* o densidad, *tolerancia* o *intolerancia* a la contaminación, *equitatividad* y la calidad integral o ecológica del agua, procesados mediante la aplicación informática CABIRA (Calidad Biológica de los Ríos altoandinos), especialmente diseñado por la Universidad de Barcelona para el método IMEERA como parte del protocolo CERA (Calidad Ecológica para Ríos Altoandinos).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando en cuenta los aspectos que anteceden, y la información obtenida en campo y laboratorio, se procedió a determinar la calidad ecológica de las aguas de los ríos Porcón, Grande y Mashcón, a partir de sus dos componentes: *la calidad ambiental*, que está dada por los registros físico-químicos, y *la calidad biológica*, obtenida mediante el uso de los parámetros poblacionales, índices de diversidad e índices bióticos.

4.1. Calidad Ambiental del Agua

De manera similar a lo que ocurre en muchos países de mundo, un volumen importante de agua de los ríos Porcón, Grande y Mashcón, se origina por escurrimiento a través de áreas cultivadas y áreas boscosas, las mismas que ejercen una alta influencia sobre la calidad de las aguas (Fernández et al. 2002). Por ello en el presente trabajo se tomaron registros de los parámetros físico-químicos, temperatura, caudal, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, y se aplicaron índices bióticos y de diversidad, por sospechas de contaminación difusa derivada precisamente de actividades agrícolas y pecuarias en las zonas adyacentes, así como de un progresivo deterioro de las cuencas por erosión atribuible a la deforestación, actividades agropecuarias y extracción de material para uso de construcción, hecho que concuerda con lo que reportan para áreas sub andinas en Chile (Romero y Órdenes 2003).

Las aguas naturales, han sido compatibles con la vida vegetal y animal a lo largo de los siglos. Pero su composición química natural se ve alterada por las actividades antropogénicas, con la consecuente incorporación de sustancias de diferente naturaleza como pesticidas, aceites y grasas, metales pesados, etc. a través de vertidos

de aguas residuales o debido al paso de las aguas por terrenos tratados con productos agroquímicos o contaminados, lo que conlleva a un mayor nivel de exigencia en los sistemas de control (Silva et al. 2016).

Frente a ello, la Directiva Marco del Agua-DMA (Directiva 2000/60/CE), que es el basamento jurídico de los 27 países de la Unión Europea, aporta una nueva concepción reguladora del Derecho Comunitario Ambiental, con la finalidad de garantizar la protección, uso sustentable y disponibilidad a largo plazo del agua continental, agua de transición, costera y subterráneas, pasando a ser desde un simple recurso hacia un factor clave de la calidad de vida y conservación de los sistemas vivos asociados. Y, consecuentemente, uno de los criterios importantes, es el referido los cambios a nivel de comunidad y ecosistema que se conocen como cambios en la salud ecológica, estado ecológico o *calidad ecológica*.

Por tal motivo, convenimos en usar aquí los términos de *calidad ecológica* del ecosistema a aquella condición que la integran la *calidad ambiental*, constituida por los cambios hidrológicos, hidromorfológicos, fisicoquímicos, etc, y la *calidad biológica*, constituida por los cambios estructurales ocurridos en la comunidad de macroinvertebrados, los cambios hidrológicos, hidromorfológicos, fisicoquímicos, ambientales, etc en el ecosistema; considerando así la concepción de *calidad ecológica* que deriva de la Directiva Marco del Agua en un sentido más amplio (Pratt et al. (1999).

Pero también, la evaluación integral de los ecosistemas acuáticos responde a una normatividad especialmente emitida por todos los países para tal fin. En el Perú, los Estándares de Calidad Ambiental, para los recursos hídricos (Decreto Supremo N°

004-2017-MINAM), constituyen “*la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente*”. Esta se sustenta entre otras normas en la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, que regula el uso y gestión de los recursos hídricos superficiales, subterráneos, continental, atmosférica y marítima; el reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA, para los requisitos oficiales bacteriológicos, físicos y químicos que debe reunir el agua potable para consumo humano; la Ley General de Salud (D.L N° 26842), Ley General de Pesca (D. Ley N° 25977), Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 y Ley General del Ambiente N° 28611.

Visto estos considerandos, pasamos al análisis y discusión de nuestra data.

Los valores de los parámetros físico-químicos obtenidos en campo se muestran en las tablas 9 al 13 y tratamiento estadístico en las tablas 14 al 18. Asimismo, con el objeto de determinar el nivel de interdependencia de esos parámetros, se les sometió a una correlación de Pearson, cuyos resultados se muestran en las tablas 19 al 23. Con esta información se procedió al análisis y caracterización ambiental del ámbito de estudio, y su influencia sobre las comunidades de macroinvertebrados usadas finalmente como bioindicadores de la calidad ecológica de las aguas.

La *temperatura del ambiente*, en las estaciones de muestreo osciló entre 12°C a 14,4°C, que corresponde a la altura de los ríos altoandinos en estudio.

La *temperatura del agua* de los ríos Porcón, Grande y Mashcón, corresponde a los cuerpos de agua tropical de altura, y se enmarcó en un rango de 11,3 °C y 14,2 °C, con una media general de 13,17°C. El río Porcón tuvo una media de 13,01°C, el río Grande de 12,96°C; y río Mashcón de 13,9°C. Estos valores fueron similares y/o cercanos al de otros ríos altoandinos como los de Mira,

Tabla 9. Parámetros físico-químicos de la Estación 1 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	ESTACIÓN DE MUESTREO RP-1			
	LL- 2012	S - 2012	LL - 2013	S - 2013
Periodos Hidrológicos	LL- 2012	S - 2012	LL - 2013	S - 2013
Ubicación Geográfica	7°05'56" 78°33'28"			
Altitud (msnm)	2926			
Temperatura ambiente (°C)	12	13,4	13,8	14,1
Temperatura del agua (°C)	11,3	12,9	12	13,7
Descarga (m ³ /s)	487	194	506	221
pH	7,8	7,6	7,2	7,7
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,1	6,7	7,9	8,2
Turbiedad (NTU)	61	32	52	30
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	312	110	268	102
Conductividad eléctrica (µS/cm)	645	220	532	205

Leyenda: Periodo de lluvia = LL Periodo de sequía = S

Aguarico, Guayas y Pastaza en el Ecuador, o como los ríos Urubamba y Santa en el Perú (Villamarín et al. 2014), existiendo una relación importante entre las temperaturas latitudinales con la *riqueza* y *abundancia*. Así, al comparar la *riqueza* de 23 familias del presente trabajo, con otros *de ámbito tropical* como las 19 reportadas en ríos de Ecuador por Jacobsen et al. (1997), y 15 por Carrera y Gunkel (2003), con las *del ámbito Neotropical* como en Bolivia con 17 familias (Wasson y Marín 1988), 18 (Franken y Marín 1992), y 20 (Molina et al. 2008); *en contraste con resultados de la región templada* de la Patagonia con 26 familias reportadas por

Miserendino (2001), y 34 por parte de Figueroa et al. (2003), al sur de Chile, se evidencia que la baja *riqueza* en los ríos de las regiones Tropical y Neotropical, tiende a recuperarse e incrementarse en la región Templada del hemisferio sur (Molina et al. 2008). Algunos autores que confirman de esta baja riqueza de los ríos altoandinos tropicales, atribuyen esta

Tabla 10. Parámetros físico-químicos de la Estación 2 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	ESTACIÓN DE MUESTREO RP-2			
	LL – 2012	S – 2012	LL – 2013	S – 2013
Periodos Hidrológicos	LL – 2012	S – 2012	LL – 2013	S – 2013
Ubicación Geográfica	7°06'21"		78°32'08"	
Altitud (msnm)	2816			
Temperatura ambiente (°C)	13,7	13,5	14,1	14,3
Temperatura del Agua (°C)	13,4	13	13,9	13,9
Descarga (m³/s)	621	210	540	250
pH	8,5	7,6	7,8	7,5
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,4	7,6	8,1	7,9
Turbiedad (NTU)	69	21	58	22
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	339	96,5	328	88,7
Conductividad eléctrica (µS/cm)	685	177	651	162

Leyenda: Periodo de lluvia = LL Periodo de sequía = S

diferencia con la región templada, a diversas situaciones geográficas y cambios climáticos globales desde la última edad de hielo (Carrera y Gunkel 2003), así cuando el 32% de la superficie terrestre estaba cubierta por glaciares, y desaparecido los ríos y lagos de altura (Brittain y Milner 2001), forzaron a la fauna de muchos ríos de altura a migrar a sitios de refugio de bajas altitudes y latitudes, quedando dos hipótesis: 1) Que el calentamiento global y retroceso glaciar favorecería al avance de la sucesión biológica desde las regiones bajas hacia las altas (Jacobsen et al. 1997), y 2) que el incremento acelerado de la temperatura reduzca la diversidad de las comunidades al pie de los ríos altoandinos (Ilg y Castella 2006).

La *descarga* hídrica, es considerada un factor importante de perturbación ambiental al gobernar la estructura (Molina et al. 2008), la zonación de macroinvertebrados y una influencia efectiva sobre la comunidad, por su acción sinérgica con la calidad del sustrato y la velocidad de la corriente (Ramírez y Pringle 1998). Así, los rápidos en estos ríos son hábitats estables con sustratos de tamaño variado que permiten la retención de detritus en los espacios intersticiales, y tienen mayor riqueza con más resistencia al barrido de las descargas (Resh et al. 1988). Al respecto, Allan (1995), sostiene que en los ríos de montaña la diversidad no parece diferir entre hábitats dada la predominancia de sustratos rocosos de variado tamaño tanto en los rápidos como en remansos. Igualmente, Pérez y Segnini (2005) reportan que no existe diferencias significativas entre rápidos y remansos respecto a la diversidad de géneros para cada fecha de muestreo en el río. Ello coincide con lo observado en los ríos Porcón, Grande y Mashcón, cuyas *descargas* que registraron un mínimo de 184 m³/s, un máximo 986 m³/s y media general de 429,6 m³/s (ver tablas 14 a 18), lo hicieron también sobre lechos diferenciados tanto en la forma como del material de fondo, que van desde grandes rocas, cantos rodados, grava, arena y algunos recodos. Comparativamente, el río Mashcón tuvo la mayor descarga con una media de 695 m³/s, pues resulta de la confluencia de los otros dos; río Porcón segundo con una media de 378 m³/s y río Grande último con 348,2 m³/s.

Tabla 11. Parámetros físico-químicos de la Estación 3 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	ESTACIÓN DE MUESTREO RG-3			
	LL - 2012	S - 2012	LL - 2013	S - 2013
Periodos Hidrológicos	LL - 2012	S - 2012	LL - 2013	S - 2013
Ubicación Geográfica	7°05'37"		78°31'37"	
Altitud (msnm)	2877			
Temperatura ambiente (°C)	14,2	12,4	14,5	13,5
Temperatura del Agua (°C)	13,6	11,9	13,5	12,7
Descarga (m³/s)	487	184	480	215
pH	8,1	7,5	7,8	7,4
Oxígeno disuelto (mg/L)	7	7,9	7,2	7,1
Turbiedad (NTU)	70	160	69	81
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	340	173,7	506	165,8
Conductividad (µS/cm)	685	347	998	332

Leyenda: Periodo de lluvia = LL

Periodo de sequía = S

El *oxígeno disuelto*, como consecuencia de esa diferencia en lechos, material de fondo y descargas, se mostró con buenos niveles (tablas de 14 a 18), que oscilaron en un rango de 6,7 mg/L a 9,2 mg/L (primer periodo de sequía en las Estaciones 1 del río Porcón, y 5 del río Mashcón), con una mejor media de 7,86 mg/L en río Porcón sobre los 7,49 mg/L de río Grande, esta situación debido a condiciones de

Tabla 12. Parámetros físico-químicos de la Estación 4 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		ESTACIÓN DE MUESTREO RG-4			
Periodos Hidrológicos	LL – 2012	S – 2012	LL – 2013	S – 2013	
Ubicación Geográfica	7°06'12"		78°31'25"		
Altitud (msnm)	2815				
Temperatura ambiente (°C)	14,1	12,6	13,9	13,6	
Temperatura del Agua (°C)	13,5	11,9	13,9	12,7	
Descarga (m ³ /s)	498	196	506	222	
pH	8,1	7,4	8,5	7,3	
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,4	8,1	7,8	7,4	
Turbiedad (NTU)	41	98	54	76	
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	49,4	166,5	286	158,6	
Conductividad eléctrica (µS/cm)	103	332	573	317	
Leyenda: Periodo de lluvia = LL		Periodo de sequía = S			

fondo indicadas y también por su mayor caudal sobre el de río Grande. Y finalmente, el río Mashcón con una media de 8,58 mg/L, como expresión y confluencia de descargas de los dos primeros. Una similitud con estos valores se reporta para otros ríos altoandinos, como lo hallado en cuatro ríos de montaña en Argentina (Fernández et al. 2002). En consecuencia, con los valores obtenidos, los ríos Porcón, Grande y Mashcón, califican dentro de aguas Categoría A3 de los ECA para calidad del agua (MINAM 2017).

Por su parte, el *pH* de los tres ríos (tablas de 14 a 18), osciló entre un rango de neutro a alcalino con 7,2 y 8,5 (en el primer periodo de lluvia, Estación 2 de río Porcón y en el segundo periodo de lluvia, Estación 1 del río Porcón y Estación 4 del río Grande). El río Mashcón mostró las tendencias más alcalinas con un *pH* medio de 8,2. Luego le siguen los ríos Grande y Porcón con una media de 7,7; y

Tabla 13. Parámetros físico-químicos de la Estación 5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	ESTACIÓN DE MUESTREO RM-5			
	Ll – 2012	S – 2012	LL – 2013	S – 2013
Periodos Hidrológicos	Ll – 2012	S – 2012	LL – 2013	S – 2013
Ubicación Geográfica	7°07'11"		78°31'31"	
Altitud (msnm)	2767			
Temperatura ambiente (°C)	14,4	14,1	14,2	14,7
Temperatura del Agua (°C)	14	13,6	14,2	13,8
Descarga (m ³ /s)	980	378	986	436
pH	8,3	7,9	8,4	8,1
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,8	9,2	8,2	8,1
Turbiedad (NTU)	72	101	53	89
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	440	189,1	284	196,4
Conductividad eléctrica (µS/cm)	835	401	573	408

Leyenda: Periodo de lluvia = LL

Periodo de sequía = S

7,71. Esta tendencia alcalina se debería a la influencia de los macizos calcáreos de los Andes. Valores similares son reportados en otros ríos altoandinos (Fernández et al. 2002). También consideramos oportuno añadir que el río Grande se está recuperado de una marcada acidez anterior que adquirió de sus efluentes impactados por la actividad minera (Azabache 2005). Con esta valoración de pH, las aguas califican dentro de las Categorías A3 de los ECA para calidad del agua (MINAM 2017).

En cuanto a los *sólidos disueltos totales*, estos afectan a la calidad de las aguas de varias formas. Con elevados tenores en aguas para consumo humano, estas se perciben con mal gusto al paladar y generan un malestar fisiológico en el consumidor. Es por esta razón que se ha establecido límites para el agua potable en muchos países, el promedio para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingston 1963), igualmente se vio en varios ríos de

Tabla 14. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 1 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETRO	MEDIA	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTANDAR	VARIANZA	MÍNIMO	MÁXIMO
Temperatura °C	12,48	12,45	1,05	1,10	11,30	13,70
Descarga m ³ /s	352,00	354,00	167,40	28022,00	194,00	506,00
pH	7,58	7,65	0,26	0,07	7,20	7,80
Turbiedad (NTU)	43,75	42,00	15,20	230,92	30,00	61,00
Conductividad (μS/cm)	400,50	376,00	222,02	49291,00	205,00	645,00
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	198,00	189,00	107,79	11618,67	102,00	312,00
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,73	8,00	0,69	0,48	6,70	8,20

montaña argentinos, se reportaron valores de 191 mg/L a 429 g/L (Fernández et al. 2002). En los ríos Porcón, Grande y Mashcón (tablas de 14 a 18), los *sólidos disueltos totales* estuvieron entre los 49,4 mg/L y 506 mg/L, con medias de 230,75 mg/L, 227,38 mg/L y 205,5 mg/L respectivamente, valores que en Perú califican con un nivel débil para los Estándares para Calidad de Aguas (MINAM 2017), en la Categoría A3 con rango de 1 000 mg/L a 1 500 mg/L. Estos niveles subieron con las lluvias, elevando los índices bióticos por sensibilidad a aquellas (Salinas et al. 1999).

La *turbiedad* es un factor ambiental importante, pues la actividad fotosintética depende de la penetración de la luz, y las aguas turbias la reducen, afectando a la producción primaria, y a la dinámica del sistema (De la Peña et al. 1996). La

Tabla 15. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 2 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETRO	MEDIA	MEDIANA	DESVIACIÓN		MÍNIMO	MÁXIMO
			ESTANDAR	VARIANZA		
Temperatura °C	13,55	13,65	0,44	0,19	13,00	13,90
Descarga m ³ /s	405,25	395,00	205,69	42310,25	210,00	621,00
pH	7,85	7,70	0,45	0,20	7,50	8,50
Turbiedad (NTU)	42,50	40,00	24,66	608,33	21,00	69,00
Conductividad (µS/cm)	418,75	414,00	288,21	83064,25	162,00	685,00
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	213,05	212,25	139,19	19374,58	88,70	339,00
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,00	8,00	0,34	0,11	7,60	8,40

razón por la que se mide la turbiedad, que es un procedimiento indirecto, se debe a la imposibilidad de determinar en continuo los sólidos en suspensión, que se presentan en las aguas naturales (Murillo 2008). La *turbiedad* reportada (tablas 14 a 18), estuvo dentro de un rango de mínima de 21 NTU, máxima de 160 NTU, y media de 95 NTU para los tres ríos. Los máximos valores fueron para río Grande, río Mashcón y río Porcón, en ese orden respectivamente. Estos valores califican a las aguas de los tres ríos en la categoría A3 de los ECA para Calidad del Agua del Perú (MINAM 2017), con opciones de mejora en su uso según los tratamientos normados.

La *conductividad eléctrica* registrada (tablas 14 a 18), en todas las estaciones de muestreo, oscilaron dentro de un rango de 103 µS/cm a 998 µS/cm. Donde el mayor valor de máximas y de medias fue para el río Grande con 998 µS/cm y

Tabla 16. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 3 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETRO	MEDIA	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTANDAR	VARIANZA	MÍNIMO	MÁXIMO
Temperatura °C	12,93	13,10	0,79	0,63	11,90	13,60
Descarga m ³ /s	341,50	347,50	164,48	27053,67	184,00	487,00
pH	7,70	7,65	0,32	0,10	7,40	8,10
Turbiedad (NTU)	95,00	75,50	43,67	1907,33	69,00	160,00
Conductividad eléctrica (μS/cm)	590,50	516,00	316,81	100367,00	332,00	998,00
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	296,38	256,85	161,19	25981,59	165,80	506,00
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,30	7,15	0,41	0,17	7,00	7,90

590 μS/cm, luego el río Mashcón con 835 μS/cm y 554,25 μS/cm, y finalmente río Porcón con 685 μS/cm y 418,75 μS/cm.

Estos valores de *conductividad* guardan similitud con los valores reportados para muchos ríos altoandinos, como el Guayas y Pastaza en el Ecuador, Colca, Santa y Urubamba en el Perú (Villamarín et al. 2014), Choquecota en Bolivia (Molina et al. 2008), como en los ríos San Javier, La Hoyada, Las Juntas y Lules en la provincia de Tucumán, Argentina (Fernández et al. 2002). Los *sólidos totales disueltos* proporcionan una indicación general de la calidad química, pudiéndose apreciar que en la medida que los niveles de sólidos disueltos aumentaron, la *conductividad* del agua también aumentó de manera directamente proporcional; de igual modo, se observó también un patrón general de relación directa, aunque no muy evidente en todas las estaciones, entre la *temperatura* y la *conductividad*, como se muestra en las tablas 19 a 23 de correlaciones Pearson, porque ésta se determina por un movimiento molecular y la temperatura influye en ella.

Tabla 17. Estadísticos de los parámetros físico-químicos en la Estación 4 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013

PARÁMETRO	MEDIA	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTANDAR	VARIANZA	MÍNIMO	MÁXIMO
Temperatura °C	13,00	13,10	0,89	0,79	11,90	13,90
Descarga m ³ /s	355,50	360,00	169,53	28739,67	196,00	506,00
pH	7,83	7,75	0,57	0,33	7,30	8,50
Turbiedad (NTU)	67,25	65,00	25,08	628,92	41,00	98,00
Conductividad eléctrica (µS/cm)	331,25	324,50	192,13	36914,92	103,00	573,00
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	165,13	162,55	96,69	9349,17	49,40	286,00
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,68	7,60	0,34	0,12	7,40	8,10

La *conductividad* de los ecosistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1.500 µS/cm, que según la normatividad ambiental del Perú es el máximo permisible en sistemas dulceacuícolas, constituyendo por encima de dicho rango una condición efectivamente perjudicial para peces o macroinvertebrados. El rango de valores de *conductividad* obtenido para los ríos Porcón, Grande y Mashcón califica potencialmente a estas aguas para consumo humano indirecto.

Tabla 18. Estadísticos de los parámetros físico-químicos de la Estación 5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

PARÁMETRO	MEDIA	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTANDAR	VARIANZA	MÍNIMO	MÁXIMO
Temperatura °C	13,90	13,90	0,26	0,07	13,60	14,20
Descarga m ³ /s	695,00	708,00	333,40	111158,67	378,00	986,00
pH	8,18	8,20	0,22	0,05	7,90	8,40
Turbiedad (NTU)	78,75	80,50	20,89	436,25	53,00	101,00
Conductividad eléctrica (µS/cm)	554,25	490,50	203,34	41348,92	401,00	835,00
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	277,38	240,20	116,68	13613,40	189,10	440,00
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,58	8,50	0,52	0,27	8,10	9,20

Ello explica y justifica el por qué las aguas de estos tres ríos, son sometidas a un debido proceso en la planta de tratamiento El Milagro, que recepciona las aguas de los ríos Porcón y Grande, para luego de un proceso de potabilización ser distribuidas finalmente como agua potable a la población de Cajamarca.

Como se ha indicado, los parámetros físico-químicos fueron sometidos a la correlación de Pearson, como se aprecia en las tablas 19 a 23, cuyos índices de correlación muestran tendencias de entre *positivas perfectas* o directas a positivas significativas entre la *conductividad*, *sólidos disueltos totales* y *caudal* en las 5 estaciones de muestreo, y *correlaciones negativas* y negativas significativas entre el *oxígeno disuelto* y la *temperatura del agua*.

La temperatura del agua, además, influye sobre otros factores fisicoquímicos del agua. Por ejemplo, determina la cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua hasta alcanzar el nivel de saturación. A bajas temperaturas, aumenta la cantidad de oxígeno disuelto en el agua (Toro et al. 2009), por ello las aguas de los ríos altoandinos en general, y los de la presente investigación se mostraron mayormente con buena oxigenación.

