

---

**DETALLE DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE CAUSALIDAD EN EL ÁREA  
DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CERRO DEL ÁGUILA  
DE LA EMPRESA KALLPA GENERACIÓN S.A., EN EL AÑO 2021**

---

**SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA  
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**

**2021**



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica  
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Firmas de los profesionales que aportaron a este documento:



## ÍNDICE DEL CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ANTECEDENTES .....	4
3. OBJETIVOS .....	6
3.1. Objetivo general.....	6
3.2. Objetivos específicos.....	6
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	6
4.1. Climatología e hidrología .....	8
4.2. Geología regional .....	10
4.3. Comunidades hidrobiológicas.....	10
4.4. Contexto social .....	11
5. METODOLOGÍA.....	11
5.1. Objetivo específico 1: Evaluar la calidad de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el río Mantaro y quebradas Huayrapata asociados a la descarga de agua residual tratada proveniente de los campamentos y operación de la C.H. Cerro del Águila. ....	13
5.1.1. Guías utilizadas para la evaluación.....	13
5.1.2. Ubicación de puntos de muestreo .....	14
5.1.3. Parámetros y métodos de análisis .....	16
5.1.4. Equipamiento y materiales utilizados .....	17
5.1.5. Aseguramiento de la calidad .....	17
5.1.6. Procesamiento de datos.....	18
5.1.7. Criterios de evaluación.....	27
5.2. Objetivo específico 2: Determinar la relación entre el embalse de la C.H. Cerro del Águila y la presencia de dípteros hematófagos en los centros poblados dentro del área de influencia de la Central Hidroeléctrica.....	29
5.2.1. Guías utilizadas para la evaluación.....	29
5.2.2. Ubicación de puntos de muestreo .....	29
5.2.3. Parámetros y métodos de análisis .....	30
5.2.4. Equipamiento utilizado .....	30
5.2.5. Procesamiento de datos.....	30
5.2.6. Criterios de evaluación.....	31
6. RESULTADOS .....	31
6.1. Objetivo específico 1: Evaluar la calidad de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el río Mantaro y quebradas Huayrapata asociados a la	



descarga de agua residual doméstica tratada proveniente de los campamentos y operación de la C.H. Cerro del Águila.....	31
6.1.1. Agua superficial.....	31
6.1.2. Agua residual doméstica tratada.....	44
6.1.3. Sedimentos.....	44
6.1.4. Comunidades hidrobiológicas.....	49
6.2. Objetivo específico 2: Determinar la relación entre el embalse de la C.H. Cerro del Águila y la presencia de dípteros en los centros poblados dentro del área de influencia de la Central Hidroeléctrica.....	71
7. DISCUSIÓN.....	73
7.1. Influencia de la purga de sedimentos por mantenimiento del embalse de la C.H. Cerro del Águila en la calidad del agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas del río Mantaro.....	73
7.2. Descarga no autorizada de agua residual doméstica tratada a la quebrada Huayrapata.....	90
7.3. Presencia de dípteros hematófagos en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila.....	95
7.4. Análisis de las medidas adoptadas para reducir el riesgo de eutrofización del embalse de la C.H. Cerro del Águila.....	97
7.5. Régimen de caudal ecológico en el tramo reducido del río Mantaro aguas abajo del embalse de la C.H. Cerro del Águila.....	100
8. CONCLUSIONES.....	102
9. RECOMENDACIONES.....	105
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 5.1.</b> Referencias para el muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas.....	13
<b>Tabla 5.2.</b> Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas.....	14
<b>Tabla 5.3.</b> Ubicación de punto de muestreo de agua residual doméstica tratada.....	16
<b>Tabla 5.4.</b> Parámetros y métodos de análisis de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas.....	16
<b>Tabla 5.5.</b> Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica.....	20
<b>Tabla 5.6.</b> Cuerpo de agua y categoría de comparación para los cuerpos de agua en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila.....	27
<b>Tabla 5.7.</b> Valores de referencia para metales en sedimentos.....	28
<b>Tabla 5.8.</b> Ubicación de puntos de muestreo de dípteros hematófagos.....	29
<b>Tabla 5.9.</b> Parámetros y métodos de análisis de larvas de potenciales dípteros hematófagos.....	30
<b>Tabla 6.1.</b> Parámetros que excedieron los ECA para Agua 2008 en el río Mantaro y afluentes.....	32



**Tabla 6.2.** Parámetros que excedieron los ECA para Agua 2008 en el río Mantaro y afluentes ..... 32

**Tabla 6.3.** Porcentaje de los metales disueltos de los puntos de muestreo de agua superficial ..... 37

**Tabla 6.4.** Resultados de metales en los sedimentos comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá –CEQG ..... 46

**Tabla 6.5.** Resumen de las características y evaluación visual de quebradas..... 50

**Tabla 6.6.** Composición total del número de especies de fitoperifiton..... 52

**Tabla 6.7.** Riqueza por Phylum de fitoperifiton en cada punto ..... 53

**Tabla 6.8.** Abundancia por Phylum de fitoperifiton en cada punto de muestreo..... 54

**Tabla 6.9.** Índice de diversidad de fitoperifiton ..... 55

**Tabla 6.10.** Índice de disimilaridad de Bray-Curtis para fitoperifiton..... 57

**Tabla 6.11.** Variables ambientales estandarizadas ..... 58

**Tabla 6.12.** Correlaciones de Spearman entre las variables ambientales y las dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de Fitoperifiton..... 58

**Tabla 6.13.** Composición comunitaria total de macroinvertebrados bentónicos..... 59

**Tabla 6.14.** Riqueza por Phylum de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo..... 61

**Tabla 6.15.** Abundancia por taxon de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo..... 64

**Tabla 6.16.** Índice de diversidad para macroinvertebrados bentónicos..... 67

**Tabla 6.17.** Índice de disimilaridad de Bray-Curtis para macroinvertebrados bentónicos .. 69

**Tabla 6.18.** Correlaciones de Spearman entre las variables ambientales y las dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos ..... 70

**Tabla 6.19.** Resultados de la prueba de Mann-Whitney para las abundancias de larvas de Tabanus..... 72

**Tabla 6.20.** Resultados de la prueba de Mann-Whitney para las abundancias de larvas de Simuliidae ..... 72

**Tabla 7.1.** Incremento en porcentaje (%) de las concentraciones de metales durante la purga de sedimentos respecto al histórico (2015-2020) ..... 75

**Tabla 7.2.** Análisis de Varianza Multivariado por Permutaciones (PERMANOVA) de una sola vía en los grupos o estados definidos en el dendograma de los puntos de muestreo UPGMA ..... 80

**Tabla 7.3.** Análisis SIMPER (porcentajes de similitud) de los parámetros mediante la distancia o medida de disimilitud de Bray-Curtis ..... 82

**Tabla 7.4.** Lista descriptiva de posibles efectos en peces..... 89

**Tabla 7.5.** Ubicación de vertimientos de agua residual domestica tratada autorizados ..... 90

**Tabla 7.6.** Abundancias de larvas de dípteros hematófagos (Simuliidae)..... 95

**Tabla 7.7.** Caudal ecológico mensualizado determinado por el administrado (m<sup>3</sup>/s) ..... 100

### ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 4.1.** Área de estudio de la EAC Cerro del Águila ..... 7

**Figura 4.2.** Ubicación hidrográfica de la C.H. Cerro del Águila ..... 7

**Figura 4.3.** Hidrograma de precipitaciones promedio mensual de 86 estaciones en la cuenca Mantaro (1960-2002) ..... 8

**Figura 4.4.** Principales presas en la cuenca del río Mantaro ..... 9



<b>Figura 5.1.</b> Esquema conceptual de la C.H. Cerro del Águila .....	12
<b>Figura 5.2.</b> Distribución de los puntos de muestreo en el área de estudio de la EAC Cerro del Águila .....	12
<b>Figura 5.3.</b> Relación de los sólidos totales disueltos (STD) con los valores de <i>K</i> para diferentes tipos de agua .....	19
<b>Figura 5.4.</b> Diagrama de Stiff .....	21
<b>Figura 5.5.</b> Diagrama de Piper .....	22
<b>Figura 5.6.</b> ACP con los estados definidos como estadísticamente diferentes por el PERMANOVA.....	23
<b>Figura 5.7.</b> Curva granulométrica acumulada continua.....	25
<b>Figura 6.1.</b> Concentración de hierro comparado con los ECA para agua 2017 Cat3D1 ....	33
<b>Figura 6.2.</b> Concentración de manganeso comparado con los ECA para agua 2017 Cat3 D1 y D2.....	33
<b>Figura 6.3.</b> Concentración de sólidos totales suspendidos .....	34
<b>Figura 6.4.</b> Relación lineal entre la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos (STD).....	35
<b>Figura 6.5.</b> Relación lineal entre la conductividad eléctrica y la suma de cationes.....	35
<b>Figura 6.6.</b> Relación lineal entre la conductividad eléctrica y la suma de aniones.....	36
<b>Figura 6.7.</b> Relación metales disueltos y metales totales .....	36
<b>Figura 6.8.</b> Diagrama de Piper de los puntos de muestreo evaluados.....	37
<b>Figura 6.9.</b> Diagrama de Stiff de los puntos de muestreo evaluados.....	38
<b>Figura 6.10.</b> Concentración de histórica de metales en el punto de muestre RMan-1: a) aluminio total, b) arsénico total , c) plomo total , d) cobre total, e) hierro total, f) manganeso total .....	40
<b>Figura 6.11.</b> Concentración de histórica de metales en el punto de muestre RMan-3: a) aluminio total, b) arsénico total , c) cobalto total , d) cobre total, e) hierro total, f) manganeso total .....	41
<b>Figura 6.12.</b> Concentración de histórica de metales en el punto de muestre RMan-4: a) aluminio total, b) arsénico total , c) cobalto total , d) cobre total, e) hierro total, f) manganeso total .....	42
<b>Figura 6.13.</b> Concentración de histórica de cobalto total en el punto RMan-1 .....	43
<b>Figura 6.14.</b> Concentración de histórica de cobalto total en el punto RMan-3.....	43
<b>Figura 6.15.</b> Concentración de histórica de cobalto total en el punto RMan-4.....	43
<b>Figura 6.16.</b> Metales totales de los elementos mayores de las muestras de sedimentos.....	45
<b>Figura 6.17.</b> Metales totales de los elementos menores de las muestras extraídas de sedimentos .....	45
<b>Figura 6.18.</b> Metales totales de los elementos trazas de las muestras extraídas de sedimentos .....	46
<b>Figura 6.19.</b> variación de la concentración de arsénico total en los puntos de muestreo evaluados .....	47
<b>Figura 6.20.</b> variación de la concentración de cromo total en los puntos de muestreo evaluados .....	47
<b>Figura 6.21.</b> Concentración en porcentaje de materia orgánica las muestras extraídas de sedimentos .....	48
<b>Figura 6.22.</b> Concentración en porcentaje de materia orgánica las muestras extraídas de sedimentos .....	49
<b>Figura 6.23.</b> Análisis de curva granulométrica de las muestras extraídas de sedimentos.....	49
<b>Figura 6.24.</b> Análisis de coordenadas principales.....	51
<b>Figura 6.25.</b> Distribución porcentual de la composición de morfoespecies por Phylum....	52
<b>Figura 6.26.</b> Riqueza por Phylum de fitoperifiton en cada punto.....	53



<b>Figura 6.27.</b> Abundancia por Phylum de fitoperifiton en cada punto de muestreo .....	55
<b>Figura 6.28.</b> Índices de diversidad de fitoperifiton .....	56
<b>Figura 6.29.</b> Escalamiento multidimensional no métrico .....	57
<b>Figura 6.30.</b> Distribución porcentual de la composición de especies por Phylum .....	60
<b>Figura 6.31.</b> Composición de riqueza de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo en río Mantaro .....	62
<b>Figura 6.32.</b> Composición de riqueza de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo de quebradas .....	63
<b>Figura 6.33.</b> Abundancia por taxon de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo del río Mantaro .....	65
<b>Figura 6.34.</b> Abundancia por taxon de macroinvertebrados bentónicos en punto de muestreo de quebradas .....	66
<b>Figura 6.35.</b> Índice de diversidad para macroinvertebrados bentónicos .....	68
<b>Figura 6.36.</b> Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos .....	69
<b>Figura 6.37.</b> Gráficos de dispersión para las correlaciones de Spearman superior a 0,7 ..	71
<b>Figura 7.1.</b> Parámetros que excedieron los ECA para Agua 2017 antes, durante y posterior a la purga de sedimentos del embalse de la C.H. Cerro del Águila .....	74
<b>Figura 7.2.</b> Concentraciones históricas de metales (2015-2020) reportadas por el administrado y lo registrado durante la purga de sedimentos (AP: antes de la purga, DP1: 24 horas de iniciada purga , DP2: 48 horas de iniciada la purga, PP: posterior a la purga) en los puntos de muestreo RMan-1, RMan-3 y RMan-4. a) aluminio total, b) arsénico total , c) cobre total, d) hierro total, e) manganeso total, d) plomo total .....	76
<b>Figura 7.3.</b> Concentración de sólidos suspendidos totales antes (AP), durante (DP) y posterior a la purga (PP) de sedimentos. ....	77
<b>Figura 7.4.</b> Análisis de correlación de Pearson (r) de los parámetros antes (AP), durante (DP) y posterior a la purga (PP) de sedimentos. ....	78
<b>Figura 7.5.</b> Análisis de correspondencia (AC) de los parámetros de los puntos de muestreo .....	78
<b>Figura 7.6.</b> Dendograma estratigráfico de los puntos de muestreo con el algoritmo UPGMA (promedio por grupos). Criterio de similitud: correlación de Pearson. (AP: antes de la purga, DP1: 24 horas de iniciada purga , DP2: 48 horas de iniciada la purga, PP: posterior a la purga). ....	79
<b>Figura 7.7.</b> Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) en los dos primeros ejes o coordenadas para los puntos de muestreo. Índice de similitud: Correlación de Pearson ..	80
<b>Figura 7.8.</b> Biplot del Análisis de correspondencia (AC) para los parámetros y puntos de muestreo antes, durante y después de la purga de sedimentos .....	81
<b>Figura 7.9. a)</b> concentraciones de arsénico, <b>b)</b> concentraciones de cobre, desde el año 2019 a 2021 .....	83
<b>Figura 7.10.</b> Hidrograma de caudales en el tramo de caudal reducido del río Mantaro (aguas debajo de la presa) antes de la purga (AP), 24 horas de iniciada la purga (DP1), 48 horas después de iniciada la purga (DP2) y 14 días posterior al finalizar la purga de sedimentos (PP). ....	84
<b>Figura 7.11.</b> Serie histórica de abundancia de macroinvertebrados bentónicos durante la época de lluvias (AE: aguas arriba del embalse, E: embalse, DEa: 1 km después de la represa, DEb: 10 km después de la represa, DEc: 24 km después de la represa) .....	86
<b>Figura 7.12.</b> Efecto de la acumulación de sedimentos y respuesta de los macroinvertebrados bentónicos durante la purga de sedimentos. a) antes de la purga b) primer pulso de sedimentos c) acumulación de sedimentos d) reducción de hábitat .....	87



**Figura 7.13.** Valores de  $\sqrt{\text{abundancia}}$  por orden de macroinvertebrados bentónicos para las estaciones de monitoreo H-12 H-8 y H-7 de los años 2013, 2014, 2015 y 2019..... 88

**Figura 7.14.** Ubicación de vertimientos y puntos de control autorizados por la ANA y monitoreados por el OEFA en marzo 2021 ..... 91

**Figura 7.15.** Concentración de sólidos totales suspendidos en el vertimiento no autorizado EFLU-04 ..... 92

**Figura 7.16.** Punto de vertimiento identificado en la quebrada Huayrapata. a) ficha técnica reportada en el primer trimestre del año 2020 por el administrado b) y c) monitoreo por OEFA en marzo 2021..... 92

**Figura 7.17.** Concentración de sólidos totales suspendidos desde el 2016 al 2021 reportados por el administrado como EF-01 y por OEFA como EFLU-4 ..... 93

**Figura 7.18.** Caudal registrado en el vertimiento reportado como EF-01 desde el 2016 y en el EFLU-4 ..... 93

**Figura 7.19.** Fotografías mostrando las estaciones QHuay-1 (izquierda) y QHuay-2 (derecha) ..... 95

**Figura 7.20.** Presencia de dípteros hematófagos ..... 96

**Figura 7.21.** Reporte histórico de valores de a) coliformes termotolerantes b) Escherichia coli ..... 98

**Figura 7.22.** Puntos de muestreo evaluados para el informe de estado trófico del embalse de la C.H. Cerro del Águila realizado por el administrado. .... 99

**Figura 7.23.** Régimen hidrológico del caudal en el río Mantaro aguas arriba del embalse de la C.H. Cerro del Águila. .... 102





## LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

### Sigla

AC: Correspondencia Canónica

ANA: Autoridad Nacional del Agua

APHA: American Public Health Association

ASTM: American Society for Testing and Materials

AWWA: American Water Works Association

CE: Conductividad eléctrica

DEAM: Dirección de Evaluación Ambiental

EAC: Evaluación Ambiental de Causalidad

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

EPA: Environmental Protection Agency

EMNM: Escalamiento multidimensional no métrico

IGA: Instrumento de Gestión Ambiental

INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

ITS: Informe Técnico Sustentatorio

NMDS: Escalamiento multidimensional no métrico

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

OD: Oxígeno Disuelto

pH: Potencial de hidrógeno

STEC: Subdirección Técnica Científica

SST: Sólidos Suspendidos Totales

STD: Sólidos Totales Disueltos

SVAP: Stream Visual Assessment Protocol (Protocolo de valoración visual de quebradas)

UTM: Universal Transverse Mercator (Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator)

WGS 84: World Geodetic System 1984



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica  
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

### **Acrónimo**

ECA-Agua: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua

MINAM: Ministerio del Ambiente

Midagri: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

Sinada: Servicio de información Nacional de Denuncias Ambientales

Permanova: Permutational multivariate analysis of variance (Análisis multivariante de permutación de la varianza)

Senamhi: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la Evaluación ambiental de causalidad (en adelante, EAC<sup>1</sup>) realizada durante el 2021 en el área de influencia de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila (en adelante, C.H. Cerro del Águila) de la empresa Kallpa Generación S.A., cuya finalidad fue evaluar el riesgo hídrico del río Mantaro relacionado a las actividades de operación de la C.H. Cerro del Águila.

La C.H. Cerro del Águila se ubica en la provincia Tayacaja, en el departamento Huancavelica, su área de influencia<sup>2</sup> directa comprende a las comunidades campesinas del distrito Surcubamba (Jatuspata, Limonal, Platanal y Uyarico); y del distrito Colcabamba (Suyloc, Quintao, Durasnuyoc, Andaymarca, Capcas y Llocce Hantaccero); y el área de influencia indirecta comprende además las comunidades de Tacana en el distrito de Salcabamba y Picchiu del distrito Colcabamba. Hidrográficamente, la C.H. Cerro del Águila se encuentra ubicada en la cuenca baja del río Mantaro a una altitud de 1560 m s.n.m.

Según su EIA<sup>2</sup> la C.H. Cerro del Águila dentro de sus principales componentes cuenta con una presa convencional de gravedad de 76 m de altura y 290 m de largo, el agua embalsada con un nivel máximo de operación de 1558 m s.n.m ingresa a un túnel de conducción de aproximadamente 6 km de longitud hasta llegar a la casa de máquinas donde se encuentra 3 turbinas para generar una potencia instalada de 513 MW con un caudal nominal de 210,5 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, las aguas que se descarga al pie de la presa para el cumplimiento de caudal ecológico son aprovechados para la operación de una minicentral de 10 MW de capacidad instalada<sup>3</sup>.

El embalse de regulación de la C.H. Cerro del Águila constituye la acumulación de sumideros de sedimentos y nutrientes (Molina *et al.*, 2018). La acumulación de los sedimentos genera problemas en cuanto a la capacidad de diseño del embalse, por lo cual, la hidroeléctrica realiza el mantenimiento mediante su purgado para mantener la capacidad hídrica útil del embalse. Sin embargo, la descarga de grandes volúmenes de agua con altos contenidos de sedimentos (suspendido y de fondo) podría alterar la calidad fisicoquímica del agua del cuerpo receptor, así como las características del ecosistema acuático.

Mediante Memorando N.º 00160-2020-OEFA/DSEM y ratificado mediante Memorando N.º 00112-2021-OEFA/DSEM la Dirección de Supervisión Ambiental solicitó la priorización de la Evaluación de causalidad del riesgo hídrico por operación de la C.H. Cerro del Águila a fin de verificar la eficacia de los compromisos ambientales asumidos en los instrumentos de gestión ambiental del administrado; y adicionalmente, determinar si existe relación entre el embalse Cerro del Águila y la presencia de dípteros hematófagos<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> De acuerdo al Artículo 24 del Reglamento de Evaluación del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA, aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N.º 013-2020-OEFA/CD, el cual establece que:

«La Evaluación Ambiental de Causalidad (EAC) se realiza mediante acciones técnicas, con la finalidad de establecer la relación causa-efecto entre la alteración de la calidad ambiental y las actividades sujetas a fiscalización ambiental. Se desarrolla a partir de la identificación de un indicio o evidencia de impacto ambiental negativo».

<sup>2</sup> Estudio de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 274-2010-MEM/AAE el 4 de agosto de 2010.

<sup>3</sup> Informe Técnico Sustentatorio para el Proyecto «Instalación de una Minicentral Hidroeléctrica en el Canal de Descarga de Caudal Ecológico y una Nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el campamento Limonal», aprobado mediante Resolución Directoral N.º 273- 2015-MEM/DGAAE.

<sup>4</sup> Denuncia ambiental por presunta afectación ambiental que se estaría generando como consecuencias de las actividades realizadas por la C.H. Cerro del Águila. Código de Sinada: SC-0615-2019 del 10 de junio 2019.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Con la finalidad de recabar información técnica para el desarrollo del estudio se realizaron trabajos de reconocimiento técnico ambiental del 5 al 10 de febrero de 2020<sup>5</sup> y una Supervisión en el marco de una EAC del 20 al 24 de marzo de 2021 (Acta de Supervisión 0024-2021-DSEM-CELE), donde se realizó monitoreo de agua superficial, agua residual doméstica, sedimentos, comunidades hidrobiológicas y dípteros hematófagos<sup>6</sup>.

Es importante mencionar que todas las actividades programadas en el estudio de acuerdo al informe de Plan de evaluación ambiental de causalidad N.º 00011-2021-OEFA-DEAM-STEC fueron realizadas dentro del marco de la función evaluadora del OEFA y el presente informe de evaluación ambiental constituirá un soporte técnico por parte de la Dirección de Evaluación Ambiental – DEAM del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA para una efectiva, oportuna supervisión y fiscalización ambiental posterior.

El estudio consideró también el análisis del registro histórico de los monitoreos realizados por el administrado, el OEFA y otras entidades respecto a la calidad de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas.

## 2. ANTECEDENTES

Para entender el contexto de los resultados de agua, sedimento, comunidades hidrobiológicas y dípteros hematófagos evaluados en el río Mantaro y afluentes dentro del área de influencia de la C.H. Cerro del Águila se realizó la recopilación, revisión, análisis y síntesis de la información ambiental existente. A continuación, se describe el resumen de la información y datos referente a las diversas fuentes de consulta de las entidades públicas y privadas.

La C.H. Cerro del Águila cuenta con 5 instrumentos de gestión ambiental (IGA) aprobados desde el 2010 por el Ministerio de Energía y Minas (Minem) dentro de los cuales se encuentra el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto «Central Hidroeléctrica Cerro del Águila» (en adelante, EIA)<sup>7</sup> y su modificatoria<sup>8</sup> «Modificación de los Componentes de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila» (en adelante EIA modificado) donde se replanteó la ubicación y dimensiones de las principales estructuras, tales como presa, túnel de conducción, túnel de casa de máquinas, túnel de descarga entre otros componentes. Posterior a ello el Minem otorgo conformidad a los Informes Técnicos Sustentatorio para la «Modificación de los Componentes Auxiliares» a fin de incluir nuevas instalaciones auxiliares durante la etapa constructiva<sup>9</sup>; «Instalación de una Mini Central Hidroeléctrica en el Canal de Descarga del Caudal Ecológico y una Nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el Campamento Limonal» para aprovechar la descarga de agua de caudal ecológico<sup>10</sup> y;

<sup>5</sup> Ejecución postergada durante el 2020 debido a la declaratoria de emergencia mediante el Decreto Supremo N.º 044-2020 «Decreto Supremo que declara Estado de Emergencia Nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19» del 15 de marzo de 2020, en donde se declara el Estado de Emergencia Nacional por el plazo de quince (15) días calendario, y dispóngase el aislamiento social obligatorio (cuarentena), por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19.

<sup>6</sup> Los resultados de dípteros hematófagos fueron obtenidos a partir de la matriz de comunidades hidrobiológicas (macroinvertebrados bentónicos).

<sup>7</sup> Aprobado mediante Resolución Directoral N.º 274-2010-MEM/AAE, el 04 de agosto del 2010 por la Dirección de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) a favor de Kallpa Generación S.A.

<sup>8</sup> Aprobada mediante Resolución Directoral N.º 049-2013-MEM/AAE, del 21 de febrero del 2013 por la Dirección de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Minem.

<sup>9</sup> Conformidad mediante Oficio N.º 278-2014-MEM/DGAAE, del 18 de febrero del 2014 por la Dirección de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Minem.

<sup>10</sup> Conformidad mediante Resolución Directoral N.º 335-2014-MEM/DGAAE, del 18 de febrero del 2014 por la Dirección de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Minem.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

«Ampliación de Componentes Auxiliares Temporales del Proyecto de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila» durante su etapa de construcción<sup>11</sup>.

De acuerdo a la información del EIA de la C.H. Cerro del Águila, el río Mantaro registró antes del inicio de operaciones concentraciones de aluminio, hierro y manganeso que excedían la normativa de comparación correspondiente a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua aprobado mediante Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM (en adelante, ECA para Agua 2008).

El Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (Sinada) registró el 10 de junio de 2019 mediante Código N° SC-0615-2019, la denuncia por una supuesta proliferación de moscas que afectan a las comunidades de los distritos de Andaymarca, Colcabamba y Suncubamba, como consecuencia del manejo del embalse de la C.H. Cerro del Águila.

En atención a dicha denuncia la Dirección de Supervisión Ambiental (en adelante, DSEM) efectuó una acción de supervisión especial el 27 y 28 de agosto de 2019 a la C.H. Cerro del Águila, los resultados de dicha supervisión fueron analizados en el informe de supervisión N° 00152-2020-OEFA/DSEM-CELE donde se detectaron 5 hechos con 4 recomendaciones de aplicación de Proceso Administrativo Sancionador (PAS), uno de ellos concluye que el administrado no habría implementado acciones preventivas y de manejo de agua así como prevenir impactos ambientales negativos sobre el cuerpo de agua durante su operación del embalse, habiéndose registrado concentraciones de aluminio, hierro, manganeso, plomo y arsénico que excedieron los ECA para Agua 2008<sup>12</sup> en la categoría 3 durante el proceso de limpieza del embalse.

Por su parte, la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (Digesa) realizó una asistencia técnica entre los días 28 al 30 de octubre de 2020 para abordar la problemática de proliferación de mosquitos en el distrito de Andaymarca - Huancavelica. Los resultados de las muestras colectadas en el embalse del río Mantaro, represa y principales quebradas fueron presentados en el informe N° 2396-2020/DCOVI/DIGESA donde se precisa que la mayor cantidad de larvas de dípteros hematófagos (en este caso Simuliidae) fueron identificados en la quebrada Pinchi y Durasnuyoc.

Por otro lado, DSEM realizó un supervisión especial del 28 de febrero al 3 de marzo de 2021 a la C.H. Cerro del Águila donde realizó el muestreo antes (28 febrero) y durante la purga de sedimentos (01 y 02 de marzo).

<sup>11</sup> Conformidad mediante Resolución Directoral N° 273-2015-MEM/DGAAE, del 31 de agosto del 2015 por la Dirección de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Minem.

<sup>12</sup> Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, del 30 de julio de 2008. Río Mantaro, clasificado en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, que aprueba la Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales y marino – costeros.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Evaluar el riesgo hídrico del río Mantaro relacionado a las actividades de operación de la C.H. Cerro del Águila.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el río Mantaro y quebrada Huayrapata asociados a la descarga de agua residual doméstica tratada proveniente de los campamentos y operación de la C.H. Cerro del Águila.
- Determinar la relación entre el embalse de la C.H. Cerro del Águila y la presencia de dípteros hematófagos en los centros poblados dentro del área de influencia de la Central Hidroeléctrica

### 4. ÁREA DE ESTUDIO

La C.H. Cerro del Águila se ubica en la provincia Tayacaja, en el departamento Huancavelica, su área de influencia<sup>13</sup> directa comprende a las comunidades campesinas del distrito Surcubamba (Jatuspata, Limonal, Platanal y Uyarico); y del distrito Colcabamba (Suylloc, Quintao, Durasnuyoc, Andaymarca, Capcas y Llocce Hantaccero); y el área de influencia indirecta comprende además las comunidades de Tacana en el distrito de Salcabamba y Picchuu del distrito Colcabamba (Figura 4.1).

Hidrográficamente, la C.H. Cerro del Águila se encuentra ubicada sobre la margen derecha del río Mantaro, a una altitud de 1560 m s.n.m. Tal como se aprecia en la Figura 4.2 el río Mantaro pertenece al sistema hidrográfico de la vertiente océano Atlántico, nace en la descarga del lago Junín a 4080 m s.n.m cerca al Nudo Orogénico de Cerro de Pasco y cuenta con 3 tramos bien definidos: Mantaro Superior, Mantaro Medio y Mantaro Inferior.

De acuerdo a la ANA (2021) el tramo Mantaro superior abarca desde el lago Junín y las principales lagunas que dan origen a los tributarios más importantes; el Mantaro medio inicia a 80 km aguas abajo del lago Junín donde se ubica el embalse Malpaso, dicho tramo que recorre aproximadamente 100 km, tiene por afluentes principales los ríos Yauli, Pachacayo y Cunas, en este tramo se ubican además el embalse Tablachaca y la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo (Mantaro); y el Mantaro inferior comprende desde el embalse de Tablachaca hasta la confluencia con el río Apurímac recorriendo 498 km; en este último tramo es donde se encuentra ubicado la C.H. Cerro del Águila.

El área de estudio donde se realizó el muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas abarco el tramo del río Mantaro desde la cola del embalse Cerro del Águila (altura del puente Millenium) hasta la descarga de aguas turbinadas; en dicho tramo se encuentran los componentes principales presa, túnel de aducción y casa de máquinas. Además, fue considerado las quebradas afluentes Durasnuyoc, Huayrapata y Pallca.

<sup>13</sup> Estudio de Impacto Ambiental de la central hidroeléctrica Cerro del Águila, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 274-2010-MEM/AAE el 4 de agosto de 2010.





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

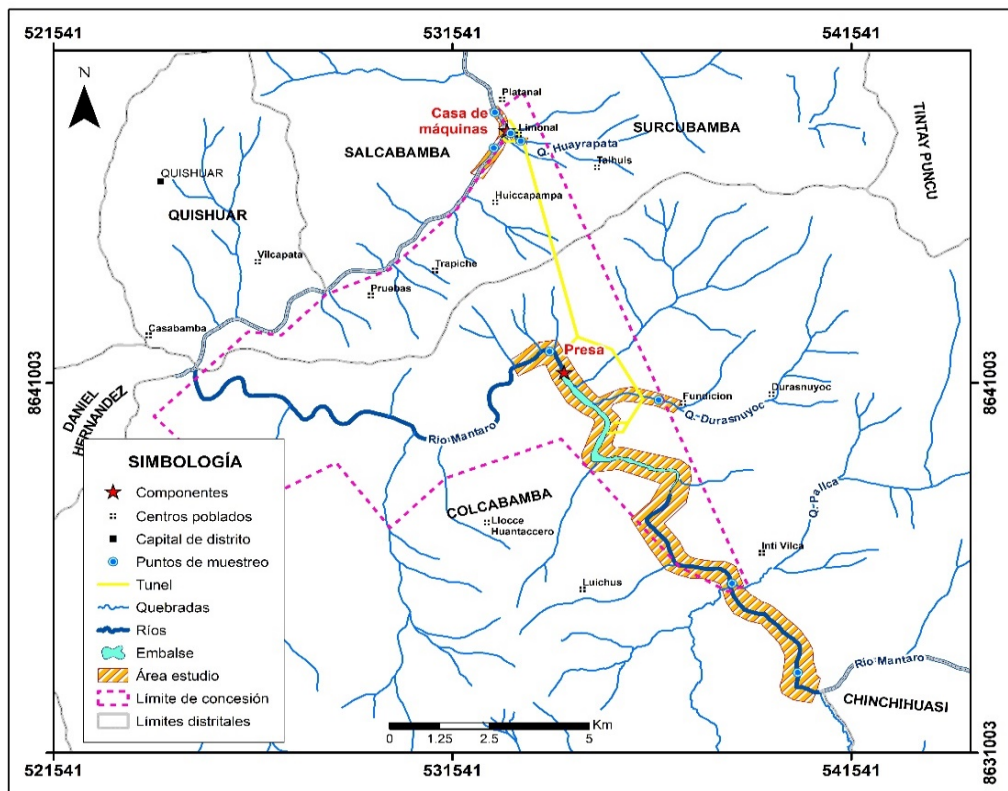


Figura 4.1. Área de estudio de la EAC Cerro del Águila

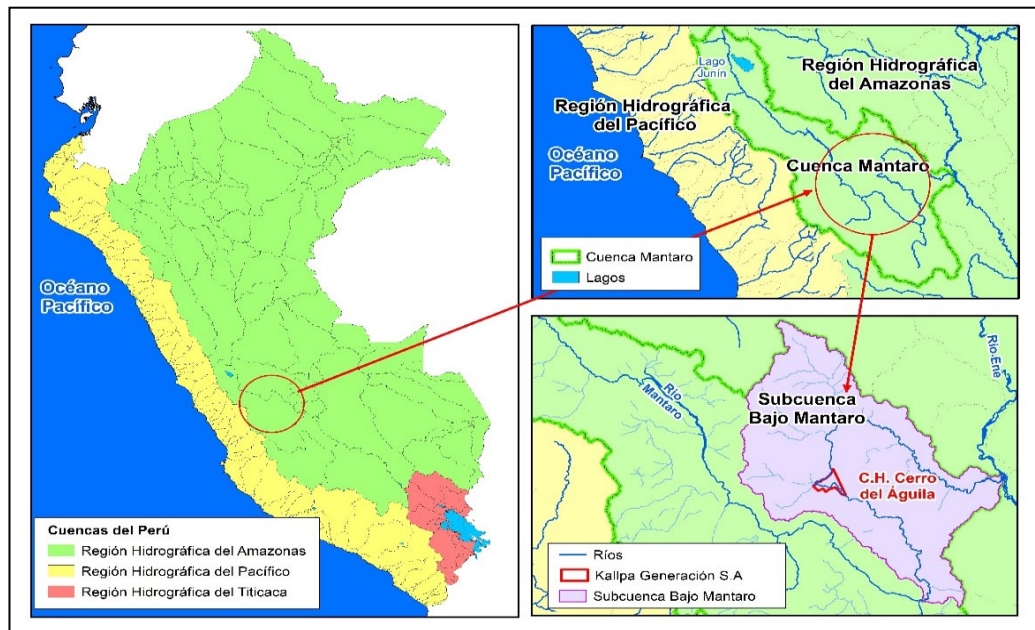
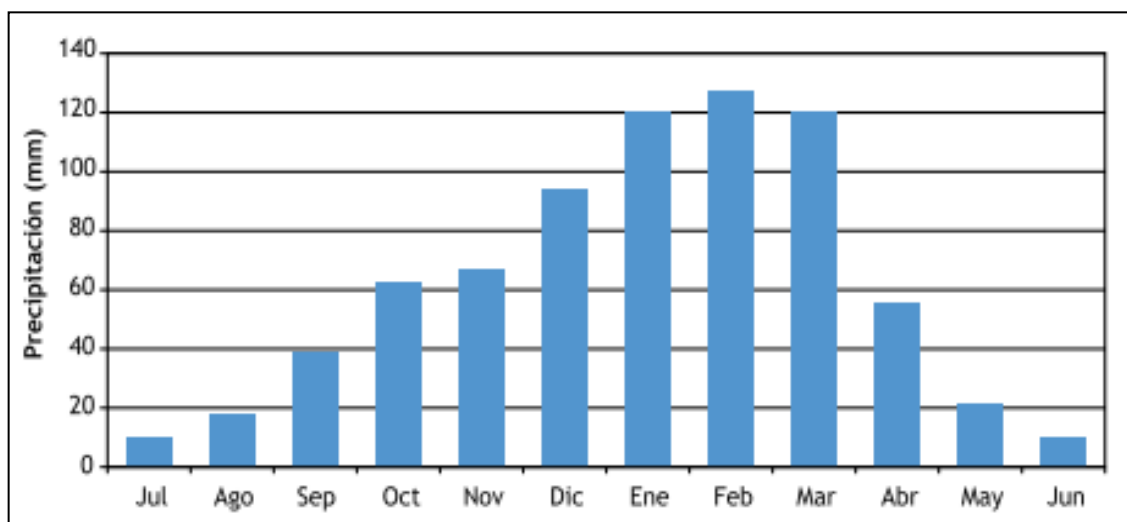


Figura 4.2. Ubicación hidrográfica de la C.H. Cerro del Águila

#### 4.1. Climatología e hidrología

Según la clasificación climática de Thorthwaite (Senamhi, 2020), la cuenca del río Mantaro presenta condiciones que varían desde clima semi-húmedo con déficit pequeño o ninguno de lluvias y excesos moderados en verano (C2rs') en gran parte de la cuenca, hasta condiciones muy húmedas, con déficit pequeño o ninguno y excesos grandes en verano (B4rs'2) en la parte noroccidental y centro-oriental de la cuenca. Por otro lado, la zona sur de la cuenca donde se encuentra ubicado C.H. Cerro del Águila se observan regímenes climáticos que varían de semi- seco con déficit pequeño o ninguno y poco o ningún exceso en verano (C1rd) a seco con déficit moderado en invierno y poco o ningún exceso en verano (Dwd).