Tabla 19. Correlación de Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 1 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

		Temperatura Ambiental	Temperatura del Agua	Descarga	pH	Oxígeno Disuelto	Turbiedad	Sólidos Disueltos T.
Temperatura del Agua	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,79 0,21						
Descarga	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,47 0,53	- 0,87 0,13					
pH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,52 0,48	0,09 0,91	- 0,36 0,64				
Oxígeno disuelto	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,06 0,94	- 0,17 0,83	0,51 0,49	0,10 0,90			
Turbiedad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,72 0,28	- 0,96 0,04	0,95* 0,05	- 0,10 0,90	0,42 0,58		
Sólidos Disueltos	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,66 0,34	- 0,95 0,05	0,97 0,03	- 0,17 0,83	0,44 0,56	0,99 0,00	
Conductividad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,69 0,31	- 0,96 0,04	0,96 0,04	- 0,13 0,87	0,45 0,55	0,99 0,00	0,99 0,00

Por su parte, la correlación calculada entre *conductividad* y *temperatura del agua* es positiva, a excepción de la primera estación de muestreo en el río Porcón. Igualmente, el índice de correlación entre *sólidos disueltos totales* y *turbiedad* muestra una clara correlación entre positiva y positiva significativa.

Estas correlaciones muestran la importancia sinérgica o contraria, que se dan entre los factores ambientales y su respectivo impacto sobre las comunidades bentónicas y las estrategias que éstas han desarrollado en el tiempo.

De igual manera, las condiciones ambientales son el escenario en el cual las comunidades de macroinvertebrados interactúan y responden, dando con la modificación de su estructura poblacional, desplazamiento, o ausencia, valoraciones expresadas a través de índices respectivos.

Tabla 20. Correlación Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 2 en el río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

		Temperatura Ambiental	Temperatura del agua	Descarga	Ph	Oxígeno disuelto	Turbiedad	Solidos Disueltos T.
Temperatura del Agua	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,96 0,04						
Descarga	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,00 1,00	0,25 0,75					
pH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,36 0,64	- 0,17 0,83	0,85 0,15				
Oxígeno disuelto	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,16 0,84	0,36 0,64	0,93 0,07	0,86 0,14			
Turbiedad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,07 0,93	0,19 0,81	0,99 0,00	0,87 0,13	0,92 0,08		
Solidos Disueltos T.	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,03 0,97	0,23 0,77	0,99 0,01	0,79 0,21	0,86 0,14	0,99 0,01	
Conductividad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,04 0,96	0,22 0,78	0,99 0,01	0,80 0,20	0,87 0,13	0,99** 0,01	1,00 0,00

Tabla 21. Correlación Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 3 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

		Temperatura Ambiental	Temperatura del agua	Descarga	pH	Oxígeno disuelto	Turbiedad	Sólidos Disueltos T.
Temperatura del agua	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,98 0,02						
Descarga	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,90 0,10	0,94 0,06					
pH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,68 0,32	0,80 0,20	0,91 0,09				
Oxígeno Disuelto	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,85 0,15	- 0,85 0,15	- 0,63 0,37	- 0,49 0,51			
Turbiedad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,94 0,06	- 0,92 0,08	- 0,73 0,27	- 0,52 0,48	0,97 0,03		
Sólidos Disueltos T.	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,83 0,17	0,80 0,20	0,90 0,10	0,67 0,33	- 0,41 0,59	- 0,60 0,40	
Conductividad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,84 0,16	0,80 0,20	0,90 0,10	0,68 0,32	- 0,42 0,58	- 0,61 0,39	1,00 0,00

Tabla 22. Correlación Pearson de los Parámetros físico-químicos de la Estación 4 en el río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

		Temperatura Ambiental	Temperatura del agua	Descarga	pH	Oxígeno Disuelto	Turbiedad	Sólidos disueltos t
Temperatura del agua	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,91 0,09						
Descarga	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,81 0,19	0,94 0,06					
pH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,67 0,33	0,90 0,10	0,96 0,05				
Oxígeno disuelto	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,77 0,23	- 0,45 0,55	- 0,30 0,70	- 0,05 0,95			
Turbiedad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,95 0,04	- 0,92 0,08	- 0,93 0,07	- 0,78 0,22	0,63 0,37		
Sólidos Disueltos Totales	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,12 0,88	0,20 0,80	0,05 0,95	0,32 0,68	0,50 0,50	0,20 0,80	
Conductividad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,11 0,89	0,21 0,79	0,06 0,94	0,33 0,67	0,50 0,50	0,19 0,81	1,00 0,00

Tabla 23. Correlación Pearson de los parámetros físico-químicos de la Estación 5 en el río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

		Temperatura Ambiental	Temperatura del Agua	Descarga	pH	Oxígeno disuelto	Turbiedad	Sólidos Disueltos t
Temperatura del Agua	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	1,00 0,00						
Descarga	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,15 0,85	0,92 0,08					
pH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,09 0,91	0,99* 0,01	0,94 0,06				
Oxígeno Disuelto	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,62 0,38	- 0,57 0,43	- 0,23 0,77	- 0,56 0,44			
Turbiedad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,09 0,91	- 0,99 0,00	- 0,92 0,08	- 0,97 0,03	0,53 0,47		
Sólidos Disueltos Totales	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	0,01 0,99	0,58 0,42	0,83 0,17	0,67 0,33	0,10 0,90	- 0,56 0,44	
Conductividad	Correlación de Pearson Sig. (bilateral)	- 0,01 0,99	0,60 0,40	0,85 0,15	0,68 0,32	0,09 0,91	- 0,57 0,43	1,00 0,00

Por tanto, de manera integral, según los criterios de los ECA del MINAM, los valores de temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos, turbiedad y conductividad eléctrica registrados en estos ríos, los califican, con las debidas consideraciones, para aguas de tipo A3 (aguas que pueden ser utilizadas en agricultura y pecuaria).

4.2. Calidad Biológica del Agua

En éste acápite se analizan el aspecto taxonómico, la estructura poblacional mediante la riqueza, abundancia, frecuencia, dominancia, valor de importancia ecológica, y fundamentalmente el valor de la *calidad biológica* de las aguas de los ríos Porcón, Grande y Mashcón, determinados según los *índices de diversidad*: de *Margalef*, de

Shannon-Wiener, de equitabilidad; y los índices bióticos como BMWP, ABI e índice multimétrico IMEERA.

Sobre el aspecto taxonómico, se puede referir que la literatura sobre este tema toma cada vez más importancia, por el impulso que viene adquiriendo este campo entre investigadores de más países, y se ha tomado como referentes a textos sobre biología de agua dulce, como Ringuelet (1962), y los textos clásicos de Needham y Needham (1978), Wetzel (1975), también a Woodiwiss (1964), claves taxonómicas dicotómicas para macroinvertebrados de la Confederación Hidrográfica del Ebro (2011).

A efectos de usar convenientemente los índices de diversidad e índices bióticos previstos, los niveles taxonómicos más bajos identificados y utilizados fueron, Género, Familia y Orden.

Tabla 24. Taxonomía y sistemática de los macroinvertebrados en los ríos Porcón, Grande y Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012-2013.

TAXA	NOMINACIÓN	TAXA	NOMINACIÓN
PHYLLUM CLASE	CNIDARIA HYDROZOA	FAMILIA GENERO	CERATOPOGONIDAE Alluaudomyia, Spinelli 1983
ORDEN FAMILIA GENERO	HYDROIDA HYDRIDAE <i>Hydra</i> , Linnaeus 1758	FAMILIA GENERO	SARCOPHAGIDAE Sarcophaga, Meigen 1826
PHYLLUM CLASE	ANNELIDA OLIGOCHAETA	ORDEN	TRICHOPTERA
ORDEN FAMILIA GENERO	HAPLOTAXIDA ENCHYTRAEIDAE <i>Lumbriculus</i> , Grube 1844	FAMILIA GENERO	POLYCENTROPODIDAE Plectrocnemia, Stephens 1836
FAMILIA GENERO	TUBIFICIDAE <i>Tubifex</i> , Lamarck 1816	FAMILIA GENERO	LIMNEPHILIDAE <i>Limnephilus</i> , Leach 1815
PHYLLUM GENERO	NEMATODA Género NN	FAMILIA GENERO	GLOSSOSOMATIDAE <i>Mortoniella</i> , Ulmer 1906
PHYLLUM CLASE	MOLLUSCA GASTROPODA	FAMILIA GENERO	HYDROPTILIDAE <i>Ochrotrichia</i> , Mosely 1939
ORDEN FAMILIA GENERO	BASSOMMATOPHORA PHYSIDAE <i>Physa</i> , Linnaeus 1758	FAMILIA GENERO GENERO GENERO	LEPTOCERIDAE <i>Sericostoma</i> , Letreille 1825 <i>Hydroptila</i> , Dalman 1819 <i>Atanatolica</i> , Mosely 1936 <i>Stenophylax</i> , Kolenati 1848
PHYLLUM SUPERCLASE CLASE	ARTHROPODA CRUSTACEA MALACOSTRACA	ORDEN	PLECOPTERA
ORDEN FAMILIA GENERO	AMPHIPODA TALITRIDAE <i>Hyalella</i> , Smith 1874	FAMILIA GENERO	PTERONARCIDAE <i>Isoperla</i> , Banks 1906
SUPERCLASE	INSECTA	ORDEN	PERLIDAE <i>Anacroneuria</i> , Klapálek 1909
ORDEN FAMILIA GENERO	DIPTERA TIPULIDAE <i>Tipula</i> , Linnaeus 1758	FAMILIA GENERO GENERO	EPHEMEROPTERA
FAMILIA GENERO	ATHERICIDAE <i>Atherix</i> , Donovan 1813	ORDEN	BAETIDAE <i>Baetis</i> , Leach 1815 <i>Ephemerella</i> , Walsh 1863
FAMILIA GENERO	TABANIDAE <i>Tabanus</i> , Latrille 1802	FAMILIA GENERO GENERO	COLEOPTERA
FAMILIA GENERO	SIMULIDAE <i>Simulium</i> , Latrille 1802	FAMILIA GENERO	ELMIDAE <i>Disersus</i> , Sharp 1882 <i>Latelmis</i> , Reitter 1883
FAMILIA GÉNERO	CHIRONOMIDAE <i>Chironomus</i> , Meigen 1803		HYDROPHILIDAE <i>Hydrophilus</i> , Geoffroy 1672

Como se observa en la tabla 24, se reporta una riqueza de 28 géneros, pertenecientes a 5 Phyla: Cnidaria, Annelida, Nemátoda, Molusca y Arthropoda; 10 órdenes, Bassomatophora, Amphipoda, Diptera, Trichoptera, Plecóptera, Ephemeroptera, Coleóptera, Hydroida, Haplotaxida y NN; y 23 familias, Hydridae, Enchytracidae, Tubificidae, NN, Phisidae, Talitridae, Atherinidae, Ceratopogonidae, Tabanidae, Polycentropodidae Chironomidae, Tipulidae, Glossomatidae, Elmidae, Sarcophagidae, Baetidae, Limnephilidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Perlidae, Pteronarcidae, Hydrophilidae y Simuliidae.

La mayor *riqueza* en general fue reportada para los periodos de lluvia, y analizando las tablas 25 a 28, la mayor *riqueza* por ríos se encontró en el siguiente orden, primero para el río Grande durante tres de los cuatro periodos climáticos, con 21 (50 %), 6 (28,6 %), 18 (48,64 %) y 12 (41,38 %), del total de taxa reportadas, incluyendo representantes de organismos *taxa/intolerantes* de los órdenes Efemeróptera, Plecóptera y Tricóptera (EPT); esta mayor *riqueza* con importante presencia de organismos EPT en el río Grande es un claro indicativo que el río Grande tuvo aguas de mejor calidad que lo registrado en los otros dos ríos.

El río Porcón apareció en un segundo lugar con 12 (28,57 %), 11 (52,4 %), 12 (32,43 %) y 19 (31,03 %); con un pulso de *riqueza* fuertemente definida por organismos *taxa/tolerantes* del orden Díptera, seguido con marcada diferencia por Haplotáxidos y una débil presencia de Tricópteros, Efemerópteros y Plecópteros. Y el río Mascón, fue el menos representado con 9 (21,43, %), 4 (19 %), 7 (198,92 %) y 8 (27,59 %), respectivamente

Tabla 25. Riqueza total y Abundancia o densidad en los ríos Porcón, Grande y Mashcón durante el período de lluvia del año 2012, expresada como org/m².

Organismos	Estaciones de muestreo					Densidad Total	Densidad Promedio
	RP - 1	RP - 2	RG - 3	RG - 4	RM - 5		
CNIDARIA							
Orden Hydroida	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hydra	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ANNELIDA							
Orden Haplotaxida	125	25	112,5	62,5	12,5	337,5	67,5
Lumbriculus	100,0	12,5	75,0	12,5	12,5	0,0	42,5
Tubifex	25,0	12,5	37,5	50,0	0,0	0,0	25,0
NEMATODA							
Orden NN	0	0	0	0	0	0	0
Género NN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
MOLLUSCA							
Orden Bassomatophora	12,5	12,5	0	12,5	0	37,5	7,5
Physa	12,5	12,5	0,0	12,5	0,0	37,5	7,5
ARTHROPODA							
Orden Amphipoda	12,5	0	0	12,5	0	25	5,0
Hyalella	12,5	0,0	0,0	12,5	0,0	25,0	5,0
Orden Diptera	287,5	87,5	562,5	162,5	350	1450,0	290
Tipula	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	62,5	12,5
Atherix	12,5	12,5	0,0	0,0	12,5	37,5	7,5
Tabanus	0,0	0,0	12,5	12,5	0,0	25,0	5,0
Simulium	12,5	12,5	12,5	0,0	0,0	37,5	2,0
Chironomus	87,5	12,5	12,5	75,0	275,0	462,5	92,5
Alluaudomyia	162,5	25,0	512,5	62,5	0,0	812,5	162,5
Sarcophaga	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	12,5	2,5
Orden Trichoptera	25,0	3 7,5	200,0	237,5	87,5	87,5	117,5
Plectrocnemia	0,0	0,0	12,5	12,5	0,0	25,0	5,0
Limnephillus	0,0	0,0	50,0	12,5	37,5	100,0	20,0
Mortoniella	0,0	0,0	25,0	12,5	0,0	37,5	7,5
Ochrotrichia	0,0	0,0	0,0	12,5	12,5	25,0	5,0
Hidroptila	0,0	0,0	12,5	12,5	0,0	25,0	5,0
Sericostoma	0,0	0,0	12,5	12,5	0,0	25,0	5,0
Atanotolica	25,0	37,5	75,0	150,0	37,5	325,0	65,0
Stenophylax	0,0	0,0	12,5	12,5	0,0	25,0	5,0
Orden Plecoptera	0	0	25,0	37,5	0	62,5	12,5
Orden Ephemeroptera	0	0	87,5	50,0	12,5	150,0	30,0
Baetis	0,0	0,0	25,0	37,5	12,5	75,0	15,0
Ephemerella	0,0	0,0	62,5	12,5	0,0	75,0	15,0
Orden Coleoptera	12,5	12,5	137,5	37,5	12,5	212,5	42,5
Disersus	0,0	0,0	25,0	12,5	0,0	37,5	7,5
Latelmis	0,0	0,0	112,5	25,0	12,5	150,0	30,0
Hidrophilus	12,5	12,5	0,0	0,0	0,0	25,0	5,0
TOTAL	475	175	1125	600	475	2862,5	572,5
Abundancia o densidad	325	(19,5 %)	862,5	(51,9 %)	475	(28,6 %)	
Riqueza total	12	(27,27 %)	22	(50 %)	10	(22,73 %)	

Esta *riqueza* general de los tres ríos durante los dos años de muestreo, estuvo representada cuantitativamente, según su *diversidad* por los siguientes órdenes y sus géneros más y *abundantes*, como sigue: **Tricóptera** (28,6%), con *Sericostoma* (1°), *Ochrotrichia* (2°) y *Atanatica* (6°); **Díptera** (25%), con *Alluaudomyia* (3°), *Chironomus* (5°) y *Tipula* (10°); **Coleóptera** (10,7%), con *Latelmis* (4°); **Efemeróptera** (7%), con *Baetis* (7°); **Haplotáxida** (7,1%), con *Lumbriculus* (8°); **Hydroida** (3,6%), con *Hydra* (9°); **Bassomatophora** y **Plecóptera** (3,6%), respectivamente. Los demás géneros fueron menos densos y menos frecuentes. La *riqueza* total y *abundancia* registradas por ríos, estaciones de muestreo y periodos climáticos se muestran en las tablas 25 a 28.

Según lo sustentado en los párrafos anteriores, durante las épocas de mayor descarga o de lluvia, en los rápidos y probablemente en remansos fríos de los ríos altoandinos, se prevé una mayor *riqueza* y *abundancia* en la comunidad de macroinvertebrados, que en los periodos de sequía (Resh et al. 1988). Esto concuerda con los resultados hallados los ríos Porcón, Grande y Mashcón donde se registraron valores más altos de *riqueza* (tablas 25 al 28), durante los periodos de mayor descarga o lluvias en los dos años de muestreo. En las tablas 29 al 32 se muestran también los valores de los parámetros que constituyen la estructura poblacional referidos a *densidad* o *abundancia*, *frecuencia* y *dominancia* de las especies registradas, así como los *valores de importancia ecológica* para las especies que destacaron por ser las más densas, las más frecuentes y dominantes en los diferentes periodos climáticos, las mismas que se muestran también en detalle o graficadas en las figuras 6 a 9. El comportamiento de la densidad no presentó patrones definidos durante los periodos climáticos

Tabla 26. Riqueza total y Abundancia o densidad en los ríos Porcón, Grande y Mashcón durante el periodo de sequía del año 2012, expresada como org/m².

Organismos	Estaciones de muestreo					Densidad Total	Densidad Promedio
	RP - 1	RP - 2	RG - 3	RG - 4	RM - 5		
CNIDARIA							
Orden Hydroida	0	250	0	0	0	250	50
Hydra	0,0	250,0	0,0	0,0	0,0	250,0	50
ANNELIDA							0
Orden Haplotaxida	12,5	0	0	25	0	37,5	7,5
Lumbriculus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Tubifex	12,5	0,0	0,0	25,0	0,0	37,5	7,5
NEMATODA							0
Orden NN	0	0	0	0	0	0	0
Género NN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MOLLUSCA							0
Orden Bassomatophora	0	312,5	0	0	12,5	325	65
Physa	0,0	312,5	0,0	0,0	12,5	325,0	65
ARTHROPODA							
Orden Amphipoda	0	0	0	0	0	0	0
Hyalella	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Orden Diptera	300	312,5	12,5	150	62,5	837,5	167,5
Tipula	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	5
Atherix	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Tabanus	0,0	37,5	0,0	25,0	0,0	62,5	12,5
Simulium	0,0	50,0	12,5	25,0	0,0	87,5	17,5
Chironomus	250,0	225,0	0,0	100,0	62,5	637,5	127,5
Alluaudomyia	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	5
Sarcophaga	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Orden Trichoptera	12,5	2187,5	25	0	100	2325	465
Plectrocnemia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Limnephillus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Mortoniella	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Ochrotrichia	12,5	2187,5	25	0,0	100	2325,0	465
Hidroptila	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Sericostoma	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Atanatolica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Stenophylax	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Orden Plecoptera	0	0	0	0	0	0	0
Orden Ephemeroptera	12,5	25	12,5	162,5	25	237,5	47,5
Baetis	0,0	0,0	12,5	162,5	25	200,0	40
Ephemerella	12,5	25	0,0	0,0	0,0	37,5	7,5
Orden Coleoptera	12,5	0	0	0	0	12,5	2,5
Disersus	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	2,5
Latelmis	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Hidrophilus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
TOTAL	350	3087,5	50	337,5	200	4025	805
Abundancia o densidad	1718,7	(81,3 %)	197,7	(9,1 %)	200	(9,5 %)	
Riqueza total	11	(52,4 %)	6	(28,6 %)	4	(19 %)	

Así, como ya se indicó, el efecto de las mayores descargas con mayor concentración de sólidos totales suspendidos sobre los macroinvertebrados registrados durante los dos periodos de lluvia en ambos ríos, quedaría neutralizado por la configuración rugosa del lecho, con sustrato variado que permiten la retención de detritus en sus espacios intersticiales, y asegurarles con ello una mayor resistencia al arrastre de las corrientes y mayor heterogeneidad en la comunidad bentónica de los macroinvertebrados.

Por lo tanto, de acuerdo con el concepto de continuidad del río (Vannote et al. 1980 y Minshall et al. 1985), todos los cambios que se puedan suscitar en un tramo fluvial determinado, repercutirán así aguas abajo sobre los distintos equilibrios físicos, químicos y biológicos en la dinámica de las redes fluviales. De esa manera, las comunidades biológicas pueden presentar un reemplazo cuali-cuantitativo gradual desde las cabeceras de los ríos hacia los tramos inferiores, que para el presente caso en los ríos Porcón, Grande y Mashcón no fue muy evidente.

Los parámetros de *frecuencia*, *dominancia* y *valor de importancia ecológica* se muestran en las tablas 29 al 32 y figuras de 6 al 9, de los ríos en estudio, donde se nota una mayor riqueza con menor abundancia durante los dos periodos de lluvia. Los géneros de mayor *frecuencia* durante los años 2012 y 2013 fueron *Lumbriculus* (Haplotáxidos), así como *Típula*, *Chironomus* y *Alluaudomyia* (Dípteros), y *Atanatolica* (Tricópteros).

Tabla 27. Riqueza total y Abundancia o densidad en los ríos Porcón, Grande y Mashcón durante el periodo de lluvia del año 2013, expresada como org/m².

ORGANISMOS	Estaciones de muestreo					Densidad total	Densidad Promedio
	RP - 1	RP - 2	RG - 3	RG - 4	RM - 5		
CNIDARIA							
Orden Hydroida	0	0	0	0	0	0	0
Hydra	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ANNELIDA							
Orden Haplotaxida	187,5	37,5	175	87,5	0	487,5	97,5
Lumbriculus	150,0	25,0	150	12,5	0,0	337,5	65
Tubifex	37,5	12,5	25	75	0,0	150,0	30
NEMATODA							
Orden NN	0	12,5	0	0	0	12,5	2,5
Género NN	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	12,5	2,5
MOLLUSCA							
Orden Bassomatophora	25	0	12,5	0	0	37,5	7,5
Physa	25	0,0	12,5	0,0	0,0	37,5	7,5
ARTHROPODA							
Orden Amphipoda	12,5	0	0	0	0	12,5	2,5
Hyalella	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	2,5
Orden Diptera	375	37,5	737,5	375	525	2050	410
Tipula	0,0	12,5	12,5	12,5	12,5	50	10
Atherix	25	0,0	0,0	0,0	0,0	25	5
Tabanus	0,0	0,0	0,0	25	0,0	25	5
Simulium	25	0,0	12,5	0,0	0,0	37,5	7,5
Chironomus	137,5	12,5	12,5	212,5	487,5	862,5	172,5
Alluaudomyia	187,5	12,5	700	125	25	1050,0	210
Sarcophaga	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Orden Trichoptera	12,5	0	225	212,5	87,5	537,5	107,5
Plectrocnemia	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	12,5	2,5
Limnephillus	0,0	0,0	87,5	0,0	50	137,5	27,5
Mortoniella	0,0	0,0	37,5	0,0	0,0	37,5	7,5
Ochrotrichia	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	12,5	2,5
Hidroptila	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	12,5	2,5
Sericostoma	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Atanatolica	12,5	0,0	100	187,5	25	325,0	65
Stenophylax	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Orden Plecoptera	0	0	12,5	12,5	0	25	5
Orden Ephemeroptera	0	0	75	50	0	125	25
Baetis	0,0	0,0	12,5	50	0,0	62,5	12,5
Ephemerella	0,0	0,0	62,5	0,0	0,0	62,5	12,5
Orden Coleoptera	0	12,5	150	0	12,5	175	35
Disersus	0,0	0,0	25	0,0	0,0	25	5
Latelmis	0,0	0,0	125	0,0	12,5	137,5	27,5
Hidrophilus	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	12,5	2,5
TOTAL	612,5	87,5	1387,5	737,5	625	3450	690
<i>Abundancia o densidad</i>	343,8 (16,9 %)		1062,5 (52,3 %)		625 (330,3 %)		
<i>Riqueza total</i>	12 (32,43 %)		18 (48,64 %)		7 (18,92%)		

El pulso de la *dominancia* durante los dos periodos de lluvia fue marcado por los Dípteros en su mayoría *taxa/tolerantes*, seguidos de los Tricópteros generalmente *taxa/intolerantes*, y durante los periodos de sequía lo fueron de manera inversa, primero los Tricópteros seguido de los Dípteros. Esta alternancia se traduce en una cualificación de aguas que oscila de entre regular o buena, a mala calidad.

Los géneros con *valor de importancia ecológica* estuvieron definidos por *Alluaudomyia* y *Chironomus* (Dípteros), seguido de *Stenophylax* y *Atanatolica* (Tricópteros), durante los dos periodos de lluvia y, durante los periodos de sequía les alternaron *Ochrotrichia* y *Sericostoma* (Tricópteros), seguido de *Chironomus* (Dípteros), en ese orden respectivamente.

La alta representatividad de los dípteros (Chironomidae) y tricópteros (Leptoceridae) se debe posiblemente a que están ampliamente distribuidas en todo tipo de corrientes de agua (Merrit y Cummins 1996). La familia Chironomidae tolera altos niveles de contaminación y por el contrario la familia Leptoceridae tolera bajos niveles de contaminación, y que las familias más abundantes encontradas en los ríos Porcón, Grande y Mashcón lo son porque presentan un amplio rango de distribución.

Tabla 28. Riqueza total y Abundancia o densidad en los ríos Porcón, Grande y Mashcón durante el periodo de sequía del año 2013, expresada como org/m².

Organismos	Estaciones de muestreo					Densidad Total	Densidad Promedio
	RP - 1	RP - 2	RG - 3	RG - 4	RM - 5		
CNIDARIA							
Orden Hydroida	0	0	0	0	0	0	0
Hydra	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
ANNELIDA							
Orden Haplotaxida	0	25	75	25	50	175	35
Lumbriculus	0,0	25	75	25	50	175,0	35
Tubifex	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
NEMATODA							
Orden NN	0	0	0	0	0	0	0
Género NN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
MOLLUSCA							
Orden Bassomatophora	0	25	62,5	0	62,5	150	30
Physa	0,0	25	62,5	0,0	62,5	150	17,5
ARTHROPODA							
Orden Amphipoda	0	0	0	0	0	0	0
Hyaella	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Orden Diptera	112,5	387,5	275	125	275	1175	235
Tipula	0,0	25,0	25,0	12,5	125,0	187,5	37,5
Atherix	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	2,5
Tabanus	0,0	50,0	0,0	0,0	25,0	75,0	15
Simulium	12,5	0,0	12,5	0,0	0,0	25,0	5
Chironomus	87,5	262,5	50,0	100,0	62,5	562,5	112,5
Alluaudomyia	0,0	12,5	187,5	12,5	62,5	275,0	55
Sarcophaga	0,0	37,5	0,0	0,0	0,0	37,5	7,5
Orden Trichoptera	0	0	12675	50	0	12725	2545
Plectrocnemia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Limnephillus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Mortoniella	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Ochrotrichia	0,0	0,0	25	0,0	0,0	25,0	5
Sericostoma	0,0	0,0	12312,5	50	0,0	12362,5	2472,5
Atanotolica	0,0	0,0	337,5	0,0	0,0	337,5	67,5
Stenophylax	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Orden Plecoptera	0	0	62,5	62,5	12,5	137,5	27,5
Isoperla	0,0	0,0	62,5	62,5	12,5	137,5	27,5
Anacroneuria	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Orden Ephemeroptera	0	0	337,5	75	0	412,5	82,5
Baetis	0,0	0,0	337,5	75	0,0	412,5	82,5
Ephemerella	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Orden Coleoptera	0	0	500	37,5	12,5	550	110
Disersus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Latelmis	0,0	0,0	500,0	37,5	12,5	550,0	107,5
Hidrophilus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
TOTAL	112,5	437,5	13987,5	375	412,5	15325	3065
Abundancia o densidad	275	(3,5 %)	7175	(91,26 %)	412,5	(5,24%)	
Riqueza total	9	(31,03 %)	12	(41,38 %)	8	(27,59 %)	

Tabla 29. Parámetros poblacionales integrados de los macroinvertebrados, en el área de estudio durante el periodo de lluvia del año 2012.

Organismos	Densidad Promedio (org./m²)	Densidad Relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)	Dominancia	Dominancia Relativa (%)	Valor de Importancia Ecológica
CNIDARIA							
Orden Hydroida	0	0	0	0	0	0	0
Hydra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ANNELIDA							
Orden Haplotaxida	67,5	11,79	1,8	13,84	0,00	0,00	25,63
Lumbriculus	42,50	7,42	1,00	7,69	0,00	0,00	15,11
Tubifex	25,00	4,37	0,80	6,15	0,00	0,00	10,52
NEMATODA							
Orden NN	0	0	0	0	0	0	0
Género NN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MOLLUSCA							
Orden Bassomatophora	7,50	1,31	0,60	7,70	0	0	5,93
Physa	7,50	1,31	0,60	4,62	0,0	0,0	5,93
ARTHROPODA							
Orden Amphipoda	5,0	0,87	0,40	3,08	0	0	3,95
Hyaella	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
Orden Diptera	290,00	50,65	4,80	36,93	417,50	76,25	163,83
Tipula	12,50	2,18	1,00	7,69	0,0	0,0	9,88
Atherix	7,50	1,31	0,60	4,62	0,0	0,0	5,93
Tabanus	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
Simulium	7,50	1,31	0,60	4,62	0,0	0,0	5,93
Chironomus	92,50	16,16	1,00	7,69	92,50	16,89	40,74
Alluaudomyia	162,50	28,38	1,00	7,69	325,00	59,36	95,44
Sarcophaga	2,50	0,44	0,20	1,54	0,0	0,0	1,98
Orden Trichoptera	117,50	20,5	4,00	30,79	130,00	23,74	75,04
Plectrocnemia	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
Limnephillus	20,00	3,49	0,60	4,62	0,0	0,0	8,11
Mortoniella	7,50	1,31	0,40	3,08	0,0	0,0	4,39
Ochrotrichia	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
Hidroptila	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
Sericostoma	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
Atanotolica	65,00	11,35	1,00	7,69	130,0	23,74	42,79
Stenophylax	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
Orden Plecoptera	12,50	2,18	0,80	6,16	0	0	8,34
Isoperla	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
Anacroneuria	7,50	1,31	0,40	3,08	0,0	0,0	4,39
Orden Ephemeroptera	30,00	5,24	1,00	7,70	0	0	12 ,94
Baetis	15,00	2,62	0,60	4,62	0,0	0,0	7,24
Ephemerella sp.	15,00	2,62	0,40	3,08	0,0	0,0	5,70
Orden Coleoptera	42,50	7,42	1,40	10,78	0	0	18,20
Disersus	7,50	1,31	0,40	3,08	0,0	0,0	4,39
Latelmis	30,00	5,24	0,60	4,62	0,0	0,0	9,86
Hidrophilus	5,00	0,87	0,40	3,08	0,0	0,0	3,95
TOTAL	572,50	100,00	13,00	100,00	547,50	100,00	300,00

Tabla 30. Parámetros poblacionales integrados de los macroinvertebrados en el área de estudio durante el periodo de sequía de año 2012.

Organismos	Densidad Promedio (org./m ²)	Densidad Relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)	Dominancia	Dominancia Relativa (%)	Valor de Importancia Ecológica
CNIDARIA							
Orden Hydroida	50,00	6,21	0,20	3,85	0	0	10,6
Hydra	50,00	6,21	0,20	3,85	0,0	0,0	10,06
ANNELIDA							
Orden Haplotaxida	7,50	0,93	0,40	7,69	0	0	8,62
Lumbriculus	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Tubifex	7,50	0,93	0,40	7,69	0,0	0,0	8,62
NEMATODA							
Orden NN	0	0	0	0	0	0	0,00
Género NN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
MOLLUSCA							
Orden Bassomatophora	65,00	8,07	0,40	7,69	0	0	16,77
Physa	65,00	8,07	0,40	7,69	0,0	0,0	15,77
ARTHROPODA							
Orden Amphipoda	0	0	0	0	0	0	0
Hyaella	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Orden Diptera	167,50	20,80	2,20	42,31	127,50	8,16	71,28
Tipula	5,00	0,62	0,20	3,85	0,0	0,0	4,47
Atherix	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Tabanus	12,50	1,55	0,40	7,69	0,0	0,0	9,25
Simulium	17,50	2,17	0,60	11,54	0,0	0,0	13,71
Chironomus	127,50	15,84	0,80	15,38	127,50	8,16	39,38
Alluaudomyia	5,00	0,62	0,20	3,85	0,0	0,0	4,47
Sarcophaga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00
Orden Trichoptera	465	57,76	0,80	15,38	1395,00	89,28	162,43
Plectrocnemia	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Limnephillus	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Mortoniella	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Ochrotrichia	465,00	57,76	0,80	15,38	1395,00	89,28	162,43
Hidroptila	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Sericostoma	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Atanatolica	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Stenophylax	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Orden Plecoptera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Isoperla	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Anacroneuria	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Orden.Ephemeroptera	47,50	5,90	1,00	19,23	40,00	2,56	27,69
Baetis	40,00	4,97	0,60	11,54	40,00	2,56	19,07
Ephemerella	7,50	0,93	0,40	7,69	0,00	0,00	8,62
Orden Coleoptera	2,50	0,31	0,20	3,85	0,00	0,00	4,16
Disersus	2,50	0,31	0,20	3,85	0,00	0,00	4,16
Latelmis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidrophilus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	805,00	100,00	5,20	100,00	1562,50	100,00	300,00

Tabla 31. Parámetros poblacionales integrados de los macroinvertebrados en el área de estudio, durante el periodo de lluvia del año 2013.

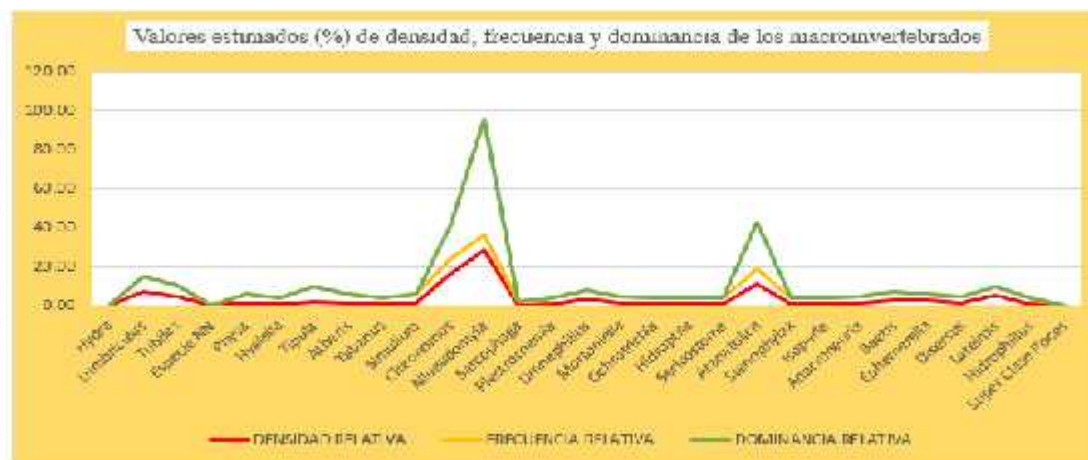
Organismos	Densidad Promedio (org./m²)	Densidad Relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)	Dominancia	Dominancia Relativa (%)	Valor de Importancia Ecológica
CNIDARIA							
Orden Hydroida	0	0	0	0	0	0	0,00
Hydra sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
ANNELIDA							
Orden Haplotaxida	97,50	14,23	1,80	18,74	32,50	7,03	40,00
Lumbriculus sp.	65,00	9,49	0,80	8,33	0,0	0,0	17,82
Tubifex sp.	30,00	4,38	0,80	8,33	30,00	6,49	19,20
NEMATODA							
Orden NN	2,50	0,36	0,20	2,08	2,50	0,54	2,99
Especie NN	2,50	0,36	0,20	2,08	2,50	0,54	2,99
MOLLUSCA							
Orden Bassomatophora	2,50	0,36	0,20	2,08	0	0	2,44
Physa	2,50	0,36	0,20	2,08	0,0	0,0	2,45
ARTHROPODA							
Orden Amphipoda	2,50	0,36	0,20	2,08	0	0	2,44
Hyalella	2,50	0,36	0,20	2,08	0,0	0,0	2,45
Orden Diptera	410,00	50,85	3,6	37,50	430,0	92,97	189,32
Tipula	10,00	1,46	0,80	8,33	10,0	2,16	11,96
Atherix	5,00	0,73	0,20	2,08	0,0	0,0	2,81
Tabanus	5,00	0,73	0,20	2,08	0,0	0,0	2,81
Simulium	7,50	1,09	0,40	4,17	0,0	0,0	5,26
Chironomus	172,50	25,18	1,00	10,42	0,0	0,0	35,60
Alluaudomyia	210,00	30,66	1,00	10,42	420,0	90,81	131,88
Sarcophaga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Orden Trichoptera	107,50	15,67	2,00	20,83	0	0	36,50
Plectrocnemia	2,50	0,36	0,20	2,08	0,0	0,0	2,45
Limnephillus	27,50	4,01	0,40	4,17	0,0	0,0	8,18
Mortoniella	7,50	1,09	0,20	2,08	0,0	0,0	3,18
Ochrotrichia	2,50	0,36	0,20	2,08	0,0	0,0	2,45
Hidroptila	2,50	0,36	0,20	2,08	0,0	0,0	2,45
Sericostoma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00
Atanatolica	65,00	9,49	0,80	8,33	0,0	0,0	17,82
Stenophylax	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Orden Plecoptera	5,00	0,72	0,40	4,16	0	0	4,89
Isoperla	2,50	0,36	0,20	2,08	0,0	0,0	2,45
Anacroneuria	2,50	0,36	0,20	2,08	0,0	0,0	2,45
Orden Ephemeroptera	25,00	3,64	,60	6,25	0	0	9,89
Baetis	12,50	1,82	0,40	4,17	0,0	0,0	5,99
Ephemerella	12,50	1,82	0,20	2,08	0,0	0,0	3,91
Orden Coleoptera	35,00	5,10	0,80	8,33	0	0	13,43
Disersus	5,00	0,73	0,20	2,08	0,0	0,0	2,81
Latelmis	27,50	4,01	0,40	4,17	0,0	0,0	8,18
Hidrophilus	2,50	0,36	0,20	2,08	0,0	0,0	2,45
TOTAL	685,00	100,00	9,60	100,00	462,50	100,00	300,00

Tabla 32. Parámetros poblacionales integrados de los macroinvertebrados en el área de estudio, durante el periodo de sequía 2013.

ORGANISMOS	Densidad Promedio (org./m ²)	Densidad Relativa	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)	Dominancia	Dominancia Relativa	Valor de Importancia Ecológica
CNIDARIA	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hydra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
ANNELIDA							
Orden Haplotaxida	35,00	1,14	0,80	9,76	0	0	10,90
Lumbriculus	35,00	1,14	0,80	9,76	0,0	0,0	10,90
Tubifex	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
NEMATODA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Género NN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
MOLLUSCA							
Orden Bassomatophora	17,50	0,57	0,60	7,32	0	0	7,89
Physa	17,50	0,57	0,60	7,32	0,0	0,0	7,89
ARTHROPODA							
Orden Amphipoda	12,50	0,41	0,40	4,88	0	0	5,29
Hyalella	12,50	0,41	0,40	4,88	0,0	0,0	5,29
Orden Diptera	235,00	7,65	2,80	46,36	375,00	13,17	67,18
Tipula	37,50	1,22	0,80	9,76	37,5	1,32	12,30
Atherix	2,50	0,08	0,20	2,44	0,0	0,0	2,52
Tabanus	15,00	0,49	0,40	4,88	0,0	0,0	5,37
Simulium	5,00	0,16	0,40	4,88	0,0	0,0	5,04
Chironomus	112,50	3,67	1,00	12,20	337,50	11,85	27,72
Alluaudomyia	55,00	1,79	0,80	9,76	0,0	0,0	11,55
Sarcophaga	7,50	0,24	0,20	2,44	0,0	0,0	2,68
Orden Trichoptera	2545,00	83,03	0,80	9,76	2472,50	86,83	179,62
Plectrocnemia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Limnephillus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Mortoniella	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Ochrotrichia	5,00	0,16	0,20	2,44	0,0	0,0	2,60
Sericostoma	2472,50	80,67	0,40	4,88	2472,5	86,83	172,38
Atanatolica	67,50	2,20	0,20	2,44	0,0	0,0	4,64
Stenophylax	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Orden Plecoptera	27,50	0,90	0,60	7,32	0	0	8,22
Isoperla	27,50	0,90	0,60	7,32	0,0	0,0	8,22
Anacroneuria	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Orden Ephemeroptera	82,50	2,69	0,40	4,88	0	0	7,57
Baetis	82,50	2,69	0,40	4,88	0,0	0,0	7,57
Ephemerella	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Orden Coleoptera	107,50	3,51	0,60	7,32	0	0	10,82
Disersus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
Latelmis	107,50	3,51	0,60	7,32	0,0	0,0	10,82
Hidrophilus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
TOTAL	3062,50	100,00	8,00	100,00	2847,50	100,00	297,48

Figura 6. Expresión numérica y gráfica promedio de parámetros poblacionales en el área de estudio, durante el periodo de lluvia del año 2012.

TAXA	DENSIDAD RELATIVA	FRECUENCIA RELATIVA	DOMINANCIA RELATIVA
Hydra	0.00	0.00	
Lumbriculus	7.42	7.69	
Turbifex	4.37	6.15	
Especie NN	0.00	0.00	
Physa	1.31	4.62	
Hyalella	0.87	3.08	
Tipula	2.18	7.69	
Acherix	1.31	4.62	
Tabanus	0.87	3.08	
Siraunim	1.31	4.62	
Chironomus	16.16	7.69	16.59
Alluaudomyia	28.38	7.69	59.36
Sarcophaga	0.44	1.54	
Plectrocnemia	0.87	3.08	
Limnephilus	1.49	4.62	
Mortoniella	1.31	3.08	
Ochrotrichia	0.87	3.08	
Hidreptila	0.87	3.08	
Sericostoma	0.87	3.08	
Atanotica	11.35	7.69	23.74
Stenophylax	0.87	3.08	
Isoperla	0.87	3.08	
Anacronautia	1.31	3.08	
Baetis	2.62	4.62	
Uphemerella	2.62	3.08	
Diserms	1.31	3.08	
Latetmis	5.24	1.62	
Hidreptillus	0.87	3.08	
Super Clase Pisces	0.00	0.00	



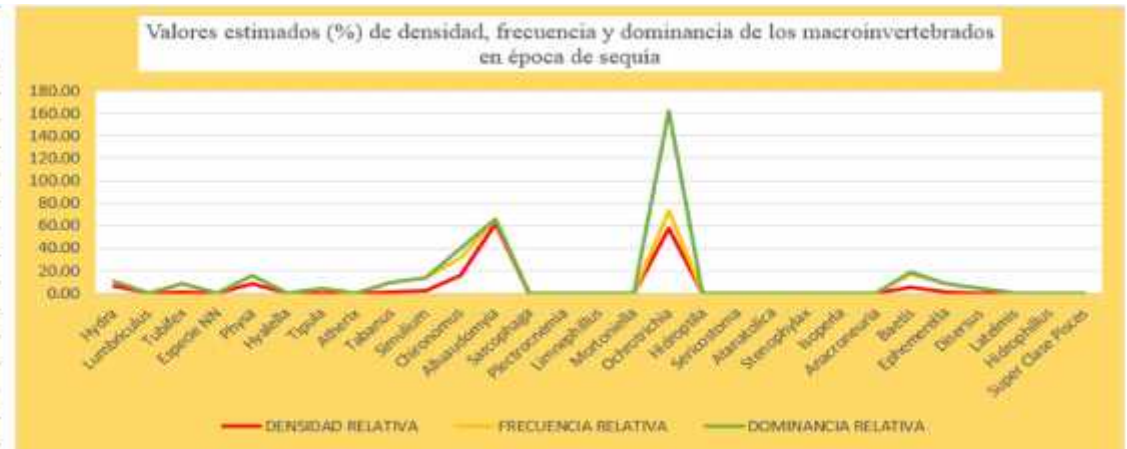
TAXA	IMPORTANCIA ECOLÓGICA
Lumbriculus	15.12
Turbifex	10.52
Chironomus	40.74
Alluaudomyia	95.44
Atanotica	42.79
Otros	95.39



En esta figura se resume que, en todas las estaciones de muestreo durante el periodo de lluvia (enero) de 2012, los organismos más *frecuentes*, *más abundantes*, *dominantes* y de *importancia ecológica* fueron Alluaudomyia y Chironomus del orden Dípteros, y Atanotica del orden Tricópteros. Precisamente los dos primeros son *organismos taxa tolerantes*, con lo que por su mayor tendencia a través de todos los parámetros poblacionales, se puede explicar el estado de perturbación o de mala calidad biológica del agua durante ese periodo en los 3 ríos en estudio.

Figura 7. Expresión numérica y gráfica promedio de parámetros poblacionales en el área de estudio, durante el periodo de sequía en el año 2012

TAXA	DENSIDAD RELATIVA	FRECUENCIA RELATIVA	DOMINANCIA RELATIVA
Hydra	6.21	3.85	
Lumbriculus	0.00	0.00	
Tubifex	0.93	7.69	
Especie NN	0.00	0.00	
Physa	8.07	7.69	
Hyalella	0.00	0.00	
Tipula	0.62	3.85	
Atherix	0.00	0.00	
Tabanus	1.55	7.69	
Simulium	2.17	11.54	
Chironomus	15.84	15.38	8.16
Alluaudomyia	62.00	3.85	
Sarcophaga	0.00	0.00	
Plectrocnemia	0.00	0.00	
Limnephillus	0.00	0.00	
Mortoniella	0.00	0.00	
Ochrotrichia	57.76	15.38	89.28
Hidroptila	0.00	0.00	
Sericostoma	0.00	0.00	
Atanatoica	0.00	0.00	
Stenophylax	0.00	0.00	
Isoperla	0.00	0.00	
Anaeroneuria	0.00	0.00	
Baetis	4.97	11.54	2.56
Ephemerella	0.93	7.69	
Diserisus	0.31	3.85	
Latelmis	0.00	0.00	
Hidrophillus	0.00	0.00	
Super Clase Pisces	0.00	0.00	



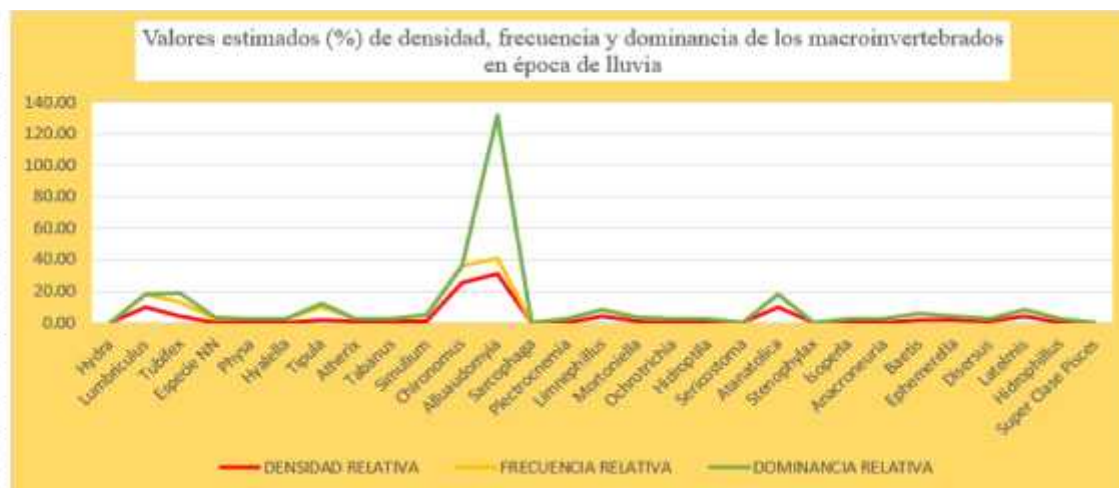
TAXA	IMPORTANCIA ECOLÓGICA
Alluaudomyia	39.38
Ochrotrichia	162.43
Otros	98.19



Esta figura resume una calidad biológica moderada del agua durante el periodo de sequía (setiembre) de 2012, por cuanto los organismos *más abundantes*, *más frecuentes*, *dominantes* y de *importancia ecológica* fueron de un lado Alluaudomyia y Chironomus, del orden Dípteros, y de otro lado Ochrotrichia y Baetis de los órdenes Tricópteros y Efemerópteros, con una tendencia al equilibrio. Los primeros son *organismos taxa/tolerantes* a la contaminación y los segundos son *taxa/intolerantes*, por lo que esa tendencia al equilibrio puede explicar una calidad biológica moderada de las aguas de los 3 ríos en estudio.