Las precipitaciones en toda la cuenca del río Mantaro presentan un comportamiento estacional que comprende dos períodos: uno húmedo con máximo en los meses de verano entre enero, marzo y otro período de estiaje en donde las precipitaciones son mínimas junio y julio, dicho patrón se cumple en casi todas la estaciones de la cuenca (PROCLIM, 2005). En la Figura 4.3 se aprecia el hidrograma de precipitaciones promedio de la cuenca Mantaro.



**Figura 4.3.** Hidrograma de precipitaciones promedio mensual de 86 estaciones en la cuenca Mantaro (1960-2002)

Fuente: PROCLIM (2005, p25)

Respecto a las series históricas de caudales en el río Mantaro estas no pueden caracterizarse debido a que el régimen de caudal tanto el río principal y afluentes se encuentran altamente influenciados por las numerosas obras de regulación como embalses, trasvases y represamiento de lagunas. Dichas obras han alterado el régimen natural de los diferentes cuerpos de agua (PROCLIM, 2005).

De acuerdo a la ANA, (2019) la cuenca del río Mantaro se encuentra altamente represada teniendo en cuenta que proporciona alrededor del 30 % de electricidad al Perú y sirve como reserva de agua a la ciudad de Lima. En total al año 2015 se identificaron 229 represas y lagunas.

Dentro de las principales empresas que poseen concesión en la cuenca Mantaro se destaca a Electroperú S.A., Electroandes S.A., y Electrocentro S.A. y dentro de las principales



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

represas que han generado embalses artificiales en el mismo río Mantaro se destaca a las presas Malpaso y Tablachaca ubicadas en la parte alta y media de la cuenca respectivamente; posteriormente ubicándose la presa de la C.H. Cerro del Águila, cuya operación inició en el año 2016 y siendo a su vez la que se encuentra en la parte baja de la cuenca y más próxima a la confluencia con el río Ene, tal como se aprecia en la Figura 4.4.

Cabe indicar que Electroperú S.A. viene realizando obras de afianzamiento hídrico en dicha cuenca desde el año 1993, aproximadamente 25 años antes del inicio de operaciones de C.H. Cerro del Águila.

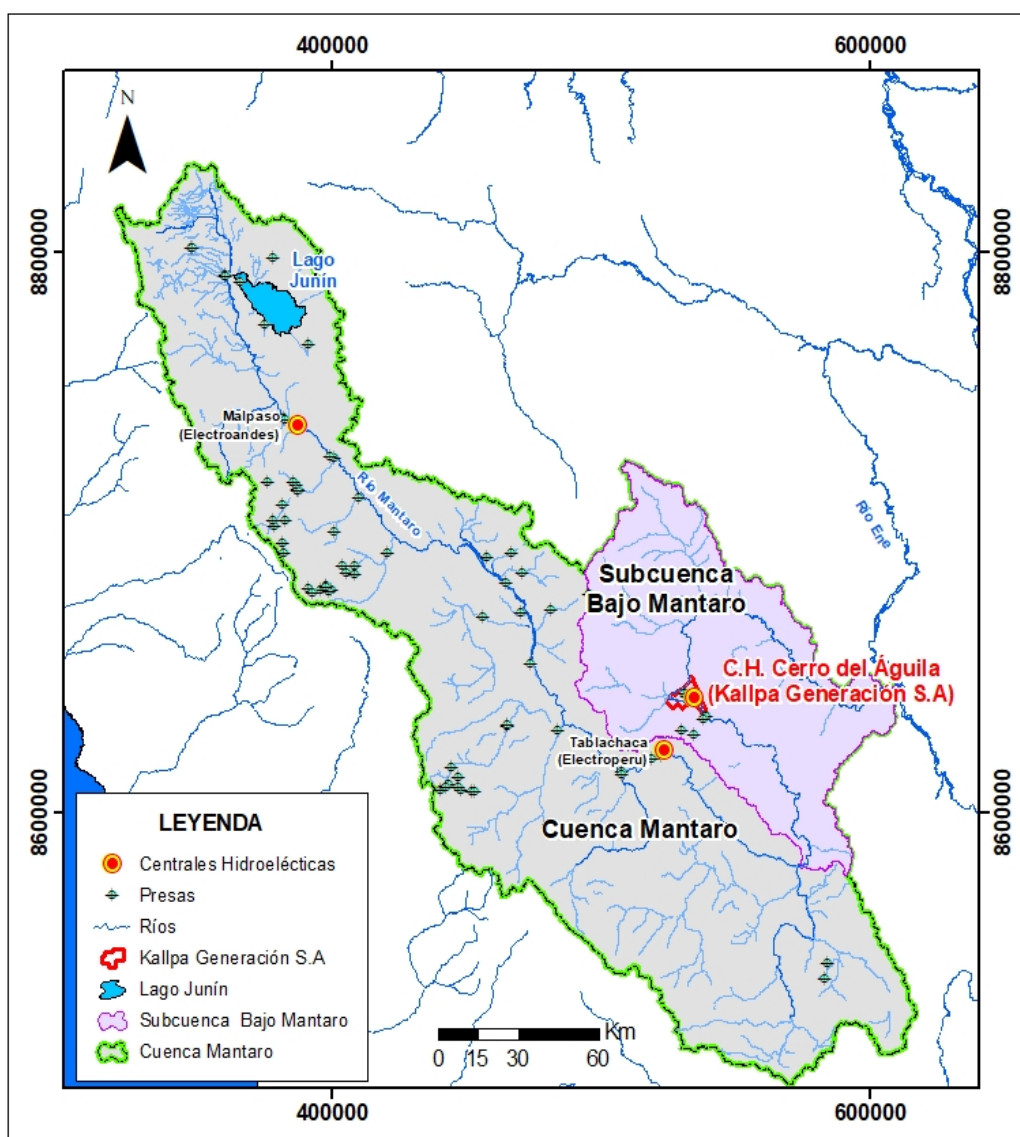


Figura 4.4. Principales presas en la cuenca del río Mantaro



## 4.2. Geología regional

La central hidroeléctrica Cerro Águila está ubicado en dos principales unidades morfológicas como la denominada zona Alto Andina o Montañosa de la cordillera Occidental Andina y la zona Meso Andina o faja longitudinal de la cordillera Occidental Andina; ambas geoformas tienen como recurso hídrico principal al río Mantaro cuya dirección de cauce en este tramo es sureste a noroeste con inflexiones bien definidas y con pendiente promedio de 6%. Los afloramientos rocosos presentes consisten en restos de las cadenas pre-cambrianas y paleozoicas, con rocas intrusivas de edades muy variadas (desde pre-mesozoicas a terciarias), y en su mayoría por rocas metamórficas y sedimentarias correspondientes al substrato paleozoico.

Las laderas que se encuentran muy erosionadas, presentan cumbres aisladas, algunas de ellas con alturas sobre los 5000 m s.n.m y morfología glacial, existiendo algunos nevados en proceso de desaparición. Dentro de esta unidad morfoestructural se encuentra la cuenca del río Mantaro como una subunidad morfológica (INGEMMET, 1964).

La línea de cumbres entre los cambios del curso del río Mantaro, localizados entre Yanarumi y Limonal, se le conoce como los Cerros Guitarra y del Águila, zona donde se ubica la C.H. Cerro del Águila. El fondo del valle presenta laderas subverticales entre las cotas 1300 a 1600 m s.n.m con predominio de afloramientos de rocas en las riberas del cauce del río y ausencia de depósitos fluvio-aluviales, así mismo, entre las cotas 1600 a 3000 m s.n.m las laderas presentan pendientes de 30° a 45° con afloramientos rocosos parcialmente cubiertos por depósitos coluviales. En el fundo Limonal los depósitos coluviales presentan espesores mayores de 50 m, productos de deslizamientos pleistocénicos, los cuales se encuentran fuertemente disectados por quebradas tributarias (Huamani, 2018).

## 4.3. Comunidades hidrobiológicas

El río Mantaro abarca diferentes zonas ecológicas desde un nivel regional, empezando en la zona altoandina donde nacen sus tributarios (Puna) y posteriormente pasando a la selva alta hasta llegar al río Ene. El área de influencia de la C.H. Cerro del Águila abarca quebradas y ríos de selva alta. Esta región tiene una diversidad ictiológica que varía de acuerdo a la altitud, con especies de menor tamaño por encima de los 1000 m s.n.m y especies de mayor tamaño (>1 m) por debajo de esta altitud (Minam, 2015) como *Prochilodus nigricans* (boquichico) o *Pseudoplatystoma punctifer* (doncella) tal como indica Ortega *et al.*, (2012). Las diferencias regionales están presentes también en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, mostrando disímiles ensamblajes a nivel altitudinal con influencias de las características propias de las zonas regionales como temperatura, pH y oxígeno disuelto (Villamarin *et al.*, 2013, 2020, 2021).

Según su EIA modificado<sup>14</sup> en el área de influencia se han registrado especies de bagres como *Ancistrus sp.* y *Astroblepus sp.*, y especies de mojarrita como *Ceratobranchia*

<sup>14</sup> Aprobado mediante resolución Directoral N.° 049-2013-MEM/AE.



*obtusirostris* y *Knodus sp.* Mientras que, entre los macroinvertebrados bentónicos que habitan la zona se encontraron especies de Megaloptera, Odonata, Trichoptera y Mollusca.

#### 4.4. Contexto social

Tayacaja es una de las 7 provincias que conforman el departamento de Huancavelica cuya capital es el distrito de Pampas el cual tiene una densidad poblacional de 99,75 hab/km<sup>2</sup>, dicha provincia cuenta con 16 distritos dentro de las cuales en los distritos de Surcubamba, Colcabamba y Andaymarca se ubica el área de concesión de la C.H. Cerro del águila.

El acceso a servicios básicos en estas zonas es limitado ya que Tayacaja tiene aproximadamente 38 % de la población sin agua, el 63% sin desagüe y 44 % sin electricidad (CEPES, 2016). Dentro de las actividades económicas en dicha zona predomina la agricultura, caza y silvicultura con un 64 %, seguido de actividades como el comercio, enseñanza, explotación de minas y canteras.

### 5. METODOLOGÍA

Para evaluar el posible riesgo hídrico en el río Mantaro relacionado a las actividades de operación de la C.H. Cerro del Águila previamente se identificaron los principales componentes de la operación, lo cual se realizó mediante la revisión de los IGA del administrado y el reconocimiento técnico de campo. Posteriormente se plantearon el muestreo de parámetros de agua superficial, agua residual doméstica tratada, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el río Mantaro y quebradas Durasnuyoc, Huayrapata y Pallca; dichos resultados fueron analizados con los resultados de los monitoreos realizados por el administrado y DSEM durante la purga de sedimentos. Adicionalmente, se consideraron puntos de muestreo hidrobiológico para identificar la presencia de dípteros hematófagos en los principales cuerpos de agua. En la Figura 5.1 se presenta el esquema conceptual de la C.H. Cerro del Águila, en la cual se aprecia la ubicación de puntos de muestreo, casa de máquinas, embalse y comunidades aledañas y en la Figura 5.2 se aprecia un esquema de la ubicación de los puntos de muestreo según la matriz ambiental evaluada durante la presente EAC (agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas<sup>15</sup>).

Los resultados fueron comparados de acuerdo con el IGA del administrado y normativas vigentes y referenciales de acuerdo a los componente ambientales evaluados de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas. Para el análisis se consideró información histórica del administrado contenidos en su IGA, reportes trimestrales (2013-2021), así como la remitida por el administrado durante las acciones de supervisión de la EAC (estudio de aprovechamiento hídrico; informe de identificación, evaluación y análisis de población de dípteros y su relación con el embalse de la Central Cerro del Águila; informe técnico del estado trófico del embalse de la central hidroeléctrica Cerro del Águila). Asimismo, se consideró informes del OEFA, la ANA y la Digesa.

<sup>15</sup> Los resultados de dípteros hematófagos fueron obtenidos a partir de la matriz de comunidades hidrobiológicas (macroinvertebrados bentónicos).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

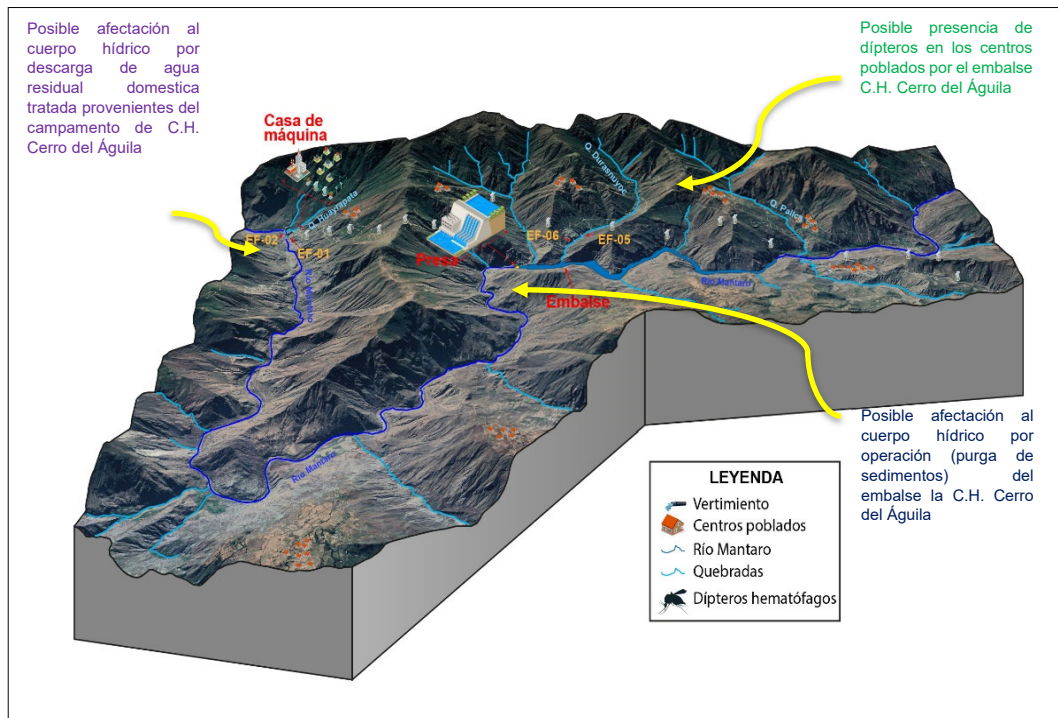


Figura 5.1. Esquema conceptual de la C.H. Cerro del Águila

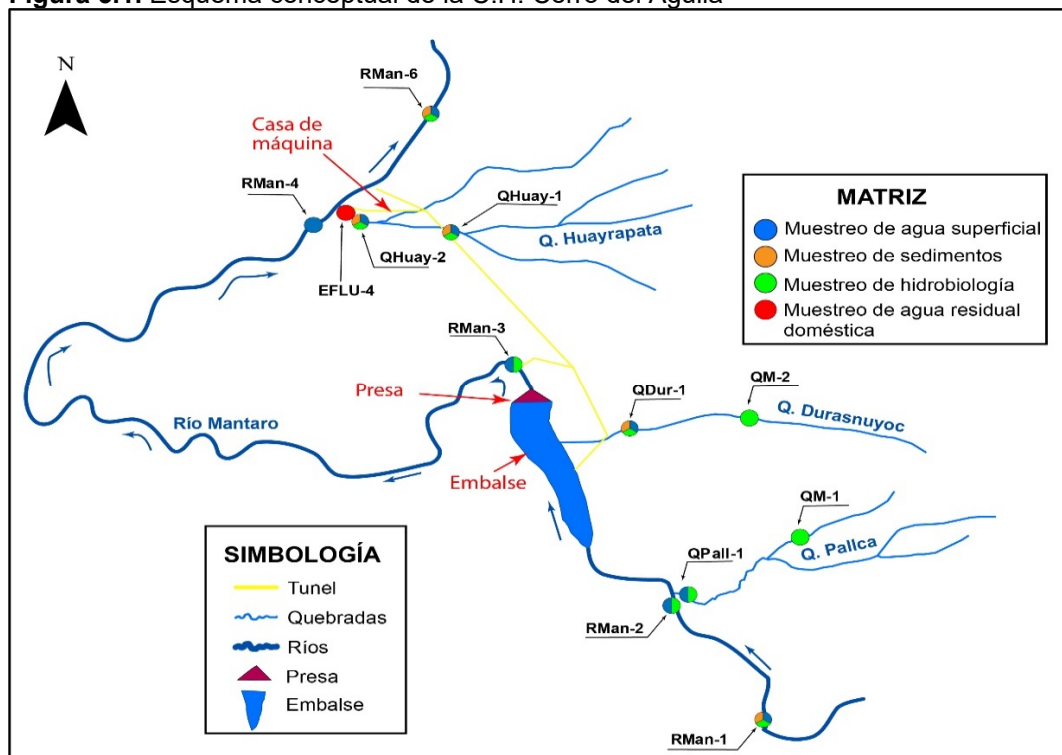


Figura 5.2. Distribución de los puntos de muestreo en el área de estudio de la EAC Cerro del Águila



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Respecto a la evaluación de dípteros hematófagos y su relación con el embalse, la autoridad competente en materia Digesa emitió un informe N° 2396-2020/DCOVI/DIGESA, cuya remisión fue en marzo 2021, posterior a la aprobación del Plan de evaluación. Dicho informe presenta resultados de la asistencia técnica para abordar la problemática por la proliferación de mosquitos en el distrito de Andaymarca-Huancavelica realizado en octubre 2020, el cual conto con la participación de representantes de las comunidades, administrado, Ministerio del Ambiente (Minam), Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), Ministerio de Salud con representantes de la Oficina General de Gestión Descentralizada (OGDESC) de la Dirección de Salud Ambiental e inocuidad Alimentaria (Digesa) e Instituto Nacional de Salud. Razón por la cual, en la presente EAC solo se realizó un muestreo complementario para evaluar la presencia de dípteros hematófagos en los principales cuerpos de agua aledaños al embalse, considerados dentro de la matriz ambiental de comunidades hidrobiológicas.

Cabe resaltar que durante las actividades de campo se tuvieron algunas limitantes en la EAC debido a que no se tuvo acceso a varios puntos de muestreo (pendiente pronunciada, vegetación abundante, desprendimiento de rocas y elevado caudal), los puntos de muestreo que no fueron muestreados: RMan-5 (M-3 código del administrado), EFLU-03 (EF-01 código del administrado), QDur-2 (M-1 código del administrado), EF-06 y QDur-3 (MAG-3 código del administrado). Esta dificultad fue sumada a no contar con el acompañamiento del administrado a los puntos de muestreo como medidas adoptadas por el incremento de contagios del COVID-19 durante el mes de marzo 2021, por lo cual tampoco se pudo acceder al embalse ya que debía realizarse con acompañamiento del administrado (Acta de Supervisión 0024-2021-DSEM-CELE).

### 5.1. Objetivo específico 1: Evaluar la calidad de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el río Mantaro y quebradas Huayrapata asociados a la descarga de agua residual tratada proveniente de los campamentos y operación de la C.H. Cerro del Águila.

A continuación, se describe la metodología considerada para evaluar la calidad de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas del río Mantaro y quebradas, así como el agua residual doméstica tratada.

#### 5.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

Las referencias para el muestreo de agua superficial, agua residual doméstica tratada, sedimentos y comunidades hidrobiológicas se detallan en la Tabla 5.1

**Tabla 5.1.** Referencias para el muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

Nombre	Sección	Dispositivo legal	Entidad	País
Agua superficial				
Protocolo Nacional para el monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales	5.1, 5.3, 5.4 y 6	Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Perú
Agua residual domestica tratada				
Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes de las plantas de tratamiento de Agua Residual doméstica o municipales	6	Resolución Ministerial N.° 273-2013-VIVIENDA	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento	Perú
Sedimentos				





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Nombre	Sección	Dispositivo legal	Entidad	País
Manual técnico Métodos para colección, almacenamiento y manipulación de sedimento para análisis químicos y toxicológicos de la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos ( <i>Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual, 2001</i> )	4	-	Agencia de Protección Ambiental	Estados Unidos
Procedimiento de Operación Estándar – <i>Standard Operating Procedure (SOP)</i> . #EH-02, Muestreo de Sedimento, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, adaptado del ERT/EAC SOP # 2016	11	-	EPA	
<b>Comunidades hidrobiológicas</b>				
Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados bentónicos) y necton (peces) en aguas continentales del Perú (UNMSM, 2014)	4 y 5	-	Ministerio del Ambiente (Minam)	Perú
<i>Stream Visual Assessment Protocol</i>	<i>Scoring descriptions</i>	-	USDA	Estados Unidos

### 5.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas fueron establecidos tomando de referencia el programa de monitoreo del Plan de Manejo Ambiental del EIA modificado<sup>16</sup> del administrado. En la Tabla 5.2 se presenta el esquema de distribución de puntos de muestreo, mayor detalle en el Anexo 2 (mapa de ubicación de puntos de muestreo).

**Tabla 5.2.** Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas

N°	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	Descripción
			Fecha	Hora	Norte (m)	Este (m)					
1	Río Mantaro	RMan-1	21/03/2021	14:05	8633173	540199	1605	X	X	X	Ubicado en el río Mantaro, aproximadamente a 500 m aguas arriba del Puente Millenium
2	Río Mantaro	RMan-2	22/03/2021	09:05	8635578	538542	1579	X	-	X	Ubicado en el río Mantaro, aproximadam

<sup>16</sup> Aprobado mediante resolución Directoral N° 049-2013-MEM/AEE, se determinan la ubicación de puntos definitivos de monitoreo de la calidad de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

N°	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	Descripción
			Fecha	Hora	Norte (m)	Este (m)					
											ente a 30 m antes de la confluencia con la quebrada Pallca
3	Río Mantaro	RMan-3	22/03/2021	14:50	8641855	533977	1515	X	-	X	Ubicado en el río Mantaro, aproximadamente a 600 m aguas abajo del embalse de la C.H. Cerro del Águila
4	Río Mantaro	RMan-4	20/03/2021	08:15	8647360	532580	1309	X	-	-	Ubicado en el río Mantaro, aproximadamente a 40 m aguas abajo del puente de ingreso a casa de máquinas
5	Río Mantaro	RMan-6	20/03/2021	09:50	8648318	532608	1294	X	X	X	Ubicado en el río Mantaro, aproximadamente a 40 m aguas arriba de la descarga de aguas turbinadas
6	Quebrada Huayrapata	QHuy-1	20/03/2021	12:15	8647546	533255	1496	X	X	X	Ubicado en la quebrada Huayrapata*, aproximadamente a 500 m aguas arriba del vertimiento EFLU-4
7	Quebrada Huayrapata	QHuy-2	20/03/2021	13:40	8647757	533006	1366	X	X	X	Ubicado en la quebrada Huayrapata*, aproximadamente a 120 m aguas arriba del vertimiento EFLU-4
8	Quebrada Pallca	QPall-1	22/03/2021	09:45	8635585	538553	1575	X	-	X	Ubicado en la quebrada Pallca, aproximadamente a 20 m aguas arriba de la confluencia con el río Mantaro
9	Quebrada Durasnuyoc	QDur-1	23/03/2021	10:45	8640542	536713	1878	X	X	X	Quebrada Durasnuyoc, aproximadamente a 900 m aguas arriba del

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

N°	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	Descripción
			Fecha	Hora	Norte (m)	Este (m)					
											vertimiento EF-06
10	Quebrada Pallca	QM-1	22/03/2021	11:50	8637135	540425	2096	-	-	X	Ubicado en la quebrada Pallca, aproximadamente a 25 m de la vía principal
11	Quebrada Durasnuyoc	QM-2	22/03/2021	12:25	8640232	538930	2335	-	-	X	Quebrada Durasnuyoc, aproximadamente a 20 m de la vía principal

## Notas:

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

Al código del punto de muestreo señalado para las muestras de sedimento se añadió el prefijo SED. Para el caso de las muestras de comunidades hidrobiológicas se mantiene el mismo código del punto.

La quebrada Huayrapata o Huayrapa, para el presente informe se estandariza a Huayrapata.

Equivalencia de códigos de OEFA con los del administrado: RMan-1 (MAG-01), RMan-2 (MAG-13), QDur-1 (MAG-02), RMan-3 (MAG-07), QHuay-1 (MAG-09), QHuay-2 (MAG-10), RMan-4 (MAG-08), RMan-6 (MAG-15).

**Tabla 5.3.** Ubicación de punto de muestreo de agua residual doméstica tratada

N°	Código del punto de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Matriz	Descripción
		Norte (m)	Este (m)			
1	EFLU-4	8647759	532900	1524	ARD	Punto de vertimiento ubicado aproximadamente 120 m aguas abajo del punto QHuay-2 y aproximadamente a 500 m aguas abajo del punto QHuay-1

## Notas:

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

**5.1.3. Parámetros y métodos de análisis**

Se consideraron los parámetros incluidos en la Tabla 5.4, los cuales fueron seleccionados en referencia a la actividad desarrollada por el administrado, programa de monitoreo de su EIA y parámetros para establecer relaciones hidroquímicas.

En todos los puntos de muestreo de agua, se analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD). Adicionalmente, se colectaron datos para el cálculo de caudal en el punto de descarga de agua residual doméstica tratada.

**Tabla 5.4.** Parámetros y métodos de análisis de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
Agua superficial	Cloruros	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía Iónica
	Fluoruros	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía Iónica
	Sulfatos	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía Iónica
	Sólidos suspendidos totales	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
	Sólidos Totales Disueltos	SMEWW 2540 C. 23rd Ed. 2017	Gravimetría





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
	Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espect ICP-MS
	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espect ICP-MS
	Bicarbonatos	SMEWW 2320 B, 23rd Ed.2017	Volumetría
	Carbonatos	SMEWW 2320 B, 23rd Ed.2017	volumetría
	Demanda química de oxígeno	SMEWW 52200. 23rd Ed.2017	Espect UV-VIS
	Aceites y grasas	PP-226 (BASED ASTM D7066-04) Rev.1 2017	Espect FTIR
Agua residual domestica	Sólidos suspendidos totales	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
	Sólidos Totales Disueltos	SMEWW 2540 C. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
	Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espect ICP-MS
	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espect ICP-MS
	Demanda química de oxígeno	SMEWW 52200. 23rd Ed.2017	Espect UV-VIS
	Aceites y grasas	PP-226 (BASED ASTM D7066-04) Rev.1 2017	Espect FTIR
Sedimento	Materia orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SERMANAT-2000; Item 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado) 2017.	ES_NOM21_AS07_MO_TOC
	Metales totales	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	Espect ICP-MS
	Análisis granulométrico	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	Particle - Size Analysis of Soils
Comunidades hidrobiológicas	Perifiton	SMEWW 10300 C (partes 1 y 2) SMEWW 10900	Organismos/cm <sup>2</sup>
	Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW 10500 C (parte 2) SMEWW 10900	Organismos/muestra

\*Validado (VAL) para bismuto, boro, calcio, cerio, estaño, estroncio, fósforo, hierro, litio, magnesio, potasio, sodio, titanio y wolframio.

Fuente: Informes de Ensayo de Laboratorio de AGQ Perú S.A.C., ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C. y OEFA (Anexo 4)

#### 5.1.4. Equipamiento y materiales utilizados

Los equipos y materiales utilizados para el muestreo de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas, que comprende la medición de parámetros *in situ*, los certificados de calibración y el posicionamiento de los puntos de muestreo, se detallan en el reporte de campo N.º RC-002-2021-STEC (Anexo 3).

#### 5.1.5. Aseguramiento de la calidad

##### Agua

Para garantizar la representatividad de los resultados, se realizó como control de calidad la toma de muestras duplicadas, blancos viajeros y blancos de campo, los que están incluidos en el protocolo citado en la Tabla 5.1. Se tomaron 1 duplicado por cada 10 muestras, 1 blanco de campo y 1 blanco viajero tanto para la matriz de agua superficial como de agua residual doméstica.



## Sedimentos

Debido a que no se cuenta con un protocolo nacional para el monitoreo y las guías de referencia utilizadas tampoco incluye controles de calidad específicos, para la presente evaluación de sedimentos de agua continental se había considerado realizar una muestra duplicada al 10% del total de muestras analizadas pero debido a la poca cantidad de sedimentos en los puntos evaluados no se logró tomar la muestra duplicada. No obstante, se realizó una adecuada limpieza de los materiales utilizados para la colección de muestra, tal como lo indica la guía citada en Tabla 5.1.

### 5.1.6. Procesamiento de datos

#### Agua

Todos los resultados obtenidos fueron digitalizados y ordenados en una base de datos (hojas de cálculo), para luego ser comparados referencialmente mediante el uso de líneas en gráficos de barras con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua aprobadas en los IGA y la normativa vigente. Asimismo, la información colectada fue utilizada para otros gráficos y cálculos (relaciones iónicas, hidroquímica y análisis multiestados). Finalmente se realizó gráficos históricos con información de informes trimestrales del administrado y del OEFA.

A continuación, se describe las relaciones y análisis realizados:

- **Relación sólidos totales disueltos con la conductividad**

La conductividad o conductividad eléctrica (CE) y los sólidos totales disueltos (STD) son parámetros de calidad de agua usados para describir la salinidad (Rusydi, 2018). Dichos parámetros están correlacionados y su relación esta expresada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$STD (mg/L) = k * Conductividad \left( \mu \frac{S}{cm} \right) \quad (Ecuación 1)$$

No obstante, hay diversos factores como el incremento y la composición de la concentración de los iones (diferente mezcla de sales disueltas) como el agua de mar, continental y destilada que involucran diferentes valores de  $K$  con rango de 0,6 – 0,75 para obtener una relación precisa entre los STD y la conductividad (Walton, 1989)<sup>17</sup>.

Por tal motivo, no se justifica el uso de valor de  $K$  para todos los tipos de agua con valor estándar de 0,7 (promedio del rango de 0,5 a 0,9), número utilizado en muchos medidores comerciales de CE-STD ya que se puede alcanzar hasta el 25 % de error (Walton, 1989). Los valores de  $K$  se incrementan a medida que los iones son mayores; sin embargo, la relación entre la CE y STD no es directamente lineal, ya que depende de la actividad promedio de los

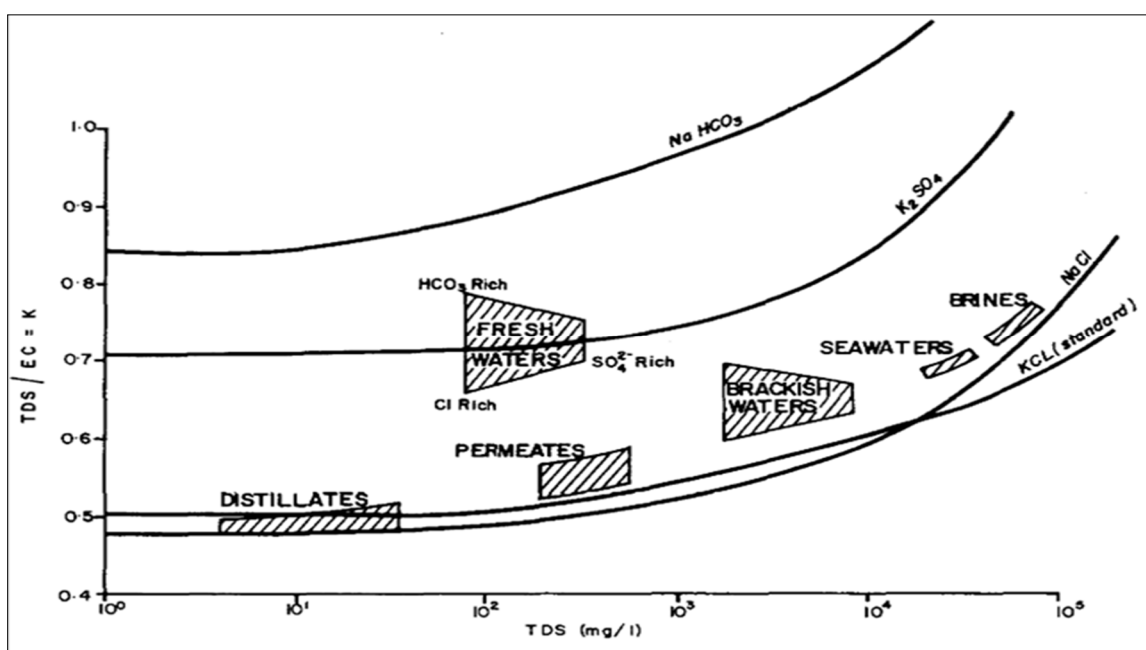
<sup>17</sup> Otros 2 factores que involucran el cambio de los valores de  $k$  es la temperatura (que incrementa la movilidad de los iones a mayor temperatura, hay un incremento del 2 % de la conductividad por cada aumento de 1 °C el cual es corregido por los equipos multiparámetros) y los efectos del pH en rango alto (> 9) y bajo (< 5), el cual contribuye al valor de la conductividad que otros cationes y aniones en el agua.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

iones disueltos específicos de todos los iones en el agua y su fuerza iónica (Hem, 1985 citado por Rusydi, 2018).

De esa manera, la Figura 5.3 muestra una vista general de los valores de  $K$  con el incremento de los STD en los distintos tipos de agua como: naturales (*fresh water*), destilada, permeada (*permeates*), salobres (*brackish water*), marina (*seawaters*) y salmueras (*brines*), los cuales pueden contener una variedad de sales disueltas, por lo que se puede obtener un rango de valores de  $K$  de 0,50 a 0,85 (Walton, 1989) y 0,54 a 0,75 (Hem, 1985).