Figura 8. Expresión numérica y gráfica promedio de parámetros poblacionales en el área de estudio, durante el periodo de lluvia en el año 2013

TAXA	DENSIDAD RELATIVA	FRECUENCIA RELATIVA	DOMINANCIA RELATIVA
Hydra	0.00	0.00	
Lumbriculus	9.49	8.33	
Tubifex	4.38	8.33	6.49
Especie NN	0.36	2.08	0.54
Physa	0.36	2.08	
Hyalella	0.36	2.08	
Tipula	1.46	8.33	2.16
Atherix	0.73	2.08	
Tabanus	0.73	2.08	
Simulium	1.09	4.17	
Chironomus	25.18	10.42	
Alluaudomyia	30.66	10.42	90.81
Sarcophaga	0.00	0.00	
Plectrocnemia	0.36	2.08	
Limnephillus	4.01	4.17	
Mortoniella	1.09	2.08	
Ochrotrichia	0.36	2.08	
Hidroptila	0.36	2.08	
Sericostoma	0.00	0.00	
Atanotica	9.49	8.33	
Stenophylax	0.00	0.00	
Isoperla	0.36	2.08	
Anaeroneuria	0.36	2.08	
Baetis	1.82	4.17	
Ephemerella	1.82	2.08	
Disersus	0.73	2.08	
Latelmis	4.01	4.17	
Hidrophillus	0.36	2.08	
Super Clase Pisces	0.00	0.00	

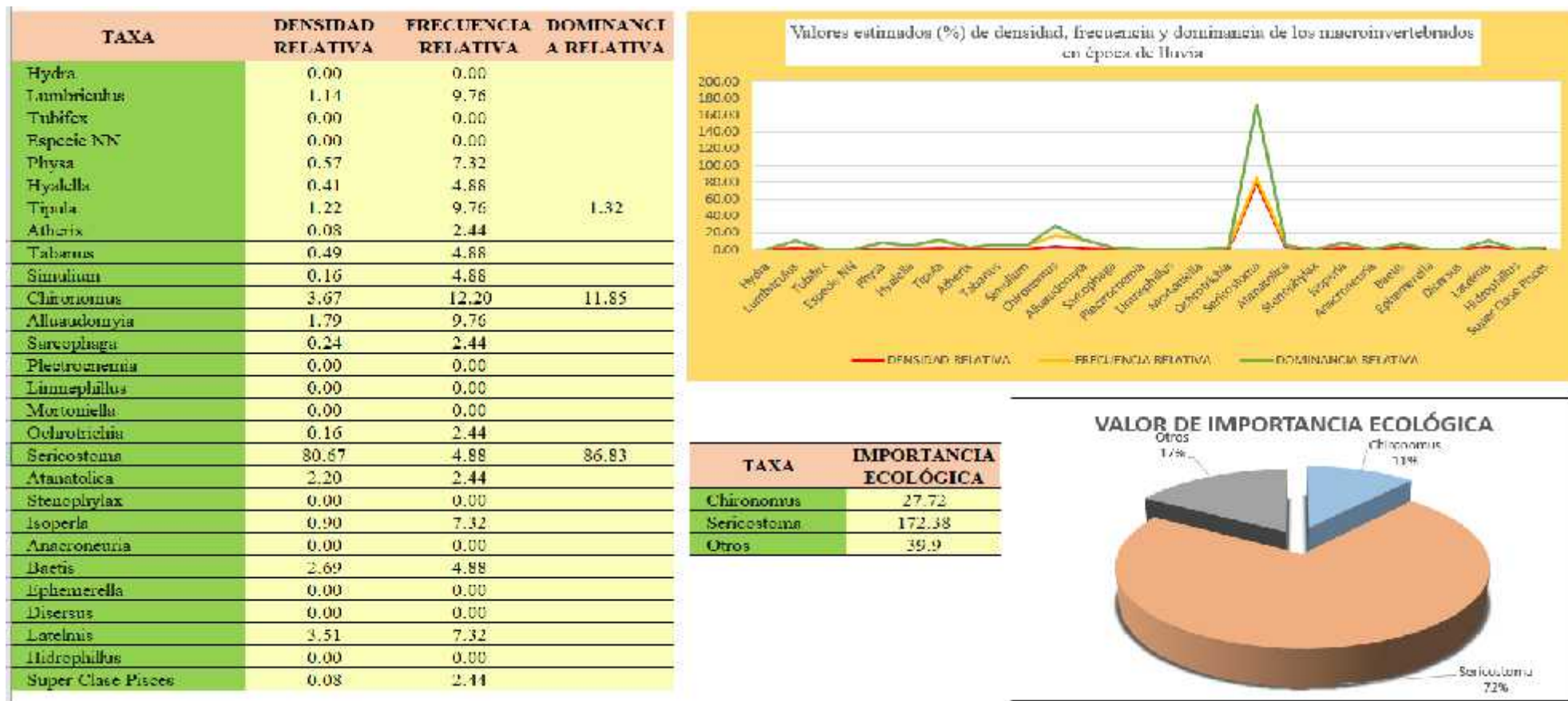


TAXA	IMPORTANCIA ECOLÓGICA
Chironomus	35.6
Alluaudomyia	131.88
Otros	132.52



El mayor peso con que se muestran los organismos *taxa/tolerantes* del orden Dípteros y otros, como *Alluaudomyia*, *Chironomus*, *Atanaticia* como las *más abundantes, más frecuentes, dominantes* y de *importancia ecológica*, evidencian en promedio una mala calidad biológica del agua en los 3 ríos materia de estudio durante el periodo de lluvia en el año 2013.

Figura 9. Expresión numérica y gráfica promedio de parámetros poblacionales en el área de estudio, durante el periodo de sequía en el año 2013



En la presente figura se evidencia que el género *Sericostoma*, *organismo taxa/intolerante* del orden Tricóptera es con mucho el *más abundante*, *el dominante* y el *de mayor importancia ecológica*. Siguen en segundo lugar representantes del orden Dípteros y otros, que sin ser dominantes tienen una diversidad importante por lo que es posible que en conjunto le confieran una calidad biológica de moderada a buena entre los ríos estudiado.

Luego de analizada la estructura poblacional mediante los índices de riqueza, y abundancia, así como los parámetros de frecuencia, dominancia y valor de importancia ecológica, en adelante se analizaron los valores de la calidad ecológica del agua utilizando el método multimétrico IMEERA, elegido en la presente investigación porque fue diseñado específicamente para ríos altoandinos, casos Perú y Ecuador, y porque procesa e integra diversas métricas como *índices de riqueza, abundancia, equitatividad, tasas de tolerancia e intolerancia* a la contaminación, *nichos ecológicos, índices bióticos* de Shannon-Wiener, EPT, Margalef, ABI e *índice IMEERA*, para obtener un mejor acercamiento a la calidad del agua en los ríos Grande, Porcón y Mashcón, durante los años 2012 y 2013.

En las figuras 10 a 29 se muestra las valoraciones de las múltiples métricas para cada una de las 20 estaciones de muestreo en los tres ríos durante los dos años de estudio, a través de una data georeferenciada, así como la valoración cualitativa, cuantitativa y colorimétrica de la calidad del agua, procesada con la aplicación informática CABIRA y expresada a través del índice IMEERA, como parte del protocolo CERA.

En la tabla 33 se observa los principales nichos ecológicos con los que estos operan en el área de estudio. Ahí se puede observar las abundancias de siete principales nichos ecológicos que son los siguientes: colectores, depredadores, fijadores, trituradores, raspadores, trepadores y filtradores. Igualmente, se observa también la data sobre los organismos *taxa/tolerantes* y *taxa/intolerantes*, reportados durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013. De esta manera se pudo completar la información sobre las características tróficas de las comunidades presentes en los tres ríos estudiados.

Figura 10. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 1, río Porcón durante el periodo de lluvia del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RP-1L	Río Porcón, estación 1	-78.557909
PAIS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca	Porcón	-7.098930
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Porcón	BOSQUE	2926



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RP-1L-06/01/2012	06/01/2012	Luis	C. abs.	Época de Lluvia

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	125,00	AMPHIPODA Hyalellidae	12,50
DIPTERA Athericidae	12,50	DIPTERA Chironomidae	87,50
TRICHOPTERA Leptoceridae	25,00	GASTEROPODA Physidae	12,50
DIPTERA Tipulidae	12,50	DIPTERA Simuliidae	12,50
DIPTERA Ceratopogonidae	162,50	COLEOPTERA Staphylinidae	12,50

RESULTADOS

Abundancia	475,00	Raspadores (% ind.)	2,83	ABI	47,00
Riqueza (S)	10,00	Trepadores (% ind.)	7,89	Div. Sannon-Wiener (H)	1,76
Colectores (% ind.)	52,63	Filtradores (% ind.)	2,83	Diversidad de Margalef	1,46
Depredadores (% ind.)	39,47	Taxa Tolerantes (%S)	40,00	Equitatividad (J)	0,76
Fijadores (% ind.)	5,26	Taxa Intolerante	2,00		
Trituradores (% ind.)	5,26	Taxa EPT	1,00	IMEERA	



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, estuvieron entre baja y moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; que dieron una valoración de mala calidad del agua, expresada cualitativa y cuantitativamente con el color naranja y valor de 32 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 11. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 1, río Porcón durante el periodo de lluvia del año 2013.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGTUD
7	RP-1L	Río Porcón, estación 1	-78.557909
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca	Porcón	-7.098930
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Porcón	BOSQUE	2926



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RP-1L-28/01/2013	28/01/2013	Luis	C. abs.	Época de Lluvia

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	187,50	AMPHIPODA Hyalellidae	12,50
DIPTERA Athericidae	25,00	DIPTERA Simuliidae	25,00
DIPTERA Chironomidae	137,50	DIPTERA Ceratopogonidae	187,50
TRICHOPTERA Leptoceridae	12,50		

RESULTADOS

Abundancia	587,50	Raspadores (% ind.)	0,00	ABI	36,00
Riqueza (S)	7,00	Trepadores (% ind.)	2,13	Div. Sannon-Wiener (H)	1,50
Colectores (% ind.)	59,57	Filtradores (% ind.)	4,26	Diversidad de Margalef	0,94
Depredadores (% ind.)	36,17	Taxa Tolerantes (%S)	28,57	Equitatividad (J)	0,77
Fijadores (% ind.)	4,26	Taxa Intolerante	2,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	2,13	Taxa EPT	1,00		



En esta Estación, se observa también que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, fue de baja a moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; con una valoración de mala calidad del agua, expresado cualitativamente con el color naranja y valor de 29 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 12. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 1, río Porcón durante el periodo de sequía del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RP-1S	Río Porcón, estación 1	-78.557909
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca	Porcón	-7.098930
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Porcón	BOSQUE	2926



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RP-1S-12/09/2012	12/09/2012	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	12,50	DIPTERA Tipulidae	25,00
DIPTERA Chironomidae	250,00	DIPTERA Ceratopogonidae	25,00
TRICHOPTERA Hydropsilidae	12,50	EPHEMEROPTERA Baetidae	12,50
COLEOPTERA Elmidae	12,50		

RESULTADOS

Abundancia	350,00	Raspadores (% ind.)	0,00	ABI	27,00
Riqueza (S)	7,00	Trepadores (% ind.)	3,57	Div. Sannon-Wiener (H)	1,09
Coletores (% ind.)	82,14	Filtradores (% ind.)	0,00	Diversidad de Margalef	1,02
Depredadores (% ind.)	7,14	Taxa Tolerantes (%S)	28,57	Equitatividad (J)	0,58
Fijadores (% ind.)	3,57	Taxa Intolerante	0,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	7,14	Taxa EPT	2,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, fue mínima, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; lo que dió una valoración de mala calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color naranja y valor de 26 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 13. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 1, río Porcón periodo de sequía año 2013.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE		LONGITUD
7	RP-1S	Río Porcón, estación 1		-78.557909
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.		LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		Porcón	-7.098930
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL		ALTITUD
Mashcón	Porcón	BOSQUE		2926



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RP-1S-27/08/2013	27/08/2013	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
DIPTERA Athericidae	12,50	DIPTERA Simuliidae	12,50
DIPTERA Chironomidae	87,50		

RESULTADOS

Abundancia	112,50	Raspadores (% ind.)	0,00	ABI	17,00
Riqueza (S)	3,00	Trepadores (% ind.)	0,00	Div. Sannon-Wiener (H')	0,68
Colectores (% ind.)	77,78	Filtradores (% ind.)	11,11	Diversidad de Margalef	0,42
Depredadores (% ind.)	11,11	Taxa Tolerantes (%S)	33,33	Equitatividad (J)	0,62
Fijadores (% ind.)	11,11	Taxa Intolerante	1,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	0,00	Taxa EPT	0,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue muy bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, fue baja, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; lo que condujo a una valoración de mala calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color rojo y valor de 21 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 14. Valores de calidad ecológica del agua en la Estación 2, río Porcón durante el periodo de lluvia del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN			
ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RP-2L	Río Porcón, estación 2	-78.535660
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca	Porcón	-7.105889
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Porcón	BOSQUE	2816





DATOS DE LA MUESTRA					
ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RP-2L-06/01/2012	06/01/2012	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haptotaxida	25,00	GASTEROPODA Physidae	12,50
DIPTERA Tipulidae	12,50	DIPTERA Athericidae	12,50
DIPTERA Simuliidae	12,50	DIPTERA Chironomidae	12,50
DIPTERA Ceratopogonidae	25,00	TRICHOPTERA Leptoceridae	37,50
COLEOPTERA Hydrophilidae	12,50		

RESULTADOS					
Abundancia	162,50	Raspadores (% ind.)	7,69	ABI	41,00
Riqueza (S)	9,00	Trepadores (% ind.)	30,77	Div. Sannon-Wiener (H')	2,10
Colectores (% ind.)	46,15	Filtradores (% ind.)	7,69	Diversidad de Margalef	1,57
Depredadores (% ind.)	30,77	Taxa Tolerantes (%S)	44,44	Equitatividad (J)	0,95
Fijadores (% ind.)	7,69	Taxa Intolerante	2,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	7,69	Taxa EPT	1,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue de bajo y moderado, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, estuvo entre moderada y alta, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes*; y una valoración de bueno calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color verde y valor de 48 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 15. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 2, río Porcón durante el periodo de lluvia del año 2013.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RP-2L	Río Porcón, estación 2	-78.535660
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.105889
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Porcón	BOSQUE	2816



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RP-2L-28/01/2013	28/01/2013	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	25,00	NEMATODA NEMATODA	12,50
DIPTERA Tipulidae	12,50	DIPTERA Chironomidae	12,50
DIPTERA Ceratopogonidae	12,50	COLEOPTERA Hydrophilidae	12,50

RESULTADOS

Abundancia	87,50	Raspadores (% ind.)	0,00	ABI	15,00
Riqueza (S)	6,00	Trepadores (% ind.)	0,00	Div. Sannon-Wiener (H')	1,75
Colectores (% ind.)	42,86	Filtradores (% ind.)	0,00	Diversidad de Margalef	1,12
Depredadores (% ind.)	42,86	Taxa Tolerantes (%S)	50,00	Equitatividad (J)	0,98
Fijadores (% ind.)	0,00	Taxa Intolerante	0,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	14,29	Taxa EPT	0,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, fue alta, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; lo que condujo a una valoración de pésima calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color rojo y valor de 8 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 16. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 2, río Porcón durante el periodo de sequía del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RP-2S	Río Porcón, estación 2	-78.535660
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca	Porcón	-7.105889
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Porcón	BOSQUE	2816



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RP-2S-12/09/2012	12/09/2012	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
GASTEROPODA Physidae	312,50	DIPTERA Tabanidae	37,50
DIPTERA Simuliidae	50,00	DIPTERA Chironomidae	225,00
TRICHOPTERA Hydroptilidae	2.187,50	EPHEMEROPTERA Baetidae	25,00

RESULTADOS

Abundancia	2.837,50	Raspadores (% ind.)	11,01	ABI	24,00
Riqueza (S)	6,00	Trepadores (% ind.)	11,89	Div. Sannon-Wiener (H')	0,81
Colectores (% ind.)	8,81	Filtradores (% ind.)	1,76	Diversidad de Margalef	0,63
Depredadores (% ind.)	1,32	Taxa Tolerantes (%S)	33,33	Equitatividad (J)	0,45
Fijadores (% ind.)	1,76	Taxa Intolerante	0,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	0,00	Taxa EPT	2,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue baja, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, estuvo entre baja y mínima, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y una valoración de mala calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color naranja y valor de 30 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 17. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 2, río Porcón durante el periodo de sequía del año 2013.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RP-2S	Río Porcón, estación 2	-78.535660
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.105889
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Porcón	BOSQUE	2816



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RP-2S-27/08/2013	27/08/2013	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	25,00	GASTEROPODA Physidae	12,50
AMPHIPODA Hyalellidae	12,50	DIPTERA Tipulidae	25,00
DIPTERA Tabanidae	50,00	DIPTERA Chironomidae	262,50
DIPTERA Ceratopogonidae	12,50		

RESULTADOS

Abundancia	400,00	Raspadores (% ind.)	3,13	ABI	25,00
Riqueza (S)	7,00	Trepadores (% ind.)	3,13	Div. Sannon-Wiener (H')	1,21
Colectores (% ind.)	75,00	Filtradores (% ind.)	0,00	Diversidad de Margalef	1,00
Depredadores (% ind.)	15,63	Taxa Tolerantes (%S)	42,86	Equitatividad (J)	0,62
Fijadores (% ind.)	0,00	Taxa Intolerante	0,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	9,38	Taxa EPT	0,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, fue baja, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; lo que motivó una valoración de pésima calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color naranja y valor de 14 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 18. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 3, río Grande durante el periodo de lluvia del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RG-3L	Río Grande, estación 1	-78.521493
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.093721
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Grande	BOSQUE	2877



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RG-3L-06/01/2012	06/01/2012	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	112,50	DIPTERA Tipulidae	12,50
DIPTERA Tabanidae	12,50	DIPTERA Simuliidae	12,50
DIPTERA Chironomidae	12,50	DIPTERA Ceratopogonidae	512,50
TRICHOPTERA Limnephilidae	62,50	TRICHOPTERA Glossosomatidae	25,00
TRICHOPTERA Leptoceridae	112,50	PLECOPTERA Perlidae	25,00
EPHEMEROPTERA Baetidae	87,50	COLEOPTERA Elmidae	137,50

RESULTADOS

Abundancia	1.125,00	Raspadores (% ind.)	7,78	ABI	62,00
Riqueza (S)	12,00	Trepadores (% ind.)	23,33	Div. Sannon-Wiener (H)	1,80
Colectores (% ind.)	41,11	Filtradores (% ind.)	1,11	Diversidad de Margalef	1,57
Depredadores (% ind.)	48,89	Taxa Tolerantes (%S)	16,67	Equitatividad (J)	0,73
Fijadores (% ind.)	17,78	Taxa Intolerante	3,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	1,11	Taxa EPT	5,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes fue moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; con lo que se obtuvo una valoración de bueno calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color naranja y valor de 72 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 19. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 3, río Grande durante el periodo de lluvia del año 2013.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	R.G-3L	Río Grande, estación 1	-78.521493
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.093721
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Grande	BOSQUE	2877



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	R.G-3L	-28/01/2013	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haptotaxida	175,00	GASTEROPODA Physidae	12,50
DIPTERA Tipulidae	12,50	DIPTERA Simuliidae	12,50
DIPTERA Chironomidae	12,50	DIPTERA Ceratopogonidae	700,00
TRICHOPTERA Limnephilidae	87,50	TRICHOPTERA Glossosomatidae	37,50
TRICHOPTERA Leptoceridae	100,00	PLECOPTERA Perlidae	12,50
EPHEMEROPTERA Baetidae	75,00	COLEOPTERA Elmidae	150,00

RESULTADOS

Abundancia	1.387,50	Raspadores (% ind.)	9,91	ABI	61,00
Riqueza (S)	12,00	Trepadores (% ind.)	19,82	Div. Sannon-Wiener (H)	1,68
Coletores (% ind.)	36,94	Filtradores (% ind.)	0,90	Diversidad de Margalef	1,52
Depredadores (% ind.)	61,35	Taxa Tolerantes (%S)	25,00	Equitatividad (J)	0,68
Fijadores (% ind.)	15,32	Taxa Intolerante	3,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	0,90	Taxa EPT	5,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, estuvo entre baja y moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y con ello una valoración de bueno calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color verde y valor de 63 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 20. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 3, río Grande durante el periodo de sequía del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RG-3S	Río Grande, estación 1	-78.521493
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.093721
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Grande	BOSQUE	2877



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RG-3S-12/09/2012	12/09/2012	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
DIPTERA Simuliidae	12,50	TRICHOPTERA Hydroptilidae	25,00
EPHEMEROPTERA Baetidae	12,50		

RESULTADOS

Abundancia	50,00	Raspadores (% ind.)	0,00	ABI	15,00
Riqueza (S)	3,00	Trepadores (% ind.)	25,00	Div. Sannon-Wiener (H')	1,04
Colectores (% ind.)	25,00	Filtradores (% ind.)	25,00	Diversidad de Margalef	0,51
Depredadores (% ind.)	0,00	Taxa Tolerantes (%S)	0,00	Equitatividad (J)	0,95
Fijadores (% ind.)	25,00	Taxa Intolerante	0,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	0,00	Taxa EPT	2,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes fue alta, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y con ello se obtuvo una valoración de mala calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color verde y valor de 45 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 21. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 3, río Grande durante el periodo de sequía del año 2013.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RG-3S	Río Grande, estación 1	-78.521493
PAÍS	PROVINCIA/DEPART	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.093721
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Grande	BOSQUE	2877



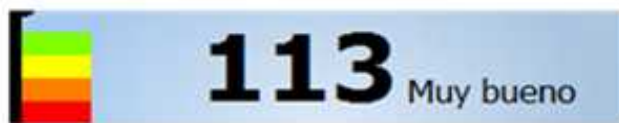
DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RG-3S-27/08/2013	27/08/2013	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	75,00	GASTEROPODA Physidae	62,50
DIPTERA Tipulidae	25,00	DIPTERA Simuliidae	12,50
DIPTERA Chironomidae	50,00	DIPTERA Ceratopogonidae	187,50
TRICHOPTERA Glossosomatidae	25,00	TRICHOPTERA Leptoceridae	12.650,00
PLECOPTERA Perlidae	62,50	EPHEMEROPTERA Baetidae	337,50
COLEOPTERA Elmidae	487,50		

RESULTADOS

Abundancia	13.975,0	Raspadores (% ind.)	0,63	ABI	54,00
Riqueza (S)	11,00	Trepadores (% ind.)	93,38	Div. Sannon-Wiener (H')	0,48
Colectores (% ind.)	97,32	Filtradores (% ind.)	0,09	Diversidad de Margalef	1,05
Depredadores (% ind.)	1,79	Taxa Tolerantes (%S)	27,27	Equitatividad (J)	0,20
Fijadores (% ind.)	4,20	Taxa Intolerante	3,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	0,18	Taxa EPT	4,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue muy bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes fue baja, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y con ello la valoración de muy buena calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color celeste y valor de 113 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 22. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 4, río Grande durante el periodo de lluvia del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RG-4L	Río Grande, estación 2	-78.523748
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.103439
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Grande	BOSQUE	2815



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RG-4L-06/01/2012	06/01/2012	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	62,50	GASTEROPODA Physidae	12,50
AMPHIPODA Hyalellidae	12,50	DIPTERA Tabanidae	12,50
DIPTERA Tipulidae	12,50	DIPTERA Chironomidae	75,00
DIPTERA Ceratopogonidae	62,50	TRICHOPTERA Limnephilidae	25,00
TRICHOPTERA Glossosomatidae	12,50	TRICHOPTERA Hydroptilidae	12,50
TRICHOPTERA Leptoceridae	187,50	PLECOPTERA Perlidae	37,50
EPHEMEROPTERA Baetidae	50,00	COLEOPTERA Elmidae	37,50

RESULTADOS

Abundancia	612,50	Raspadores (% ind.)	8,16	ABI	72,00
Riqueza (S)	14,00	Trepadores (% ind.)	44,90	Div. Sannon-Wiener (H')	2,24
Colectores (% ind.)	69,39	Filtradores (% ind.)	0,00	Diversidad de Margalef	2,03
Depredadores (% ind.)	18,37	Taxa Tolerantes (%S)	21,43	Equitatividad (J)	0,85
Fijadores (% ind.)	14,29	Taxa Intolerante	3,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	4,08	Taxa EPT	6,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue media, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, estuvo entre media y alta, una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y una valoración de muy buena calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color celeste y valor de 90 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 23. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 4, río Grande durante el periodo de lluvia del año 2013.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RG-4L	Río Grande, estación 2	-78.523748
PAIS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.103439
CUENCA	RIO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Grande	BOSQUE	2815



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RG-4L-28/01/2013	28/01/2013	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	87,50	DIPTERA Tipulidae	12,50
DIPTERA Tabanidae	25,00	DIPTERA Chironomidae	212,50
DIPTERA Ceratopogonidae	125,00	TRICHOPTERA Limnephilidae	12,50
TRICHOPTERA Leptoceridae	200,00	PLECOPTERA Perlidae	12,50
EPHEMEROPTERA Baetidae	50,00		

RESULTADOS

Abundancia	737,50	Raspadores (% ind.)	1,89	ABI	45,00
Riqueza (S)	9,00	Trepadores (% ind.)	35,59	Div. Sannon-Wiener (H')	1,77
Colectores (% ind.)	74,58	Filtradores (% ind.)	0,00	Diversidad de Margalef	1,21
Depredadores (% ind.)	22,03	Taxa Tolerantes (%S)	22,22	Equitatividad (J)	0,81
Fijadores (% ind.)	1,69	Taxa Intolerante	2,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	1,69	Taxa EPT	4,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue medio, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, fue moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y una valoración de buena calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color verde y valor de 61 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 24. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 4, río Grande durante el periodo de sequía del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CODIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RG-4S	Río Grande, estación 2	-78.523748
PAIS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.103439
CUENCA	RIO	FORMACION VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Grande	BOSQUE	2815



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CODIGO	FECHA	ALTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RG-4S-12/09/2012	12/09/2012	Luis Azabache	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	25,00	DIPTERA Tabanidae	25,00
DIPTERA Simuliidae	25,00	DIPTERA Chironomidae	100,00
EPHEMEROPTERA Baetidae	162,50		

RESULTADOS




Abundancia	337,50	Raspadores (% ind.)	0,00	ABI	16,00
Riqueza (S)	5,00	Trepadores (% ind.)	48,15	Div. Sannon-Wiener (H)	1,29
Coletores (% ind.)	85,19	Filtradores (% ind.)	7,41	Diversidad de Margalef	0,69
Depredadores (% ind.)	7,41	Taxa Tolerantes (%S)	40,00	Equitatividad (J)	0,80
Fijadores (% ind.)	7,41	Taxa Intolerante	0,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	0,00	Taxa EPT	1,00		



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes fue moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y con ello una valoración de bueno calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color verde y valor de 54 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 25. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 4, río Grande durante el periodo de sequía del año 2013.

DATOS DE LA ESTACIÓN						
ID	CÓDIGO	NOMBRE		LONGITUD		
7	RG-4S	Río Grande, estación 2		-78.523748		
PAIS		PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD		
Perú		Cajamarca		-7.103439		
CUENCA		RIO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD		
Mashcón		Grande	BOSQUE	2815		

DATOS DE LA MUESTRA						
ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES	
1	RG-4S-27/08/2013	27/08/2013	Luis	C. abs.		

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haptotaxida	25,00	DIPTERA Tipulidae	12,50
DIPTERA Chironomidae	100,00	DIPTERA Ceratopogonidae	12,50
TRICHOPTERA Leptoceridae	50,00	PLECOPTERA Perlidae	62,50
EPHEMEROPTERA Baetidae	75,00	COLEOPTERA Elmidae	37,50

RESULTADOS						
Abundancia	375,00	Raspadores (% ind.)	0,00	ABI	39,00	
Riqueza (S)	8,00	Trepadores (% ind.)	33,33	Div. Sannon-Wiener (H')	1,88	
Colectores (% ind.)	76,67	Filtradores (% ind.)	0,00	Diversidad de Margalef	1,18	
Depredadores (% ind.)	20,00	Taxa Tolerantes (%S)	25,00	Equitatividad (J)	0,90	
Fijadores (% ind.)	26,67	Taxa Intolerante	2,00	IMEERA		
Trituradores (% ind.)	3,33	Taxa EPT	3,00			



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue moderado, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes fue alta, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; ello generó una valoración de bueno calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color verde y valor de 70 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 26. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 5, río Mashcón durante el periodo de lluvia del año 2012.

DATOS DE LA ESTACIÓN

ID	CÓDIGO	NOMBRE	LONGITUD
7	RM - 5L	Río Mashcón, estación 1	-78.525280
PAÍS	PROVINCIA/DEPART.	LOCALIDAD	LATITUD
Perú	Cajamarca		-7.119724
CUENCA	RÍO	FORMACIÓN VEGETAL	ALTITUD
Mashcón	Mashcón	BOSQUE	2767



DATOS DE LA MUESTRA

ID	CÓDIGO	FECHA	AUTOR	DATOS	OBSERVACIONES
1	RM - 5L-06/01/2012	06/01/2012	Luis	C. abs.	

NOMBRE	VALOR	NOMBRE	VALOR
OLIGOCHAETA Haplotaxida	12,50	DIPTERA Tipulidae	25,00
DIPTERA Chironomidae	275,00	DIPTERA Ceratopogonidae	50,00
TRICHOPTERA Limnephilidae	37,50	TRICHOPTERA Hydroptilidae	12,50
TRICHOPTERA Leptoceridae	37,50	EPHEMEROPTERA Baetidae	12,50
COLEOPTERA Elmidae	12,50		

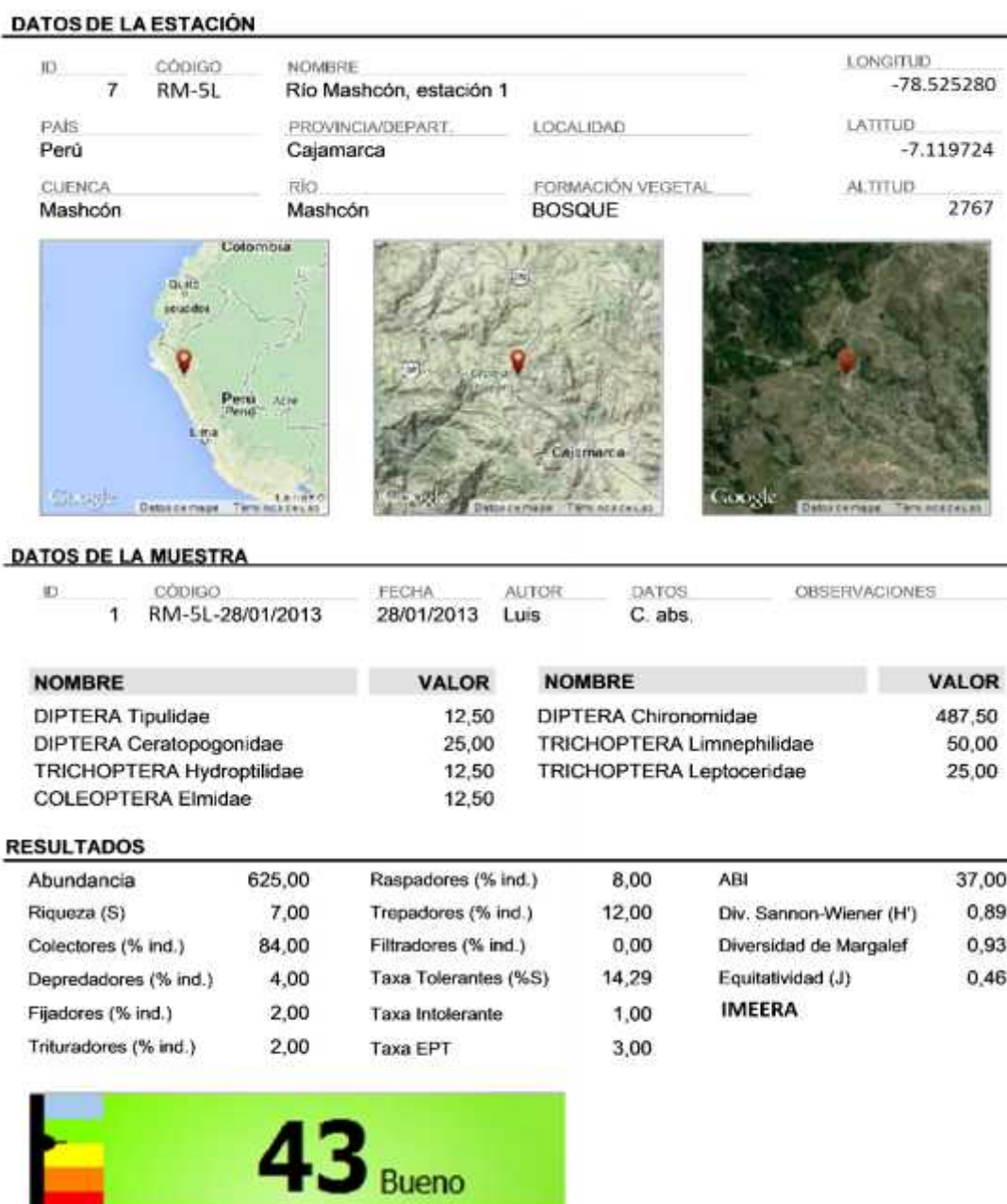
RESULTADOS

Abundancia	475,00	Raspadores (% ind.)	7,89	ABi	42,00
Riqueza (S)	9,00	Trepadores (% ind.)	18,42	Div. Sannon-Wiener (H')	1,49
Colectores (% ind.)	73,68	Filtradores (% ind.)	0,00	Diversidad de Margalef	1,30
Depredadores (% ind.)	10,53	Taxa Tolerantes (%S)	22,22	Equitatividad (J)	0,68
Fijadores (% ind.)	2,63	Taxa Intolerante	1,00	IMEERA	
Trituradores (% ind.)	5,26	Taxa EPT	4,00		



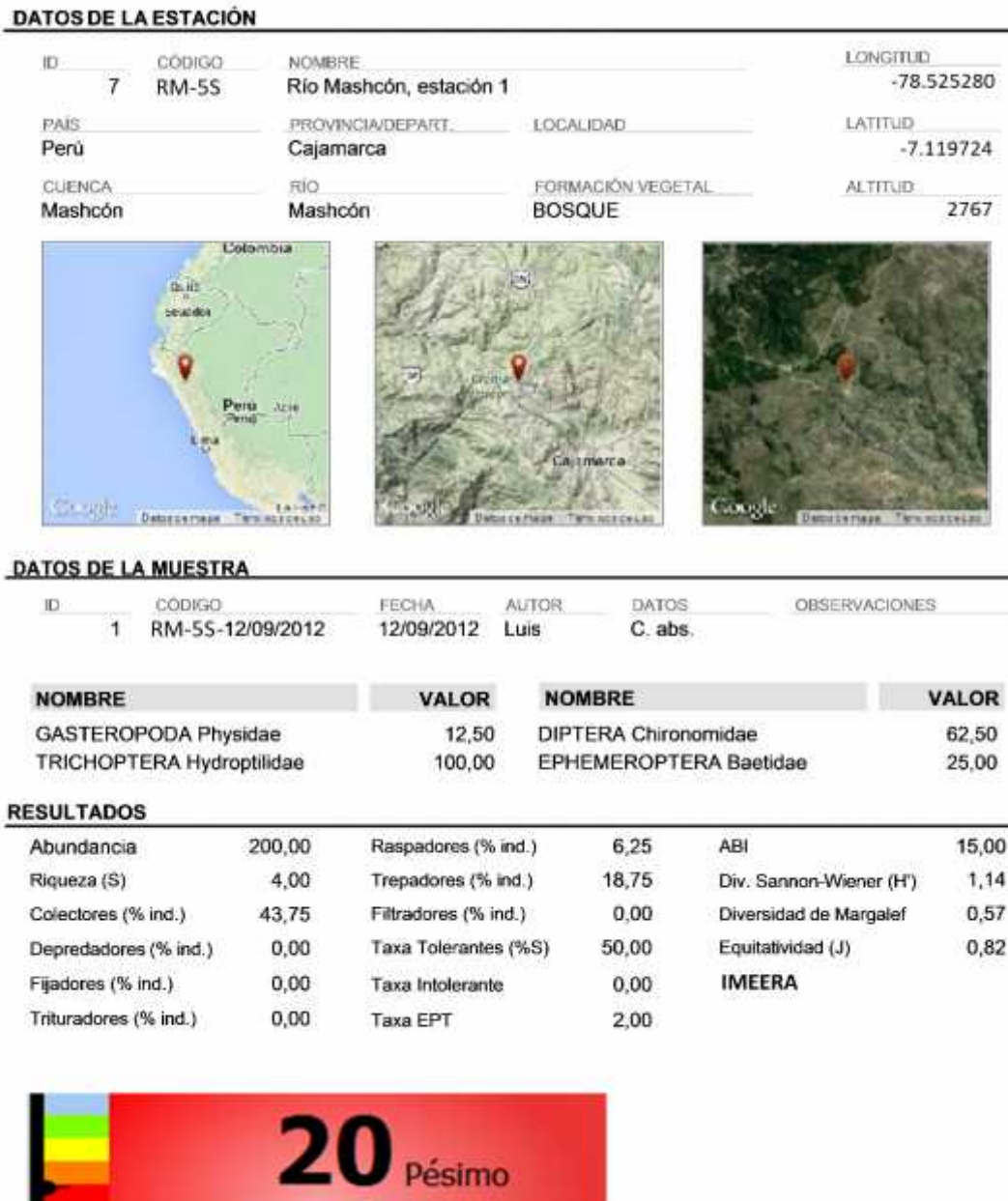
En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes estuvo entre baja y moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y una valoración de bueno calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color verde y valor de 49 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 27. Valores de calidad biológica del agua en la Estación 5, río Mashcón durante el periodo de lluvia del año 2013.



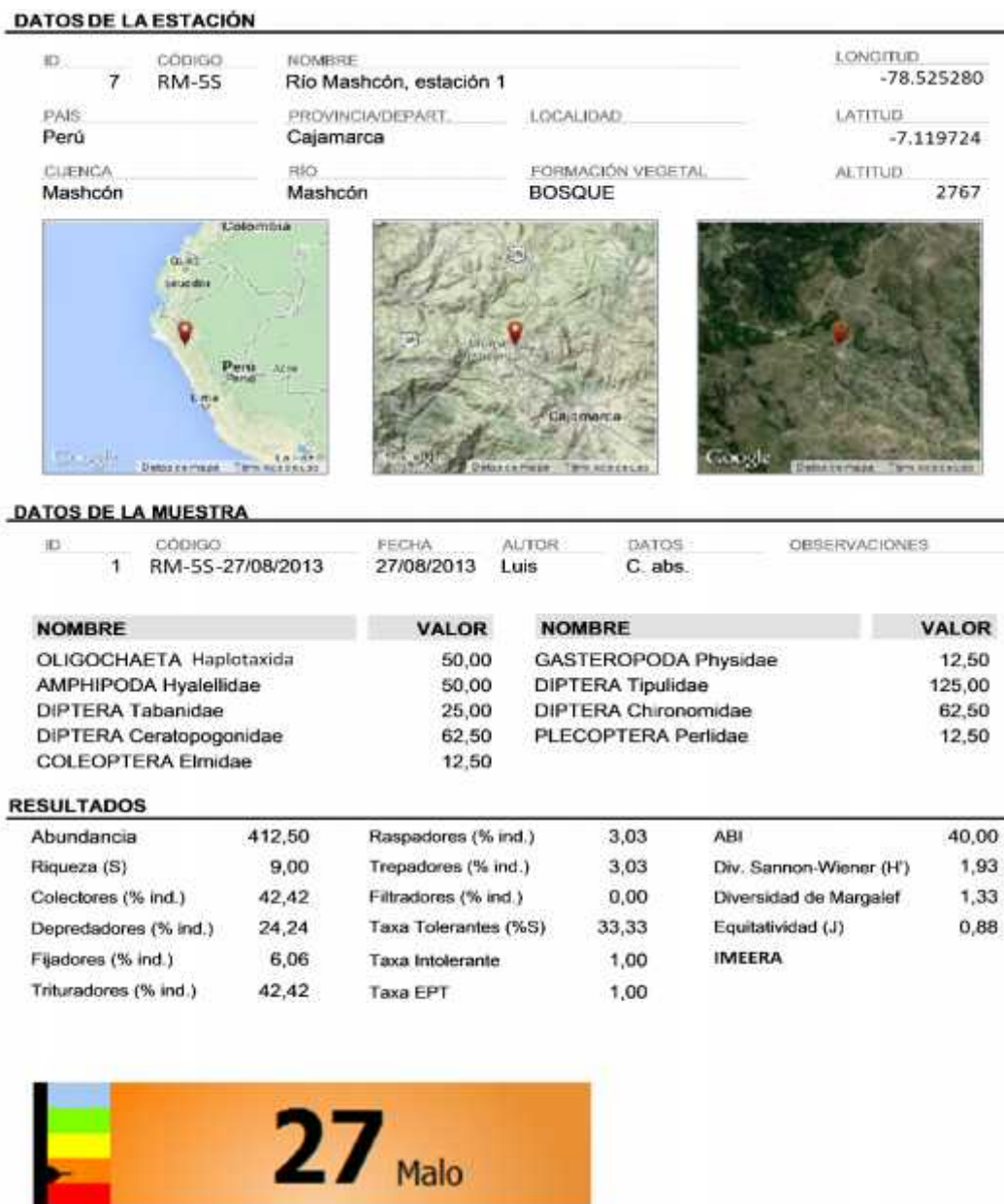
En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes fue baja, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; con lo que se obtuvo una valoración de bueno calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color verde y valor de 43 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 28. Valores de calidad biológica en la Estación 5, río Mashcón durante el periodo de sequía del año 2012.



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue bajo, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, fue moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; lo que permitió una valoración de pésima calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color rojo y valor de 20 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Figura 29. Valores de calidad biológica en la Estación 5, río Mashcón el durante periodo de sequía del año 2013.



En esta Estación, se observa que el índice de riqueza fue moderado, que la equitatividad o grado de igualdad de la distribución de la *abundancia* de los géneros presentes, fue moderada, con una dominancia absoluta de los organismos *taxa/tolerantes* sobre los *taxa/intolerantes*; y una valoración de mala calidad del agua, expresado cuali-cuantitativamente con el color naranja y valor de 27 según el *índice multimétrico IMEERA*.

Tabla 33. Nichos ecológicos de los macroinvertebrados, identificados por el método Multimétrico IMEERA, durante periodos de lluvia y sequía de los ríos Porcón, Grande y Mashcón en promedio del bienio 2012 y 2013.

INDICE	RP - 1				RP-2				Mashcón
	LL-2012	S-2012	LL-2013	S-2013	LL-2012	S-2012	LL-2013	S-2013	
EQUITATIVIDAD (J)	0,76	0,56	0,77	0,62	0,95	0,45	0,98	0,62	S
Leyenda: Periodo de lluvia = LL Periodo de sequía = S	Colectores-recolectores		51	61	56	71	79	43	
	Depredadores		38	9	35	3	8	12	
	Trepadores		10	5	31	40	15	11	
	Fijadores		4	4	12	12	3	3	
	Trituradores		4	4	2	1	4	21	
	Raspadores		3	4	7	0	8	5	
	Filtradores		4	3	0	8	0	0	
	Taxa tolerantes		41	35	21	23	18	42	
	Taxa intolerantes		2	0	3	2	1	1	

En base a la clasificación tomada de Merrit y Cummins (1996), y con la información obtenida con el método multimétrico IMEERA, mediante la aplicación CABIRA (figuras 10 a 29), en la tabla 33 se muestran valores de los principales nichos ecológicos, encontrados en los tres ríos estudiados, cuyas respuestas a las condiciones ambientales son muy diferenciadas. Cuando la perturbación es muy grande (contaminación por vertidos domésticos que agota el oxígeno), los efectos se notan a nivel de la comunidad entera con la única presencia de unas pocas especies tolerantes. Cuando la perturbación es intermedia (incremento de nutrientes), los cambios son menos drásticos, con desaparición de unas pocas especies, o incremento en la densidad de otras ya presentes, o aparición de unas terceras que son más tolerantes. Y, en pequeñas perturbaciones (ligero incremento de sales por ejemplo), no modifican la estructura comunal ni cambios a este nivel pero sí a nivel individual, como respuestas metabólicas para intentar compensar el

ABUNDANCIA	475,00	350,00	578,50	112,50	162,50	2837,50	87,50	4000,00
RIQUEZA (S)	10,00	7,00	7,00	3,00	9,00	6,00	6,00	7,00
EPT %	1,00	2,00	1,00	0,00	1,00	2,00	0,00	0,00
MARGALEF	1,46	1,02	0,94	0,42	1,57	0,63	1,12	1,00
SHANNON-WIENER (H')	1,76	1,09	1,50	0,68	2,10	0,81	1,75	1,21
ABI	47,00	27,00	36,00	17,00	41,00	24,00	15,00	25,00
IMEERA	32,00	26,00	29,00	21,00	48,00	30,00	8,00	14,00

Tabla 34. Valores de índices bióticos, de diversidad e IMEERA para las Estaciones RP 1 y RP 2 en el Río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía (LL y S) en los años 2012-2013.

problema generado por las condiciones del medio y a estos cambios se denominan *biomarcadores* (Prat et al. 2009). Así, generalmente se registran en la cabecera de las cuencas especies con hábitos fragmentadores, y en la desembocadura al mar abundan especies detritívoras (Fierro *et al.* 2014). En nuestro trabajo, el nicho de *Colectores-recolectores* fueron ampliamente dominantes sobre los demás grupos durante los cuatro periodos en los tres ríos, aunque entre estos los valores fueron mayores durante los periodos de sequía en los ríos Porcón y Grande, mientras en río Mashcón lo fue durante la lluvia, una tendencia que concuerda con lo hallado por Ramírez y Pringle (1998). Ferru y Fierro (2015) manifiestan que este material orgánico son partículas menores de 1 mm que se depositan en el fondo; pertenecen a este importante grupo varios miembros de las familias Chironomidae (Dípteros), Elmidae (Coleóptera) y Baetidae (Efemeróptera). El caso de río Mashcón, que salió de esa tendencia se debería probablemente al grado de destrucción del lecho y riberas que sufre por extracción de material de construcción. Los *Depredadores* aparecieron en segundo lugar pero mejor representados en los periodos de lluvia

Tabla 35. Valores de índices bióticos, de diversidad e IMEERA para las Estaciones de muestreo RG 3 y RG 4 en el Río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía (LL y S) en los años 2012-2013.