La CE y los STD se utilizan con frecuencia como parámetros de calidad del agua, especialmente en la zona costera. Estos 2 parámetros son indicadores de la salinidad que los hace muy útiles para el estudio de la intrusión o influencia de agua de mar (Rusydi, 2018).



**Figura 5.3.** Relación de los sólidos totales disueltos (STD) con los valores de  $K$  para diferentes tipos de agua

Fuente: Walton (1989, p.290)

#### • Balance iónico

El objetivo del balance iónico es evaluar el equilibrio de los iones en el agua en base a la comparación de las concentraciones molares de la suma de aniones ( $\Sigma an$ ) y la suma de cationes ( $\Sigma cat$ ). Este cálculo se realizó antes del análisis hidroquímico y se conoce como error balance iónico (en adelante, EBI). El EBI verifica la consistencia de los iones.

Los iones mayoritarios presentes en el agua fueron los cationes: calcio ( $Ca^{2+}$ ), magnesio ( $Mg^{2+}$ ), sodio ( $Na^+$ ) y potasio ( $K^+$ ) para el cálculo de la  $\Sigma cat$ ; y los aniones: bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ), fluoruros ( $F^-$ ), sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) y cloruros ( $Cl^-$ ) para la  $\Sigma an$ <sup>18</sup>. Ambas sumas de concentraciones se expresaron en miliequivalentes por litro (meq/L). De esa manera, se

<sup>18</sup> Los otros iones tomados en cuenta fueron en cuenta los cationes: aluminio ( $Al^{3+}$ ), hierro ( $Fe^{2+}$ ), manganeso ( $Mn^{2+}$ ), bario ( $Ba^{2+}$ ), estroncio ( $Sr^{2+}$ ), litio ( $Li^+$ ), y los iones hidronio ( $H_3O^+$ ) del pH.



estableció el error de balance iónico de acuerdo con la siguiente ecuación (Appelo *et al.*, 2005):

$$\text{Error de Balance Iónico (EBI)} = 100 \frac{\sum \text{cat} - \sum \text{an}}{\sum \text{cat} + \sum \text{an}} \% \quad (\text{Ecuación 2})$$

Aunque el EBI es un valor en porcentaje, la ecuación 6.4 incorpora un signo para mostrar la predominancia de cargas de cationes (signo positivo) o de aniones (signo negativo). En el presente estudio el EBI aceptado estuvo en el rango de -10 % a +10 %, el cual fue considerado por Dinka *et al.* (2015) y López (2018).

Al respecto, los rangos del EBI están relacionados con la conductividad del agua de acuerdo con lo planteado por Custodio y Llamas (1976) en la Tabla 5.5 La interpretación de los porcentajes de error (EBI) se basa en la idea que el análisis debería ser más preciso cuanto más concentrada es la muestra analizada (Mariño y García, 2018).

**Tabla 5.5.** Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica

Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	50	200	500	2000	>2000
Error aceptable (%)	$\pm 30$	$\pm 10$	$\pm 8$	$\pm 4$	$\pm 4$

Fuente: Custodio y Llamas (1976)

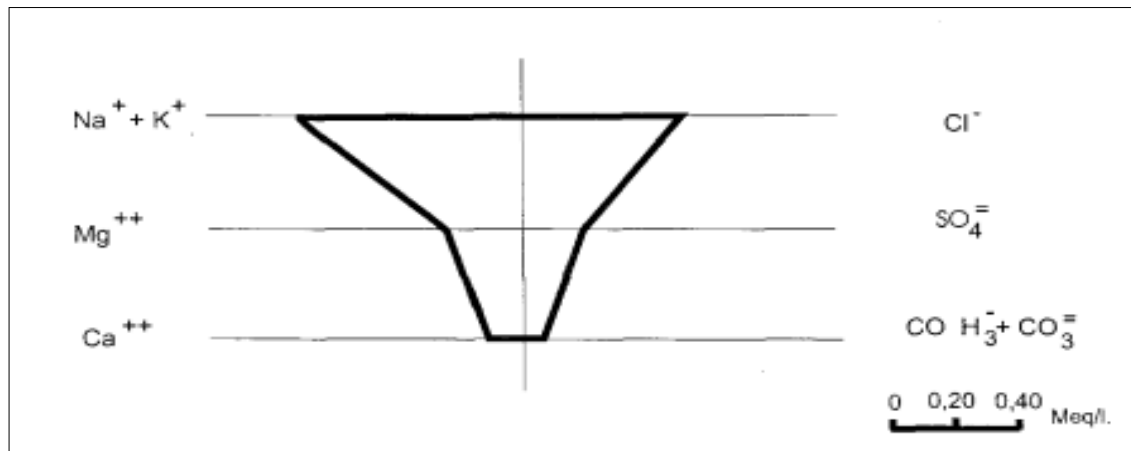
- **Diagrama de Stiff**

El diagrama de Stiff es un método sofisticado para demostrar cambios verticales en la composición química del agua (Stiff, 1951). Esta gráfica está compuesta por 3 ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo el catión con anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. El  $\text{Na}^+$  se relaciona con el  $\text{Cl}^-$ , el  $\text{Ca}^{2+}$  con el  $\text{HCO}_3^-$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  con el  $\text{SO}_4^{2-}$ . Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L.

En este tipo de diagrama sobresalen 2 características, por un lado, permite visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, en forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica).

Los diagramas de Stiff se pueden utilizar para visualizar aguas relacionadas iónicamente del cual se puede determinar la trayectoria del flujo. Si se conoce la trayectoria del flujo, es posible mostrar cómo la composición iónica de un cuerpo de agua cambia con el espacio y el tiempo (Rekha, 2013). En la Figura 5.4 se muestra un ejemplo del diagrama de stiff.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



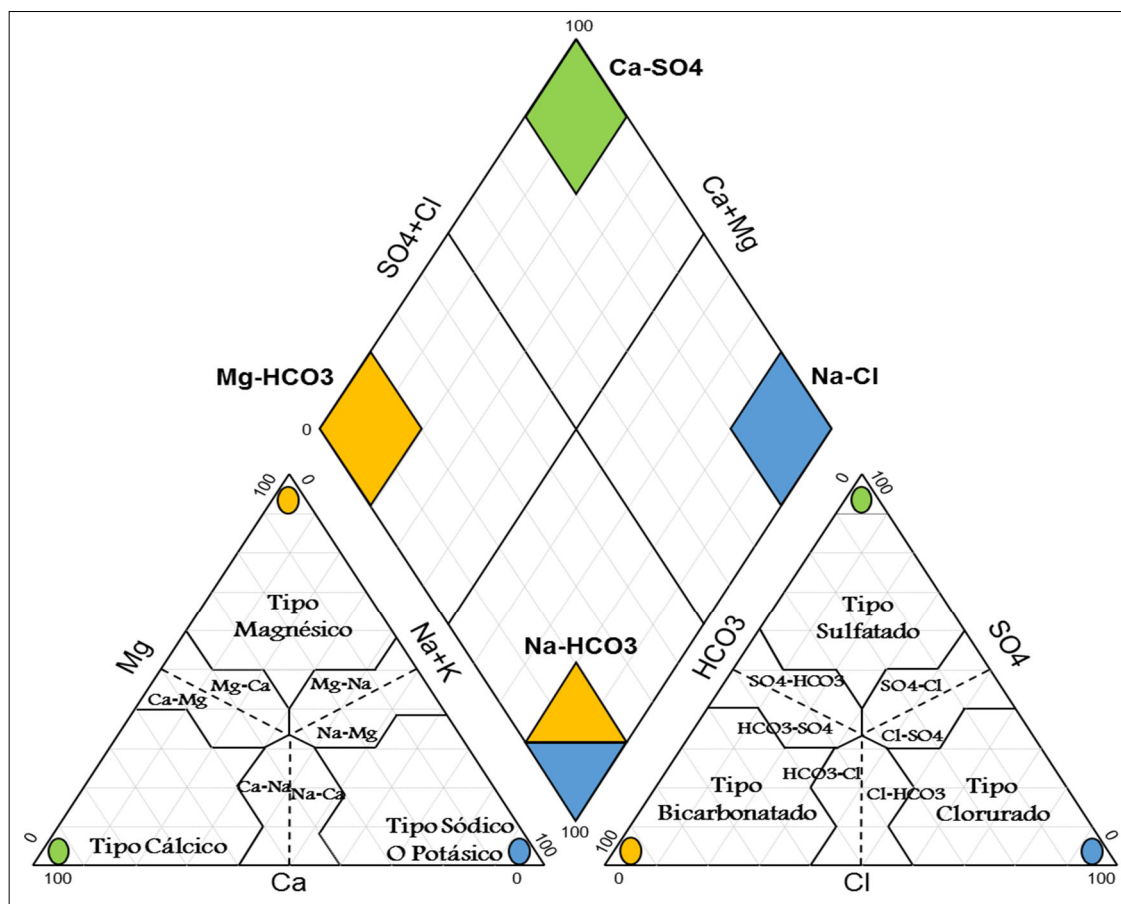
**Figura 5.4.** Diagrama de Stiff  
Fuente: Martínez (1998, p.105)

- **Diagrama de Piper**

Es el tipo de gráfico más utilizado ya que incluye aniones y cationes en forma simultánea. Este gráfico permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio y Llamas, 1983).

Está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . Los vértices del triángulo de aniones son  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones dadas en meq/L se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes, respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo 3 aniones y 3 cationes. A cada vértice le corresponde el 100 % de un anión o catión (Figura 5.5).

**Figura 5.5.** Diagrama de Piper

Fuente: Modificado de Davis y Wiests (1971, p.168)

### • Análisis multivariado

Para evaluar la calidad ambiental del río Mantaro mediante multiestados, se realizó un análisis multivariado. Para los cálculos matemáticos y estadísticos se utilizó la versión 4 del software PAST (Paleontological Statistics) – 2020 y la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2020.

Para el análisis se agrupó el registro histórico de parámetros de agua superficial (pH, metales, TSS, TDS entre otros) antes, durante y después de la purga de sedimentos por cada punto de muestreo evaluado.

### Identificación de estados alternativos de series:

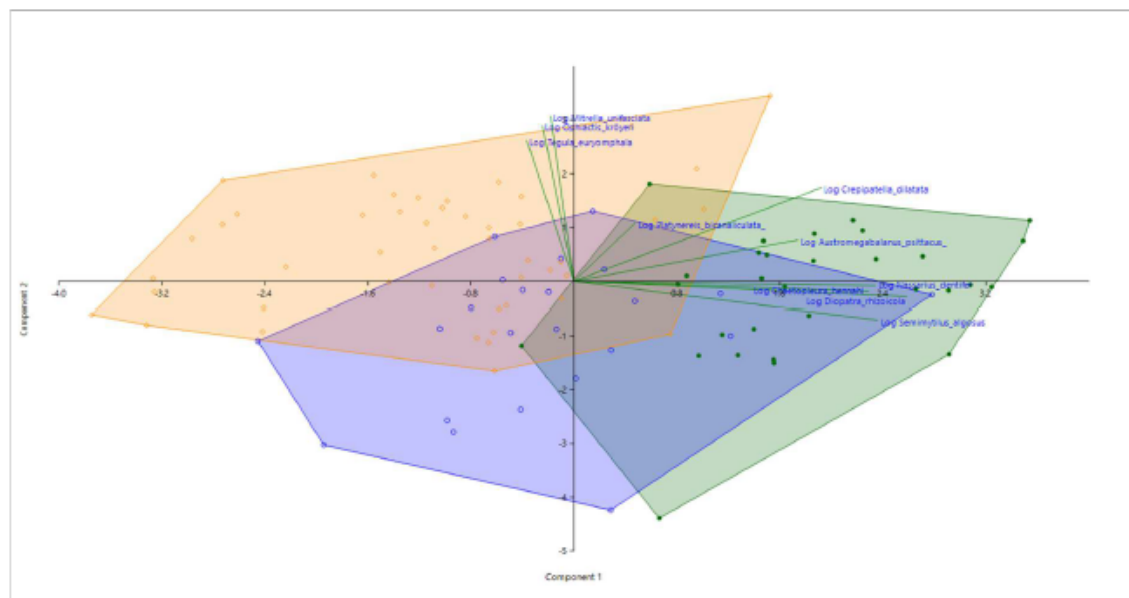
Por cada punto de muestreo se identificaron los estados alternativos por los que han pasado de acuerdo a Croffman *et al.*, (2006), para ello se generó un dendograma cronológico (*chronological clustering*) usando como criterio de afinidad el coeficiente de correlación. En esta etapa, el análisis fue exploratorio identificando grupos que exhiben valores suficientemente similares entre sí en las variables en análisis generando la primera hipótesis de pertenencia a un mismo estado. Se utilizó la opción «restringido» (*constrained*) en el dendograma para forzar que las fusiones sean en meses consecutivos.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Luego se evaluó los grupos de meses generados con los dendogramas mediante un Análisis Multivariado No Paramétrico (PERMANOVA), utilizando nuevamente el coeficiente de correlación como criterio de similitud. A partir de ello se obtuvo una estimación de la significación estadística de las diferencias entre los estados alternativos. Los análisis se continuaron solo en los casos que los estados tenían diferencias estadísticas significativas entre sí.

#### Identificación de variables claves para cada estado:

De acuerdo a Sánchez y Quinteros (2017) la aparición de varios estados alternativos suele estar asociados a alguna variables en particular, dichas variables deben ser identificadas pues tienen la condición de « variable clave» en la determinación del estado. A partir de los estados estadísticamente diferentes con el PERMANOVA se usó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para identificar la ubicación de los estados a lo largo de los componentes principales, se usó una matriz de correlación. Andersen et al. (2008) propuso la alternativa del uso de ACP como una alternativa para la identificación de estados alternativos en un ecosistema en conexión con el uso de dendograma. Se utilizó la opción «biplot» al momento de generar diagramas de dispersión entre componentes principales, además se graficó las correlaciones de cada variable con cada componente principal para identificar la asociación entre la variable y el estado (Figura 5.6).



**Figura 5.6.** ACP con los estados definidos como estadísticamente diferentes por el PERMANOVA.  
Fuente: Sánchez y Quinteros (2017, p.160)

#### Manejo de datos por debajo del límite de cuantificación:

Los resultados de algunos parámetros de calidad de agua, en las evaluaciones ambientales estuvieron por debajo del límite de detección o cuantificación del procedimiento analítico del laboratorio. Estos datos desconocidos fueron descritos como no detectados por el laboratorio en lugar de reportarlos como ceros o ausentes, con la descripción «< límite». En los casos





donde se describe los valores no detectables, la concentración es desconocida, aunque se encuentre entre cero y el valor del límite, considerándose parámetros censurados los que incluyen datos detectados como los no detectados (EPA, 2006).

La condición más importante para llevar a cabo el análisis multivariado es que la matriz de datos obtenida se encuentre completa, debido a que una matriz incompleta produce resultados inconclusos o erróneos, siendo necesario eliminar o rellenar los espacios vacíos de alguna manera (Ramos, 2001).

Tomando en cuenta los criterios indicados por Farnham *et al.* (2002) al sustituir valores por debajo del límite de detección «<LD» por la mitad (LD/2) cuando el porcentaje de los valores no detectables es menor al 30 % por variable, para la presente evaluación se estableció que los parámetros cuyos valores no detectables menores o iguales al 30 % de datos fueran considerados en el análisis multivariado, tomando los valores del límite de detección o cuantificación para aquellas concentraciones no detectables, puesto que no hubo diferencias en los resultados en cuanto a sustituir por la mitad del citado límite.

### **Sedimentos**

Todos los resultados obtenidos fueron digitalizados y ordenados en una base de datos (hojas de cálculo), para luego ser comparados referencialmente mediante el uso de líneas en gráficos de barras con normativa referencial para sedimentos, Asimismo, la información colectada fue utilizada para otros gráficos y cálculos (análisis granulométrico).

A continuación, se describe las relaciones y análisis realizados:

#### **Análisis geoquímico**

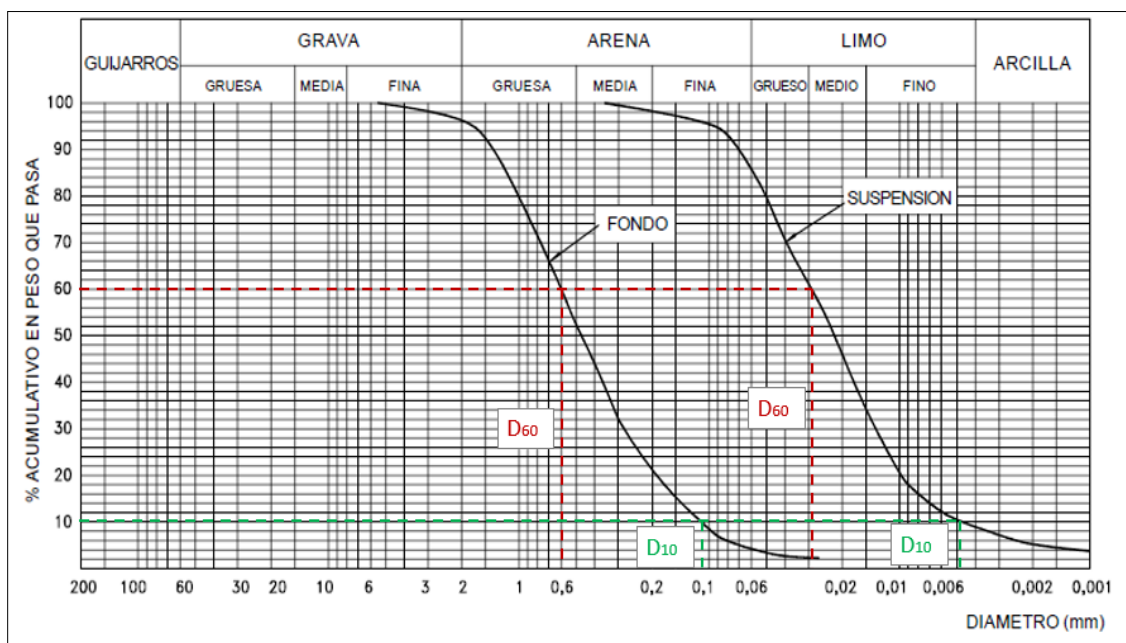
Para el análisis geoquímico de los sedimentos se procederá a dividir a los elementos en mayores (>1000 ppm, menores (>1 ppm), y traza (< 1 ppm) (Rivera, 2007), con el fin de visualizar los elementos de acuerdo a la abundancia en la corteza terrestre:

- Elementos mayores > 1%
- Elementos menores > 0,1% - 1,0%
- Elementos traza < 0,1%
- **Análisis granulométrico**

El comportamiento de los sedimentos en un río depende de la distribución granulométrica (Ryan y Porth, 1999). Los resultados de dichos análisis se presentaron como curvas de distribución acumulativa de frecuencias de tamaños, en las que se graficó el tamaño versus la fracción de porcentaje en peso de un sedimento que es mayor o menor a un determinado tamaño (Figura 5.7).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 5.7.** Curva granulométrica acumulada continua

Fuente: Modificado de Rocha, B (1998, p.92)

## Comunidades hidrobiológicas

### • Evaluación visual de ambientes lóticos

El medio físico de la comunidad hidrobiológica fue evaluado mediante el *Stream Visual Assessment Protocol* (en adelante, SVAP) determinado por USDA, (1998). El protocolo considera trece criterios de evaluación: (1) condición de canal, (2) evidencia de alteración hidrológica, (3) condiciones de la zona ribereña, (4) extensión de la cobertura vegetal ribereña, (5) calidad de la vegetación ribereña, (6) cobertura del canal, (7) apariencia del agua, (8) enriquecimiento por nutrientes, (9) presencia de estiércol o desechos humanos, (10) presencia de estanques, (11) presencia de barreras para organismos acuáticos, (12) complejidad del hábitat para organismos acuáticos, (13) incrustamiento/cobertura del sustrato en rápidos. Cada criterio tiene un puntaje y un valor final para el punto de muestreo, obtenido como la sumatoria de todos los criterios. Estos puntajes pueden ser encontrados en las fichas de campo de hidrobiología (Anexo 3:RC-02-2021-STEC).

Un análisis multivariado como el Escalamiento Multidimensional No Métrico (en adelante, EMNM) determinado por Veneables y Ripley, (2002), de la distancia euclidiana obtenida entre las categorías del SVAP y de una variable adicional (tamaño del río) fue usado para mostrar semejanzas entre las estaciones. Cabe resaltar que, debido a las diferencias por el tamaño del cuerpo de agua entre las estaciones de muestreo (río Mantaro y quebradas), se le dio un mayor peso a la variable tamaño de río para el cálculo de la distancia euclidiana, ya que, para este caso, representa una magnitud física del río considerable.



## • Perifiton y macroinvertebrados bentónicos

Los componentes de la comunidad hidrobiológica (perifiton, y macroinvertebrados bentónicos) se analizaron individualmente mediante la composición porcentual de los morfotipos en todo el ensamblaje. Para el caso de perifiton, este fue dividido en dos grupos: (a) Fitoperifiton como aquellos organismos exclusivamente autótrofos y (b) Zooperifiton como los organismos del perifiton con capacidad heterótrofa. Posteriormente se calculó la cantidad de morfotipos y sus abundancias en cada punto de muestreo por cada componente hidrobiológico (perifiton y macroinvertebrados bentónicos).

La diversidad fue evaluada con los Índices de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y el Índice de Berger-Parker ( $d$ ), mostrados a continuación (Moreno, 2021):

- Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ): Este índice creado por Shannon (1948) y fue diseñado inicialmente para medir la cantidad de información transmitida en un código. Aplicado al campo ecológico, su definición se puede establecer como la medida del grado del promedio de incertidumbre en predecir a que especie o morfotipo pertenecerá un individuo escogido al azar de una muestra (Magurran, 1988). Su formulación es:

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

Donde:

$H'$ : Índice de Shannon-Wiener

$p_i$ : Proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuos

$S$ : Número de morfoespecies

$\ln$ : Logaritmo en base natural

- Índice de Berger-Parker ( $d$ ): Por su expresión matemática, este índice refleja la existencia de dominancia de alguna especie o morfotipo en la muestra, donde 0 equivale a no dominancia y 1 a dominancia total de una especie o morfotipo. Su formulación es:

$$d = \frac{n_{max}}{n_{total}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$d$ : Índice de Berger-Parker

$n_{max}$ : Cantidad de individuos de la especie más abundante

$n_{total}$ : Cantidad de individuos totales

- Para observar las semejanzas o diferencias entre los ensamblajes de la comunidad hidrobiológica de cada punto de muestreo se recurrió al índice de disimilaridad de Bray-Curtis cuya fórmula es (Wolda, 1981):

$$\text{Índice de disimilaridad de Bray – Curtis} = \frac{\sum_{i=1}^S |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=1}^S [X_{ij} + X_{ik}]} \quad (\text{Ecuación 5})$$



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

*Donde:*

*j: Muestra 1*

*k: Muestra 2*

*X: Número de individuos*

*S: Número de morfoespecies entre las dos muestras*

En el caso de comunidades como perifiton, los valores de abundancias fueron transformados mediante raíz cuadrada para que valores extremos existentes no tengan tanto peso en la disimilaridad. En el caso de macroinvertebrados bentónicos no fue necesaria una transformación matemática. Posteriormente, el análisis multivariado EMNM fue usado para representar la matriz de disimilaridades en dos dimensiones. Para observar la relación de la comunidad hidrobiológica con las variables ambientales, como las pertenecientes a parámetros fisicoquímicos *in situ*, resultados de agua superficial y resultados de sedimento, se usó el coeficiente de correlación de Spearman (Kendall, 1938). La correlación se estableció entre las variables ambientales y los dos ejes dimensionales del EMNM, identificando aquellas con valores altos de correlación. Debido a la gran cantidad de variables ambientales, se filtraron algunas para relacionarlas con la comunidad hidrobiológica. En el caso de los análisis de metales de agua y sedimento solo se consideraron aquellas que superaron el ECA – Categoría 3<sup>19</sup> y de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá-CEQG<sup>20</sup>, y adicionalmente materia orgánica. En el caso de los parámetros fisicoquímicos y no metales en agua superficial fueron seleccionados en su totalidad.

### 5.1.7. Criterios de evaluación

#### Agua superficial

Para realizar la evaluación de la calidad del agua superficial en los cuerpos de agua ubicados en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila, se consideró la clasificación de los recursos hídricos establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Según la Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA<sup>21</sup> «Clasificación de Cuerpos de Agua Continentales Superficiales», está clasificado con categoría 3.

**Tabla 5.6.** Cuerpo de agua y categoría de comparación para los cuerpos de agua en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila

Código de cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Categoría	Código de unidad hidrográfica
1946	Cuenca Bajo Mantaro	Categoría 3	49961

Los resultados de agua superficial (ríos y quebradas) fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad para Agua (en adelante, ECA para Agua), aprobados por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Categoría 3: «Riego de vegetales y bebida de animales», subcategorías D1: Riego de animales y D2: Bebida de animales, adicionalmente fueron

<sup>19</sup> Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, del 30 de julio de 2008. Río Mantaro, clasificado en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Resolución Jefatural N.º 202-2010-ANA, que aprueba la Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales y marino – costeros.

<sup>20</sup> Recuperado de: [https://www.ccme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines/](https://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/). Consultado el 10 de noviembre de 2019.

<sup>21</sup> Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA. Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales. Aprobada el 13 de febrero de 2018.



comparado con los ECA para agua aprobados por Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM de acuerdo a sus compromisos asumidos en su EIA<sup>22</sup> y su último ITS<sup>23</sup>.

### Agua residual doméstica

Los resultados de agua residual domésticas (efluente) fueron comparados con los valores establecidos en la Resolución Directoral N.° 008-97-EM/DGGA - Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos producidos en las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, de acuerdo a los compromisos asumidos en su EIA. Asimismo, fueron comparados con los valores establecidos en el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descarga de efluentes líquidos

### Sedimentos

Debido a que en la actualidad no se cuenta con normativa nacional, se tomó de manera referencial los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá–CEQG (*Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater – CEQG-SQG, 2002*)<sup>24</sup> del Consejo Canadiense de ministros del Medio Ambiente (CCME, en sus siglas en inglés) para sedimentos de agua dulce, que tienen valores para 7 metales: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc. La guía de calidad ambiental canadiense para sedimentos de aguas continentales de los metales define 2 valores límites indicados:

- *Interim Sediment Quality Guidelines* - ISQG (valores guía provisional de calidad de sedimento): representa el nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos en la comunidad acuática.
- *Probable Effect Level* - PEL (valores guía provisional de calidad de sedimento): representa el nivel de concentración química por encima del cual usualmente o siempre está asociado a efectos biológicos adversos en la comunidad acuática.

**Tabla 5.7.** Valores de referencia para metales en sedimentos

Guía referencial	Metal	Unidad	Norma Canadiense (CEQG-SQG)	
			ISQG	PEL
<i>Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life (CEQG-SQG, 2002) – Canadá.</i>	Arsénico	mg/kg PS	5,9	17
	Cadmio		0,6	3,5
	Cobre		35,7	197
	Cromo		37,3	90
	Mercurio		0,17	0,486
	Plomo		35	91,3
	Zinc		123	315

PS: Peso seco

Adicionalmente, los resultados de sedimentos fueron comparados con los datos históricos en aquellos puntos donde se contó con dicha información, con la finalidad de evaluar la variación

<sup>22</sup> Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 274-2010-MEM/AAE22.

<sup>23</sup> Informe técnico sustentatorio para la ampliación de componentes auxiliares temporales del proyecto C.H. Cerro del Águila, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 273-2015-MEM/DGAAE el 14 de agosto de 2015.

<sup>24</sup> Recuperado de: [https://www.cme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines/](https://www.cme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/). Consultado el 10 de noviembre de 2019.



en el tiempo, el rango de años considerado fue a partir del EIA modificado de la C.H. Cerro del Águila <sup>25</sup>.

## Comunidades hidrobiológicas

La información de los componentes de la comunidad hidrobiológica fue comparada con aquellos obtenidos en los reportes del administrado previos a la operación de la C.H. Cerro del Águila y los reportes trimestrales del administrado.

### 5.2. Objetivo específico 2: Determinar la relación entre el embalse de la C.H. Cerro del Águila y la presencia de dípteros hematófagos en los centros poblados dentro del área de influencia de la Central Hidroeléctrica.

#### 5.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

Las guías para el muestreo de larvas de dípteros hematófagos en ambientes lóticos se encuentran en la Tabla 5.8, en el apartado de comunidades hidrobiológicas. En este caso, solo considerando la sección para macroinvertebrados bentónicos.

#### 5.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo para la evaluación de dípteros hematófagos fueron establecidos tomando de referencia los principales cuerpos de agua en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila donde se podrían alojar larvas potenciales Dípteros hematófagos. Los puntos de muestreo se encuentran en la Tabla 5.8

**Tabla 5.8.** Ubicación de puntos de muestreo de dípteros hematófagos

N°	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Fecha	Hora	Norte (m)	Este (m)		
1	Río Mantaro	RMan-1	21/03/2021	14:05	8633173	540199	1605	Ubicado en el río Mantaro, aproximadamente a 500 m aguas arriba del Puente Millenium
2	Río Mantaro	RMan-2	22/03/2021	09:05	8635578	538542	1579	Ubicado en el río Mantaro, aproximadamente a 30 m antes de la confluencia con la quebrada Palca
3	Río Mantaro	RMan-3	22/03/2021	14:50	8641855	533977	1515	Ubicado en el río Mantaro, aproximadamente a 600 m aguas abajo del embalse de la C.H. Cerro del Águila
4	Río Mantaro	RMan-6	20/03/2021	09:50	8648318	532608	1294	Ubicado en el río Mantaro, aproximadamente a 40 m aguas arriba de la descarga de aguas turbinadas
5	Quebrada Huayrapata	QHuy-1	20/03/2021	12:15	8647546	533255	1496	Ubicado en la quebrada Huayrapata, aproximadamente a 500 m aguas arriba del vertimiento EFLU-4
6	Quebrada Huayrapata	QHuy-2	20/03/2021	13:40	8647757	533006	1366	Ubicado en la quebrada Huayrapata, aproximadamente a 120 m aguas arriba del vertimiento EFLU-4

<sup>25</sup> Aprobado mediante resolución Directoral N° 049-2013-MEM/AEE, se determinan la ubicación de puntos definitivos de monitoreo de la calidad de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

N°	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Fecha	Hora	Norte (m)	Este (m)		
7	Quebrada Pallca	QPall-1	22/03/2021	09:45	8635585	538553	1575	Ubicado en la quebrada Pallca, aproximadamente a 20 m aguas arriba de la confluencia con el río Mantaro
8	Quebrada Durasnuyoc	QDur-1	23/03/2021	10:45	8640542	536713	1878	Quebrada Durasnuyoc, aproximadamente a 900 m aguas arriba del vertimiento EF-06
9	Quebrada Pallca	QM-1*	22/03/2021	11:50	8637135	540425	2096	Ubicado en la quebrada Pallca, aproximadamente a 25 m de la vía principal
10	Quebrada Durasnuyoc	QM-2*	22/03/2021	12:25	8640232	538930	2335	Quebrada Durasnuyoc, aproximadamente a 20 m de la vía principal

### 5.2.3. Parámetros y métodos de análisis

Se consideraron los parámetros incluidos en la Tabla 5.9, los cuales fueron seleccionados en base a la búsqueda de larvas de potenciales dípteros hematófagos.

**Tabla 5.9.** Parámetros y métodos de análisis de larvas de potenciales dípteros hematófagos

Matriz	Parámetros de laboratorio	VARIABLES ESCOGIDAS	Método de análisis	Descripción
Comunidades hidrobiológicas	Macroinvertebrados bentónicos	Número de individuos de larvas de Tabanidae	SMEWW 10500 C (parte 2) SMEWW 10900	Organismos/muestra
		Número de individuos de larvas de Simuliidae		

### 5.2.4. Equipamiento utilizado

Los equipos y materiales utilizados para el muestreo de larvas de dípteros hematófagos en ambientes lóticos (comunidades hidrobiológicas) se detallan en el Anexo 3 (reporte de campo N.º RC-002-2021-STEC).

### 5.2.5. Procesamiento de datos

Se recurrió a la Prueba de Mann-Whitney unilateral a la derecha con un  $\alpha$  de 0,05, mediante las siguientes hipótesis:

Para larvas de Tabanidae:

$H_0$ : La diferencia de posición entre las muestras de quebradas y las muestras de ríos para larvas de Tabanidae es igual a 0

$H_a$ : La diferencia de posición entre las muestras de quebradas y las muestras de ríos para larvas de Tabanidae es mayor a 0

Para larvas de Simuliidae:

$H_0$ : La diferencia de posición entre las muestras de quebradas y las muestras de ríos para larvas de Simuliidae es igual a 0

$H_a$ : La diferencia de posición entre las muestras de quebradas y las muestras de ríos para larvas de Simuliidae es mayor a 0



Un p-valor superior a  $\alpha$  se consideraría suficiente evidencia estadística para aceptar  $H_0$ , de lo contrario un p-valor por debajo de  $\alpha$  no tendría suficiente evidencia estadística para aceptar  $H_0$  teniendo que aceptar  $H_a$ .

#### 5.2.6. Criterios de evaluación

Los resultados fueron comparados con los reportados por el administrado en su estudio del 2019<sup>26</sup>, y los realizados por Digesa<sup>27</sup>, cuyos trabajos abarcan la misma problemática relacionada a la presencia de dípteros hematófagos.

### 6. RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados obtenidos durante la EAC en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila, los que serán detallados por objetivos planteados para evaluar el riesgo hídrico del río Mantaro relacionados a las actividades de operación de dicha central. Los resultados de laboratorio de las matrices de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas se encuentran detallados en el Anexo 4 (reporte de resultados RR-002-2021-STEC).

#### 6.1. Objetivo específico 1: Evaluar la calidad de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el río Mantaro y quebradas Huayrapata asociados a la descarga de agua residual doméstica tratada proveniente de los campamentos y operación de la C.H. Cerro del Águila.

##### 6.1.1. Agua superficial

Se evaluaron 9 puntos de muestreo: 5 fueron evaluados en el río Mantaro (RMan-1, RMan-2, RMan-3, RMan-4 y RMan-6); 2 puntos en la quebrada Huayrapata (RHuay-1 y RHuay-2), 1 punto en la quebrada Pallca (RPall-1) y 1 punto en la quebrada Durasnuyoc (QDur-1), dichas quebradas son afluentes al río Mantaro en su tramo evaluado.

#### A. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM

Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de campo como de laboratorio, se encontraron dentro los rangos establecidos en los ECA para Agua 2008 categoría 3, a excepción del hierro y manganeso que excedieron el estándar en mención como se muestra en la Tabla 6.1. Asimismo, en la Tabla 6.2 se presentan los valores de concentraciones de los parámetros que excedieron el estándar. En el Anexo 4 (RR-002-2021-STEC) se presenta la totalidad de resultados.

<sup>26</sup> Identificación, evaluación y análisis de las poblaciones de Dípteros y su relación con el embalse de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila – Primera Temporada diciembre 2019, realizado por R y G Consultora Ambiental y Biotecnológica S.A.C.

<sup>27</sup> Informe N.º 2396-2020/DCOVI/DIGESA





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»


**Tabla 6.1.** Parámetros que excedieron los ECA para Agua 2008 en el río Mantaro y afluentes

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
		D.S. N° 002 – 2008-MINAM - Categoría 3	
		Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
Río Mantaro	RMan-1	hierro, manganeso	hierro
	RMan-2	hierro	hierro
	RMan-3	-	-
	RMan-4	hierro	hierro
	RMan-6	hierro	hierro
Q. Huayrapata	QHuay-1	-	-
	QHuay-2	-	-
Q.Pallca	QPall-1	hierro	hierro
Q.Durasnuyoc	QDur-1	hierro, manganeso	hierro

(-) los valores cumplieron con lo establecido de los ECA para Agua 2008

**Tabla 6.2.** Parámetros que excedieron los ECA para Agua 2008 en el río Mantaro y afluentes

Cuerpo de agua	Código	Hierro Total	Manganeso Total
		mg/L	mg/L
Río Mantaro	RMan-4	2,8	0,14943
	RMan-6	2,6	0,14005
Q. Huayrapata	QHuay-1	0,13	0,00305
	QHuay-2	0,37	0,01234
Río Mantaro	RMan-1	3,1	0,24276
	RMan-2	1,8	0,1451
Q.Pallca	QPall-1	3	0,05109
Río Mantaro	RMan-3	0,85	0,06946
Q.Durasnuyoc	QDur-1	6,2	0,25946
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua 2008	Riego de vegetales de tallo bajo y alto	1	0,2
	Bebidas de animales	1	0,2

 Concentraciones que excedieron el ECA para Agua 2008 Categoría 3: Riego de vegetales (de tallo bajo y alto) y bebida de animales.

Respecto a los parámetros de campo y otros de interés en los puntos de muestreo evaluados a continuación se mencionan los principales rangos de variación.

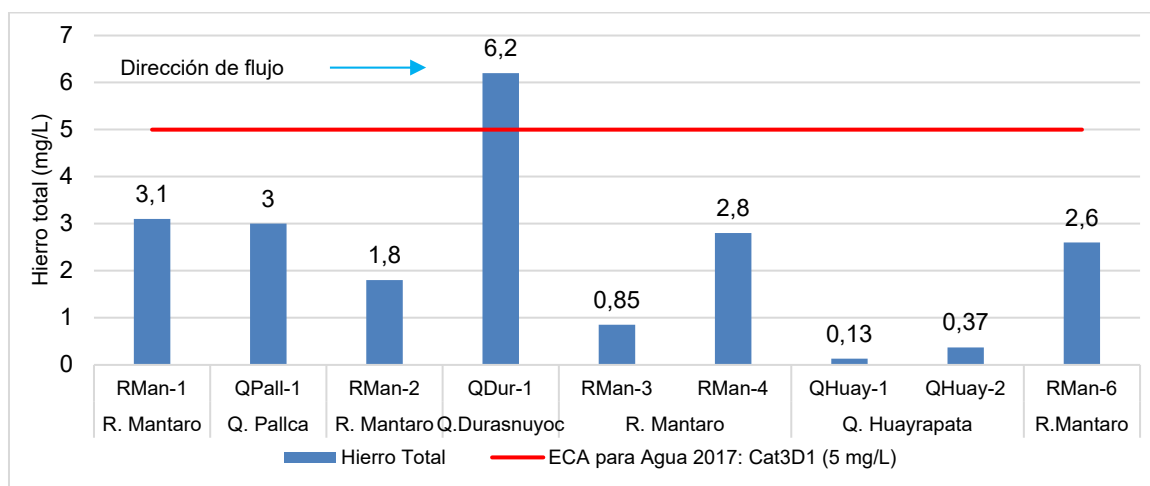
- Los valores del potencial de hidrógeno estuvo en el rango de 7,24 a 8,43 unidades de pH, el valor más bajo en el punto de muestreo QDur-1 y el más alto en el punto RMan-3.
- La conductividad eléctrica varió entre 97,6 a 492  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los valores más bajo y alto registrado en los puntos de muestreo a QDur-1 y QHuay-2 respectivamente.
- La concentración de oxígeno disuelto estuvo en el rango de 7,1 a 8,64 mg/L, siendo el valor más bajo y alto en los puntos de muestreo QHuay-1 y RMan-4 respectivamente.
- La concentración de aceites y grasas y demanda química de oxígeno (DQO) en todos los puntos evaluados estuvieron por debajo del límite de cuantificación analítico. Asimismo, la concentración de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) a excepción del punto muestreado en la quebrada Huayrapata (QHuay-2) que registro 9,8 mg  $\text{CO}_3^{2-}/\text{L}$ .



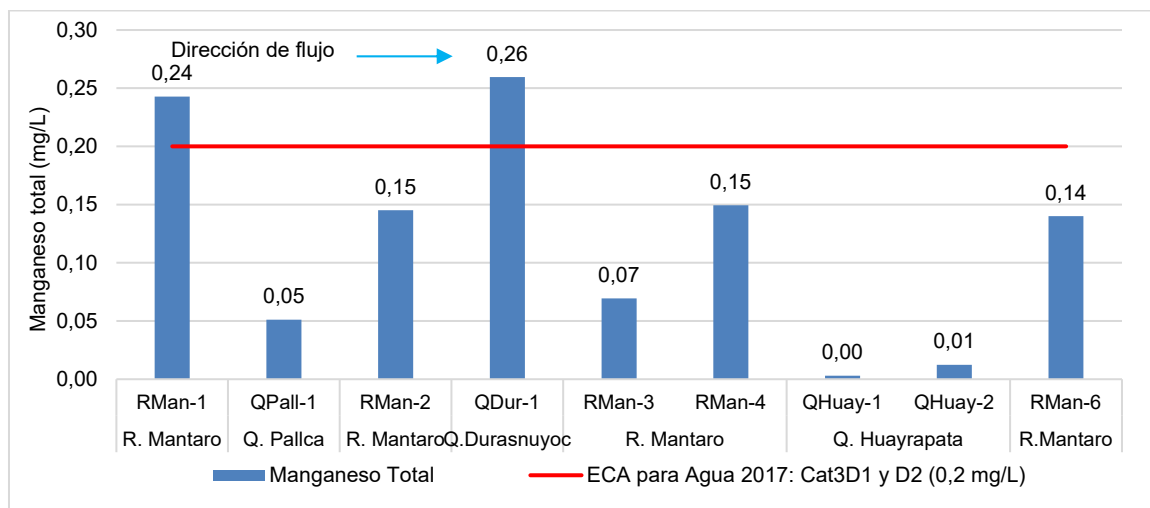


**B. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 riego de vegetales (D1) y bebida de animales (D2); aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM**

Se registró que la concentración del manganeso excedió los ECA para Agua (2017) en la quebrada Durasnuyoc (QDur-1) y en el río Mantaro (RMan-1), Asimismo, la concentración de hierro excedió el estándar en mención en el punto QDur-1, los demás parámetros evaluados cumplieron con el citado estándar. En la Figura 6.1 y 6.2 se muestra la concentración de hierro y manganeso.



**Figura 6.1.** Concentración de hierro comparado con los ECA para agua 2017 Cat3D1



**Figura 6.2.** Concentración de manganeso comparado con los ECA para agua 2017 Cat3 D1y D2

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Se resalta de acuerdo a las Figuras 6.1 y 6.2 que las concentraciones de hierro y manganeso fue mayor en la quebrada Durasnuyoc en su punto ubicado aguas arriba de la descarga del efluente EF-06<sup>28</sup>.

Adicionalmente en la Figura 6.3 se muestra la variación de sólidos totales suspendidos. Se resalta que la concentración en el río Mantaro varió de 58 a 230 mg/L para el mes de marzo 2021 y en la quebrada Huayrapata la concentración fue la más baja.

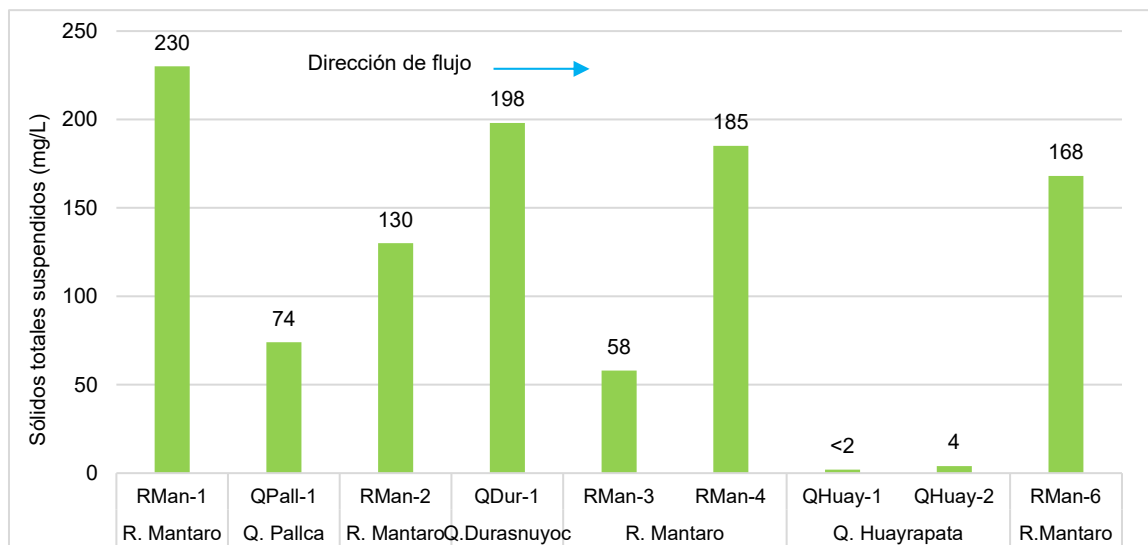


Figura 6.3. Concentración de sólidos totales suspendidos

### C. Análisis hidroquímico

Previo al análisis hidroquímico se realizó un control de calidad para evaluar el equilibrio de los iones de agua en base a la comparación de concentraciones molares de la suma de aniones ( $\Sigma an$ ) y la suma de cationes ( $\Sigma cat$ ), el cual se conoce como error balance iónico (en adelante, EBI). Se pudo verificar la consistencia ya que el EBI estuvo dentro del rango aceptable entre -10 % a +10 % según Dinka *et al.* (2015) y López (2018), además del error aceptable propuesto por Custodio y Llamas (1976) en función de la conductividad. El detalle del cálculo de EBI se encuentra en el Anexo 4.

Adicional al balance iónico se realizó relaciones de parámetros descritos a continuación:

#### Relación entre conductividad y sólidos totales disueltos

A continuación, se presenta los gráficos de dispersión de la relación lineal de las concentraciones de conductividad con los sólidos disueltos totales (STD) de todos los puntos de muestreo de agua superficial. Asimismo, se muestra en tablas los porcentajes de los metales disueltos con respecto a los metales totales.

En la Figura 6.4 se muestra la relación lineal entre la conductividad y los sólidos totales disueltos en los cuerpos de agua superficial evaluados, obteniendo un  $R^2$  de 0,99 y una

<sup>28</sup> No se tomó muestra en el efluente debido al riesgo de seguridad del equipo evaluador en acceder al punto al igual que el punto de muestre QDur-2 ubicado aguas abajo ya que el único acceso era por la quebrada que por la altas precipitaciones registraba fuerte caudal.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

pendiente  $K$  de 0,6282 para una conductividad que varía entre 97,6 y 492  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 73 y 314  $\text{mg}/\text{L}$  de sólidos totales disueltos. Por lo que se obtuvo una buena correlación ( $R^2 > 0,95$ ) y un  $K$  con rango entre 0,6 a 0,75 según Walton (1989).

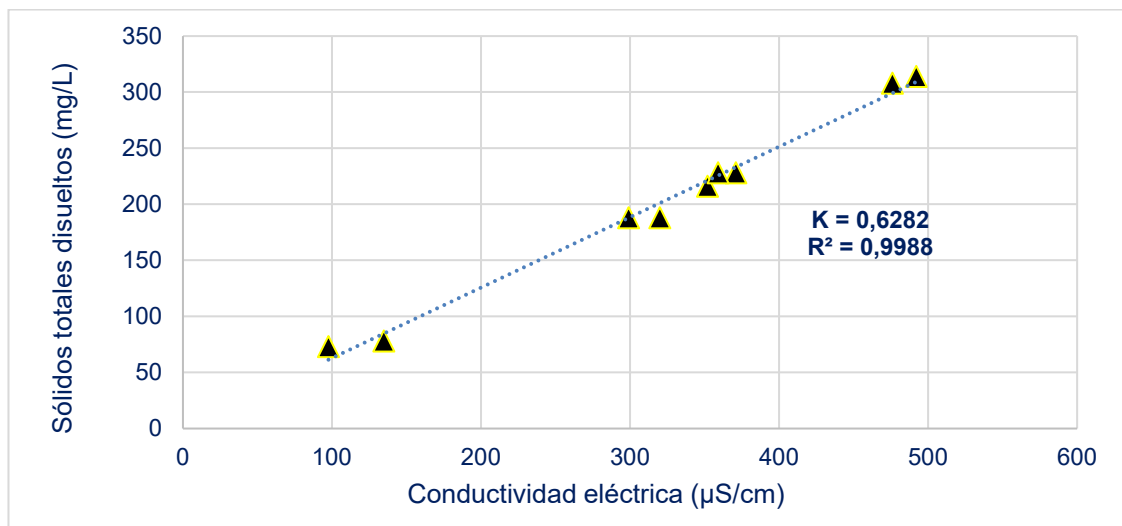


Figura 6.4. Relación lineal entre la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos (STD).

#### Relación entre la conductividad y la suma de cationes y aniones

Para el caso de la relación lineal entre la conductividad y la suma de cationes<sup>29</sup> tal como se aprecia en la Figura 6.5 se obtuvo un  $R^2$  de 0,99 y una pendiente  $K$  de 0,0113; asimismo, en la Figura 6.6 de la relación de conductividad y la suma de aniones<sup>30</sup> se tuvo un  $R^2$  de 0,99 y una pendiente  $K$  de 0,01. Ambas pendientes se encuentran dentro del rango de la Ecuación establecida por la APHA entre 0,009-0,11, por lo cual los datos tienen buena relación entre dichos parámetros.

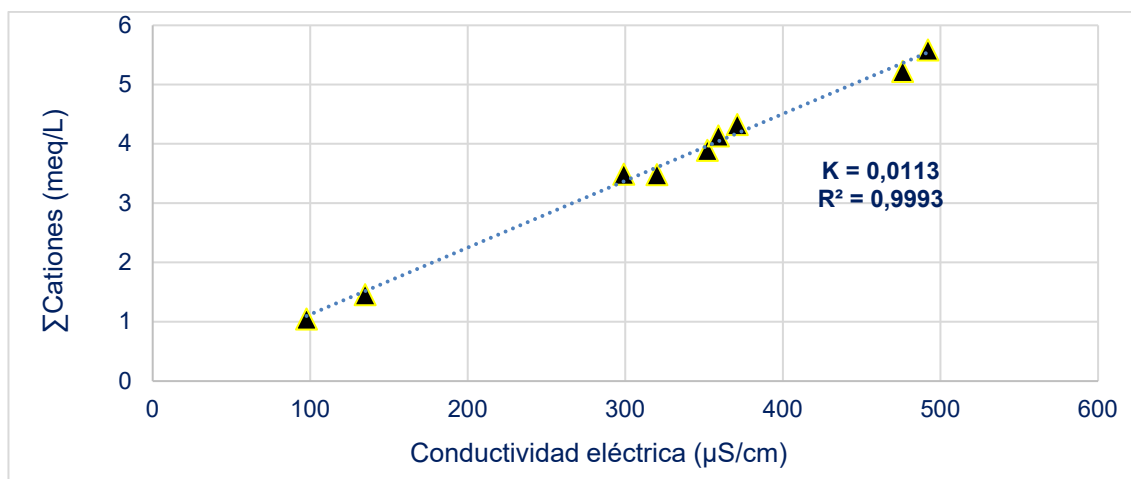
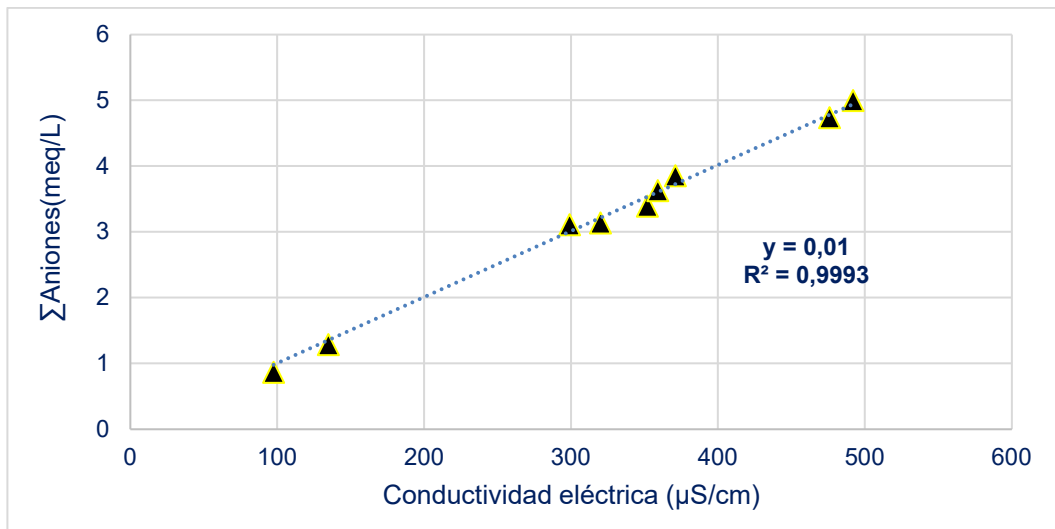


Figura 6.5. Relación lineal entre la conductividad eléctrica y la suma de cationes.

<sup>29</sup> Para la suma de cationes, en adición a los principales: calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ), se consideraron los iones de los metales disueltos: aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ), bario ( $\text{Ba}^{2+}$ ), boro ( $\text{B}^{3+}$ ), estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ) y litio ( $\text{Li}^+$ ).

<sup>30</sup> Los aniones considerados son: cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos, ( $\text{SO}_4^-$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y fluoruros ( $\text{F}^-$ ).

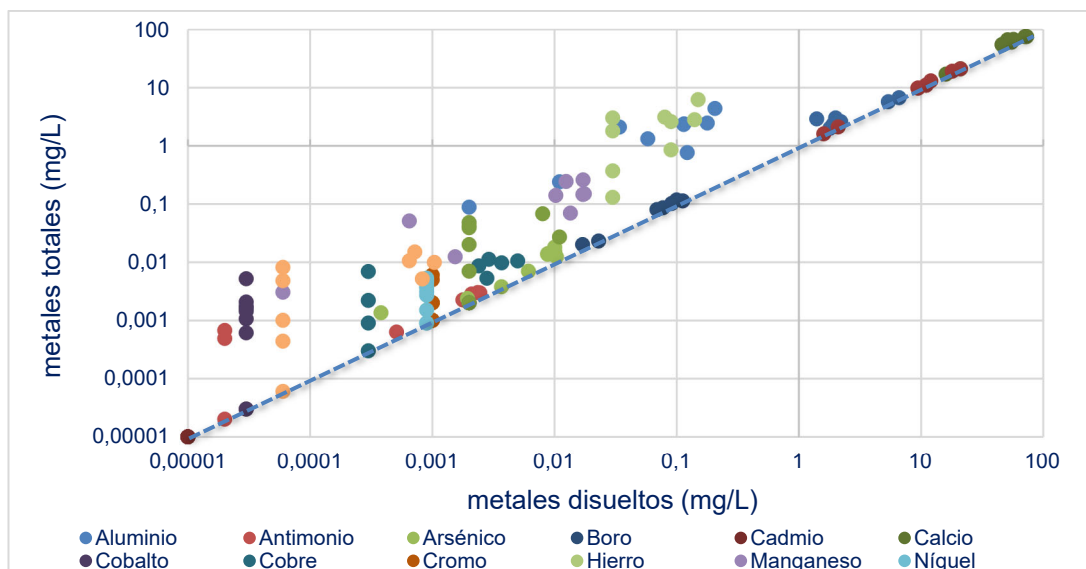
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 6.6.** Relación lineal entre la conductividad eléctrica y la suma de aniones

### Porcentaje de metales disueltos

En la Figura 6.7 se presenta las concentraciones de metales disueltos en el eje X y la concentración de metales totales en el eje Y. Se aprecia que los valores de concentraciones se encuentran a lo largo de la línea 45° verificando que los metales totales son mayores a los metales disueltos.



**Figura 6.7.** Relación metales disueltos y metales totales

En la Tabla 6.3 se presentan los porcentajes de metales disueltos con respecto a los metales totales. Se resaltan los porcentajes predominantes mayores y menores al 50% notando que el aluminio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc predominan en su forma suspendida mientras que el arsénico, bario, boro, calcio, magnesio, potasio, sodio predominan en su forma disuelta.

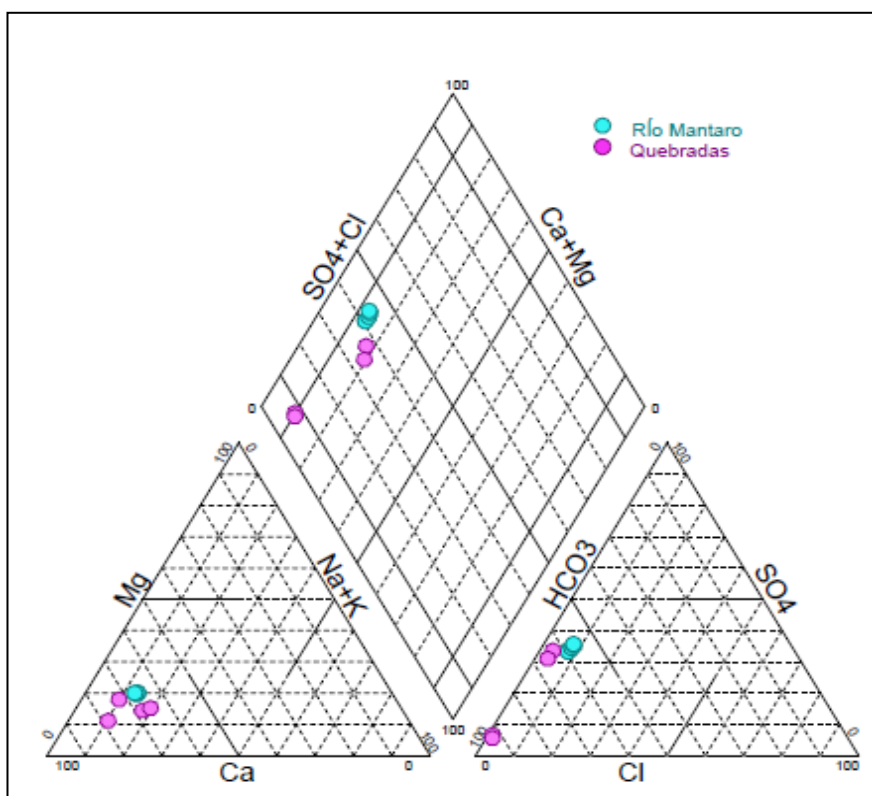
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

**Tabla 6.3.** Porcentaje de los metales disueltos de los puntos de muestreo de agua superficial

Código	Al	As	Ba	B	Ca	Cu	Sr	Fe	Li	Mg	Mn	Pb	K	Na	W	Zn
	(%)															
RMan-4	7	63	50	90	84	48	92	5	72	84	12	11	80	97	100	5
RMan-6	5	65	52	86	85	38	93	3	72	83	7	6	85	96	92	5
QHuay-1	-	97	91	100	95	-	94	-	98	94	-	-	95	95	80	-
QHuay-2	5	88	97	85	97	-	100	-	99	95	12	-	99	100	92	-
RMan-1	5	55	43	85	77	26	88	3	95	79	5	5	83	100	-	12
RMan-2	4	67	61	99	85	28	93	2	83	87	12	-	87	92	-	-
QPall-1	2	82	24	-	100	-	96	-	-	75	1	-	67	100	-	29
RMan-3	16	84	77	89	92	53	98	11	96	92	19	16	90	100	-	41
QDur-1	5	28	19	-	94	-	87	2	-	40	7	-	48	100	-	10
(-)	Porcentaje no calculado debido a que su concentración fue menor al límite de detección															
	Forma disuelta del metal mayor al 50% del total															
	Forma disuelta del metal menor al 50% del total															

### Diagrama de Piper y Stiff

De acuerdo al diagrama de Piper en la Figura 6.8 el cual considera los iones mayoritarios de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ ; las aguas del río Mantaro y quebradas Pallca, Durasnuyoc y Huayrapata son clasificadas de fascie bicarbonatada cálcica. Asimismo, en la Figura 6.9 a través del diagrama de Stiff se puede notar el predominio de los iones  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{+2}$  con un rango de suma de cationes y aniones menor a 4 meq/L.


**Figura 6.8.** Diagrama de Piper de los puntos de muestreo evaluados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

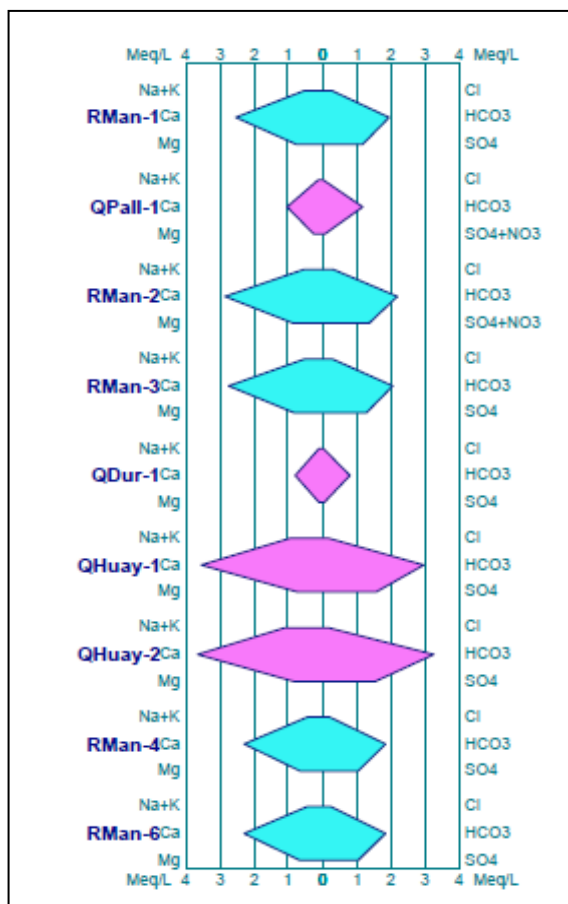


Figura 6.9. Diagrama de Stiff de los puntos de muestreo evaluados

#### D. Análisis histórico

A partir de los reportes trimestrales del administrado entre los años 2013 y 2020 en los puntos de muestreo evaluados RMan-1 (MAG-1 código del administrado), RMan-3 (MAG-07 código del administrado) y RMan-4 (MAG-08 código del administrado) además de los resultados obtenidos en el año 2021 por el OEFA durante la supervisión de purga (AP: 24 horas antes de la purga, DP1: inicio de la purga 1, DP2: 24 horas posterior al inicio de purga) y la supervisión en el marco de la EAC (PP: 15 días posterior al finalizar la purga). Se evaluó el comportamiento histórico en la concentración de los parámetros aluminio, arsénico, cobalto, cobre, hierro, manganeso y plomo. A continuación, se describe las principales características.

De acuerdo a la Figura 6.10 para el punto de muestreo RMan-1 se obtuvo:

- El aluminio, hierro, manganeso y plomo marcan un comportamiento similar, excediendo los ECA para Agua 2017 Categoría 3 entre el primer trimestre de cada año, con una concentración alta registrada en el primer trimestre del año 2017 donde se alcanzó aproximadamente 58,8 mg/L para aluminio, 56,0 mg/L para hierro, 2,84 mg/L para manganeso y 0,0975 mg/L para el plomo.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

- El arsénico y cobre registraron concentraciones que no excedieron los ECA para Agua 2017 Categoría 3, a excepción del arsénico en el cuarto trimestre del año 2015 (valor verificado con la información proporcionada por el administrado).

De acuerdo a la Figura 6.11 para el punto de muestreo RMan-3 se obtuvo:

- El aluminio, hierro, manganeso y plomo marcan un comportamiento similar, excediendo los ECA para Agua 2017 Categoría 3 mayoritariamente en el primer trimestre de cada año, con una concentración alta registrada en el primer trimestre del año 2017 donde se alcanzó aproximadamente 48,9 mg/L para aluminio, 57 mg/L para hierro, 2,4 mg/L para manganeso y 0,1509 mg/L para el plomo. Sin embargo, las concentraciones registradas durante la purga de sedimentos (DP2) en el año 2021 fueron las más altas reportadas desde el 2013 para el plomo y manganeso.
- El arsénico y cobre registraron concentraciones que no excedieron los ECA para Agua 2017 Categoría 3, sin embargo durante la purga de sedimentos realizada en marzo del 2021 (DP2) alcanzaron concentraciones de 0,2 mg/L para arsénico y 0,2 mg/L para cobre excediendo ambos el estándar en mención.

De acuerdo a la Figura 6.12 para el punto de muestreo RMan-4 se obtuvo:

- El aluminio, hierro, manganeso y plomo tienen un comportamiento similar, excediendo los ECA para Agua 2017 Categoría 3 mayoritariamente en el primer trimestre de cada año. Se resalta que el primer trimestre del 2020 se registró la concentración más alta hasta ese año con 25,4 mg/L para aluminio, 54,78 mg/L para hierro, 1,79 mg/L para manganeso y 0,11 mg/L para el plomo (registrado en el primer trimestre 2014). Sin embargo, las concentraciones registradas durante la purga de sedimentos (DP2) en el año 2021 fueron las más altas reportadas desde el 2013 en dichos metales.
- El arsénico y cobre registraron concentraciones que no excedieron los ECA para Agua 2017 Categoría 3 a excepción del primer trimestre del 2020 para arsénico y durante la purga de sedimentos realizada en marzo del 2021 (DP2) ambos metales alcanzaron concentraciones de 0,218 mg/L para arsénico y 0,24 mg/L para cobre, excediendo ambos el estándar en mención.

Adicionalmente, se obtuvo la variación de concentración de cobalto registrada históricamente en los 3 puntos de muestreo RMan-1, RMan-3 y RMan-4, observándose en las Figuras 6.13 a la Figura 6.15 que registraron concentraciones que no excedieron los ECA para Agua 2017 Categoría 3, a excepción de los puntos RMan-3 y RMan-4 donde se registró concentraciones que excedieron los ECA para Agua 2017 Categoría 3, subcategoría D1.





PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

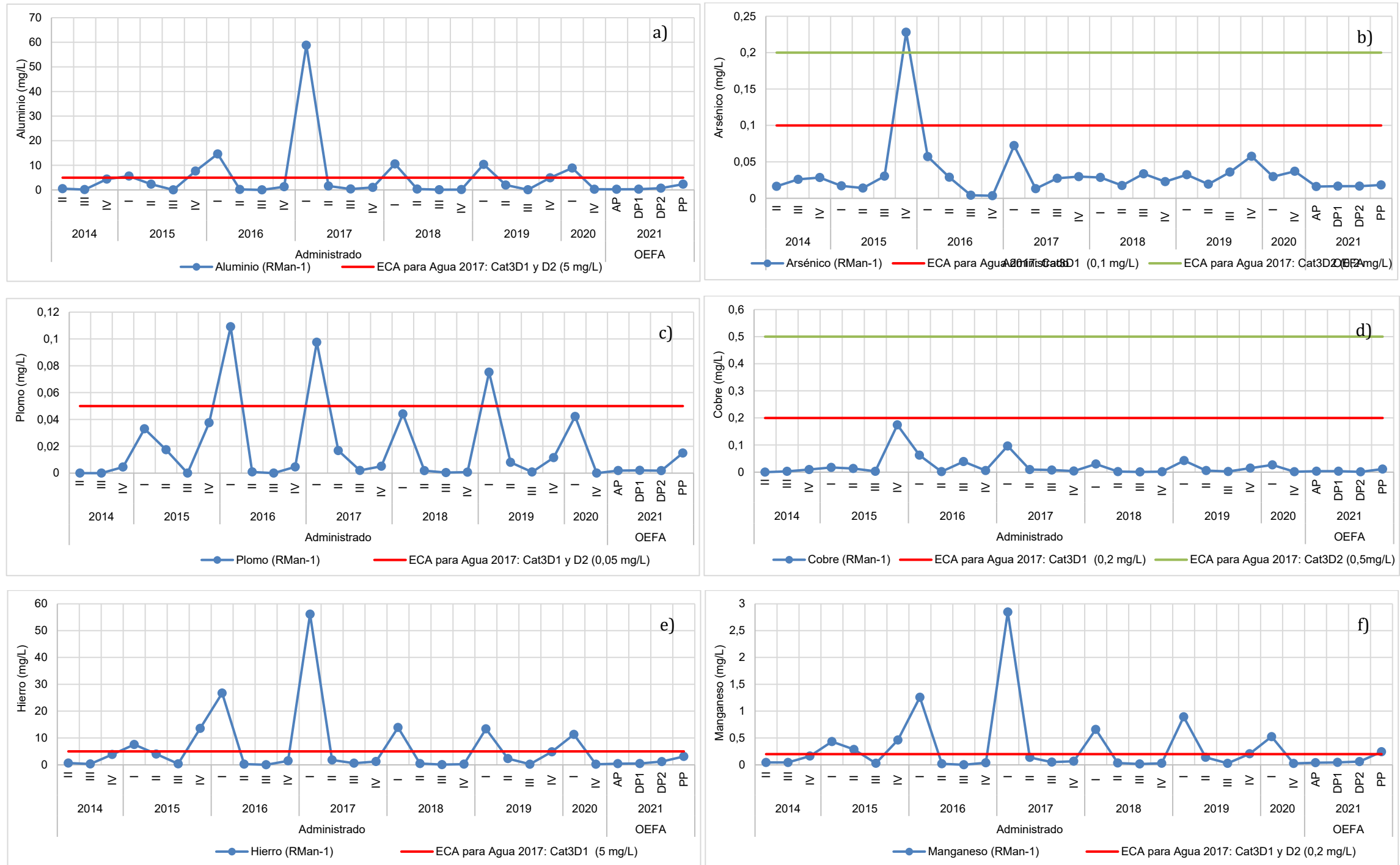


Figura 6.10. Concentración de histórica de metales en el punto de muestra RMan-1: a) aluminio total, b) arsénico total, c) plomo total, d) cobre total, e) hierro total, f) manganeso total



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



Figura 6.11. Concentración de histórica de metales en el punto de muestre RMan-3: a) aluminio total, b) arsénico total, c) cobalto total, d) cobre total, e) hierro total, f) manganeso total



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres «Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