INDICE	RG - 3				RG -4			
	LL-2012	S-2012	LL-2013	S-2013	LL-2012	S-2012	LL-2013	S-2013
EQUITATIVIDAD (J)	0,73	0,95	0,68	0,20	0,85	0,80	0,81	0,90
ABUNDANCIA	1125,00	50,00	1387,50	13975,00	612,50	337,50	737,50	375,00
RIQUEZA (S)	12,00	3,00	12,00	11,00	14,00	5,00	9,00	8,00
EPT %	5,00	2,00	5,00	4,00	6,00	1,00	4,00	3,00
MARGALEF	1,57	0,51	1,52	1,05	2,08	0,69	1,21	1,18
SHANNON-WIENER (H')	1,80	1,04	1,68	0,48	2,24	1,29	1,77	1,88
ABI	62,00	15,00	61,00	54,00	72,00	16,00	45,00	39,00
IMEERA	72,00	45,00	63,00	113,00	90,00	54,00	61,00	70,00

en los ríos Porcón y Grande, mientras que en el río Mashcón lo fueron durante la sequía. Este grupo se alimenta de otros macroinvertebrados, y pertenecen a este nicho algunos miembros de Coleóptera y Díptera (*Ceratopogon* y *Tabanus*). En tercer lugar, estuvieron los *Trepadores*, con importante presencia en los cuatro periodos pero con patrón no muy bien definido, estuvieron mejor representados durante las lluvias en los ríos Porcón y Mashcón, pero para el río Grande lo fue durante la sequía. Los *Fijadores* aparecieron cuartos, con valores iguales, de 4% tanto en lluvia como en sequía para el río Porcón; de 12% para lluvia y sequía en el río Grande, y de 3% para ambos periodos en el río Mashcón. Con mucho menor presencia, continuaron los *Trituradores* o fragmentadores, que se alimentan de restos vegetales en descomposición y que en río Porcón aparecieron en similares proporciones durante lluvia y sequía, pero que en los ríos Grande y Mashcón fueron predominantes durante la lluvia; este grupo es muy escaso en ambientes tropicales (Irons et al. 1994), y adaptados evolutivamente a aguas templadas (Wantzen et al. 2002). Luego, los *Raspadores* o ramoneadores, como los pequeños caracoles *Physa*, se alimentan de hojas y tallos tiernos ribereños, estuvieron casi en similares proporciones durante la lluvia y sequía en el río Porcón, pero presentes

Tabla 36. Valores de índices bióticos, de diversidad e IMEERA para la Estación de muestreo RM 5 en el Río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía (LL y S) en los años 2012-2013.

ÍNDICE	RM-5			
	LL-2012	S-2012	LL-2013	S-2013
EQUITATIVIDAD (J)	0,68	0,82	0,46	0,88
ABUNDANCIA	475,00	200,00	625,00	412,50
RIQUEZA (S)	9,00	4,00	7,00	9,00
EPT %	4,00	2,00	3,00	1,00
MARGALEF	1,30	0,57	0,93	1,33
SHANNON-WIENER (H)	1,49	1,14	0,89	1,93
ABI	42,00	15,00	37,00	40,00
IMEERA	49,00	20,00	43,00	27,00

sólo durante los periodos de lluvia en el río Grande, y presentes en río Mashcón pero con predominancia durante los periodos de lluvia. Finalmente, los *Filtradores* como los Simulidae (*Dípteros*), que se alimentan de pequeñas partículas orgánicas en suspensión, aparecieron de manera muy irregular en los ríos Porcón y Grande, pero ausentes durante las lluvias y sequias en el río Mashcón. En los rápidos, la mayoría de los taxa de Efemerópteros, Dípteros, Tricópteros y Plecópteros, pertenecen al grupo de colectores-filtradores, que como se vio constituyen el grupo funcional predominante.

La variación temporal en los grupos funcionales, es materia que requiere aun estudios más profundos, pues como vimos más adelante existen versiones heterogéneas; se puede asociar con los cambios en las condiciones del hábitat, determinados por la expresión diferencial del caudal y se confirma que los cambios temporales asociados a la estacionalidad climática e hidráulica son importantes en la estructuración de la comunidad de macroinvertebrados, en los sistemas loticos andinos (Díaz et al 2016);

otros investigadores enfatizan que la conductividad, pH y temperatura son los factores principales en su distribución y composición (Morelli y Verdi 2014), se menciona también que la velocidad de la corriente, la temperatura del agua y la disponibilidad de oxígeno son los factores determinantes, habiendo encontrado valores más altos en la velocidad y más bajos en temperatura en lugares con mayor riqueza y abundancia de macroinvertebrados (Domínguez y Fernández 2009). Por su parte, Londoño et al. (2017), encontraron que los factores físico-químicos estuvieron dentro de los parámetros normales favoreciendo el desarrollo de la vida, y que el hábitat y los impactos ambientales fueron más determinantes en la estructura de la biodiversidad que la calidad química. Otro importante aporte a ello precisa que la distribución y composición de la comunidad bentónica es determinada por el gradiente de estrés sinérgico generado por la degradación hidromorfológica, la conductividad y la temperatura, especialmente en la zona media y baja de la cuenca, donde la agricultura, el emplazamiento de embalses y las zonas urbanas generan el mayor impacto (Carvacho 2012).

Con todo, la gran representatividad mostrada por los *colectores-recolectores*, que se alimentan de fragmentos orgánicos menores a 1 mm depositados en el fondo, demuestra la importancia de este alimento en ríos. Los organismos *taxa/tolerantes* fueron dominantes sobre los *taxa/intolerantes* en los tres ríos, durante todo el año. Los primeros predominan durante las sequías, a excepción del río Porcón donde el dominio fue durante las lluvias. En tanto, los *taxa/intolerantes* están ausentes durante las sequías en el río Porcón y en términos generales están presentes, pero río Grande exhibió en sus dos estaciones durante los dos años, valores en un rango

Tabla 37. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e IMEERA para las Estaciones de muestreo RP-1 y RP-2 en el Río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012-2013

ÍNDICE	RP-1		RP-2	
	LLUVIA	SEQUIA	LLUVIA	SEQUIA
EQUITATIVIDAD (J)	0,77	0,59	0,97	0,54
ABUNDANCIA	531,00	231,25	125,00	1.618,75
RIQUEZA (S)	8,50	5,00	7,50	6,50
EPT %	1,00	1,00	0,50	1,00
MARGALEF	1,20	0,72	1,35	0,82
SHANNON-WIENER (H)	1,63	0,89	1,93	1,01
ABI (Índice Biótico Andino)	41,50	22,00	28,00	24,50
IMEERA	30,50	23,50	28,00	22,00

Figura 30. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e IMEERA, para la Estación de muestreo RP-1 en el Río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía, en los años 2012-2013

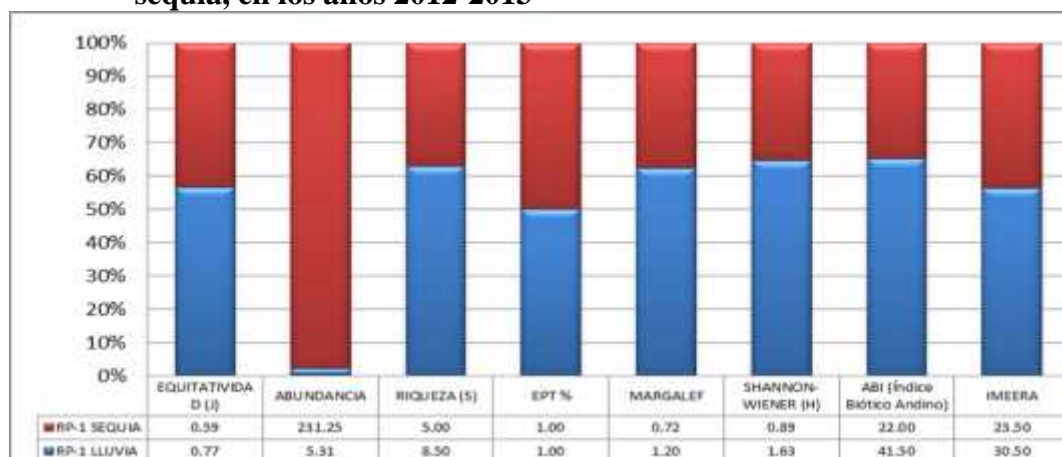
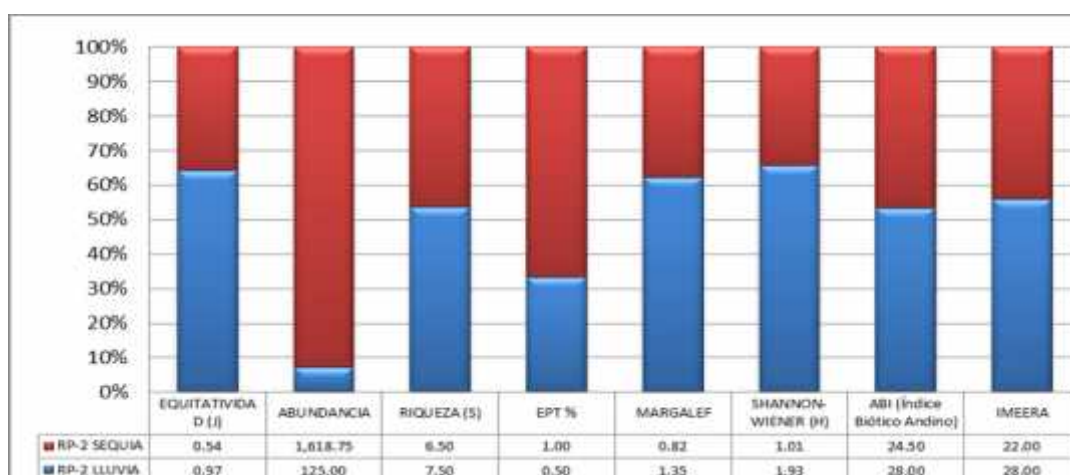


Figura 31. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e índice IMEERA para la Estación de muestreo RP-2 en el Río Porcón, durante los periodos de lluvia y sequía, en los años 2012-2013.



de 45 a 113 con aguas de buena a excelente calidad; río Mashcón buenos valores sólo durante las lluvias. Así, el río Porcón, muestra los niveles más bajos con un rango de 8 a 48, con lo que califica a sus aguas de entre pésimo, a regular con sólo un dato marginal de 48 en el primer periodo de lluvia.

Como se pudo apreciar, existió una relación directa entre los índices de riqueza, abundancia y equitatividad (tablas 34 al 39 y figuras 30 a 34), donde el *índice de riqueza alcanzó* su mayor valor de 14 durante el primer periodo de lluvia en la estación de muestreo 3 en río Grande, seguida de río Porcón con un valor de 10 en el primer periodo de lluvia de la estación 1. Según estudios realizados en una cuenca hidrográfica de Chile, Figueroa et al. (1999), confirman una mayor riqueza específica en las partes altas de las cuencas, una baja diversidad en la parte media-baja y de muy mala calidad en la parte baja; debido a una fuerte presión antrópica en este último tramo afectado por el mayor asentamiento urbano e industrial. En las figuras 30, 31 y 32 se nota una similar tendencia en el primer año de muestreo de la estación 1 en el río Porcón y en el segundo año de muestreo de la estación 3 en el río Grande. Asimismo, favorecido por un mayor flujo de agua y oxigenación, se observa un mayor *índice de riqueza* y menor *abundancia* en los periodos de lluvia en los ríos Porcón y Grande y, parcialmente en río Mashcón. La dominancia durante las lluvias fue marcada por los Dípteros, seguida de Tricópteros, e inversamente durante la sequía. Comparando por ríos, la mayor diversidad fue para río Grande, seguido de Mashcón y Porcón, donde dominaron los Quironómidos (Dípteros), seguido de Haplotáxidos, Tricópteros, Efemerópteros y Plecópteros, respectivamente. La familia de los Quironómidos, es un grupo oportunista que posee algunos taxa con amplio rango de tolerancia y adaptación para sobrevivir

Tabla 38. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e índice IMEERA para las Estaciones de muestreo RG-3 y RG-4 en el Río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012-2013.

INDICE	RG – 3		RG – 4	
	LLUVIA	SEQUIA	LLUVIA	SEQUIA
EQUITATIVIDAD (J)	0,71	0,58	0,83	0,85
ABUNDANCIA	1256,25	7012,50	675,00	356,25
RIQUEZA (S)	12,00	1,50	11,50	6,50
EPT	5,00	3,00	5,00	2,00
MARGALEF	1,55	0,78	1,62	0,94
SHANNON-WIENER (H)	1,74	0,76	2,01	1,50
ABI	61,50	34,40	58,50	27,50
IMEERA	67,50	79,00	75,50	62,00

Figura 32. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e índice IMEERA para la Estación de muestreo RG-3 en el Río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012-2013

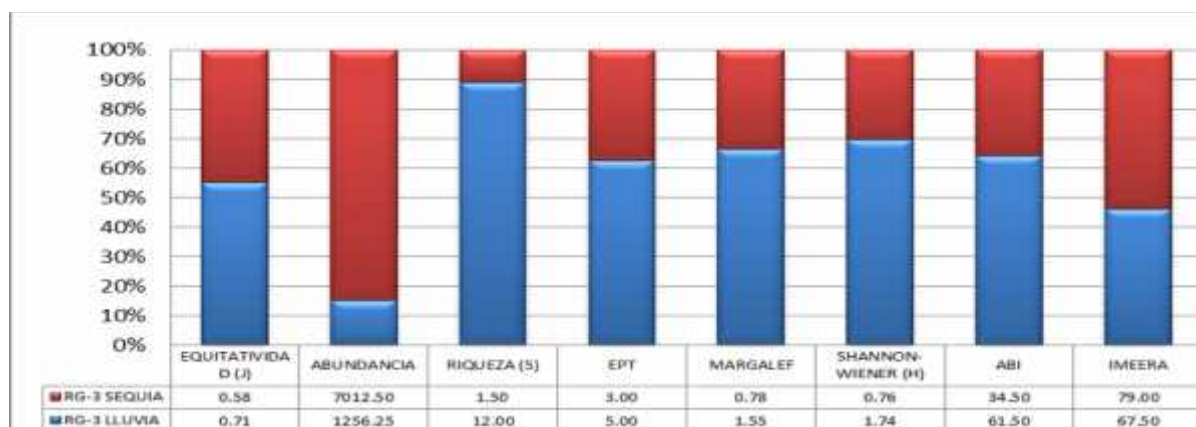
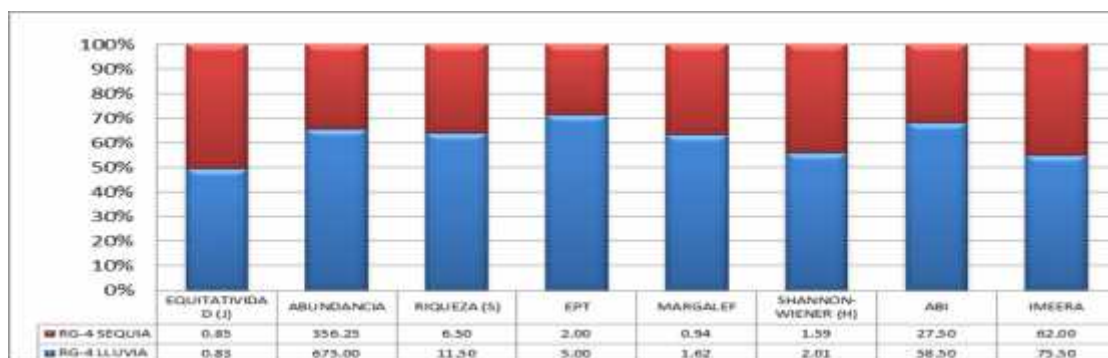


Figura 33. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e índice IMEERA para la Estación de muestreo RG-4 en el Río Grande, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 012-2013.



bajo diferentes condiciones ambientales. Comúnmente son asociados con aguas con abundante materia orgánica en descomposición y poco oxígeno disuelto, pero dentro de aquella familia también existen muchos géneros que pueden encontrarse en aguas limpias con altos tenores de oxígeno y buenas condiciones de calidad (Roldán 1992). Respecto al orden Díptera que fue dominante en río Porcón, citan Gonzáles y Lozano (2004), que es el mejor indicador de aguas con un grado medio a alto de contaminación doméstica.

La distribución de la *densidad* o abundancia por especie no fue uniforme, esto se reflejó en los débiles índices de equitatividad que no alcanzaron el máximo de 1.

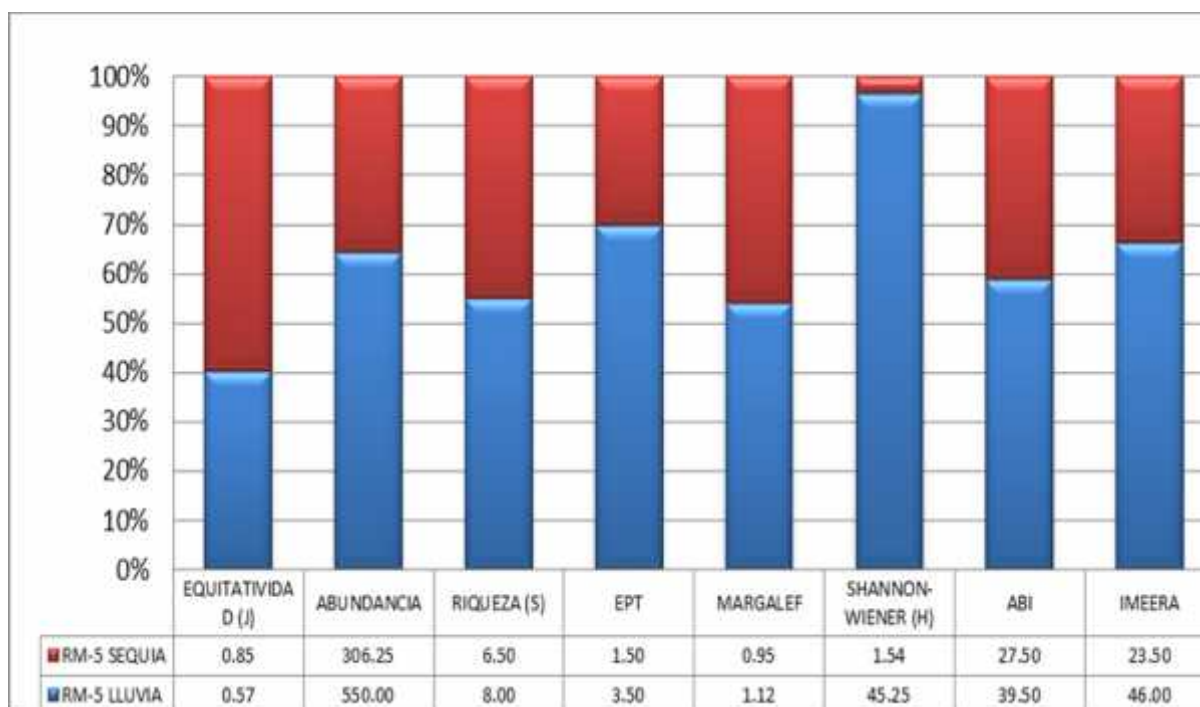
El *índice de diversidad de Margalef*, cuyos valores de muy baja a mucha riqueza van de < 1 a 4, y excepcionalmente altos por encima de 5, se estableció dentro de un rango de 0,42 a 2,03 para los tres ríos, alcanzando en ellos los mejores resultados durante los periodos de lluvia, con predominancia del río Grande donde mostró el pico de 2,03 considerado de diversidad media, durante el primer periodo de lluvia de la estación 4 en río Grande, seguido del primer periodo de lluvia de la estación 3 en el mismo río Grande, y primer periodo de lluvia de la estación 2 en el río Porcón.

El *índice de diversidad de Shannon-Wiener* tuvo también mejores valores durante los periodos de lluvia en los tres ríos, con unas ligeras diferencias a favor mostrada durante el segundo periodo de sequía en la estación 4 del río Grande y del río Mashcón. Se pudo observar una predominancia en el río Grande con picos de normal/alto de 2,24 y 2,10 coincidentemente también para el primer periodo de

Tabla 39. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e *índice IMEERA* para la Estación de muestreo RM-5 en el Río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012-2013.

INDICE	RM – 5	
	LLUVIA	SEQUÍA
EQUITATIVIDAD (J)	0,57	0,85
ABUNDANCIA	550,00	306,25
RIQUEZA (S)	6,00	6,50
EPT %	3,50	1,50
MARGALEF	1,12	0,95
SHANNON-WIENER (H')	1,19	1,54
ABI	39,50	27,50
IMEERA	46,00	23,50



Figura 34. Valores promedio de índices bióticos, de diversidad e *índice IMEERA* de la Estación de muestreo RM-5 en el Río Mashcón, durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012-2013.



lluvia en las estaciones 4 del río Grande y 2 del río Porcón, respectivamente. Siguieron en orden general los ríos Porcón y Mashcón, respectivamente. El *índice biótico andino ABI*, se mostró con un rango amplio, desde un pésimo valor de 15 en el segundo periodo de lluvia de la estación 2 en río Porcón y primer periodo de sequía de la estación 3 en el río Grande, hasta un valor excelente de 72 en el primer periodo de lluvia de la estación 4 en el río Grande. En las figuras 30 a 34 se ilustra los comportamientos de estos índices señalados tanto en las estaciones de muestreo como en los diferentes periodos de lluvia y sequía.