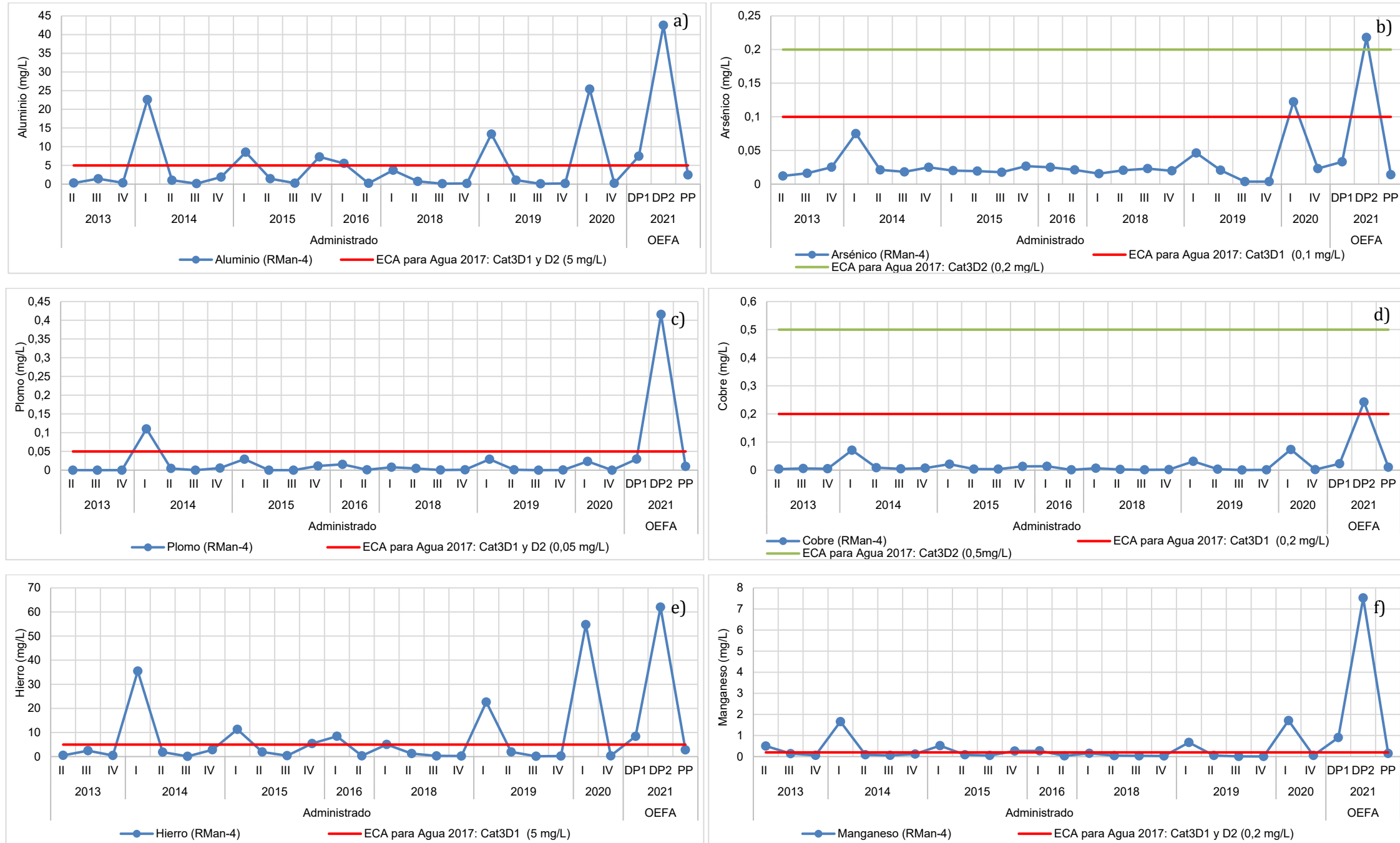


Figura 6.12. Concentración de histórica de metales en el punto de muestre RMan-4: a) aluminio total, b) arsénico total , c) cobalto total , d) cobre total, e) hierro total, f) manganeso total



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres «Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

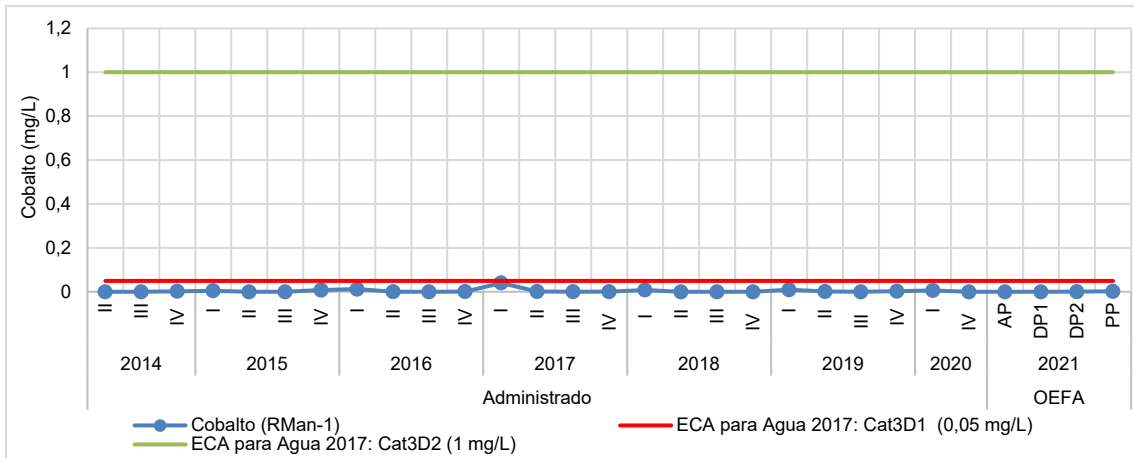


Figura 6.13. Concentración de histórica de cobalto total en el punto RMan-1

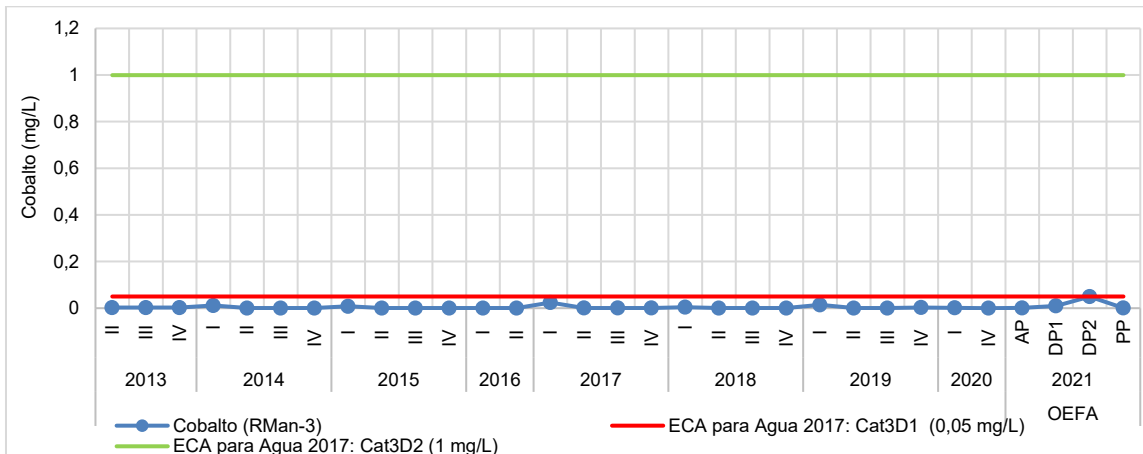


Figura 6.14. Concentración de histórica de cobalto total en el punto RMan-3

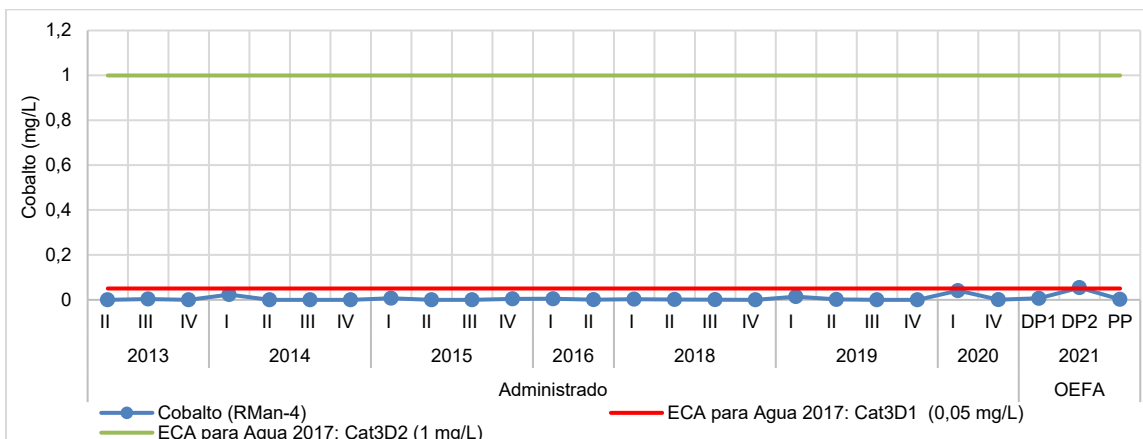


Figura 6.15. Concentración de histórica de cobalto total en el punto RMan-4



### 6.1.2. Agua residual doméstica tratada

#### A. Comparación con Niveles Máximos Permisibles (NMP) para efluentes líquidos producidos en las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica establecidos en la Resolución Directoral N.º 008-97-EM/DGGA

Se evaluó 1 punto de agua residual doméstica tratada (EFLU-4) el cual proviene de la planta de tratamiento de agua residual 7 del campamento Limonal<sup>31</sup>. Dicha descarga fue registrada aguas abajo de los puntos QHuay-1 y QHuay -2 ubicados en la quebrada Huayrapata<sup>32</sup>.

De la comparación de los resultados de las mediciones *in situ* y de laboratorio con los NMP (1997), todos los parámetros cumplieron con la normativa de referencia, a excepción del parámetro de SST donde se registró 56 mg/L de concentración siendo el valor de NMP (1997) de 50 mg/L.

Por otro lado, se resalta que la conductividad eléctrica registrada fue de 716  $\mu\text{S/cm}$ , temperatura 30,4 °C, STD 444 mg/L y un caudal de 0,635 l/s.

#### B. Comparación con Límite Máximo Permisible (LMP) para descarga de efluentes líquidos establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM

Los resultados de las mediciones *in situ* y de laboratorio comparados con los LMP (2010) cumplieron con la normativa de referencia para todos los parámetros evaluados.

### 6.1.3. Sedimentos

#### A. Análisis geoquímico

Los elementos químicos obtenidos en los resultados de metales totales de los puntos de muestreo (SED-RMan-6, SED-QHuay-2, SED-RMan-1, SED-QDur-1) fueron divididos para su análisis en elementos mayores, menores y trazas.

Las muestras sólidas extraídas de los sedimentos, muestran una mayor concentración de elementos en las quebradas (SED-QDur-1 y SED-QHuay-2) respecto al río Mantaro (SED-RMan-6 y SED-RMan-1), estos elementos son el hierro, aluminio y magnesio en comparación a los demás metales mayoritarios (Figura 6.16).

<sup>31</sup> Durante la acción de supervisión de la EAC realizado del 20 al 23 de marzo 2021, se identificó que la PTAR del campamento Limonal realiza la descarga de sus efluentes en el punto EFLU-04 (código OEFA) ubicado aproximadamente 250 metros aguas abajo de las coordenadas del vertimiento autorizado EF-02, no siendo un punto autorizado de acuerdo al Informe Técnico Sustentatorio para el Proyecto «Instalación de una Minicentral Hidroeléctrica en el Canal de Descarga de Caudal Ecológico y una Nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el campamento Limonal aprobado mediante Resolución Directoral N.º 335-2014-MEM-DGAAE y Resolución Directoral N.º 143-2019-ANA-DCERH.

<sup>32</sup> Posterior a las acciones de supervisión realizada el administrado con fecha 31 de marzo de 2021 remitió en el plazo establecido a la Autoridad de Supervisión un informe de subsanación de hecho en función a lo verificado presentado como Anexo 1, donde se muestran fotos al momento del retiro de la tubería auxiliar de descarga sin autorización. Dicha información se presenta en el Anexo 5 del presente informe.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

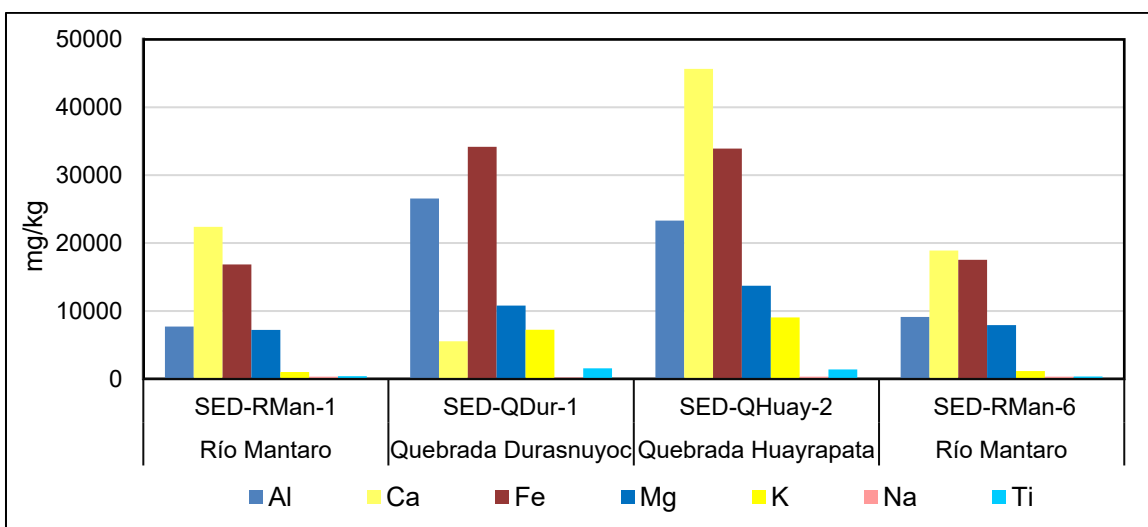


Figura 6.16. Metales totales de los elementos mayores de las muestras de sedimentos

En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de fósforo y manganeso que los demás metales (Figura 6.17). Con respecto a los elementos traza, estos se encuentran representados por el boro, selenio, estaño y berilio en comparación a los demás (Figura 6.18).

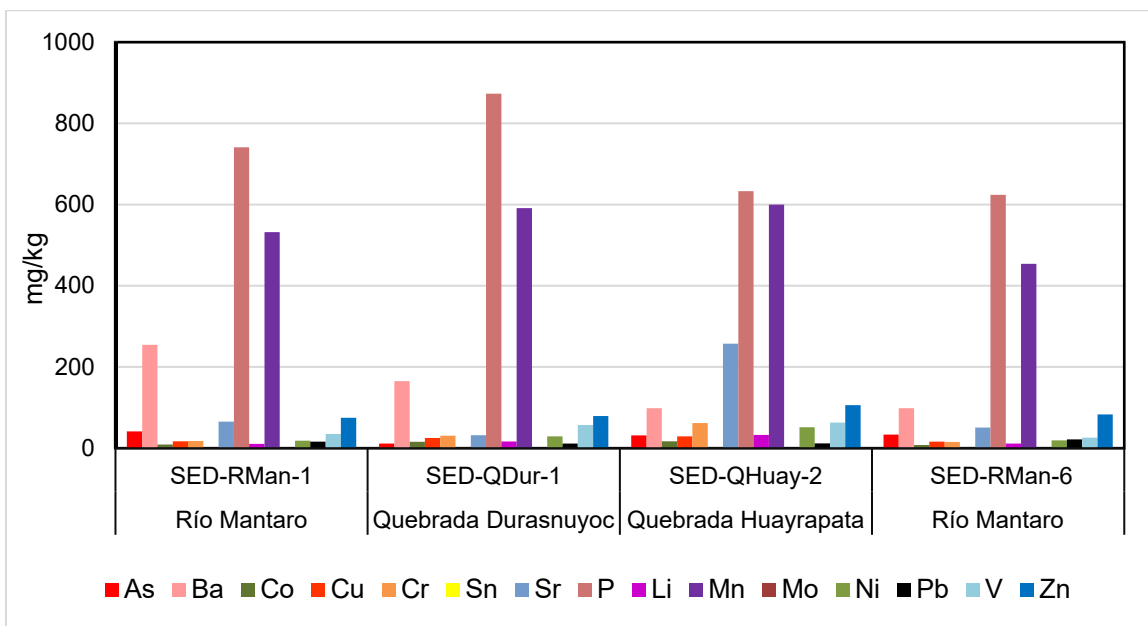
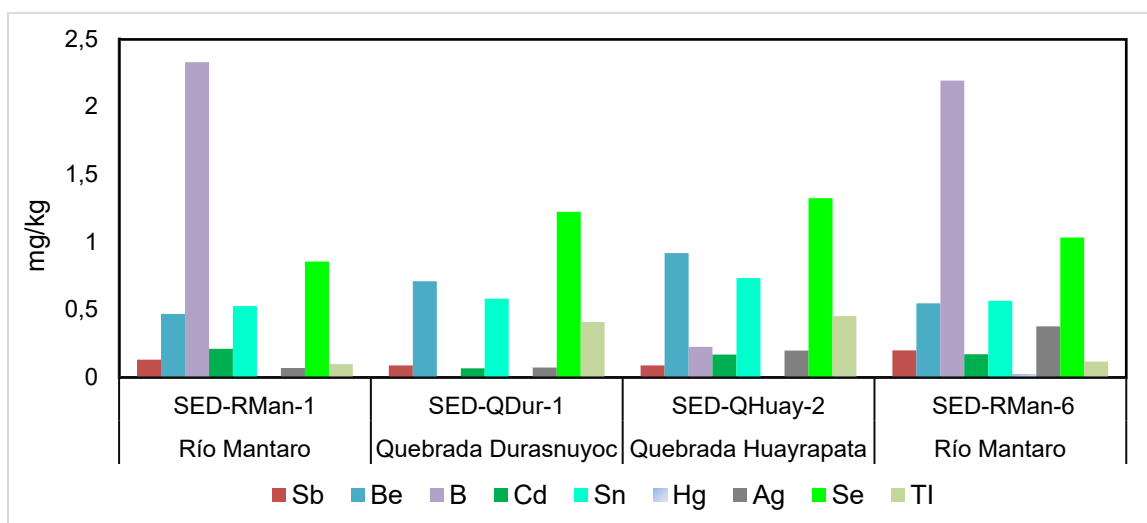


Figura 6.17. Metales totales de los elementos menores de las muestras extraídas de sedimentos

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 6.18.** Metales totales de los elementos trazas de las muestras extraídas de sedimentos

## B. Comparación de concentración de metales en sedimento con los valores de la guía canadiense CEQG

En la Tabla 6.4 se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en río y quebradas, comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

**Tabla 6.4.** Resultados de metales en los sedimentos comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá –CEQG

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Plomo	Zinc
		mg/kg PS						
SED-RMan-6	Río Mantaro	33,5	0,17039	16	15,3	0,022	21,7	83
SED-QHuay-2	Quebrada Huayrapata	31,3	0,16893	29	61,9	< 0,010	11,6	106
SED-RMan-1	Río Mantaro	41,4	0,21087	17	17,5	< 0,010	16,3	75
SED-QDur-1	Quebrada Durasnuyoc	11,5	0,06659	25	30,8	< 0,010	11,3	79
CEQG <sup>(a)</sup>	ISQG <sup>(b)</sup>	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
	PEL <sup>(c)</sup>	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) *Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*

(b) *Interim sediment quality guidelines (ISQG)*: concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos

(c) *Probable Effect Level (PEL)*: concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.

: Concentraciones que exceden el valor de ISQG.

: Concentraciones que exceden el valor de PEL.

Como se observa en la Tabla 6.4 las concentraciones de arsénico en los puntos de muestreo SED-RMan-6, SED-QHuay-2 y SED-RMan-1 excedieron el valor PEL y en el punto SED-QDur-1 solo excedieron el valor ISQG. Las concentraciones de cromo superaron el valor ISQG en el punto SED-QHuay-2.





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

En la Figura 6.19 y 6.20 se observa la variación de concentración de los elementos excedieron los valores de la guía canadiense CEQG. Se resalta que la concentración de arsénico más alta fue registrada en el punto de muestreo SED-RMan-1, ubicado en la cola del embalse Cerro del Águila. Respecto al cromo solo en la quebrada Huayrapata (SED-Huay-2) se registró mayor concentración que estuvo fuera del rango del valor ISQG de la guía canadiense.

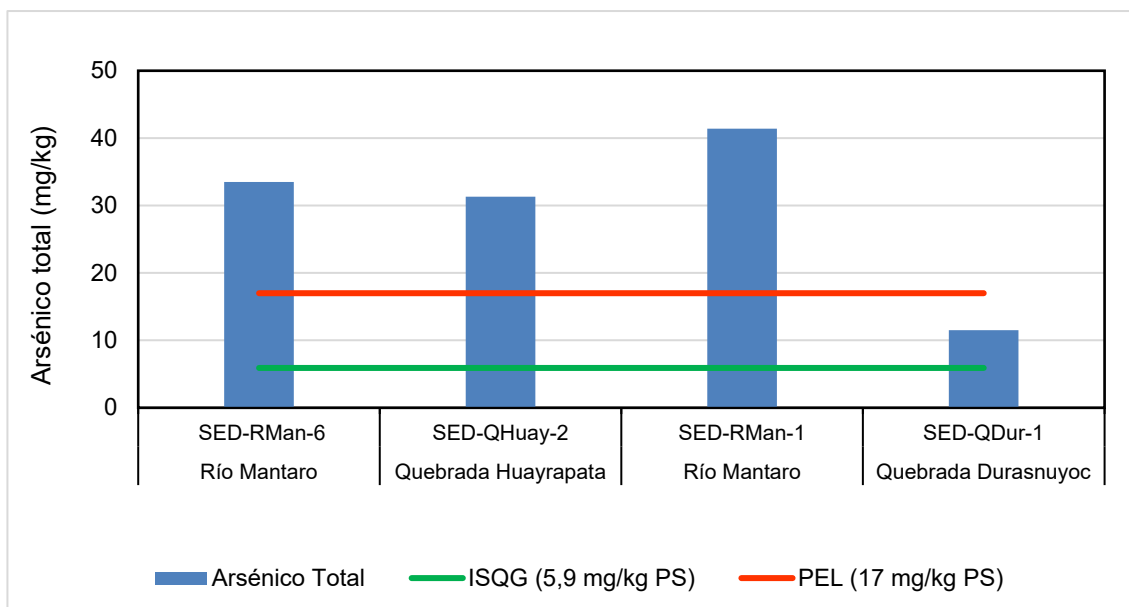


Figura 6.19. variación de la concentración de arsénico total en los puntos de muestreo evaluados

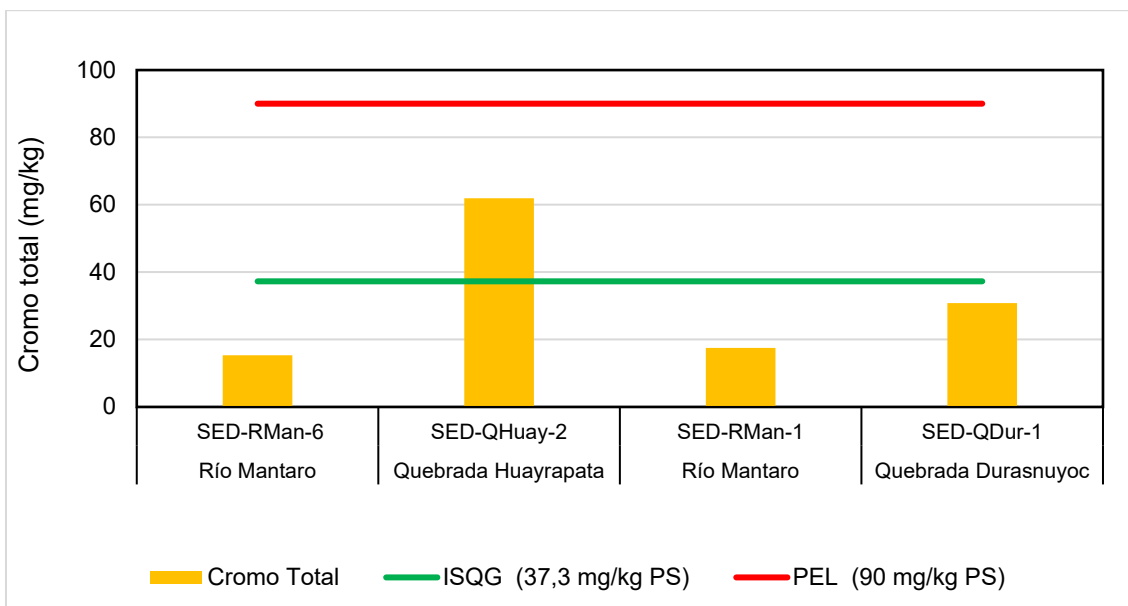
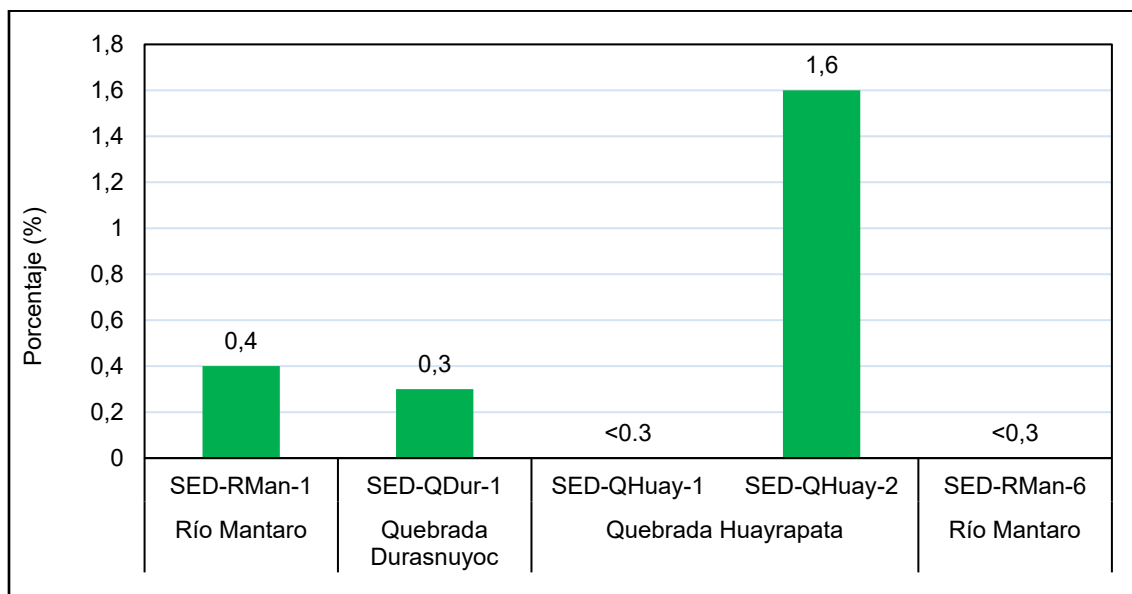


Figura 6.20. variación de la concentración de cromo total en los puntos de muestreo evaluados



### C. Materia orgánica

Respecto a las muestras sólidas extraídas de los sedimentos, el punto de muestreo SED-QHuay-2 en la quebrada Huayrapata se registró el mayor porcentaje de materia orgánica, seguido por el punto en el río Mantaro (RMan-1), ubicado en la cola del embalse Cerro del Águila. Los demás puntos evaluados registraron un valor de materia orgánica por debajo del límite de cuantificación, tal como se aprecia en la Figura 6.21.

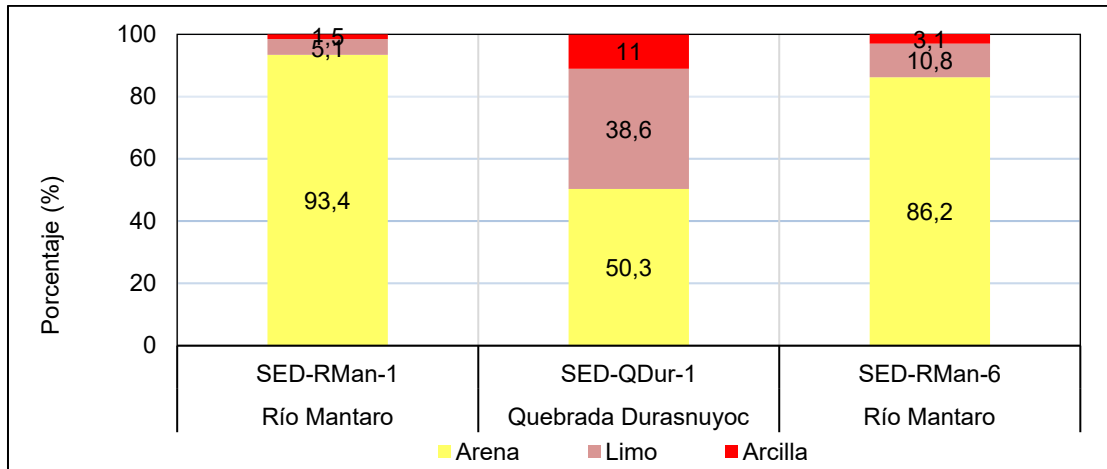


**Figura 6.21.** Concentración en porcentaje de materia orgánica las muestras extraídas de sedimentos

### D. Análisis granulométrico

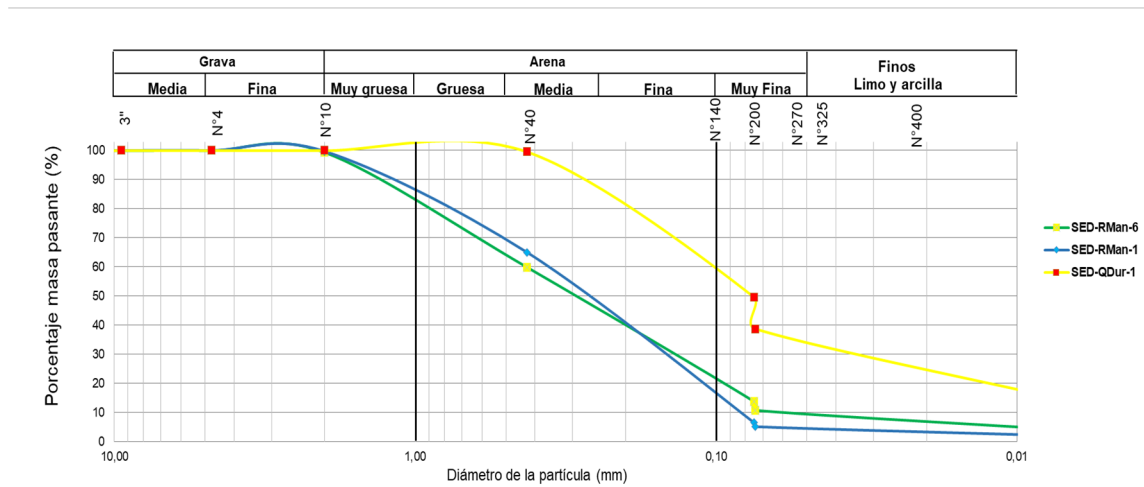
El río Mantaro y quebradas afluentes en el tramo evaluado presentaron baja cantidad de sedimentos, logrando solo obtener una muestra representativa de análisis en el río Mantaro (SED-RMan-6 y SED-RMan-1) y quebrada Durasnuyoc (SED-QDur-1). De estas 3 muestras predominaron las arenas y una menor proporción de finos (limos y arcillas). Se resalta que el porcentaje de arena gruesa en el río Mantaro fue 86,2% en el RMan-6 y 93,4 % en el RMan-1. Para la quebrada Durasnuyoc se registró un porcentaje de finos equivalente a 49,7%, tal como se muestra en la Figura 6.22.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 6.22.** Concentración en porcentaje de materia orgánica las muestras extraídas de sedimentos

A partir de los resultados obtenidos se generó las curva granulométricas que se observan en la Figura 6.23. Se aprecia que los puntos de muestreo de SED-RMan-1 y SED-RMan-6 presentan semejanzas en su granulometría a diferencia de punto de muestro de SED-QDur-1.



**Figura 6.23.** Análisis de curva granulométrica de las muestras extraídas de sedimentos

## 6.1.4. Comunidades hidrobiológicas

### 6.1.4.1. Evaluación visual de ambientes lóticos

Los puntajes de las características de la evaluación visual de ambientes lóticos en inglés *Stream Visual Assessment Protocol (SVAP)* de cada punto se encuentran en el Anexo 4 (RR-002-2021-STEC). En la Tabla 6.5 se presenta un resumen de dichos resultados, incluyendo la característica física adicional de tamaño del río.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

**Tabla 6.5.** Resumen de las características y evaluación visual de quebradas

Código	SVAP1	SVAP2	SVAP3	SVAP4	SVAP5	SVAP7	SVAP8	SVAP9	SVAP10	SVAP11	SVAP12	SVAP14	Tamaño del río*
Descripción	Condición del canal	Alteración hidrológica	Zona ribereña	Estabilidad de la orilla	Apariencia del agua	Barreras al movimiento de peces	Cobertura para peces	Pozas	Hábitat de macroinvertebrados	Cobertura o ensombreamiento	Presencia de estiércol	Rápidos pequeños con sustrato atascado	
RMan-1	10	8	10	1	7	10	3	1	2	1	10	NA	4
RMan-2	10	8	10	3	7	10	3	1	2	1	10	NA	4
RMan-3	7	1	10	3	7	1	3	1	2	1	10	NA	4
RMan-6	8	6	10	7	7	1	3	1	2	1	10	NA	4
QHuay-1	10	10	10	7	7	5	3	1	7	7	10	5	1
QHuay-2	10	10	10	7	7	5	3	1	5	7	10	3	1
QPall-1	10	10	10	3	8	10	3	5	7	7	10	10	2
QDur-1	10	10	10	5	8	10	3	5	7	7	10	10	2
QM-1	10	10	10	7	8	10	3	5	4	1	10	10	2
QM-2	10	10	10	7	10	5	5	5	7	1	10	7	2

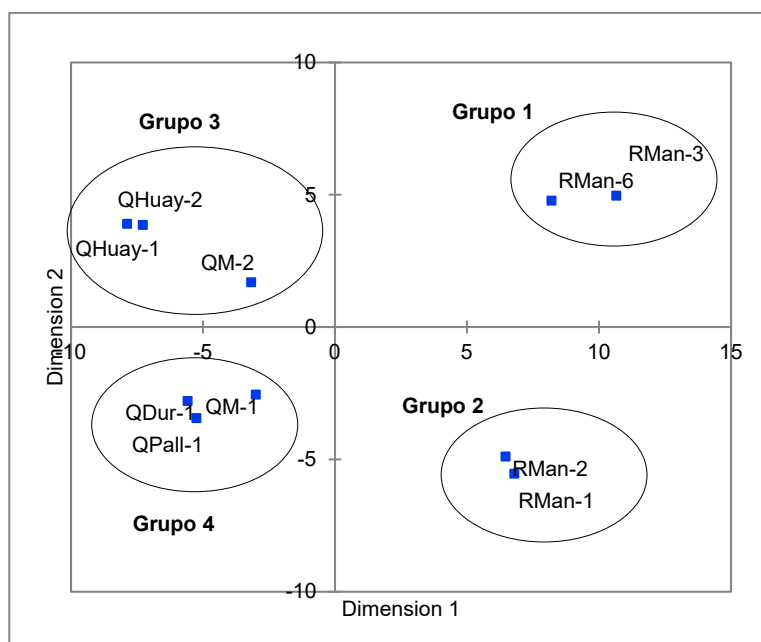
SVAP: *Stream Visual Asssment Protocol*, Protocolo de valoración visual de quebradas

NA: Características que no aplicó debido al tipo de río o porque dicha característica no pudo ser encontrada

\*Los valores de ancho del río fueron usados como referencia para colocar valores ordinales en las características tamaño del río. Debido a un error material los valores en QPall-1 y QDur-1 fueron ajustados

La Figura 6.24. muestra la interacción entre las características evaluadas en un análisis de coordenadas principales a partir de las similitudes entre ellas basadas en distancia euclidiana. Debido a que las estaciones se ubicaron en ríos y quebradas con dimensiones muy diferentes, como las estaciones RMan-1, RMan-2, RMan-3 y RMan-6, ubicadas en el río Mantaro y las estaciones QHuay-1 y QHuay-2 ubicadas en una quebrada muy pequeña como Huayrapata, se le dio un mayor peso en el análisis al tamaño del río en comparación con las características del SVAP. El SVAP14 no fue incluido debido a que solo las quebradas presentaban esta característica.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 6.24.** Análisis de coordenadas principales

El análisis de coordenadas principales (Figura 6.24) mostró un porcentaje de variabilidad acumulado de 84,362 % para las dimensiones 1 y 2, mostrando una alta variabilidad explicada por la dimensionalidad escogida. Se pueden distinguir cuatro grupos, los primeros dos ubicados en la parte positiva de la Dimensión 1 son las estaciones ubicadas en el río Mantaro, mientras que los dos restantes están ubicados en la parte negativa de la Dimensión 1 (quebradas). Si a la división por parte de la Dimensión 1 se agrega la Dimensión 2, se observa el Grupo 1 formado por RMan-3 y RMan-6, el Grupo 2 formado por RMan-1 y RMan-2, el Grupo 3 formado por QHuay-1, QHuay-2 y QM-2, y finalmente el Grupo 4 formado por QPall-1, QDur-1 y QM-1.

Se observa un claro efecto de dar una mayor ponderación al tamaño del río permitiendo la primera separación principal entre ríos y quebradas, a partir de la dimensión 2 se puede observar las diferencias establecidas por las características del SVAP. Una revisión de la Tabla 6.5 nos permitirá observar que una de las diferencias entre los Grupos 1 y 2 es el puntaje que se le aplicó a la característica Barrera para el movimiento de peces (SVAP 7) debido al efecto de la represa como obstáculo presentado en las estaciones RMan-3 y RMan-6. La diferencia entre los Grupos 3 y 4 está más determinada por las características asociadas a los peces como barreras para su desplazamiento, en este caso barreras naturales (SVAP 7) y presencia de pozas (SVAP 9).

### 6.1.3.2. Perifiton

#### 6.1.3.2.1. Fitoperifiton

##### A. Composición comunitaria

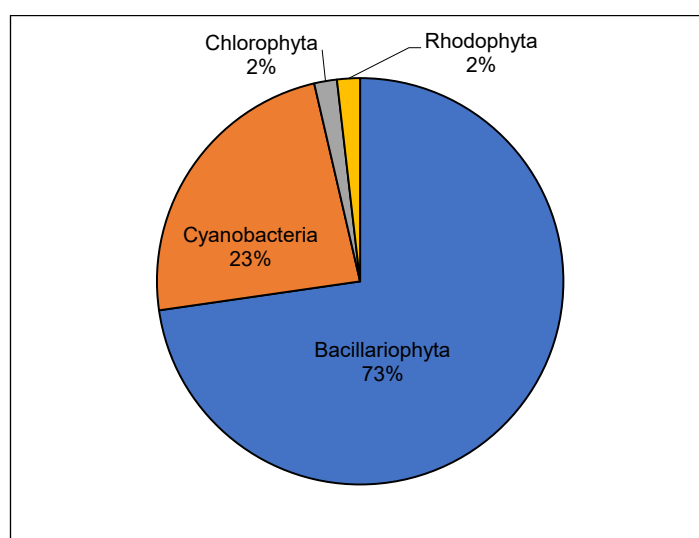
La composición total de la comunidad de perifiton autótrofa comprendió 40 morfoespecies del Phylum Bacillariophyta (73% de las morfoespecies), 13 morfoespecies del Phylum

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Cyanobacteria (24% de las morfoespecies) y solo una morfoespecie para cada uno de los Phylum Chlorophyta y Rodophyta. Los registros por Phylum y la composición porcentual se encuentran en la Tabla 6.6 y Figura 6.25.

**Tabla 6.6.** Composición total del número de especies de fitoperifiton

Phylum	Morfoespecies	% Morfoespecies
Bacillariophyta	40	73
Cyanobacteria	13	24
Chlorophyta	1	2
Rhodophyta	1	2
TOTAL	55	100



**Figura 6.25.** Distribución porcentual de la composición de morfoespecies por Phylum

## B. Riqueza

La composición de la riqueza por Phylum en cada punto mostró un patrón similar encontrado en la composición total, con el Phylum Bacillariophyta dominando con una mayor cantidad de morfoespecies. El Phylum Cyanobacteria estuvo representado por debajo del 25% en todas las estaciones, con excepción de RMan-3 y QHuay-1 donde su representación fue de 50% y 36% respectivamente. El Phylum Chlorophyta y Rodophyta solo estuvo presente en el punto QHuay-1 con una escasa representación de 6% en total.

La riqueza total fue mayor en el punto QHuay-1 con 33 morfoespecies, seguido por RMan-2 con 15 morfoespecies, QHuay-2 con 13 morfoespecies y QPall-1 con 11 morfoespecies. Las estaciones restantes tuvieron una riqueza inferior a 10, siendo el punto QDur-1 la de menor riqueza con 2 morfoespecies.

Los valores de riqueza por Phylum en cada punto y su representación porcentual se encuentran en la Tabla 6.7 y Figura 6.26.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Tabla 6.7. Riqueza por Phylum de fitoperifiton en cada punto

Table with 9 columns: Phylum\Estaciones, RMan-1, RMan-2, RMan-3, RMan-6, QHuay-1, QHuay-2, QPall-1, QDur-1. Rows include S-Bacillariophyta, S-Cyanobacteria, S-Chlorophyta, S-Rodophyta, S-Total, %S-Bacillariophyta, %S-Cyanobacteria, %S-Chlorophyta, %S-Rodophyta.

S: Cantidad de especies o morfotipos
%S: Porcentaje de especies o morfotipos

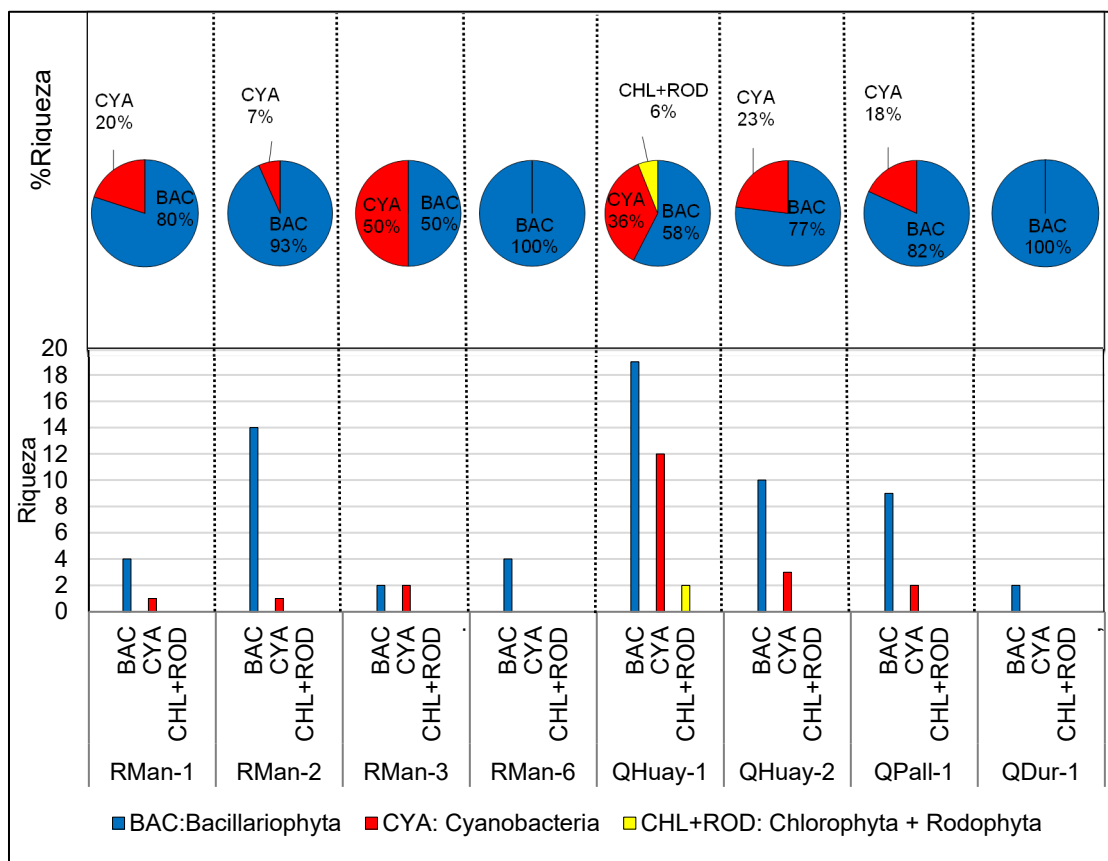


Figura 6.26. Riqueza por Phylum de fitoperifiton en cada punto

C. Abundancia

Las estaciones con mayores abundancias, es decir sobrepasando los 1000 organismos/cm2, fueron QHuay-1 con 35500, seguido de QPall-1 con 6201, QHuay-2 con 5032 y RMan-2 con





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

1400. Por otro lado, las estaciones por debajo de los 1000 organismos/cm<sup>2</sup>, fueron RMan-3 con 332, RMan-1 con 250, QDur-2 con 250 y RMan-6 con 200.

La Figura 6.27 mostró que en general Bacillariophyta es el Phylum con mayor abundancia relativa, con excepción del punto RMan-3, donde Bacillariophyta fue la mitad de la abundancia total. Las abundancias de Cyanobacteria estuvieron en general por debajo del 50%, con excepción del punto RMan-3, donde Cyanobacteria fue la mitad de la abundancia total. Los puntos de muestreo QHuay-1 y QHuay-2 tuvieron el 34% y 28% de la abundancia dentro del Phylum Cyanobacteria, seguido de RMan-1 con 20%, QPall-1 con 12% y RMan-2 con 4%. Finalmente, RMan-6 y QDur-1 se caracterizaron por la ausencia del Phylum Cyanobacteria. Las abundancias del Phylum Chlorophyta y Rodophyta fueron las más bajas, representando solo el 2% en QHuay-1.

Los registros de abundancia y su composición porcentual por Phylum se encuentra en la Tabla 6.8 y Figura 6.27

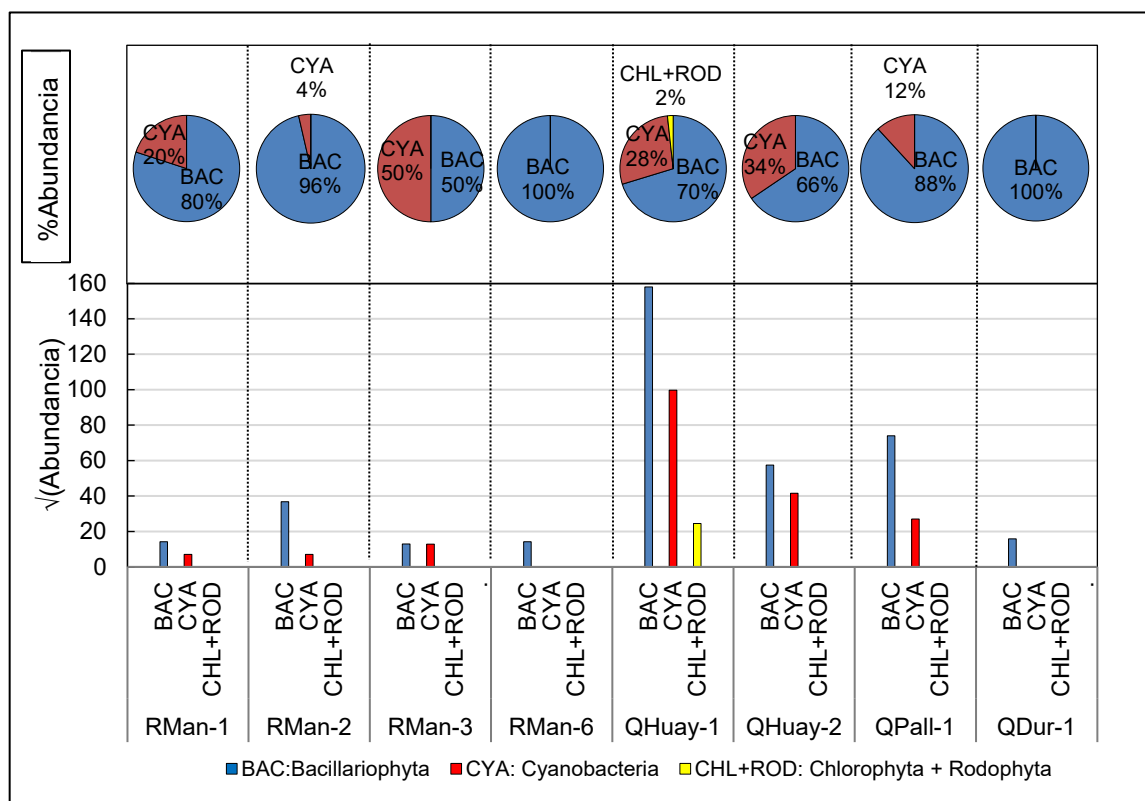
**Tabla 6.8.** Abundancia por Phylum de fitoperifiton en cada punto de muestreo

Phylum\Estaciones	RMan-1	RMan-2	RMan-3	RMan-6	QHuay-1	QHuay-2	QPall-1	QDur-1
N-Bacillariophyta	200	1350	166	200	24950	3299	5467	250
N-Cyanobacteria	50	50	166	0	9950	1733	734	0
N-Chlorophyta	0	0	0	0	200	0	0	0
N-Rodophyta	0	0	0	0	400	0	0	0
<b>N-Total</b>	<b>250</b>	<b>1400</b>	<b>332</b>	<b>200</b>	<b>35500</b>	<b>5032</b>	<b>6201</b>	<b>250</b>
%N-Bacillariophyta	80	96	50	100	70	66	88	100
%N-Cyanobacteria	20	4	50	0	28	34	12	0
%N-Chlorophyta	0	0	0	0	1	0	0	0
%N-Rodophyta	0	0	0	0	1	0	0	0

N: Abundancia

%N: Abundancia porcentual

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 6.27.** Abundancia por Phylum de fitoperifiton en cada punto de muestreo

#### D. Índices de diversidad

Las estaciones más diversas se reflejan en los registros del índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) más alto, con 3,059 nits/individuo para QHuay-1, seguido por RMan-2 con 2,538 nits/individuo y de QHuay-2 con 2,082 nits/individuos. Las estaciones restantes no superaron los 2 nits/individuos, siendo el punto de muestreo con el registró más bajo, QDur-1 ( $H'=0,636$  nits/individuo).

El índice de Berger Parker ( $d$ ) mostró una mayor dominancia de alguna morfoespecie en el punto QDur-1 ( $d=0,668$ ), mientras que las estaciones restantes no superaron un valor de 0,5 unidades, siendo las estaciones con los registros más bajos, QHuay-1 y RMan-2 con 0,101 y 0,143 unidades respectivamente.

Los valores de  $H'$  y  $d$  se encuentran en la Tabla 6.9. Los valores de  $H'$  y  $d$  se colocan junto con los registros de riqueza y abundancia para comparación en la Figura 6.28.

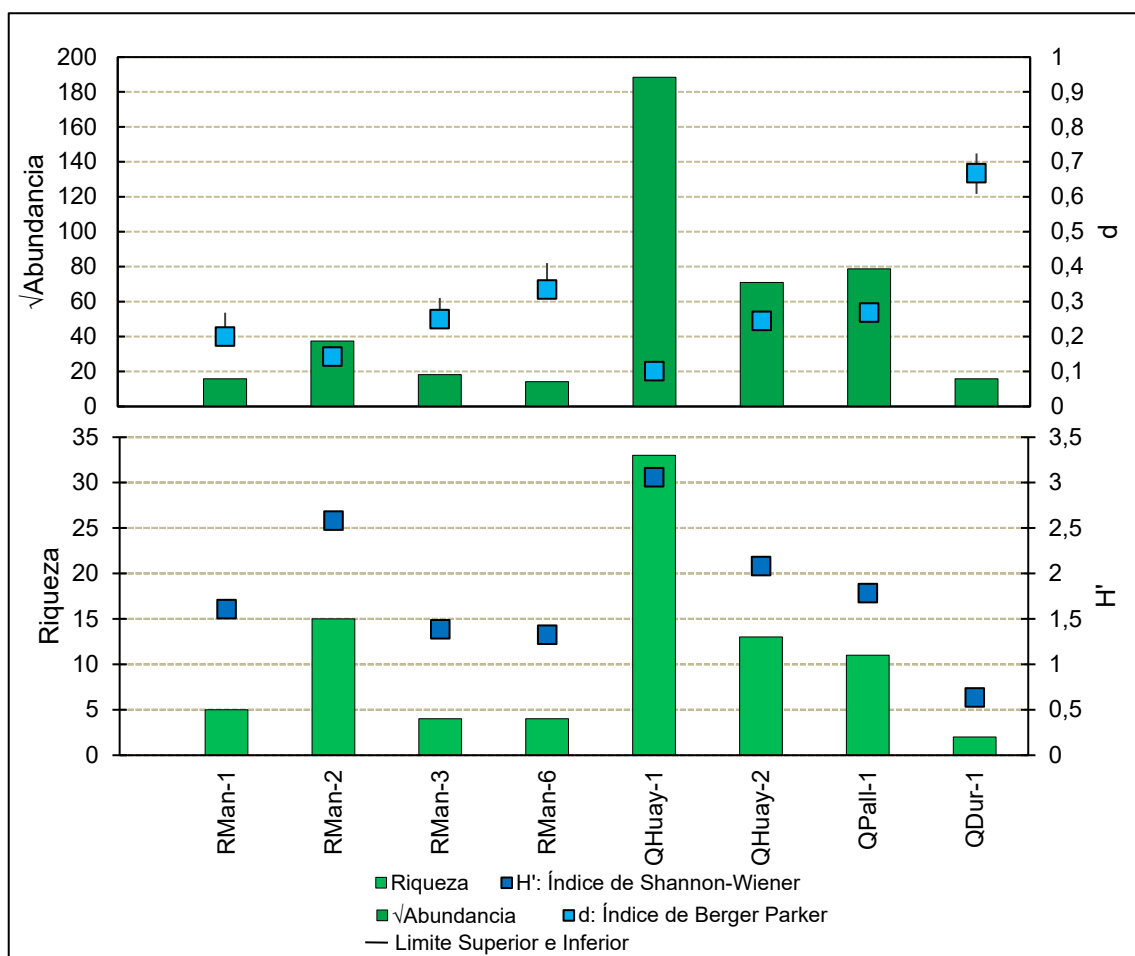
**Tabla 6.9.** Índice de diversidad de fitoperifiton

Índices de diversidad	$H'$	$d$
RMan-1	1,609	0,200
RMan-2	2,583	0,143

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Índices de diversidad	H'	d
RMan-3	1,386	0,250
RMan-6	1,327	0,335
QHuay-1	3,059	0,101
QHuay-2	2,082	0,245
QPall-1	1,784	0,269
QDur-1	0,636	0,668

H': Índice de Shannon-Wiener  
d: Índice de Berger Parker



Limites Superiores e Inferiores para H' y d obtenidos mediante *bootstrapping*

**Figura 6.28.** Índices de diversidad de fitoperifiton

## E. Multivariado

El escalamiento multidimensional no métrico basado en la matriz de disimilaridades de Bray-Curtis (Tabla 6.10.) para comunidad de fitoperifiton produjo dos ejes dimensionales con un Stress de Kruskal de 0,072, mostrando tres grupos con estaciones muy cercanas entre ellos y solo un punto aislado (RMan-6) debido a su mayor disimilaridad con las demás estaciones.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

El Grupo 1 estuvo formado por las estaciones RMan-1, RMan-3 y QDur-1, cuya cercanía entre ellos demuestra una menor disimilaridad. El Grupo 2 estuvo formado por las estaciones RMan-2, QHuay-2 y QPall-1 y el Grupo 3 por QHuay-1 y QPall-1. Nótese como ambos grupos comparten el punto de muestreo QPall-1, la cual parece tener una estructura comunitaria similar entre QHuay-1 y QHuay-2.

Los registros del índice de disimilaridad de Bray-Curtis entre los puntos de muestreo se encuentra en la Tabla 6.10. y el escalamiento multidimensional no métrico se encuentra en la Figura 6.29.

Tabla 6.10. Índice de disimilaridad de Bray-Curtis para fitoperifiton

Estaciones	QDur-1	QHuay-1	QHuay-2	QPall-1	RMan-1	RMan-2	RMan-3	RMan-6
QDur-1	0,000	0,981	0,925	0,932	0,754	0,888	0,688	1,000
QHuay-1	0,981	0,000	0,787	0,777	0,971	0,935	0,944	0,983
QHuay-2	0,925	0,787	0,000	0,809	0,890	0,795	0,858	0,954
QPall-1	0,932	0,777	0,809	0,000	0,944	0,767	0,936	0,933
RMan-1	0,754	0,971	0,890	0,944	0,000	0,839	0,409	0,818
RMan-2	0,888	0,935	0,795	0,767	0,839	0,000	0,897	1,000
RMan-3	0,688	0,944	0,858	0,936	0,409	0,897	0,000	1,000
RMan-6	1,000	0,983	0,954	0,933	0,818	1,000	1,000	0,000

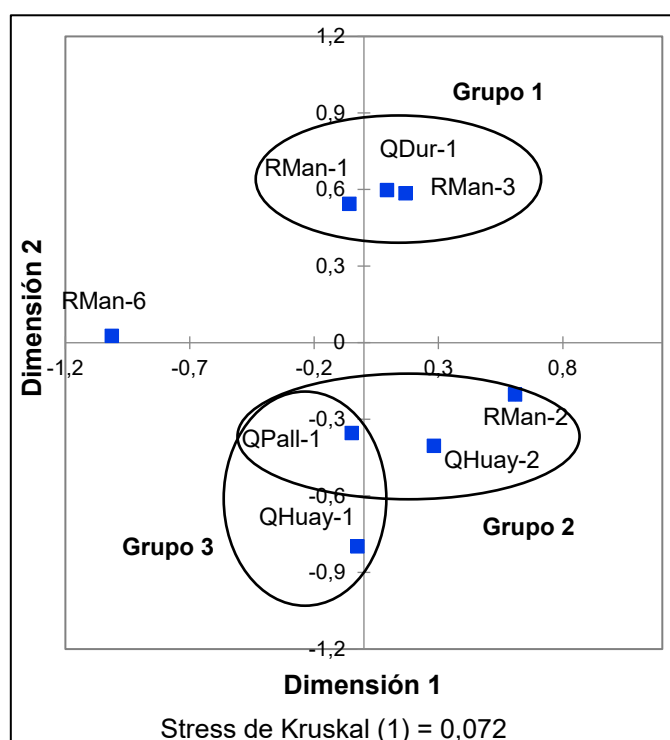


Figura 6.29. Escalamiento multidimensional no métrico

La relación entre las variables ambientales y la comunidad de fitoperifiton se muestra mediante la correlación de Spearman de las dimensiones del escalamiento multidimensional



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

no métrico y las variables ambientales. Un cuadro resumen de las variables usadas se puede observar en la Tabla 6.11.

**Tabla 6.11.** Variables ambientales estandarizadas

Código	Variabes	RMan-1	RMan-2	RMan-3	RMan-6	QHuay-1	QHuay-2	QPall-1	QDur-1
FE-AS	Hierro total de Agua Superficial	0,428	-0,231	-0,713	0,174	-1,079	-0,957	0,377	2,001
Pb-AS	Plomo total de Agua Superficial	1,753	0,469	-0,088	0,923	-1,050	-0,979	-0,873	-0,154
Dur	Dureza	0,160	0,457	0,350	-0,093	0,979	1,112	-1,342	-1,624
STD	Sólidos totales disueltos	0,131	0,263	0,263	-0,178	1,146	1,212	-1,392	-1,447
STS	Sólidos totales suspendidos	1,405	0,253	-0,576	0,691	-1,221	-1,198	-0,392	1,037
Alc	Alcalinidad	-0,117	0,152	-0,002	-0,232	1,073	1,607	-1,015	-1,465
Clo	Cloruros	0,733	1,135	0,852	0,468	-0,175	-0,119	-1,447	-1,447
Flu	Fluoruros	-0,409	-0,356	-0,409	-0,462	1,544	1,650	-0,726	-0,832
Sul	Sulfuros	0,250	0,556	0,454	0,045	0,931	0,863	-1,519	-1,581
pH	Potencial de hidrogeno	0,458	0,658	1,544	-0,572	-0,400	0,000	0,172	-1,859
CE	Conductividad eléctrica	0,187	0,320	0,236	-0,037	1,056	1,168	-1,335	-1,595
OD	Oxígeno disuelto	0,703	0,260	0,810	1,635	-1,116	-1,039	-0,627	-0,627
T	Temperatura	-1,014	-0,873	0,044	-0,379	1,526	1,526	-0,591	-0,238
MO-SED	Materia orgánica en Sedimento	-0,315	NR	NR	-0,490	-0,490	1,784	NR	-0,490
As-SED	Arsénico en sedimento	0,942	NR	NR	0,321	NR	0,147	NR	-1,410
Cr-SED	Cromo en sedimento	-0,646	NR	NR	-0,749	NR	1,422	NR	-0,027

NR: No se registró

Las correlaciones de Spearman entre las dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico y las variables de la Tabla 6.11. se muestran en la Tabla 6.12., donde se resaltó aquellas que superaron en valor absoluto un r de Spearman de 0,7. La variable sólidos en suspensión (SST) tuvo un r de 0,714 con la dimensión 2. En el caso de la dimensión 1 cromo en sedimento (Cr-SED) mostró el más alto valor con r de Spearman de 1.

**Tabla 6.12.** Correlaciones de Spearman entre las variables ambientales y las dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de Fitoperifiton

Variabes	Dimensión 1	Dimensión 2
FE-T	-0,405	0,690
Pb-T	-0,333	0,619
Dur	0,524	-0,643
STD	0,503	-0,611
SST	-0,405	0,714
Alc	0,524	-0,643
Clo	0,311	0,180
Flu	0,479	-0,659
Sul	0,452	-0,667



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Variables	Dimensión 1	Dimensión 2
pH	0,381	0,048
CE	0,524	-0,643
OD	-0,335	0,635
T	0,299	-0,347
MO-SED	0,447	-0,112
As-SED	-0,600	-0,200
Cr-SED	1,000	-0,200

r de Spearman > 0,7

### 6.1.3.2.2. Zooperifiton

La comunidad del perifiton heterótrofo comprendió solo un individuo del Phylum Rotifera, *Proales* sp., registrado solo en QHuay-1.

### 6.1.3.3. Macroinvertebrados bentónicos

#### A. Composición comunitaria

La composición taxonómica total de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos comprendió 64 morfoespecies, de las cuales la mayor composición fue registrada para morfoespecies de la Clase Insecta. La menor cantidad de morfoespecies correspondió al Phylum Platyhelminthes, Phylum Nematoda y Phylum Annelida con 1,6% cada uno. Hydracarina mostró además un 1,6% de representatividad dentro del Phylum Arthropoda siendo la Clase Insecta el grupo taxonómico de mayor cantidad de morfoespecies, con Diptera como el de mayor representación (25 morfoespecies, 39,1%), seguido por Coleoptera con 12 morfoespecies (18,8%), Trichoptera con 9 morfoespecies (14,1%), Ephemeroptera con 8 morfoespecies (12,5%) y Odonata con 3 morfoespecies (4,7%). Los órdenes dentro de Insecta con menor representación de morfoespecies fueron Plecoptera, Hemiptera y Megaloptera con una morfoespecie cada uno, es decir 1,6% de las morfoespecies totales.

La composición comunitaria total para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se encuentra en la Tabla 6.13 y Figura 6.30

**Tabla 6.13.** Composición comunitaria total de macroinvertebrados bentónicos

PHYLLUM	Clase	Orden u otro	Morfoespecies	%Morfoespecies
Platyhelminthes	-	-	1	1,6
Nematoda	-	-	1	1,6
Annelida	-	-	1	1,6
Arthropoda	Insecta	Hydracarina	1	1,6
		Plecoptera	1	1,6
		Hemiptera	1	1,6
		Megaloptera	1	1,6
		Odonata	3	4,7
		Ephemeroptera	8	12,5
		Trichoptera	9	14,1
		Coleoptera	12	18,8
		Diptera	25	39,1
Total			64	100

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

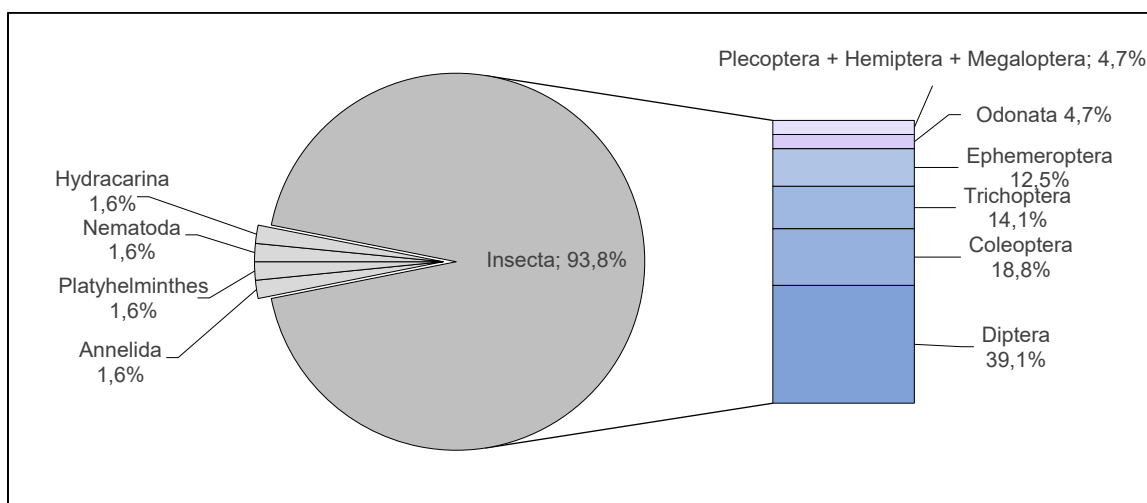


Figura 6.30. Distribución porcentual de la composición de especies por Phylum

## B. Riqueza

La riqueza total fue mayor en los puntos de muestreo de quebradas en comparación con las estaciones ubicadas en el río Mantaro. Las estaciones ubicadas en el río Mantaro variaron desde ninguna morfoespecie (RMan-2-D, RMan-3-D, RMan-6-S, RMan-6-D), una sola morfoespecie (RMan-1-D), 2 morfoespecies en RMan-3-S, 3 morfoespecies en RMan-1-S y 5 morfoespecies en RMan-2-S. En el caso de las quebradas, las estaciones con mayor riqueza fueron QM-2-Veg, QM-2-Can y QHuay-1 con 32, 30 y 29 morfoespecies respectivamente. Las estaciones restantes (QM-1, QPall-1, QDur-1 y QHuay-2) oscilaron entre 10 a 13 morfoespecies.

Debido a la poca riqueza en los puntos evaluados en el río Mantaro, algunos taxones dominaron totalmente como en RMan-3-S con 100% (2 morfoespecies) para Ephemeroptera, y en RMan-1-D con 100% (1 morfoespecie) para Díptera. En el caso de RMan-2-S y RMan-1-S, la mayor representación fue para Ephemeroptera+Plecoptera+Trichoptera seguido de Díptera (RMan-2-S) o tanto de Díptera como de Coleoptera (RMan-1-S)

Los puntos de muestreo ubicados en las quebradas mostraron una mayor representación de morfoespecies de Díptera desde 46% en QDur-1 hasta 60% en QHuay-2, las excepciones a esta representatividad fueron de QM-2-Can y QM-2-Veg donde la mayor cantidad de morfoespecies fue de Ephemeroptera+Plecoptera+Trichoptera con 33% y 32% respectivamente. Coleoptera oscilo entre 0% (QM-1) hasta 25% (QM-2-Veg) de representación, mientras que Odonata solo estuvo presente en estaciones como QHuay-1, QPall-1 y QM-2-Veg con una baja representación (1 a 2 morfoespecies). Finalmente, el grupo Annelida+Platyhelminthes+Nematoda estuvo presente en QHuay-1 (1 morfoespecie, 3% de representación), QPall-1 (1 morfoespecie, 8% de representación), QDur-1 (1 morfoespecie, 9% de representación), QM-1 (1 morfoespecie, 8% de representación), QM-2-Can (3 morfoespecies, 10% de representación) y QM-2-Veg (2 morfoespecies, 6% de representación). En la Tabla 6.14 y Figuras 6.31 y 6.32 se muestra la riqueza por Phylum.