Se debe tener en cuenta que en los ríos, los hábitats o biotopos son las unidades homogéneas que conforman el lecho (Palmer et al. 1991) y pueden ser clasificados en rápidos, corrientes y remansos sobre la base de la composición de sustrato, la velocidad de la corriente (Pringle et al. 1988) y la materia orgánica acumulada (Allan 1995, Yule 1996a). Los hábitats que contienen sustratos de tamaño variado y que permiten la retención de detritus en los espacios intersticiales, como es el caso de los rápidos, presentan una mayor heterogeneidad (Minshall 1984) y pueden ser más resistentes al barrido producto de aumentos repentinos de la descarga o caudal, resultando así más estables (Resh et al. 1988). Por ello, la diversidad, la densidad y la coexistencia de los organismos son altas en estos hábitats, o moderadas como en el caso de los ríos Porcón, Grande y Mashcón, si se comparan con aquellos cuyas características físicas son menos heterogéneas y más susceptibles al barrido por el efecto de la descarga, como en los remansos (Minshall 1984). Allan (1995) sostiene que en los ríos de montaña la diversidad no parece diferir entre hábitats dada la predominancia de los sustratos rocosos de variado tamaño, tanto en los hábitats de rápidos como en los remansos. Asimismo, en los rápidos donde los efemerópteros

Tabla 40. Escala de valoración cuali-cuantitativa y cromática de la calidad ecológica del agua por el índice IMEERA, para los ríos Porcón, Grande y Mashcón durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2012 y 2013.

CLASE	IMEERA	SIGNIFICADO	PUNTAJE	COLOR
I	EXCELENTE	Aguas muy limpias	73	
II	BUENO	Aguas con signos de estrés	72 – 43	
III	REGULAR	Aguas contaminadas	42 – 35	
IV	MALO	Aguas muy contaminadas	34 – 23	
V	PÉSIMO	Aguas extremadamente contaminadas	22	

fueron más abundantes, se observaron corrientes con mayor velocidad y una mayor acumulación de materia orgánica gruesa, proveniente en su mayoría de tejidos vegetales, y en los remansos una mayor acumulación de arena fina o detritus, como lo observado por Arunachalam (1991) y Brewin et al (1995) para ríos tropicales.

Por ello, en la elaboración del protocolo CERA, en la Universidad de Barcelona, se consideró la necesidad de diseñar el Método Multimétrico IMEERA, con aplicación informática CABIRA, a efectos de que se pudiera resumir o integrar en un solo valor numérico los diversos *índices de diversidad*, de Shannon-Wiener, de Margalef, de abundancia, de *equitatividad* (Piélou); los índices bióticos de EPT, ABI e IMEERA, los grupos funcionales o nichos ecológicos, así como los índices de *tolerancia/intolerancia*. En consecuencia, la calidad ecológica e implícitamente

Tabla 41. Valores de la calidad del agua por el índice IMEERA de los ríos Porcón (RP), Grande (RG) y Mashcón (RM), por Estaciones de muestreo durante los periodos de lluvia y sequía en los años 2010-2013.

ESTACIONES DE MUESTREO	IMEERA	COLOR
RP-1 LL- 2012	32	MALO
RP-1 LL- 2013	29	MALO
RP-1 SE- 2012	26	MALO
RP-1 SE- 2013	21	PÉSIMO
RP-2 LL- 2012	48	BUENO
RP-2 LL- 2013	8	PÉSIMO
RP-2 SE- 2012	30	MALO
RP-2 SE -2013	14	PÉSIMO
RG-3 LL- 2012	72	BUENO
RG-3 LL- 2013	63	BUENO
RG-3 SE- 2012	45	BUENO
RG-3 SE- 2013	113	EXCELENTE
RG-4 LL- 2012	90	EXCELENTE
RG-4 LL- 2013	61	BUENO
RG-4 SE- 2012	54	BUENO
RG-4 SE- 2013	70	BUENO
RM-5 LL – 2012	49	BUENO
RM-5 LL – 2013	43	BUENO
RM-5 SE – 2012	20	PÉSIMO
RM-5 SE – 2013	27	MALO

la calidad del agua de los ríos Porcón, Grande y Mashcón, fueron definidos en la presente investigación a través del Índice Multimétrico IMEERA.

En las tablas 34 al 42, así como en las figuras 30 a 34 y, tomando como patrón la escala de calificación cuali-cuantitativa y cromática de la tabla 40, se puede observar los diferentes valores para el índice IMEERA que, variando desde un pésimo de 8 en el segundo periodo de lluvia en el río Porcón, ascendió hasta un excelente valor de 113 en el segundo periodo de sequía del río Grande. La data indicada nos muestra que río Grande exhibió en sus dos estaciones de muestreo y

Tabla 42. Rangos y valores promedios de calidad ecológica del agua por el índice IMEERA de los ríos Porcón, Grande y Mashcón por estaciones de muestreo, en los periodos de lluvia y sequía durante los años 2012-2013.

Estaciones de Muestreo	Resultado	Promedio	Calificacion	Imeera
RP-1 LLUVIA	32 – 29	30,5	MALO	
RP-1 SEQUÍA	26 – 21	23,5	MALO	
RP-2 LLUVIA	48 – 08	28	MALO	
RP-2 SEQUÍA	30 – 14	22	PÉSIMO	
RG-3 LLUVIA	72 – 63	67,5	BUENO	
RG-3 SEQUÍA	45 – 113	79	EXCELENTE	
RG-4 LLUVIA	90 – 61	75,5	EXCELENTE	
RG-4 SEQUÍA	54 – 70	62	BUENO	
RM-5 LLUVIA	49 – 43	46	BUENO	
RM-5 SEQUÍA	20 – 27	23,5	MALO	

durante los cuatro periodos climáticos, valores que oscilaron entre 45 a 113 con calificación de buena a excelente calidad. En tanto, río Mashcón tuvo buenos valores sólo durante los periodos de lluvia, y río Porcón, mostró el rango más bajo de 8 a 48, con aguas de entre pésimo, malo y regular.

En virtud a lo descrito, los ríos urbanos y sub urbanos como Porcón, Grande y Mashcón, son sistemas degradados, al recibir impactos de varias fuentes contaminantes tanto puntuales como difusas, pues reciben desagües pluviales, cloacales, agropecuarias e industriales, con una alta carga de materia orgánica de procesamiento es crítico para la calidad del agua de estos ríos. Y es que el grado de deterioro de tales sistemas se produce cuando la cantidad y calidad de los desechos introducidos en ellos superan su capacidad de recuperación, tal como lo citan Tortorelli y Hernández (1995).

Finalmente, de esta evaluación general podemos manifestar que el presente estudio brinda evidencias respecto al patrón altitudinal, latitudinal y climático de la *riqueza/abundancia* específica dentro de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ríos altoandinos Porcón, Grande y Mashcón y de la influencia significativa que algunos factores ambientales ejercen sobre ellas. Pero fundamentalmente, de acuerdo a los valores obtenidos en los diferentes índices de riqueza, abundancia, equitatividad, índice de diversidad de Margalef, Shannon-Wiener, Equitatividad; índices bióticos de EPT, ABI, índice IMEERA, reforzados con los valores de organismos *tolerantes/intolerantes*, presentes con mayor predominancia en río Porcón, podemos decir que el río Grande tuvo aguas de mejor calidad y se recupera de una anterior contaminación minera en sus cabeceras.

Sin embargo, por su parte, el río Mashcón mostró aguas de regular calidad, pero sufre también del impacto antropogénico, constituido por residuos sólidos, extracción de material de construcción con alteración del fondo y ambas orillas desde su curso superior. El río Porcón mostró aguas de muy baja calidad, debido a un severo deterioro ecológico, derivado probablemente de las actividades antropogénicas acentuadas a ambos lados de sus orillas, como son la cercanía de letrinas, aseo de vestuario, sub productos agrícolas y pecuarios.

4.3. Calidad Ecológica del Agua

Asumiendo el nuevo y amplio concepto de *calidad ecológica*, propuesto por la Directiva Marco del Agua constituida de una parte por la *calidad ambiental* a través de los cambios físico-químicos, hidrológicos, hidromorfológicos, y de otra parte por la *calidad biológica* (Prat et al. 1999), podemos integrar ambos aspectos a la luz de los resultados obtenidos en las aguas de los ríos Porcón, Grande y Mashcón. Así,

hemos visto que según los criterios de los ECA del MINAM, los valores de temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos, turbiedad y conductividad eléctrica califican para aguas de Categoría A3 (aguas para agricultura y pecuaria). Por su parte, la calidad biológica fue de buena a excelente para el río Grande, de regular para el río Mashcón, y de regular a pésima calidad para el río Porcón.

En consecuencia, las aguas de los ríos Porcón, Grande y Mashcón califican en la Categoría A3 si se destina para agricultura y pecuaria.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

1. La tipificación taxonómica y sistemática de la macrofauna bentónica en los ríos Porcón, Grande y Mashcón estuvo determinada por 5 Phyla: Cnidaria, Annelida, Nemátoda, Molusca y Arthropoda; 10 órdenes, Bassommatophora, Amphipoda, Diptera, Trichoptera, Plecóptera, Ephemeroptera, Coleóptera, Hydroida, Haplotaxida y NN; y 23 familias, Hydridae, Enchytracidae, Tubificidae, Familia NN, Phisidae, Talitridae, Atherinidae, Ceratopogonidae, Tabanidae, Simulidae, Chironomidae, Tipulidae, Glossomatidae, Elmidae, Sarcophagidae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Perlidae, Pteronarcidae, Baetidae e Hydrophilidae.
2. La estructura poblacional de la macrofauna bentónica de los ríos Porcón, Grande y Mashcón estuvo determinada por los parámetros de *riqueza específica*, *abundancia*, *frecuencia*, *dominancia* y *especies de importancia ecológica*, donde la mayor riqueza en general se dio en los periodos de lluvia, siendo los Órdenes con **mayor riqueza** y sus Géneros en orden de **dominancia**, los siguientes: Tricóptera (28,6%), con Sericostoma (1°), Ochrotrichia (2°) y Atanatolica (6°); Díptera (25%), con Alluaudomyia (3°), Chironomus (5°) y Tipula (10°); Coleóptera (10,7%), con Latelmis (4°); Efemeróptera (7%), con Baetis (7°); Haplotáxida (7,1%), con Lumbriculus (8°); Hydroida (3,6%), con Hydra (9°); Bassommatophora y Plecóptera (3,6% cada uno respectivamente), la taxa restante fue menos referente. Los Géneros más **frecuentes** fueron *Lumbriculus* (Haplotaxida), *Tipula*, *Chironomus* y *Alluaudomyia* (Diptera) y *Atanatolica* (Tricoptera); y los taxa de **importancia**

ecológica, Lumbriculus, Tubifex, Chironomus, Alluaudomyia, Atanatolica, Ochrotrichia y Sericostoma.

3. Los índices de calidad usados y sus rangos establecidos en base a los valores calculados con la aplicación informática CABIRA fueron: *índice de Equitatividad* con un rango de 0,20 – 0,98; *índice de EPT* con rango de 0 – 6; *índice de Margalef* con rango de 0,42 - 2,08; *índice de Shannon-Wiener* con rango de 0,48 – 2,24; *índice ABI* con rango de 15 – 72; y el *índice IMEERA* con rango de 8 - 113, así como la *Riqueza y Abundancia* ya referidos. Los factores que validan el uso de la macrofauna bentónica como bioindicador son, su tolerancia o nivel de respuesta a la contaminación, la mayor facilidad y menor costo para su observación, el reflejar las características o condiciones ambientales del ecosistema, y el porcentaje de eficiencia general que habla de una alta confiabilidad.
4. Los *nichos ecológicos* reportados fueron, *Colectores-recolectores*, *Depredadores*, *Trepadores*, *Fijadores*, *Trituradores*, *Raspadores* y *Filtradores*, en orden de importancia. Los *Colectores-recolectores*, representados por efemerópteros, dípteros, tricópteros y plecópteros dominaron durante los periodos de sequía en los ríos Porcón y Grande, e inversamente en el río Mashcón, mientras los *Depredadores* dominaron durante los periodos de lluvia en los ríos Porcón y Grande e inversamente en río Mashcón. Los otros grupos estuvieron con menor relevancia. A su vez, los organismos *Taxa tolerantes* aparecieron, en términos generales dominantes sobre los *Taxa intolerantes* en los tres ríos especialmente durante las lluvias, lo que explica que ecológicamente sus aguas no son de la mejor calidad.

- La *calidad ecológica* de las aguas, fue determinada por la *calidad ambiental* a través de los parámetros físico-químicos, y por la *calidad biológica* a través de los índices bióticos y de diversidad; la primera de acuerdo a los Estándares de Calidad (ECA) del MINAM, y la segunda de acuerdo al índice *multimétrico IMEERA*, con el que se valoró de buena a excelente calidad para el río Grande, de regular calidad para el río Mashcón, y de regular a pésima calidad para el río Porcón, calificando la calidad ecológica de las aguas dentro de la categoría A3 (*que pueden ser utilizadas para agricultura y pecuaria*), según los Estándares ECA del MINAM.

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acleto, C y Zúñiga, AR. 1989. Introducción a las Algas. Editorial Escuela Nueva S.A. Lima. 383 pp.
- Acosta, R; Ríos, B; Rieradevall, M.; Prat, N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica* 28: 35-64 pp.
- Adams, S. 2002. *Biological Indicators of Aquatic Ecosystem Stress*. Bethesda, MD: Am. Fish. Soc. 656 pp.
- Alba-Tercedor, J. y Sánchez-Ortega, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad de las aguas corrientes basado en Helawell (1978). *Limnética*, 4: 51-56 pp.
- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. V Simposio del agua en Andalucía (SIAGA). Almería. Vol II: 203-213 pp.
- Alba-Tercedor, J; Jáimez-Cuéllar, P; Álvarez M; J Avilés, J; Bonada, N; Casas, J; Mellado, A; Ortega, M; Pardo, I., Prat, N; Rieradevall, M; Robles, S; Sáinz-Cantero EC; Sánchez-Ortega, A; Suárez, M; Toro, M; Vidal-Abarca, M; Vivas, S y Zamora-Muñoz, C. 2002. Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP').
- Allan, J; Flecker, A. 1993. Biodiversity conservation in running waters. *Bio Science*, 43: 32-34 pp.
- Allan, J. 1995. *Stream ecology. Structure and function*. Chapman y Hall. London.
- Allan, J. 2004. *Landscape and Riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems*. *Annual Reviews Ecological Systems* 35: 257-284 pp.
- Alonso, A; De la Puente, M y Camargo, JA. (2002). Valoración de los efectos de la contaminación orgánica sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares (Guadalajara, España). XI Congreso de la Asociación Española de Limnología y III Congreso Ibérico de Limnología. Madrid 17-21 pp.
- Alonso, A y Camargo, JA. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los Ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*. 3: 1-12 pp.
- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *Memorias del IV Simposio el agua en Andalucía*. Siaga, Almería, 2: 202-213 pp.
- Arana, J. 2008. Caracterización ecológica del río Santa Eulalia, Lima (Perú) mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

- Arenas, J. 1995. Composición y distribución del macrozoobentos del curso principal del río Biobío, Chile. *Medio Ambiente*, 12(2): 39-50 pp.
- Armitage, P; Moss, J; Wright y Furse, M. 1983. The performance of a new biological a water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research* 17: 333-347 pp.
- Arunachalam, M; Madhusoodanan, K; Vijverberg, J; Kortmulder, K; Suriyanarayanan H. 1991. Substrate section and seasonal variation in density of invertebrates in stream pools of a tropical river. *Hydrobiologia* 231: 141-148 pp.
- Azabache, L. 1975. Fitoplancton-red superficial de la Laguna de Sausacocha (Huamachuco), entre Mayo a Noviembre de 1974 y algunas consideraciones ecológicas. Tesis Bach. U.N.T.
- ----- 1979. Fitoplancton de la Amazonía Peruana. Serie 1. Instituto del Mar del Perú-Laboratorio Regional de Iquitos. 64 pp.
- ----- 1987. Sinopsis Biológica de las Principales especies Icticas del Lago Titicaca y su Cuenca. OLDEPESCA/SELA/CAF/IMARPE/UMSA. Lima.
- ----- 1990. La Limnología en la Amazonía Peruana (1977-1981): Química del agua, Productividad primaria y Secundaria. *Revista Peruana de Limnología y Acuicultura Continental*. APLAC. Año 1, N° 1- 45 pp.
- ----- 1996. Estudio de Impacto Ambiental: Estudio Bioecológico del Lago Junín. Ecoplaneación Civil S.A. (ECSA Ingenieros S.A). Lima.
- ----- 2005. Identificación del fitoplancton y del estado situacional de su comunidad en la cuenca del río Mashcón. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Nacional de Cajamarca.
- ----- 2005. Evaluación de fitoplancton, zooplancton y microfauna bentónica de las aguas del río El Cedro y afluentes para ASPADERUC-CAJAMARCA. Plan de Manejo del Bosque Natural Los Cedros de Pampa Verde, San Pedro Sur y Norte (Proyecto Minero La Zanja- Minas Buenaventura). Provincia de Santa Cruz-Cajamarca.
- ----- 2006. Evaluación básica de la microflora y microfauna bentónica en cuerpos de agua lénticos y lóticos en las cuencas de los cerros San Cirilo y Azul, del área del proyecto minero El Solitario. Preparado para la Consultora Carranza EIRL
- ----- 2008-2009. Monitoreo Biológico Acuático en Proyecto La Cima-Corona Gold Fields. Para B y S Consultores Ambientales y Servicios Generales SRL.
- Azabache, L. y Aleman, H. 1997. Evaluación de contaminación ambiental de origen minero metálico en comunidades biológicas del Lago Junín. Ministerio de Energía y Minas. Proyecto Mantaro. BID/MEM. Época de estiaje. Trabajo de Consultoría.
- ----- 1998. Evaluación de contaminación ambiental de origen minero metálico en comunidades biológicas del Lago Junín. Ministerio de Energía y Minas. Proyecto Mantaro. BID/MEM. Época de lluvia. Trabajo de Consultoría.

- Azabache, L; Sánchez, M.; Rosario D; Chaman M. 2013. Biomonitoring acuático, flora y fauna terrestre para el Proyecto Minero MINASPAMPA, Distrito de Sarín, Prov. Huamachuco, Dpto. La Libertad. Época de Lluvias.
- Baptista, D; Buss, D; Egler, M; Giovanelli, A; Silveira, M; y Nessimian, J. 2007. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia*. 575: 83-94 pp.
- Barbour, M. 1997. The re-invention of biological assessment in the U.S. *Human and Ecological Risk Assessment* 3(6): 933-940 pp.
- Barranco, P. 2003. Entomología aplicada (VI) Dípteros de interés agronómico. Agromicidas plaga de cultivos hortícolas intensivos. Dpto. Biología Aplicada. Cite II-B. Universidad de Almería. *Bol. S.E.A.*, nº 33: 293 – 307 pp.
- Bazán, H; Sánchez, I; Cabanillas, M y Miranda, A. 1995. Biodiversidad y ecología de las áreas bajo denuncia de Minera Yanacocha, Cajamarca, Perú. *Minera Yanacocha. Cajamarca*.
- Bazán, H; Sánchez, I; Cabanillas, M y Miranda, A. 1998. Caracterización ecológica y biodiversidad en el área de concesión de Minas Conga S. R. Ltda. Cajamarca, Perú.
- Bern, H. 1963: A cytological and cytochemical studies of neurosecretory cell in *Bassomatophora* with particular reference to *Lymnea stagnalis*. *Arch. Nurl. de Zool.* 16:313-386).
- Besley, C y Chessman, B. 2008. Rapid biological assessment charts the recovery of stream macroinvertebrate assemblages after sewage discharges cease. *Ecological Indicators* 8: 625-638 pp.
- Bonada, N; N Prat, N; Resh, V y Statzner, B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology* 51: 495–523 pp.
- Botina, B; Velásquez, A; Bacca, T; Castillo, J; Lucimar, F; Dias, G. 2010. Evaluación de la macrofauna del suelo en *Solanum tuberosum* (Solanales: Solanaceae) con sistemas de labranza tradicional y mínima. *bol. cient. mus. hist. nat.* 16 (2): 69 – 77 pp.
- Branco, M. 1965. Poluicao e Contaminacao. *Revista DAE*, 26 (57): 41-65 pp.
- Brewin, PA; Newman, TM; Ormerod, SJ. 1995. Patterns of macroinvertebrate distribution in relation to altitude, habitat structure and land use in streams of the Nepalese Himalaya. *Archives fur Hydrobiologie* 135: 79-100 pp.
- Brittain, J y Milner, A. 2001. Ecology of glacier-fed rivers: current status and concepts. *Freshwater Biology*.46: 1571-1578 pp.
- Butcher, J; Steward, P; Simon, T. 2003. A benthic community index for streams in the northern lakes and forests ecoregion. *Ecological indicators* 3:181-193 pp.

- Carbone, M; García-Martínez, B; Marcovechio, J; Picolo, M; Perilio, G. 2013. Impacto antrópico en la calidad del agua superficial de la cuenca media del Arroyo Claromecó, Argentina. Cuadernos de Investigación Geográfica, N° 391 (2): 39 - 404 pp.
- Carrera, P; Fierro, K. 2001. Manual de Monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Primera edición. Ecociencia, Quito-Ecuador.
- Carrera, P; Gunkel, G. 2003. Ecology of a high Andean, río Itambi, Otavalo, Ecuador. Limnológica. 33: 29-43 pp.
- Carvacho, C. 2012. Estudio de las comunidades de Macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile. INSTITUT DE L' AIGUA. Master Oficial. Agua. Análisis Interdisciplinario y Gestión Sostenible. Universitat de Barcelona, 62 pp.
- Chará-Serna, A; Chará, J; Zúñiga, M; Pedraza, G y Giraldo, L. 2010. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. Universitas Scientiarum, 15(1): 27-36 pp.
- Chessman, B. 1995. Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: a procedure based on habitat-specific sampling, family-level identification and a biotic index. Australian Journal Ecology 20: 122-129 pp.
- Chessman, B. 2003. New sensitivity grades for Australian river macroinvertebrates. Marine and Freshwater Research 54: 95-103 pp.
- Chutter, F. 1972. An empirical biotic index of the quality of Water in South African streams and rivers. Water Research 6: 19-30 pp.
- Confederación Hidrográfica del Ebro. 2011. Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. Ministerio del Medio Ambiente y del Medio Marino. Gobierno de España. 68 pp.
- Connel, DW y Miller, GJ. 1984. Chemistry and Ecotoxicology of Pollution. Wiley & Sons, New York, N.Y. 444 pp.
- Cummins, K; Klug, J. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. Annual Review Ecology and Systemic. 10: 147-172 pp.
- Davis, W. 1995. Evaluación biológica y criterios: herramientas para la planificación y toma de decisiones sobre recursos hídricos: Capítulo 3, editorial: CRC Press, editores: Wayne S. Davis y Thomas P. Simon, pp. 15-29 pp.
- Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, ECA-AGUA.
- Domínguez, E; Molineri, C; Pescador, M; Hubbart, M; Nieto, C. 1998. Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America. PENSO, Sofia, Moscow. 646 pp.
- Domínguez, E y Fernández, H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos, sistemática y biología. F.M. Lilio Edit. Tucumán.