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

**Tabla 6.14.** Riqueza por Phylum de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo

Phylum \ Estaciones	RMan-1-S	RMan-1-D	RMan-2-S	RMan-2-D	RMan-3-S	RMan-3-D	RMan-6-S	RMan-6-D	QHuay-1	QHuay-2	QPall-1	QDur-1	QM-1	QM-2-Can	QM-2-Veg
S-Ephemeroptera	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2	3	3	4	3
S-Plecoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
S-Trichoptera	1	0	1	0	0	0	0	0	4	2	1	1	2	5	6
S-Odonata	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1
S-Hemiptera	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S-Megaloptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
S-Hydracarina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
S-Coleoptera	1	0	0	0	0	0	0	0	5	2	1	1	0	7	8
S-Diptera	1	1	2	0	0	0	0	0	16	6	7	5	7	8	10
S-Annelida	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
S-Platyhelminthes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
S-Nematoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<b>S-Total</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>29</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>30</b>	<b>32</b>
%S-Ephemeroptera	0	0	40	-	100	-	-	-	0	0	15	27	23	13	9
%S-Plecoptera	0	0	0	-	0	-	-	-	0	0	0	0	0	3	3
%S-Trichoptera	33	0	20	-	0	-	-	-	14	20	8	9	15	17	19
%S-Odonata	0	0	0	-	0	-	-	-	7	0	8	0	0	0	3
%S-Hemiptera	0	0	0	-	0	-	-	-	3	0	0	0	0	0	0
%S-Megaloptera	0	0	0	-	0	-	-	-	0	0	0	0	0	3	0
%S-Hydracarina	0	0	0	-	0	-	-	-	0	0	0	0	0	3	3
%S-Coleoptera	33	0	0	-	0	-	-	-	17	20	8	9	0	23	25
%S-Diptera	33	100	40	-	0	-	-	-	55	60	54	45	54	27	31
%S-Annelida	0	0	0	-	0	-	-	-	3	0	0	9	8	3	3
%S-Platyhelminthes	0	0	0	-	0	-	-	-	0	0	8	0	0	3	3
%S-Nematoda	0	0	0	-	0	-	-	-	0	0	0	0	0	3	0

(-) corresponde a valores indeterminados de 0/0



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres «Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

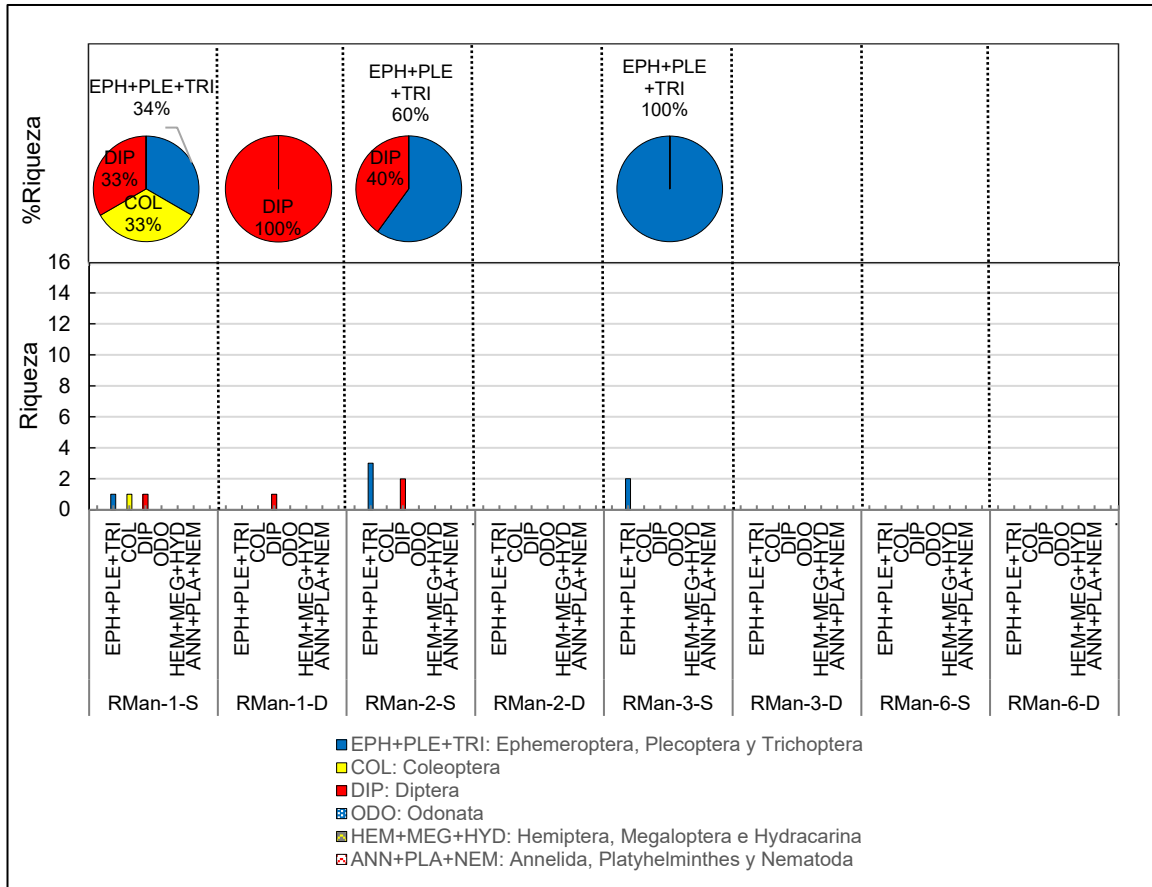


Figura 6.31. Composición de riqueza de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo en río Mantaro

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

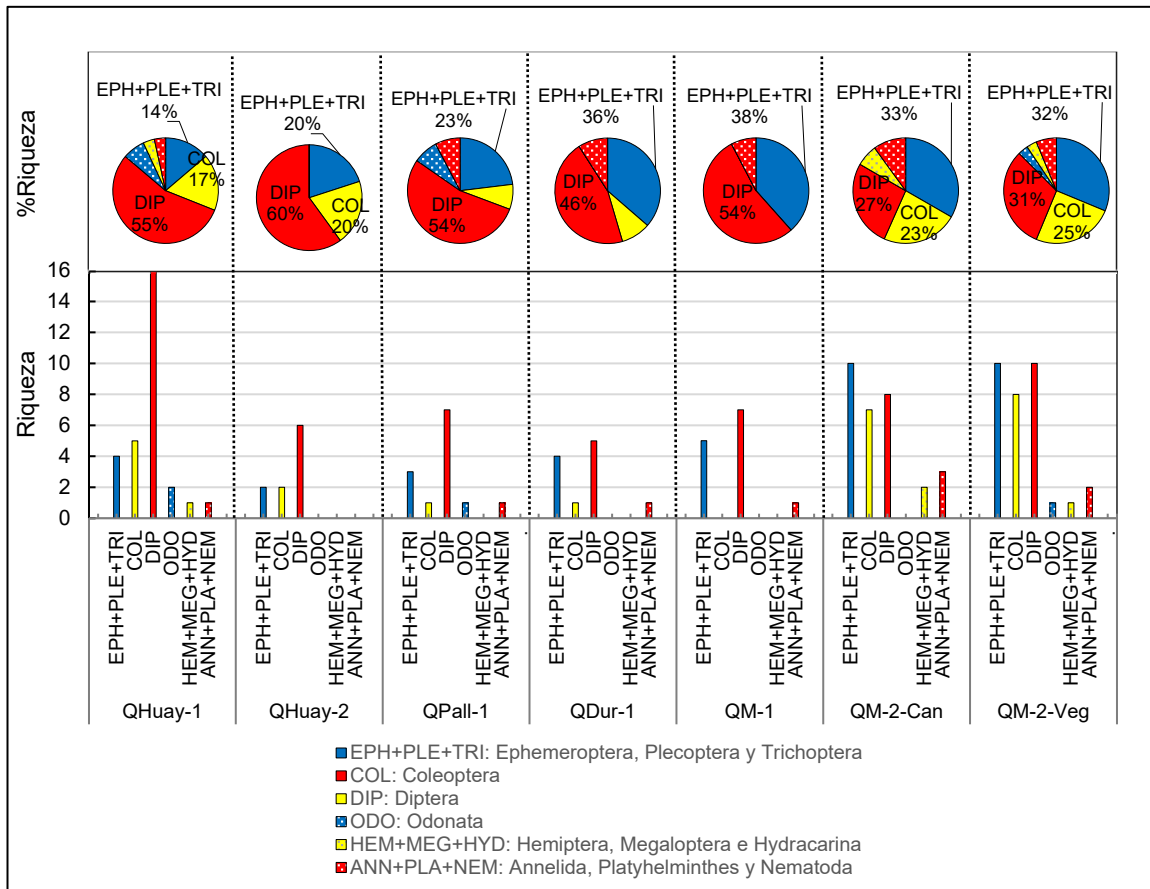


Figura 6.32. Composición de riqueza de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo de quebradas

### C. Abundancia

Los puntos de muestreo con mayor abundancia fueron aquellas ubicadas en las quebradas en comparación con las del río Mantaro, donde la abundancia fue nula (RMan-3-D, RMan-6-S, RMan-6-D) o de escasos individuos (RMan-1-D con un individuo, RMan-3-S con 2 individuos y RMan-1-S con 4 individuos). Solamente RMan-2-S mostró una abundancia superior de 21 individuos en comparación con las demás estaciones del Río Mantaro. Las quebradas mostraron abundancias desde 16 individuos (QHuay-2), seguido de QM-1 con 79 individuos, QDur-1 y QPall-1 con 240 y 277 individuos respectivamente, y estaciones que superaron los 500 individuos (QHuay-1=588, QM-2-Can=833, QM-2-Veg=988).

Las abundancias por taxones en el río Mantaro fueron diferentes entre ellas, con la mayor abundancia de Ephemeroptera+Plecoptera+Trichoptera en RMan-3-S (100%), seguido de la mayor abundancia de Díptera en RMan-1-S (100%) y RMan-2-S (57%), Coleoptera tuvo una mayor abundancia en RMan-1-S (50%). Las estaciones restantes del río Mantaro se caracterizaron por la ausencia de individuos.

En el caso de las quebradas, algunos grupos taxonómicos dominantes fueron comunes entre los puntos de muestreo. Ephemeroptera+Plecoptera+Trichoptera tuvo una mayor abundancia en QM-2-Veg (51%), QDur-1 (52%), QM-2-Can (56%) y QPall-1 con 71%. En los puntos de



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

muestreo restantes, el grupo taxonómico con mayor abundancia fue Díptera, con 50% en QHuay-2, 58% en QM-1 y 68% en QHuay-1. Coleóptera tuvo una representación desde nula hasta moderada, siendo nula en QDur-1 y QM-1, escasa (<5%) en QPall-1 y QDur-1 y moderada en QHuay-1 (23%), QM-2-Can (24%), QHuay-2 (31%) y QM-2-Veg con 40%. Odonata tuvo una escasa representación de individuos con menos del 5% en todas las estaciones, con excepción de QHuay-1 con 7% de representación. Hemiptera+Megaloptera+Hydracarina estuvo presente solo en algunas estaciones y una representación menor al 1% (QHuay-1, QM-2-Can, QM-2-Veg). Annelida+Platyhelminthes+Nematoda tuvo mayor representación en QM-2-Can y QM-2-Veg con 9% y 6% respectivamente, mientras que en las estaciones QM-1, QDur-1, QPall-1 y QHuay-1 fue menor del 5%, y ausente en QHuay-2.

Los valores de abundancia por taxon para macroinvertebrados bentónicos se encuentran en la Tabla 6.15 y las Figura 6.33 y 6.34.

**Tabla 6.15.** Abundancia por taxon de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo

Phyllum\Estaciones	RMan-1-S	RMan-1-D	RMan-2-S	RMan-2-D	RMan-3-S	RMan-3-D	RMan-6-S	RMan-6-D	QHuay-1	QHuay-2	QPall-1	QDur-1	QM-1	QM-2-Can	QM-2-Veg
N-Ephemeroptera	0	0	8	0	2	0	0	0	0	0	192	123	27	342	466
N-Plecoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1
N-Trichoptera	1	0	1	0	0	0	0	0	14	3	4	1	4	119	34
N-Odonata	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	1	0	0	0	1
N-Hemiptera	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
N-Megaloptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
N-Hydracarina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
N-Coleoptera	2	0	0	0	0	0	0	0	133	5	1	4	0	196	393
N-Diptera	1	1	12	0	0	0	0	0	399	8	78	107	46	94	35
N-Annelida	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	2	63	55
N-Platyhelminthes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	2
N-Nematoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
N-TOTAL	4	1	21	0	2	0	0	0	588	16	277	240	79	833	988
%N-Ephemeroptera	0,00	0,00	38,10	-	100,00	-	-	-	0,00	0,00	69,31	51,25	34,18	41,06	47,17
%N-Plecoptera	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,10
%N-Trichoptera	25,00	0,00	4,76	-	0,00	-	-	-	2,38	18,75	1,44	0,42	5,06	14,29	3,44
%N-Odonata	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	6,80	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,10
%N-Hemiptera	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
%N-Megaloptera	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
%N-Hydracarina	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,10
%N-Coleoptera	50,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	22,62	31,25	0,36	1,67	0,00	23,53	39,78
%N-Diptera	25,00	100,00	57,14	-	0,00	-	-	-	67,86	50,00	28,16	44,58	58,23	11,28	3,54
%N-Annelida	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	0,17	0,00	0,00	2,08	2,53	7,56	5,57
%N-Platyhelminthes	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,36	0,20
%N-Nematoda	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32	0,00

N: Abundancia

%N: Abundancia porcentual

(-) corresponde a valores indeterminados de 0/0



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres «Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

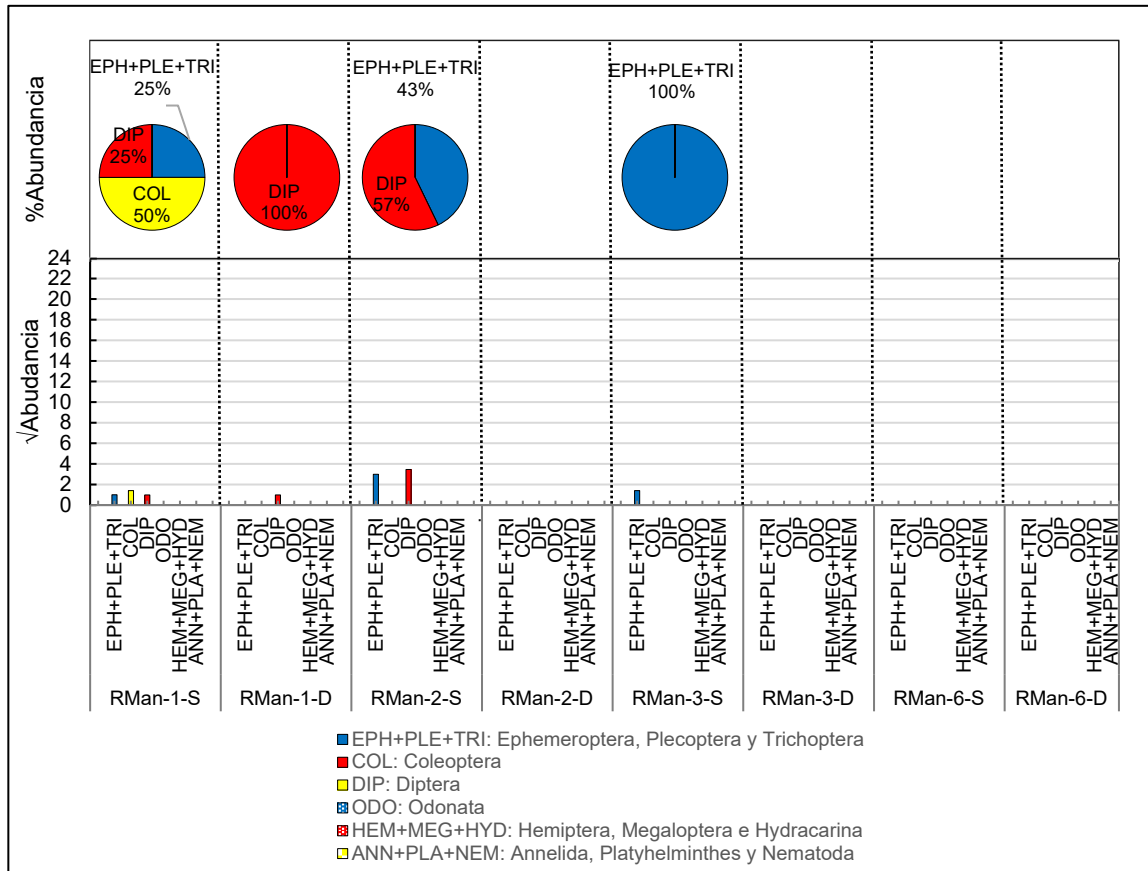
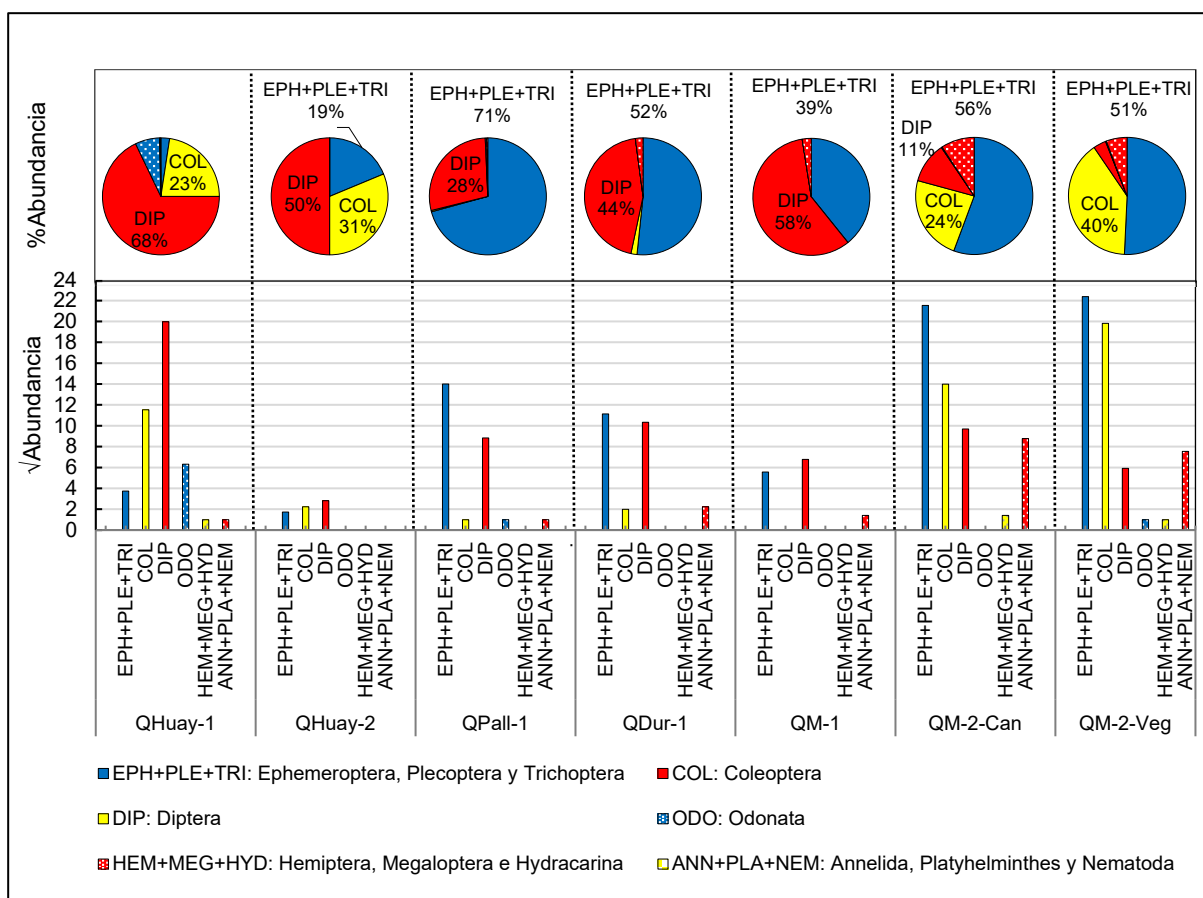


Figura 6.33. Abundancia por taxon de macroinvertebrados bentónicos en cada punto de muestreo del río Mantaro

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 6.34.** Abundancia por taxon de macroinvertebrados bentónicos en punto de muestreo de quebradas

#### D. Índice de diversidad

Las estaciones más diversas interpretadas en el índice de Shannon-Wiener estuvieron presentes en las quebradas como QHuay-1 con 2,339 nits/individuos, seguido de QM-2-Can con 2,330 nits/individuo y QHuay-2 con 2,133 nits/individuo. Estaciones entre 1 y 2 nits/individuo estuvieron formados por los puntos de muestreo en las quebradas (QM-1, QM-2-Veg, QDur-1, y QPall-1) y algunas en el río Mantaro (RMan-2-S y RMan-1-S). Los resultados por debajo de 1 nits/individuos es decir las menos diversas, solo estuvieron presentes en el río Mantaro (RMan-3-S y RMan-6-S con 0,693 y 0 nits/individuos respectivamente).

La dominancia presentada por el índice de Berger Parker (d) alcanzó el registro más alto en QPall-1 con 0,679 unidades, mientras los valores de 0,5 unidades estuvieron presentes en RMan-1 y RMan-3, seguido de 0,476 unidades en RMan-2-S. Los registros cercanos a 0,4 unidades se encontraron en QM-2-Veg (0,440) y QM-1 (0,4). Las restantes estaciones de quebradas tuvieron valores entre 0,2 y 0,4 unidades. Finalmente, el punto de muestreo RMan-6-S tuvo un registro de 0 unidades debido a la falta de especímenes encontrados.

Los puntos de muestreo con el sufijo-D representan aquellas cuyo muestreo se obtuvo con Red D, estas no fueron incluidas en el análisis. La escasez de organismos ( $\leq 1$  organismos)



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

en estas muestras permitió prescindir de ellas, ya que se esperaba encontrar organismos más lejos de la orilla, facilitado por el alcance de la Red D.

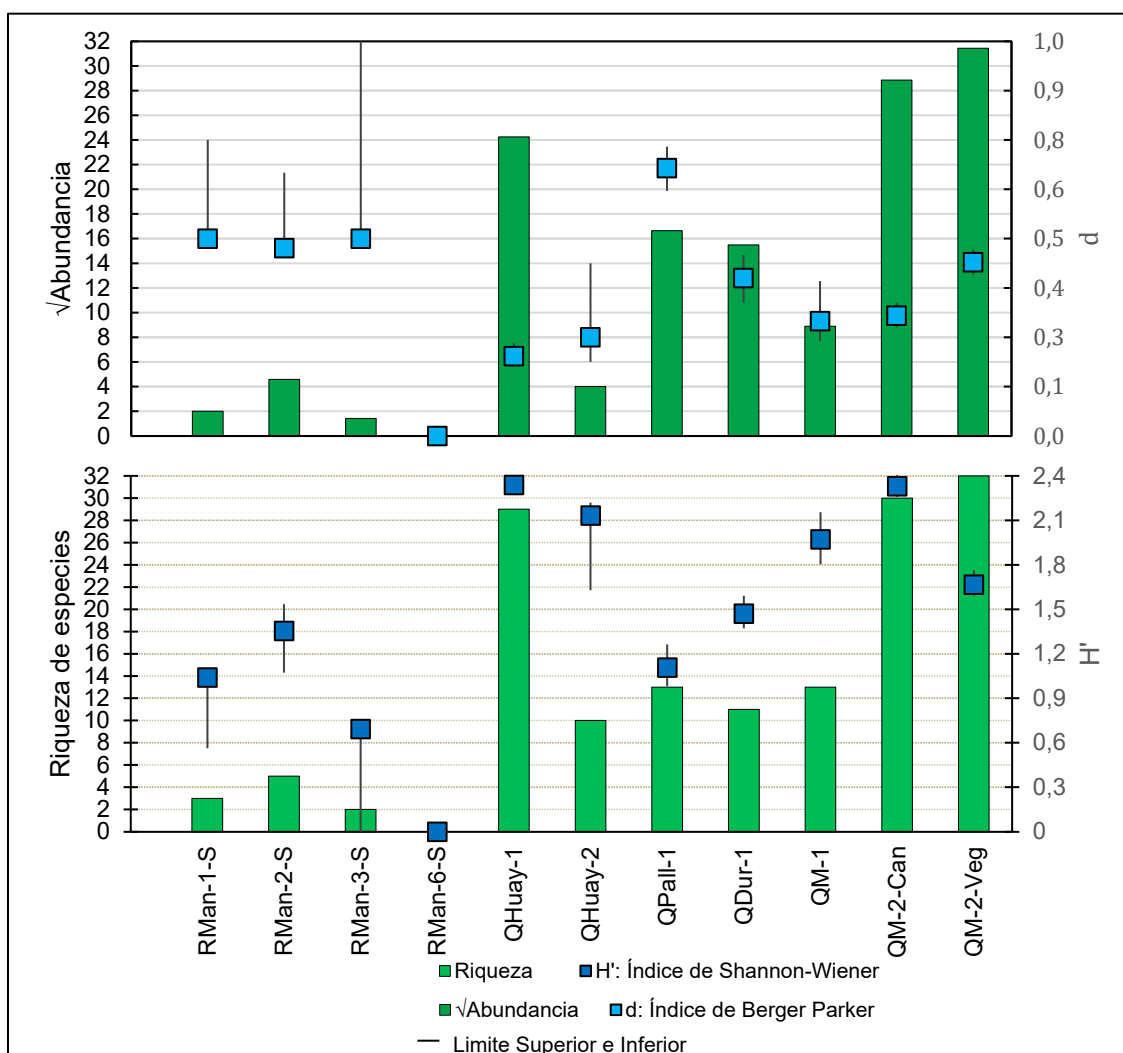
Los valores de los índices de diversidad se encuentran en la Tabla 6.16 y Figura 6.35.

**Tabla 6.16.** Índice de diversidad para macroinvertebrados bentónicos

Índices de diversidad	H'	d
RMan-1	1,040	0,500
RMan-2	1,354	0,476
RMan-3	0,693	0,500
RMan-6	0,000	-
QHuay-1	2,339	0,202
QHuay-2	2,133	0,250
QPall-1	1,107	0,679
QDur-1	1,471	0,400
QM-1	1,972	0,291
QM-2-Can	2,330	0,305
QM-2-Veg	1,666	0,440

H': Índice de Shannon-Wiener  
d: Índice de Berger Parker  
(-): valor no considerado por ser  
0/0 indeterminado

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 6.35.** Índice de diversidad para macroinvertebrados bentónicos

Nota: Límites Superiores e Inferiores para H' y d obtenidos mediante *bootstrapping*

### E. Multivariado

La construcción de las dos dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico (Figura 6.36) basados en los Índices de Bray-Cutis en los puntos de muestreo (Tabla 6.17) permitieron una mejor visualización de las semejanzas en la estructura comunitaria de los macroinvertebrados bentónicos entre los puntos de muestreo. Se puede observar dos grupos claramente definidos por la cercanía, el Grupo 1 formado por QHuay-2 y RMan-1-S seguido del Grupo 2 formado por QDur-1 y QPall-1. Los puntos de muestreo restantes se encuentran dispersos por el EMNM, no llegando a formar grupos debido a su distancia de separación. Por otro lado, se puede observar la separación entre estaciones en quebradas y en el río Mantaro, siendo estas últimas ubicadas en la derecha, mientras que las quebradas se ubicaron en la izquierda. Solo una excepción se dio para QHuay-2 ubicada al lado izquierdo del EMNM.

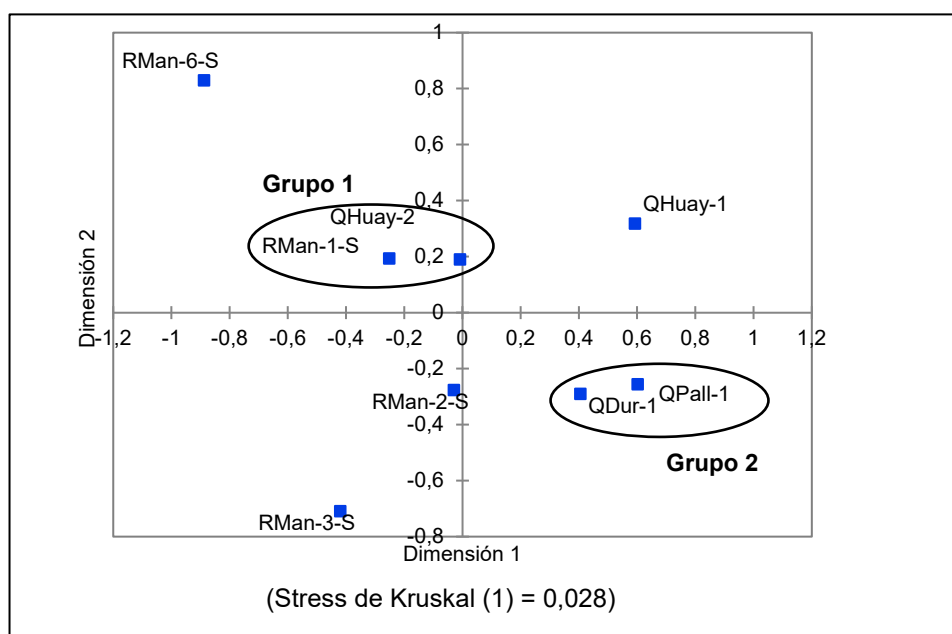




Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

**Tabla 6.17.** Índice de disimilaridad de Bray-Curtis para macroinvertebrados bentónicos

Estaciones	RMan-1-S	RMan-2-S	RMan-3-S	RMan-6-S	QHuay-1	QHuay-2	QPall-1	QDur-1
RMan-1-S	0	0,920	1,000	1,000	0,993	0,700	0,993	0,984
RMan-2-S	0,920	0	0,913	1,000	0,967	0,838	0,960	0,847
RMan-3-S	1,000	0,913	0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,992
RMan-6-S	1,000	1,000	1,000	0	1,000	1,000	1,000	1,000
QHuay-1	0,993	0,967	1,000	1,000	0	0,954	0,882	0,947
QHuay-2	0,700	0,838	1,000	1,000	0,954	0	0,980	0,953
QPall-1	0,993	0,960	1,000	1,000	0,882	0,980	0	0,706
QDur-1	0,984	0,847	0,992	1,000	0,947	0,953	0,706	0



**Figura 6.36.** Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

La relación entre las variables ambientales y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se muestra mediante la correlación de Spearman de las dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico y las variables ambientales. Las variables ambientales usadas fueron las mismas que las consideradas para fitoperifiton (Tabla 6.11).

Las correlaciones de Spearman entre las dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico y las variables de la Tabla 6.11. se muestran en la Tabla 6.18, donde se resaltó aquellas que superaron en valor absoluto un  $r$  de Spearman de 0,7. Para el caso de las variables de agua superficial, plomo total, cloro y oxígeno disuelto estuvieron correlacionados por encima de 0,7 con la Dimensión 1, mientras que la Dimensión 2 no tuvo correlaciones por encima de 0,7 con las variables de agua superficial. En el caso de sedimentos, solo se correlacionaron los valores en las dimensiones 1 y 2 de los puntos de muestreo que tuvieron el registro de estos parámetros. Arsénico en sedimento (As-SED) tuvo una correlación de 1



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

con la dimensión 2 y cromo en sedimento (Cr-SED) tuvo una correlación de 1 con la dimensión 1. Los registros de las correlaciones se encuentran en la Tabla 6.18. y las correlaciones por encima de 0,7 mencionadas se muestran en Gráficos de dispersión en la Figura 6.37.

**Tabla 6.18.** Correlaciones de Spearman entre las variables ambientales y las dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

Variables	Dimensión 1	Dimensión 2
FE-T	-0,095	0,381
Pb-T	-0,762	0,595
Dur	0,071	-0,048
STD	0,060	-0,096
STS	-0,405	0,619
Alc	0,071	-0,048
Clo	-0,731	0,204
Flu	0,096	0,036
Sul	0,095	-0,143
pH	-0,214	-0,190
CE	0,071	-0,048
OD	-0,874	0,299
T	0,252	-0,503
MO-SED	0,112	0,447
As-SED	-0,600	1,000
Cr-SED	1,000	-0,600

r de Spearman > 0,7

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

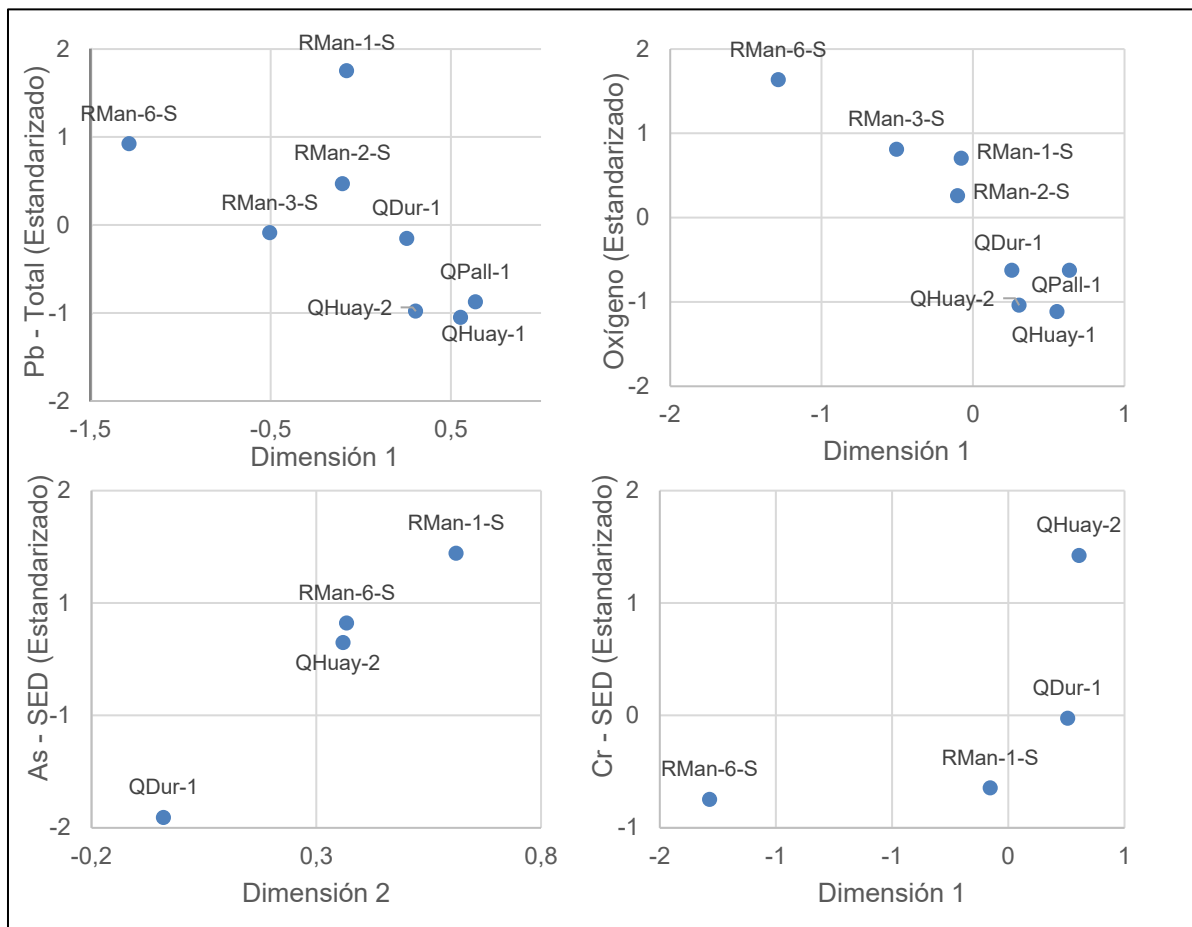


Figura 6.37. Gráficos de dispersión para las correlaciones de Spearman superior a 0,7

## 6.2. Objetivo específico 2: Determinar la relación entre el embalse de la C.H. Cerro del Águila y la presencia de dípteros en los centros poblados dentro del área de influencia de la Central Hidroeléctrica

Se evaluaron 10 puntos de muestreo: 4 fueron evaluados en el río Mantaro (RMan-1, RMan-2, RMan-3 y RMan-6); 2 puntos en la quebrada Huayrapata (RHuay-1 y RHuay-2), 2 punto en la quebrada Pallca (RPall-1, QM-1) y 2 punto en la quebrada Durasnuyoc (QDur-1, QM-2). Si bien no se tomaron muestras en el mismo embalse, las muestras tomadas en el río Mantaro dan un indicio ya que comparte características con el embalse como un gran ancho mojado y su misma ubicación en el río Mantaro.

La hipótesis planteada para identificar los lugares potenciales para el desarrollo de dípteros hematófagos fue probada mediante la prueba de Mann-Whitney. La Tabla 6.19. muestra los valores de abundancia de Tabanidae y los resultados de la prueba de Mann-Whitney mostrando un p-valor  $<0,0001$ , por lo que la hipótesis de que las abundancias de larvas de Tabanidae en las quebradas son mayores que del río Mantaro es aceptada.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

**Tabla 6.19.** Resultados de la prueba de Mann-Whitney para las abundancias de larvas de Tabanus

Datos usados			
Quebradas	Abundancia	Rio Mantaro	Abundancia
QHuay-1	0	RMan-1-S	0
QHuay-2	0	RMan-1-D	0
QPall-1	0	RMan-2-S	0
QDur-1	0	RMan-2-D	0
QM-1	0	RMan-3-S	0
QM-2-Can	1	RMan-3-D	0
QM-2-Veg	2	RMan-6-S	0
		RMan-6-D	0
Resultados			
U		36,000	
Valore esperado		28,000	
Varianza (U)		26,133	
valor-p		<0,0001	
alfa		0,05	

La Tabla 6.20. muestra los valores de abundancia de Simuliidae y los resultados de la prueba de Mann-Whitney mostrando un p-valor de 0,007, por lo que la hipótesis de que las abundancias de larvas de Simuliidae en las quebradas son mayores que del río Mantaro es aceptada

**Tabla 6.20.** Resultados de la prueba de Mann-Whitney para las abundancias de larvas de Simuliidae

Datos usados			
Quebradas	Abundancia	Rio Mantaro	Abundancia
QHuay-1	8	RMan-1-S	0
QHuay-2	1	RMan-1-D	0
QPall-1	0	RMan-2-S	10
QDur-1	96	RMan-2-D	0
QM-1	12	RMan-3-S	0
QM-2-Can	3	RMan-3-D	0
QM-2-Veg	2	RMan-6-S	0
		RMan-6-D	0
Resultados			
U		47,500	
Valore esperado		28,000	
Varianza (U)		63,467	
valor-p		0,007	
alfa		0,05	



## 7. DISCUSIÓN

En esta sección se discutirá los principales resultados respecto a la calidad de agua, sedimentos, comunidades hidrobiológicas y presencia de dípteros hematófagos en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila, obtenidos durante la EAC. El análisis complementado con información proporcionada por DSEM, el administrado, así como otras referencias citadas permitieron evaluar los posibles riesgos hídricos del río Mantaro relacionado a las actividades de operación del administrado evaluados en el presente informe.