- Estevan, M. 1993. *Aspectos [E] Instrumentos Económicos De La Gestión Ambiental*. Master En Gestión Ambiental. Editor Instituto De Investigaciones Ecológicas, 38 pp.
- ESDA/MINAM. 2013. Parte dos. Calidad ambiental de vida. Capítulo 8 Agua. Contaminación del agua: estado y tendencias.
- Fernández, H; Domínguez. 2002. Guía para la determinación de artrópodos bentónicos Sudamericanos. Edit. Universitaria de Tucumán. Argentina. 282 pp.
- Ferru, M; Fierro, P. 2015. Estructura de macroinvertebrados acuáticos y grupos funcionales tróficos en la cuenca del río Lluta, desierto de atacama, Arica y Parinacota, Chile. *Idesia*, Vol. 33, N° 4.
- Figueroa, R. 1999. Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua en la cuenca del río Damas, X Región Chile. Tesis de grado para optar al grado de M.Sc, mención Zoología. Universidad de Concepción 136 pp.
- Figueroa, R; Araya, E; Valdovinos, C. 2000. Deriva de macroinvertebrados bentónicos en un sector de rítrón: Río Rucúe, Chile Centro-Sur. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción (Chile)*. 71: 23-32 pp.
- Figueroa, R; Valdovinos, C; Araya, E; Parra, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Unidad de Sistemas Acuáticos, Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción. *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol. 76, N°2: 275-285 pp.
- Figueroa, R. 2004. Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del Río Chillán, VIII Región, Chile. VIII Región, Chile. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Departamento de Ecología. Universidad de Málaga. 133 pp.
- Fossati, O; Wasson, J; Héry, C; Salinas, G; Marín, R. 2001. Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebrate communities in clear water Andean streams (Bolivia). *Arch. Hydrobiol.* 151(1): 33-50 pp.
- Franco, L. 1985. *Manual de Ecología*. Editorial Trillas.
- Franken, M; Marín, R. 1992. Influencia de una fábrica de estuco sobre un ecosistema acuático en la ciudad de La Paz. *Ecología en Bolivia*. 19: 73-96 pp.
- Gabriels, W; Lock, K; De Pauw, N; Goethals, P.L. 2010. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium). *Limnológica* 40: 199-207 pp.
- García-Criado, F; Bécares, E; Fernández-Alàez, C; Fernàndez-Alàez, M., 2005. Plant-associated invertebrates and ecological quality in some Mediterranean shallow lakes: implications for the application of the EC Water Framework Directive. *Aquat. Conserv. Mar. Freshwat. Ecosyst.* 15, 31–50 pp.
- Gil, J. 2014. Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca

del río Garagoa-Departamento de Boyacá, Colombia. Tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales; 84 pp.

- Goldstein I., Rojas-López J., Pulido N. y Molina, Z. 2012. Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela. Emergencias territoriales prioritarias en la conservación del agua. *Revista Geográfica Venezolana*. 53(2): 213-238
- Gonzáles de I, A. 1988. El plancton de las aguas continentales. Secretaría General de la OEA. Programa Regional de Desarrollo y Tecnología, Washington, D.C. 130 pp.
- González, M.; Caicedo, Q; Aguirre, R. 2013. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente* 6: 97-107 pp.
- Guevara, G. 2014. Evaluación ambiental estratégica para cuencas prioritarias de los andes colombianos: dilemas, desafíos y necesidades. *Acta Biológica Colombiana*. 19: 11-24 pp.
- Gutiérrez, Y; Dias, L. 2015. Ephemeroptera (Insecta) de Caldas, Colombia, claves taxonómicas para los géneros y notas sobre su distribución. *Volumen 55 (2)*: 13-46 pp.
- Hæckel, T; Field, W. 1891. BENTOS. *Planktonic Stud. in Rep. U.S. Comm. Fisheries* . xvii. 582 (OED).
- Hanson, P; Springer, M; Ramirez, A. 2010.. Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58: 3-37 pp.
- Hellowell, M. 1978: *Biological! surveillance rivers*. Water Research Center. Stevenage.
- Hellowell, J. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*, Elsevier, England. 546 pp.
- Hensen, V. 1887. *Unters, K; Meere, D*. 5:1–109 pp.
- Huamán, P; Mariano, M; Chanco, M; y Montoya, H. 2002. Estructura del macrobentos de la laguna de paca, Junín *macrobenthos structure of paca lagoon, Junin*. *Rev. Peruana de Biología*. Facultad de Ciencias Biológicas, UNMSM. 9(1): 29 - 38 pp.
- Hurlbert, S. 1971. The Nonconcept of Species Diversity: A Critique and Alternative Parameters. *Ecology*. Volumen 52 , Número 4. Páginas 577-586 pp.
- Iannacone, J; Mansilla, J; Ventura, K. 2003. Macroinvertebrados en las lagunas de Puerto Viejo, Lima – Perú. *Ecol. Apl.* 2(1):116-124 pp.
- Irons, J; Oswood, M; Stout, R; Pringle, C. 1994. Latitudinal patterns in leaf breakdown: is temperature really important? *Freshwater Biology*.34: 401-411 pp.
- Jacobsen, D; Schultz, R; Escalada, A. 1997. Structure and diversity of stream invertebrate assemblage. The influence of temperature with and altitude and latitude. *Freshwater Biology*. 38: 247-261 pp.

- Isasi-Catalá, E. 2011. Los conceptos de especie indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. En: *Interciencia*. Vol.; 36. No 1, 31-38 pp.
- Jara C. 2002. Evaluación de la existencia de insectos bioindicadores de la calidad del agua en zonas ritrónicas y potámicas de tres ríos de la zona semiárida de Chile. Memoria de título entregada. Vol.XL. III N° 2 pp.
- Jorcin, A y Nogueira, M. 2008. Benthic macroinvertebrates in the Paranapanema reservoir cascade (southeast Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 68 (4): 1013-1024 pp.
- Karr, J. 1991. Biological integrity: a long neglected aspect of water resource management. *Ecol. Appl.* 1: 66-84 pp.
- Karr, J; Chu, E. 2002. Introduction: Sustaining living rivers. *Hydrobiologia* 422/423: 1-24 pp.
- Knigth Piésold Consulting. 2004. Estudio de Impacto Ambiental .Proyecto Cerro Corona Sociedad Minera La Cima S.A.
- Kolkwitz, R; Marsson, M. 1909. Okologie der tierischen Saprobien. Beitrage zur Lehre von der biologischen Gewässerbeurteilung. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 2: 126-52. *In* Hauer F. and Lambety, G. Eds.1996. *Methods in Stream Ecology*. Academic Press.
- Ladrera, R; Rieradevall, M; Prat, N. 2013. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza. e-Revista de Didáctica* 11,
- Leiva, J. 2004. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la Cuenca del estero Peu Peu Comuna de Lautaro IX Región de la Araucania. Tesis presentada a la facultad de Ciencias de la Universidad Católica de Temuco para optar al Grado de Licenciado en Recursos Naturales. Temuco, Chile. 120 pp.
- Liebmann, H. 1962. *In*: Oldenburg, R. (Ed.), *Handbuch der Frischwasser und Abwasserbiologie*, vol. I, second ed. Munchen, 588 pp.
- Lugo-Fernández, A; Hernández-Ávila, M; Roberts, H. 1994. Wavy energy distribution and hurricane effects on Margarita Reefs, south western of Puerto Rico. *Coral Reefs*, 13: 21-32 pp.
- Machi, P. 2017. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores ecológicos de cambios en el uso del suelo en mallines del sudoeste de la Provincia de Río Negro. Universidad Nacional de La Plata. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencias Naturales, 227 pp.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, SA, Barcelona. 1010 pp.
- Martínez, R.1987. Moluscos del Litoral: El Caracol. Instituto de Zoología Tropical Facultad de Ciencias Universidad Central de Venezuela. Tulipán. *Natura* 81: 25-26 pp.

- Mattick, F. 1964. Übersicht über die Florenreiche und Florengebiete der Erde. En Melchior H (Ed.) A Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Band 2. 12te Auflage. Gebrüder Borntraeger. Berlin. Deutschland. pp. 626- 629 pp.
- Mazé, R. 2015. Clase Malacostraca, Orden Amphipoda. Revista IDE@ - SEA, n° 82 (30-06-2015): 1-10 pp.
- **Menchaca, S. 2018. Las actividades humanas y el agua. Universidad Veracruzana. Dirección de Comunicación de la Ciencia, 5 pp.**
- Merrit, R; Cummins, K (Eds.). 1996. Una introducción a los insectos acuáticos de América del Norte , Kendhall / Hunt Publishing Company , Iowa , pp. 74 – 86 pp.
- Metcalf, J. 1989, Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status I, Europe, Environ. Pollut., 60: 101-139 pp.
- Metzelling, L; Wells, F; Newall, P. 2002. The development and testing of biological objectives for the protection of rivers and streams in Victoria, Australia. Verthandlungden der international Vereinigung für theoretische und angewandte. Limnologie (Germany) 28: 106-111 pp.
- MINAM. 2017. Estándares de calidad ambiental.
- Minshall, W. 1984. Aquatic insect-susstratum relationships. In: Resh V H Rosenberg DM eds.). The Ecology of aquatic insects. New York, USA: Praeger Publisher, 358-400 pp.
- Minshall, W; Sedell, R; Cushing, E. 1985. Stream ecosystem theory: a global perspective. Journal North America Benthological Society. 7: 263-288 pp.
- Miravet, B; García, A, López, P; Alayón, G; Salina, E. (2016). Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. Riha vol.37 no.2 La Habana 37(2): 108-122 pp.
- Miserendino, M. 2001. Macroinvertebrates assemblages in Andean Patagonian rivers and streams: environmental relationships. *Hidrobiologia*. 444: 147-158 pp.
- Miserendino, M; Pizzolon, LA 2003. Distribution of macroinvertebrate assemblages in the Azul-Quemquemtreu river basin, Patagonia, Argentina. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 37(3): 525-539 pp.
- Miserendino, M. (2007). Macroinvertebrate functional organization and water quality in a large arid river from Patagonia (Argentina). In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 43, No. 3,133-145 pp.
- Molina, C; François-Marie Gibón, P; Julio, P. 2008. Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río Altoandino de la Cordillera Real, Bolivia: variación anual y Longitudinal en relación a factores ambientales. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú. *Ecología Aplicada* 7(1,2).

- Monasterio, M. 1980. Estudios ecológicos en los páramos andinos. Ediciones Universidad de los Andes, Mérida.
- Morais, S; Peña, P; Silva, A y Silva P. 2009. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidrelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde Goiás. En: Sociedade & Natureza, Uberlândia. Vol.,; 21. No 3: 392-412 pp.
- Morelli, E y Verdi, A. 2014. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. Revista Mexicana de Biodiversidad. Volume 85: 1160-1170 pp.
- Moya, N; Hughes, R; Dominguez, E; Gibon, F; Goitia, E; Oberdorff, T. 2007. Macroinvertebrate based multimetric predictive models for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams. Ecol. Indic. 11: 840-847 pp.
- Needham, J; Needham, R. 1978. Guía para el Estudio de los Seres Vivos en Agua Dulce. Editorial Reverté S.A. España.
- Nippon Koei Co. Ltd. 2009. Plan de gestión de los recursos hídricos en las Cuencas del Mashcón y Chonta. Cajamarca.
- Norris, R; Hawkins, C. 2000. Monitoring river health. Hidrobiologia 435:5-17.
- Núñez, V. 2010. Revisión de dos especies de Physidae. CONICET, División Zoología Invertebrados, Museo de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Paseo del Bosque s/n, 1900, Argentina. 30 pp.
- Palmer, C; O'Keeffe, J; Palmer, A. 1991. Are macroinvertebrate assemblages in the Buffalo River, southern Africa, associated with particular biotopes? Journal of North America Benthological Society. 10: 349-357 pp.
- Patrick, R. 1966. The Catherwood Foundation Peruvian Amazon Expedition. Limnological and Systematic Studies. Monog. Acad. Nat. Phila. 14: 1-495 pp.
- Pérez, Belkys; Segnini, S. 2005. Variación espacial de la composición y diversidad de géneros de Ephemeroptera (Insecta) en un río tropical altoandino. Entomotropica, Vol. 20, No. 1, 2005, pp. 49-57 pp.
- Peterson, H; Healey, F; Hagemann, R. 1984. Metal Toxicity to Algae: A Highly pH Dependent Phenomenon, Ca. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 974-979 pp.
- Pimentel, H. 2014. Análisis desde la perspectiva de los Índices Bióticos, ECA-Agua y Manejo Adaptativo; usando Macroinvertebrados Bentónicos en ríos Altoandinos-Camisea 2009-2012. Tesis para obtener el Título de Biólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 133 pp.
- Plasencia, C. 2010. Relación entre la calidad agua y la dinámica poblacional del fitoplancton de los ríos Grande y Porcón-Cajamarca durante el periodo 2008-2009. Tesis

para adoptar el Grado Académico de Doctor en Ciencias-.Mención Gestión Ambiental y Recursos Naturales. Universidad Nacional de Cajamarca.

- Pond, G; Bailey, J; Lowman, B; Whitman, M. 2013. Calibration and validation of a regionally and seasonally stratified macroinvertebrate index for West Virginia wadeable streams. *Environ. Monit. Assess.* 185: 1515-1540 pp.
- Prat, N; Munné, A; Solá, C; Bonada, N; Rieradevall, M. 1999. Perspectivas en la utilización de los insectos acuáticos como bioindicadores del estado ecológico de los ríos. Aplicación a ríos mediterráneos. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 58(1-2): 181-192 pp.
- Prat, N; Ríos, B; Acosta, R; Rieradevall, M. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas, p. 631-654. *In* E. Domínguez & H.R. Fernández (eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología.* Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- Prat, P. 2015. Ramón Margalef (1919-2004). Una obra ingente no totalmente bien reconocida. *Ecosistemas* 24(1): 97-103 pp.
- Pringle, C; Naiman, R; Bretschko, G; Karr, J; Oswood, M; Webster, J; Welcomme, R; Winterbourn, M. 1988. Path dynamics in lotic systems: the stream as a mosaic. *Journal of North America Benthological Society.* 7: 503-524 pp.
- Pringle, C; Scatena, F; Paaby-Hansen, P; Núñez Ferrera, M. 2000. River conservation in Latin America and the Caribbean, pp: 41-77 pp. *En*: P. J. Boon; B. R Davies & G. E. Petts (Eds.) *Global Perspectives on River Conservation. Science, Policy and Practice.* John Wiley and Sons Ltd. Durham.
- Pujante, A. 1997. Los artrópodos como bioindicadores de la calidad de las aguas.. *Artículo Monográfico Los Artrópodos y el hombre.* (20): 277-284 pp.
- Ramírez, A; C. Pringle. 1998. Structure and Production of benthic insect assemblage in a tropical stream. *Journal North American Benthological Society* 17 (4): 443-463 pp.
- Ramírez, A y Gutiérrez-Fonseca, E. 2014. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 62 (Suppl. 2): 9-20 pp.
- Ramos, E; Fernández, V; Cressa, C; Núñez, H. 2014. Insectos acuáticos como indicadores de la calidad del agua: una representación semántica basada en ontologías. *Acta Biol. Venez.*, Vol. 33(1-2): 93-110 pp.
- Resh, V; Brown, A; Covich, A; Gurtz, M; Li, HW; Monshall, G; Reice, S; Sheldom, A; Wallace, B; Wissmar, RC. 1988. The role of the disturbance in stream ecology. *Journal of North America Benthological society.* 7: 433-455 pp.
- Resh, V; Norris, R; Barbour, M. 1995. Design and implementation of rapid assessment for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian Journal of Ecology* 20: 108-121 pp.

- Resh, V; Myers, M; Hannford, M. 1996. Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality. In: Hauer FR & GA Lamberty (Eds.) *Methods in Stream Ecology*. Academic Press, San Diego, California, USA. 674 pp.
- Ringuelet, A. 1962. *Ecología Acuática Continental*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 18-32 pp.
- Ríos, B; Acosta, R. y Prat, N. 2014. The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, Vol. 62(2): 249 – 273.
- Riss, W; Ospina, R y Gutiérrez, J. 2002. Establecimiento de valores de bioindicación para los macroinvertebrados acuáticos de la Sabana de Bogotá. *Caldasia* 24: 135-156 pp.
- Rivera, G. 2007. *Conceptos introductorios a la fitopatología*. Reimpresión de la Primera Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José CR. EUNED 346 pp.
- Rizo-Patrón, F; Kumar, A; McCoy, C; Springer, M; Trama, F. 2013. Macroinvertebrate communities as bioindicators of water quality in conventional and organic irrigated rice fields in Guanacaste, Costa Rica. *Ecological Indicators* 29: 68-78 pp.
- Rocha, A. 1976. *Limnologia, os aspectos ecológicos y sanitários e macrofauna bentônica da represa Guarapiranga RMSP*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rodríguez, L. Ríos, P; Espinosa, M; Cedeño, P y Jiménez, G. 2016. Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. *Hidrobiológica* 26 (3): 497-507 pp.
- Roldán, G. 1988. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Ecología, Revista de la Academia Colombiana de Ciencia (Colombia)* Vol XXIII, 88: 375-387 pp.
- Roldán, G. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Primera edición. Universidad de Antioquía. Medellín.
- Roldán, G. 1999. Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Col .Cien. Exa. Fís. Nat. XXIII (88): 376-387 pp.*
- Roldán, G. 2003. *Bioindicación de la calidad del Agua en Colombia*. Universidad de Antioquia, Colombia. 170 pp.
- Roldán-Pérez, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Grupo de Investigación de Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente, Rio Negro, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155):254-274 pp.
- Salvatierra, T. 2014. *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de las aguas en tres microcuencas en Tola, Rivas, Nicaragua*. *Revista Agua y Conocimiento CIRA -UNAN*, 1 (1). pp.

- Santos, M. 2017. Variabilidad de los factores físico-químicos del agua y su influencia sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en dos microcuencas del río El Ángel. Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. UDLA. Quito. 53 pp.
- Scheibler, E. 2002. Biodiversidad de insectos Mendoza, Argentina. Cuadernos de Biodiversidad. I.A.D.I.Z.A. Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas. 8 pp.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotrópicos* 16 (2), 45-63 pp.
- *Selvia, T. 2012.* Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en el Río Gil González y tributarios más importantes, Rivas, Nicaragua. *Revista Universidad y Ciencia*. Vol. 6 No. 9: 38-46 pp.
- Silva, Ch; Cevallos, R; Sarabia, M y Boza, J. (2016): Impacto en el medio ambiente de las actividades agropecuarias en el Cantón El Empalme, Ecuador, *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* (agosto 2016).
- Simpson, E. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688 pp.
- SINIA-MINAM. 2009. Compendio de la Legislación Ambiental Peruana. Vol V: Calidad Ambiental.
- Sladeczek, V. 1973. Systems of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 7:1-218 pp.
- Springer, M. 2006. Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. Museo de Zoología, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 54 (Suppl. 1): 273-286 pp.
- Toro, H; Chiappa, E; Tobar, C. 2003. Biología de insectos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. ISBN 956-170340-8. 42 pp.
- Tortorelli, M; Hernández, D. 1995. Calidad de agua de un ambiente acuático sometido a efluentes contaminantes. 217-230 pp. en: E. Lopretto y Tell G. *Ecosistemas de aguas continentales. Metodología para su estudio.* Tomo I. Ediciones Sur. La Plata, Argentina.
- Valdovinos, C. 2001. Riparian leaf litter processing by benthic macroinvertebrates in a woodland stream of central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 74(2):445-453 pp.
- Vásquez, R. y Órdenes F. (2003). Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sustentable a Escala Regional, Ciudad de Santiago y Ciudades Intermedias en Chile. En: Figueroa, E. y Simonetti, J. 2003. *Globalización y Biodiversidad: Oportunidades y Desafíos Para la Sociedad Chilena*”, Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Chile. Santiago Chile: Editorial Universitaria, 167-224 pp.
- Villamarín, C; Prat, N; Rieradevall, M; Rosales, C. 2014. Caracterización física, química e hidromorfológicas de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 42(5): 1072-1086 pp.

- Walteros, R; Castaño, R; Marulanda, G. 2016. Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la micro cuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia. *Hidrobiológica* Vol 26. N° 3.
- Wantzen, K; Wagner, R; Suetfeld, R; Junk, W. 2002. How do plant-herbivore interactions of trees influence coarse detritus processing by shredders in aquatic ecosystems of different latitudes? *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 1-7 pp.
- Wasson, J; Marín, R. 1988. Tipología y potencialidades biológicas de los ríos de altura en la región de La Paz (Bolivia): metodologías y primeros resultados. *Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales de La Salle.* XLVIII: 97-122 pp.
- Weberbauer, A. 1945. *El mundo vegetal de los Andes peruanos.* Ministerio de Agricultura, Lima. 776 p.
- Wetzel, R. 1975. *Limnology.* Sanders Publ.Co. Philadelphia. 716 p.
- Wolfram, G; Orendt, C; Schmitt, C; Adámek, Z; Bandow, N; Großschartner, M; Kukkonen, M; Leloup, V; López, JC; Muñoz, I; Traunspurger, W; Tuikka, A; Van Liefferinge, C; von der Ohe, PC; de Deckere, E. 2012. Assessing the impact of chemical pollution on benthic invertebrates from three different European rivers using a weight-of-evidence approach. *Science of the Total Environment* 438: 498–509 pp.
- Woodiwiss, F. 1964. The biological system of stream classification used by the Trent river board. *Chem. Industry.* 14: 443-447 pp.
- Wright, J; Moss, D; Armitage, P; Furse, M. 1984. A preliminary classification of running water sites in Great Britain based on macroinvertebrate species and the prediction of community type using environmental data. *Freshwater Biology* 14: 221- 256 pp.
- Yépez, A; Bolívar, A; Yépez, A; Urdánigo, J; Morales, D; Guerrero, N; TayHing, C. 2017. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo-Ecuador. Cienc. Tecn. UTEQ* 10(1): 27-34 pp.
- Yule, C. 1985. Comparison of the dietary habitat of six species of *Dinotoperla* (Plecoptera: Gripopterygidae) in Victoria. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 37: 121-127 pp.
- Yule, C. 1996a. Spatial distribution of the invertebrate fauna of an a seasonal tropical stream on Bougainville Island, Papua New Guinea. *Archivos fur Hydrobiologie* 137: 227-249 pp.
- Zarco-Espinosa, V; Valdez-Hernández, J; Ángeles-Pérez, G; Castillo-Acosta, O. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *México. Universidad y Ciencia,* 26(1):1-17 pp.
- Zúñiga, M. 2004. Biodiversidad, distribución y ecología del orden Plecóptera (Insecta) en Colombia: potencial en bioindicación de calidad de agua. *Memorias VI Seminario Colombiano de Limnología y I reunión Internacional sobre Embalses Neotropicales (Montería-Córdoba-Colombia).* 17-21 pp.

- Zúñiga, M; Giraldo, L; Ramírez, Y; Chará, J; Ramos, B. 2015. Neotriplectides (Trichoptera: Atriplectididae) en Colombia: Notas sobre su taxonomía, ecología y distribución en el Neotrópico. *Revista Colombiana de Entomología*, Vol. 41 (1) 149-152 pp.



Foto 4. Río Porcón, con deterioro y contaminación de sus orillas



Foto 5. Río Grande, antes de la derivación hacia la Planta el Milagro



Foto 6. Río Mashcón, modificación y destrucción de su lecho y orillas

2.2. Fotos sobre colectas de material de fondo en fase de campo



Foto 7. Sedimento de fondo



Foto 8. Tamizando el sedimento



Foto 9. Enjuagando la muestra



Foto 10. Rotulando envases



Foto 11. Preservando muestras



Foto 12. Empacando envases con muestras

2.3. Fotos macroinvertebrados registrados en Laboratorio



Foto 13. Larva de Plecóptera



Foto 14. Larva de Efemeróptera (1)



Foto 15. Larva de Efemeróptera (2)



Foto 16. Larva de Tricóptera y estuche



Foto 17. Estuche de Tricóptera



Foto 18. Microscopio binocular estereoscópico

2.4. Foto en fase de gabinete, procesamiento de la información



Foto19. Procesamiento de datos físico-químicos.



Foto 20. Procesamiento de datos biológicos.