### 7.1. Influencia de la purga de sedimentos por mantenimiento del embalse de la C.H. Cerro del Águila en la calidad del agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas del río Mantaro

Para determinar el riesgo hídrico producto de la purga de sedimentos del embalse de la C.H. Cerro del Águila en el agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas del río Mantaro y de acuerdo al Informe Técnico N° 011-2013-ANA-DGCRH/PAAE<sup>33</sup> (Tomo N° 12, Página N° 328, Folio 02968 – 02969) donde el administrado tiene por compromiso realizar las siguientes medidas específicas de manejo ambiental, durante el período de apertura de compuertas de fondo:

- *Incrementar la frecuencia de monitoreo de calidad de agua, según el siguiente detalle: (i) Un monitoreo 48 horas antes del inicio del proceso de limpieza del embalse; (ii) Un monitoreo durante el proceso de limpieza del embalse. (iii) Un monitoreo 48 horas después de concluido el proceso de limpieza del embalse (iv) Un monitoreo dentro del plazo de 15 días contados a partir de la conclusión del proceso de limpieza del embalse, Dichos monitoreos se realizarán en los siguientes puntos de control: MAG 7, MAG 12 y MAG 15 y se utilizarán los parámetros contemplados en el ECA.*
- *Evaluar la posibilidad de incrementar el número de procesos de limpieza del embalse en época de avenida, en base a los resultados de los monitoreos a realizarse, y siempre que el caudal natural del río permita realizar este proceso.*

Entre el 27 de febrero y 8 de marzo de 2021 se realizó la purga sedimentos donde la DSEM realizó una supervisión especial<sup>34</sup>. De acuerdo a los resultados obtenidos todos los parámetros evaluados antes del inicio de la purga (ESP-AS-CHCDA-01 y ESP-AS-CHCDA-02) cumplieron con los ECA para Agua 2017 Categoría 3 a excepción del manganeso en el punto ESP-AS-CHCDA-02 y pH que estuvo por encima del rango establecido en el punto ESP-AS-CHCDA-01. Sin embargo, 48 horas después de iniciada la purga los parámetros de aluminio, hierro, manganeso y plomo incrementaron su concentración y excedieron los ECA para Agua 2017 en los puntos ubicados aguas debajo del embalse (ESP-AS-CHCDA-03 y ESP-AS-CHCDA-04). Asimismo, dichos parámetros registraron a las 72 horas, mayor concentración en comparación a las 48 horas, adicionalmente se incrementaron las

<sup>33</sup> Opinión técnica a la subsanación de observaciones del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto “ Modificación de los Componentes de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila” de la empresa Cerro del Águila Sociedad Anónima.

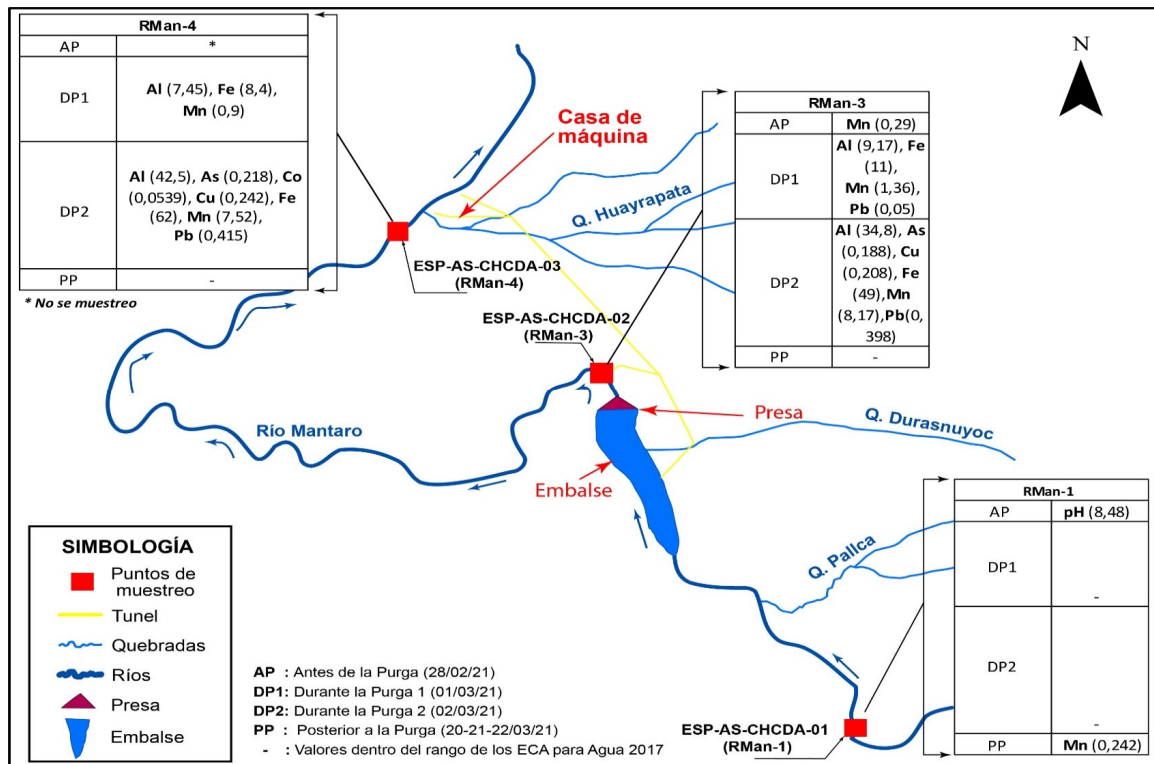
<sup>34</sup> Realizada del 28 al 3 de marzo 2021. Se evaluaron parámetros de agua superficial antes y durante purga de sedimentos en los puntos de muestro ESP-AS-CHCDA-01(aguas arriba del embalse), ESP-AS-CHCDA-02 (aguas abajo de la presa) y ESP-AS-CHCDA-03 (aguas abajo del ingreso a la casa de máquinas).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

concentraciones de arsénico, cobalto y cobre que también excedieron el estándar mencionado.

Finalizada la purga 14 días después<sup>35</sup> los parámetros cumplieron con los ECA para Agua 2017 Categoría 3, a excepción de manganeso que excedió dicho estándar en el punto de muestreo RMan-1 (ESP-AS-CHCDA-01).

En la Figura 7.1 se resumen los parámetros que estuvieron fuera de los rango de los ECA para Agua 2017 categoría 3, antes (AP), durante (DP1 y DP2) o después de la purga (PP).



**Figura 7.1.** Parámetros que excedieron los ECA para Agua 2017 antes, durante y posterior a la purga de sedimentos del embalse de la C.H. Cerro del Águila.

Zhang *et al.* (1992), nos indica que los ríos constituyen una de las principales vías de transporte de metales por medio del arrastre de materiales desde la cuenca alta y media. Dichos elementos que excedieron los ECA para Agua 2017 en los puntos de muestreo ESP-AS-CHCDA-02 y ESP-AS-CHCDA-03 durante la purga de sedimentos, estarían siendo transportados desde la parte alta de la cuenca del río Mantaro y acumulados en el embalse de la C.H. Cerro del Águila. De acuerdo a la ANA (2018), se registraron elevadas concentraciones de manganeso a lo largo del río Mantaro desde la ciudad La Oroya hasta Huancayo. Asimismo, el río Yauli afluente al río Mantaro registró altas concentraciones de aluminio, hierro, manganeso y plomo. Respecto al arsénico cuya mayor proporción se encuentra en fase disuelta, además de cobre y cobalto en fase suspendida que también estarían siendo acumulados en el embalse de la C.H. Cerro del Águila, los cuales estarían

<sup>35</sup> Durante las acciones de supervisión en el marco de la presente EAC los puntos fueron evaluados con los siguientes códigos: RMan-1 (ESP-AS-CHCDA-01), RMan-3 (ESP-AS-CHCDA-02) y RMan-4 (ESP-AS-CHCDA-02).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

provinendo principalmente de los ríos Hatupampa, Vichos y Escalera de acuerdo a los monitoreos realizados por la ANA (2018).

De acuerdo al registro histórico del administrado elementos como el aluminio, hierro, manganeso y plomo incrementaron su concentración en el agua del río Mantaro durante la temporada húmeda (Figuras 7.2a, 7.2d, 7.2e y 7.2f), registrando valores por encima de los ECA para Agua 2017, aguas arriba del embalse (RMan-1) y aguas abajo (RMan-3 y RMan-4). Respecto al arsénico y el cobre salvo el IV trimestre del año 2015 se reportó valores por debajo del estándar en mención (Figuras 7.2b, 7.2c).

Sin embargo, durante la purga de sedimentos (DP1y DP2) dichos elementos (aluminio, hierro, manganeso, plomo, cobre y arsénico) incrementaron notablemente su concentración por encima del registro histórico de la temporada húmeda (2015-2020), excediendo los ECA para Agua 2017 Categoría 3 (Cat3 D1 y D2), en los puntos de muestreo aguas abajo de la presa (RMan-3 y RMan-4), tal como se aprecia en la Figura 7.2. En la Tabla 7.1. se muestra en porcentajes los incrementos de las concentraciones de los elementos que excedieron los ECA para Agua 2017 durante la purga de sedimentos respecto a la concentración máxima reportado por el administrado entre los años 2015 al 2020.

**Tabla 7.1.** Incremento en porcentaje (%) de las concentraciones de metales durante la purga de sedimentos respecto al histórico (2015-2020)

Parámetro	RMan-3			RMan-4		
	Histórico 2015-2020*	Durante la purga de sedimentos**	Incremento	Histórico 2015-2020*	Durante la purga de sedimentos**	Incremento
(unidad)	(mg/L)			(mg/L)		
			(%)			(%)
Aluminio	48,91	34,8	-28,85	25,4	42,5	<b>67,32</b>
Arsénico	0,08	0,19	<b>137,50</b>	0,12	0,22	<b>83,33</b>
Cobre	0,1	0,21	<b>110,00</b>	0,07	0,24	<b>242,86</b>
Hierro	57,07	49	-14,14	54,78	62	<b>13,18</b>
Manganeso	2,41	8,17	<b>239,00</b>	1,71	7,52	<b>339,77</b>
Plomo	0,15	0,4	<b>166,67</b>	0,11	0,42	<b>281,82</b>

(\*) Fuente: informes trimestrales del administrado 2015 -2020

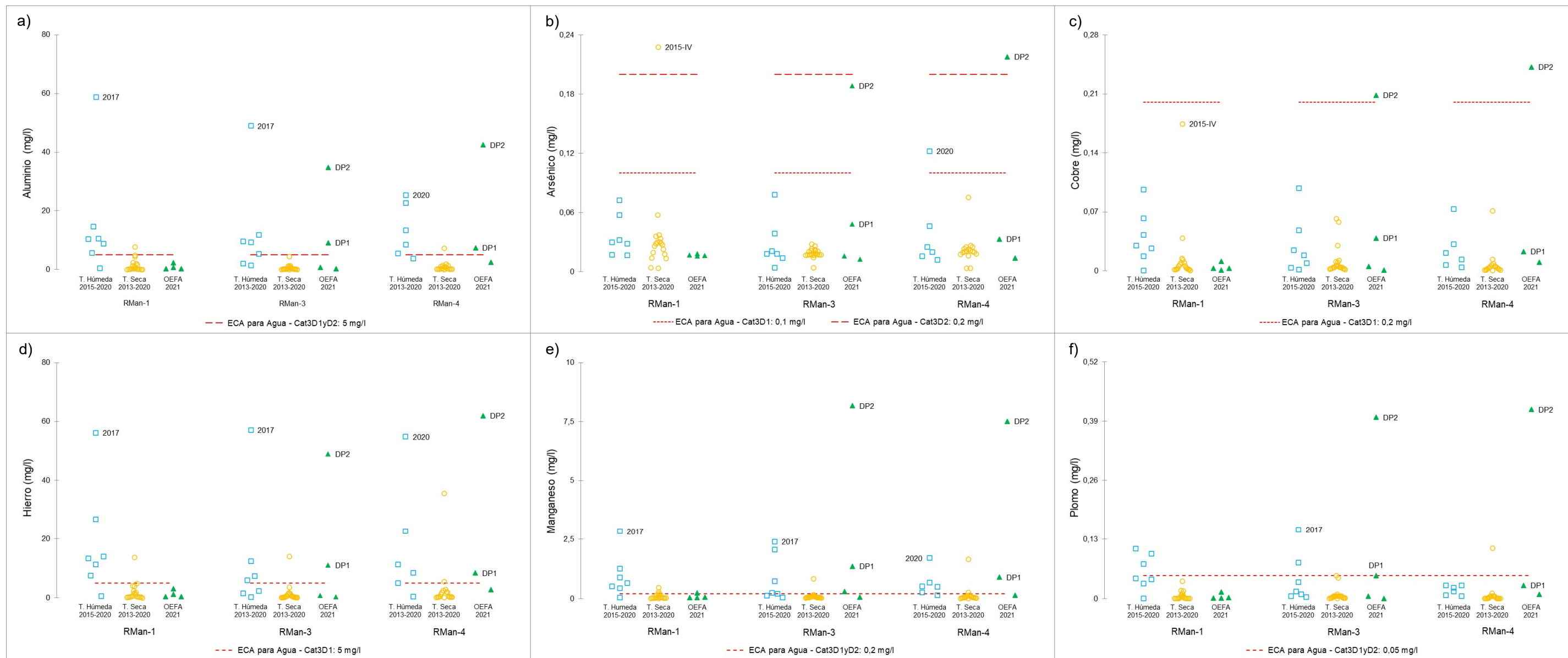
(\*\*)Fuente: informes de ensayo N.° SAA-21/00143 y SAA-21/00144, A-21/026124 remitidos mediante Memorando N.° 0093-2021-OEFA/DSEM

Se evidencia de acuerdo a la Tabla 7.1. que el incremento en concentraciones de los metales que excedieron los ECA para Agua 2017 durante la purga de sedimentos en algunos casos estuvieron por encima del 200 % (manganeso, cobre y plomo) de las concentraciones reportadas por el administrado durante la temporada húmeda desde el año 2015 al 2020.





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

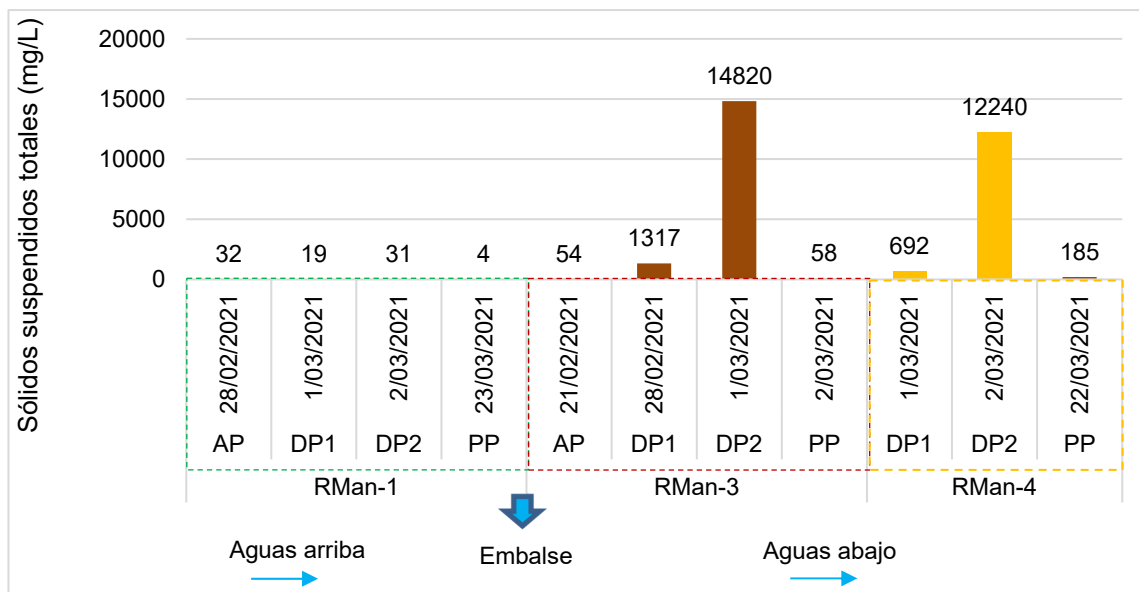


**Figura 7.2.** Concentraciones históricas de metales (2015-2020) reportadas por el administrado y lo registrado durante la purga de sedimentos (AP: antes de la purga, DP1: 24 horas de iniciada purga, DP2: 48 horas de iniciada la purga, PP: posterior a la purga) en los puntos de muestreo RMan-1, RMan-3 y RMan-4. a) aluminio total, b) arsénico total, c) cobre total, d) hierro total, e) manganeso total, f) plomo total



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Por otra parte, los sólidos totales suspendidos que si bien es cierto no tiene valor de referencia en los ECA para Agua 2017 Categoría 3, es un parámetro que influencia a la dinámica de los demás elementos presentes en el agua, tal como indica Prokop *et al.* (2013) la forma química de elementos en su forma disuelta o en fase acuosa determina la biodisponibilidad biológica y reactividad química (sorción/desorción/precipitación/disolución) hacia otros componentes del sistema acuoso como los sedimentos. Cabe indicar que el río Mantaro de acuerdo a Senamhi (2017) tiene una tasa de erosión promedio multianual para un período de 1981 a 2014 de 58,2 tm/ha/año, dicho valor es calificado como alta erosión según la FAO cuyo rango es de 50 a 200 tm/ha/año. Por lo cual, la acumulación de los sedimentos transportados en forma suspendida es alta en el embalse de la C.H. Cerro del Águila. En la Figura 7.3 se aprecia las concentraciones de sólidos totales suspendidos



**Figura 7.3.** Concentración de sólidos suspendidos totales antes (AP), durante (DP) y posterior a la purga (PP) de sedimentos.

De acuerdo con la Figura 7.3, al segundo día de la purga de sedimentos con relación al primer día se incrementaron en 1125% para RMan-3 y 1769 % para RMan-4.

Para poder complementar lo dicho mediante un criterio estadístico se realizó un análisis de multiestados a fin de poder entender los cambios en el sistema del agua antes, durante y posterior a la purga de sedimentos en los puntos RMan-1, RMan-3 y RMan-4.

En la Figura 7.4 se aprecia el análisis de correlación de Pearson ( $r$ ) de los parámetros fisicoquímicos evaluados. El pH, plata, estaño y molibdeno tienen bajo  $r$  de Pearson o tienen relación significativa ( $p > 0,05$ ), por lo cual no fueron considerados en el análisis multivariado. Mediante la Figura 7.5 se observa el análisis de correspondencia (AC), el cual nos muestra que los elementos alcalinos, alcalinos térreos y otros (uranio y titanio) no están influenciados por los sólidos totales suspendidos (STS), ya que no siguen la misma dirección en el eje 1 (valores negativos); no siendo considerados luego. Mientras que, al superar las concentraciones de arsénico los ECA para agua, este metal si fue considerado en los análisis posteriores, a pesar de estar menos relacionado o influenciado con los STS.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

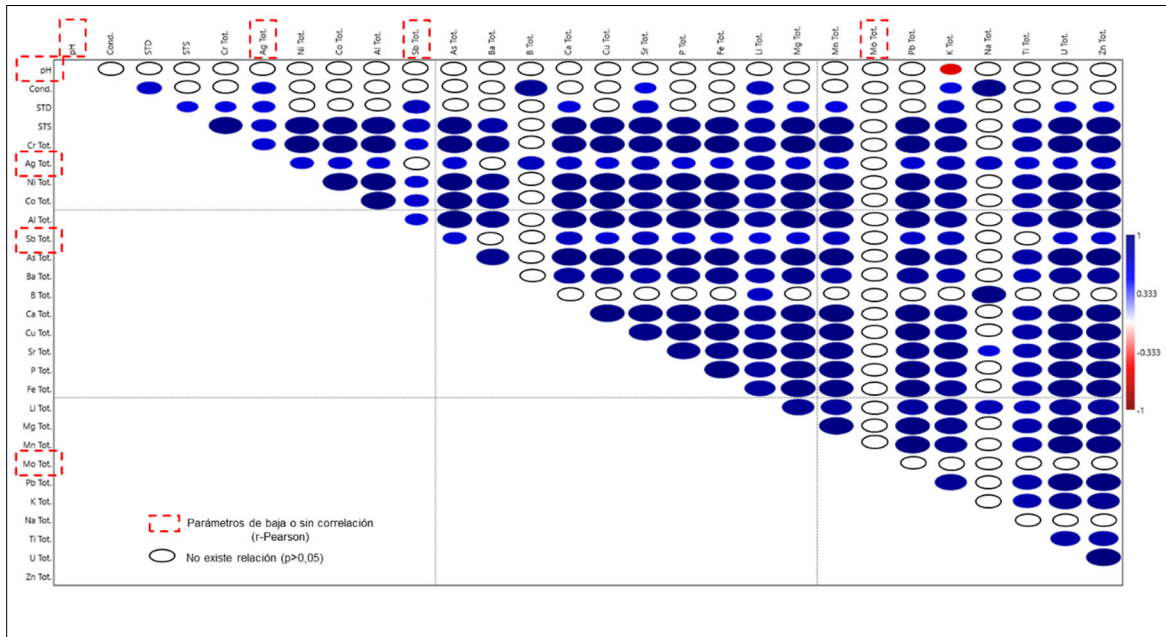


Figura 7.4. Análisis de correlación de Pearson (r) de los parámetros antes (AP), durante (DP) y posterior a la purga (PP) de sedimentos.

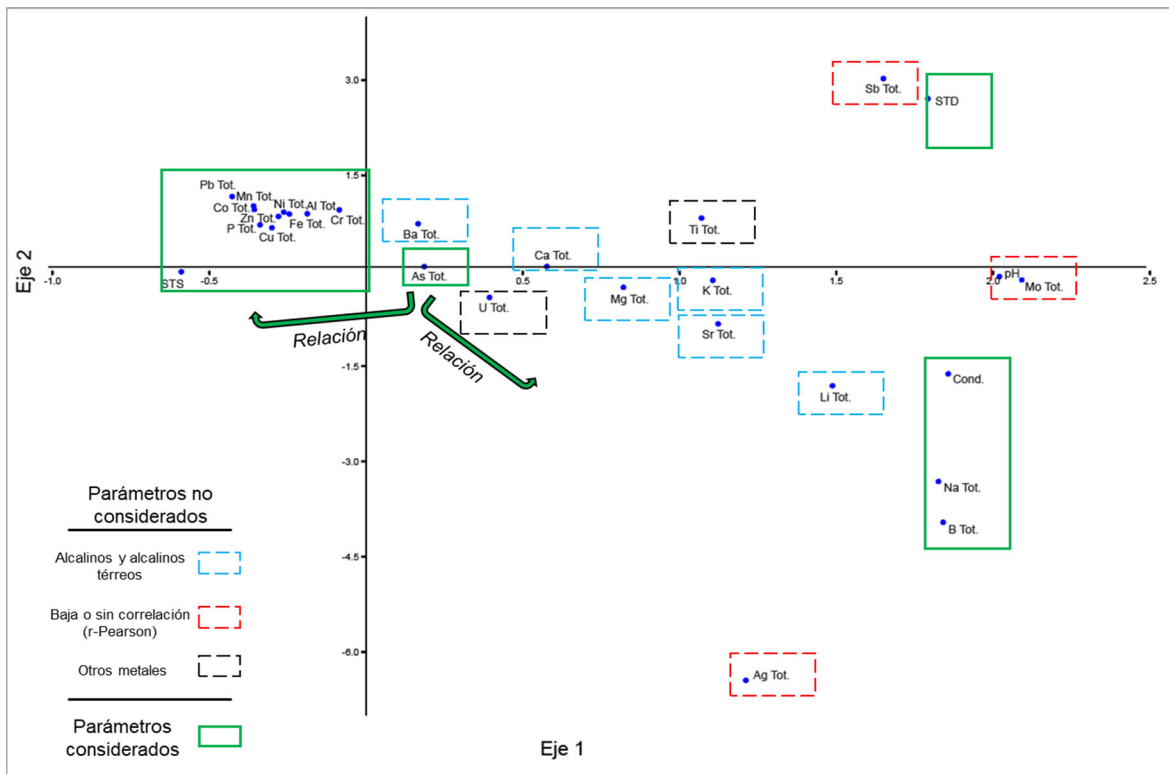
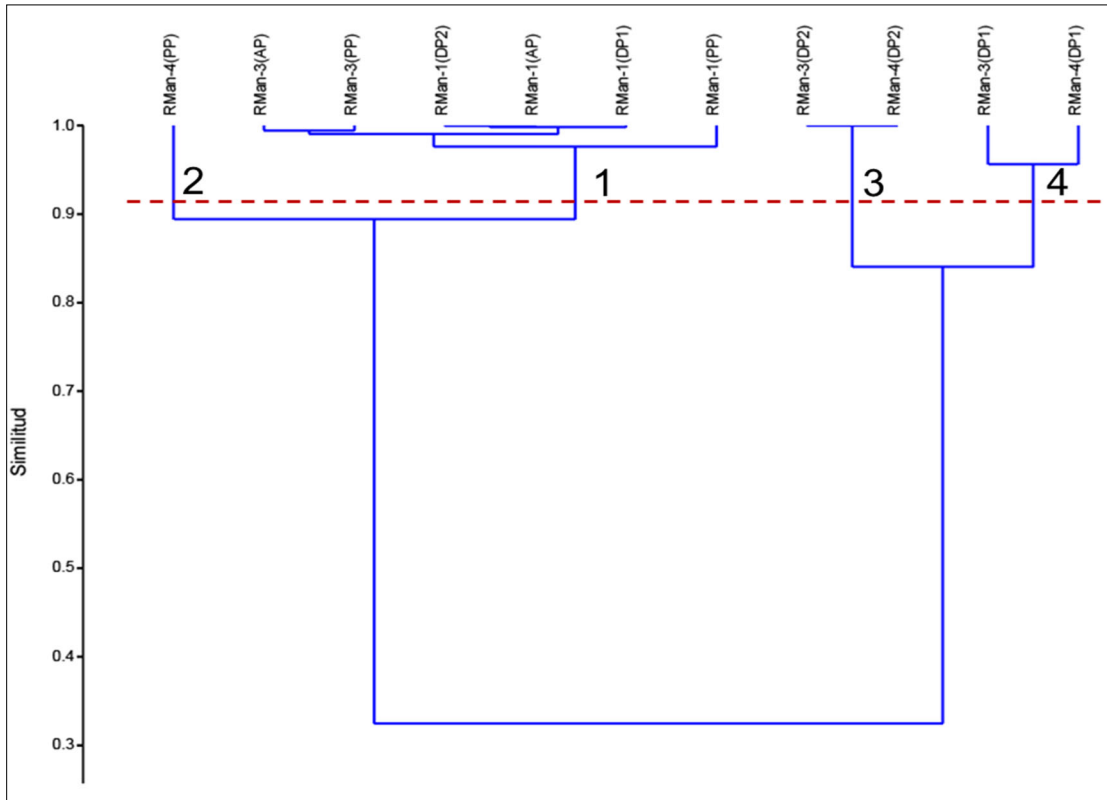


Figura 7.5. Análisis de correspondencia (AC) de los parámetros de los puntos de muestreo

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

En la Figura 7.6 se muestra el dendograma de los parámetros considerados para el análisis mediante el algoritmo UPGMA (promedio por grupos). El comportamiento general de cada variable se muestra en el Anexo 6 (Estadística de Multiestados) para observar parámetros como la desviación estándar, varianza, mediana, asimetría entre otros.



**Figura 7.6.** Dendograma estratigráfico de los puntos de muestreo con el algoritmo UPGMA (promedio por grupos). Criterio de similitud: correlación de Pearson. (AP: antes de la purga, DP1: 24 horas de iniciada purga, DP2: 48 horas de iniciada la purga, PP: posterior a la purga).

En la Figura 7.6, con un índice de similitud  $> 0,9$ , se visualiza que hay 4 atractores: el primero agrupa a los puntos de muestreo evaluados antes y posterior a la purga de sedimento; el segundo corresponde al punto RMan-4 también posterior a la purga; el tercero agrupa a los puntos de muestreo ubicados aguas abajo de la presa a las 48 horas de iniciada la purga; y el cuarto conformado por los mismos puntos aguas abajo de la presa, pero a las 24 horas de iniciada la purga de sedimentos. Dichos grupos o estados que el dendrograma (Figura 7.6) son evaluados por el Análisis de Varianza Multivariado por Permutaciones (PERMANOVA) en la Tabla 7.2 para determinar sus diferencias en valor.

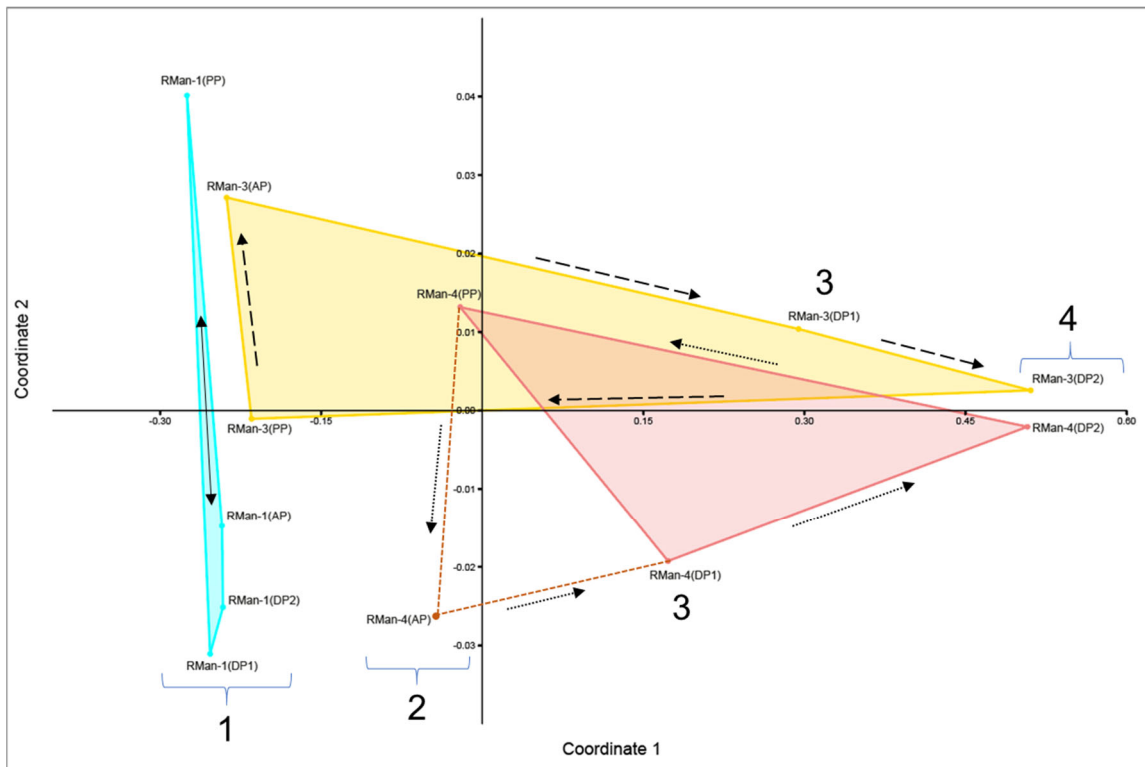
Se resalta de la Tabla 7.2 que las comparaciones por pares tienen un  $p$  igual a 0,0001 con  $p < 0,05$  el cual indica que el PERMANOVA es significativo. Luego, mediante la corrección de Bonferroni los grupos 3 (DP1: 24 horas) con el 4 (DP2: 48 horas) no tienen diferencia significativa, lo que indica que tienen semejanza de estados. En cambio, el grupo 1 (antes y posterior a la purga en todos los puntos evaluados a excepción del RMan-4) difiere de los grupos 3, 4 y 2, teniendo menor semejanza con el grupo 3 y 4 (durante la purga) 0,216 y 0,234 (valor de corrección de Bonferroni) respectivamente.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

**Tabla 7.2.** Análisis de Varianza Multivariado por Permutaciones (PERMANOVA) de una sola vía en los grupos o estados definidos en el dendrograma de los puntos de muestreo UPGMA

Permutaciones:	9999			
Suma total de cuadrados	1,404			
Suma de cuadrados dentro de los grupos	0,001619			
F:	2021			
p (igual):	0,0001 (p<0,05)			
Comparaciones por pares. Corrección de Bonferroni para el p-valor				
Grupo	1	3	4	2
1		0,216	0,234	0,828
3			1	1
4				1
2				

La interacción de dichos estados se puede visualizar con la gráfica de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) presentado en la Figura 7.7, ya que es un análisis multivariado exploratorio no paramétrico y porque puede trabajar con pocas variables analizadas antes, durante y posterior a la purga de sedimentos en los 3 puntos de muestreo (RMan-1, RMan-3 y RMa-4) durante el 2021. Dicho diagrama fue adecuado de acuerdo a lo indicado por Shepard (Anexo 6), el cual tuvo un stress de Kruskal de cero y el R<sup>2</sup> que explica el 95 % de la varianza (0,95) en el primer eje relacionado a los sólidos suspendidos y totales de acuerdo con el Análisis de Correspondencia para los parámetros (Figura 7.5).



**Figura 7.7.** Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) en los dos primeros ejes o coordenadas para los puntos de muestreo. Índice de similitud: Correlación de Pearson.

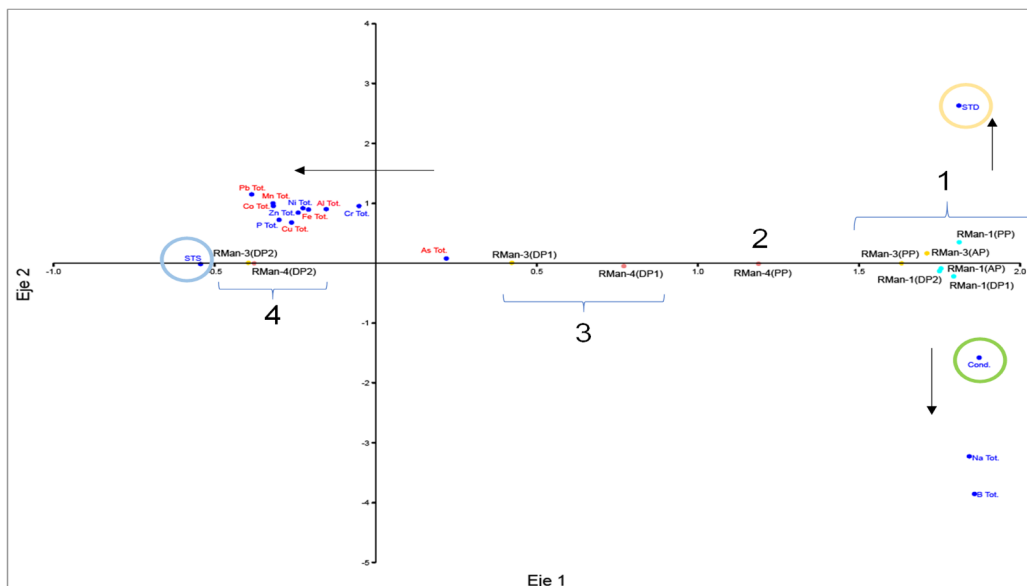
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Como se puede apreciar en la Figura 7.7 el estado<sup>36</sup> 1 corresponde al agrupamiento del punto RMan-1 (aguas arriba del embalse) donde las concentraciones de todas los parámetros analizadas no muestran cambios significativos antes, durante y después de la purga de sedimentos. A diferencia de los puntos evaluados aguas abajo de la presa RMan- 3 y RMan-4, los cuales pasan a diferentes fases o grupos de 3 a 4; no obstante, ambos puntos evaluados posterior a la purga vuelven a su estado inicial (Grupo 1 para RMan-3 y Grupo 2 para RMan-4), lo cual nos indica la capacidad de resiliencia del sistema (río Mantaro aguas abajo de la presa) al finalizar la purga de sedimentos.

Por otro lado, el Análisis de Correspondencia (AC) - a partir de los parámetros depurados y puntos de muestreo agrupados (Biplot) - se aprecia en la Figura 7.8, en donde se agrupa los puntos RMan-1 y RMan-3 antes y después de la purga (Grupo 1), el segundo grupo corresponde al punto RMan-4 posterior a la purga; el tercer grupo a los puntos de muestreo ubicados aguas abajo de la presa a las 24 horas de iniciada la purga y finalmente el cuarto grupo junta los puntos aguas abajo de la presa a las 48 horas de iniciada la purga.

En dicha Figura 7.8, se observa que los parámetros que excedieron los ECA para Agua 2017: plomo, manganeso, aluminio, hierro, cobre y cobalto - con predominancia en su forma suspendida - están relacionados o influenciados con los sólidos totales suspendidos (STS) en el Eje 1 con un comportamiento temporal (antes, durante y después de la purga).

De otro lado, se puede notar que el arsénico, que está en mayor proporción en su fase disuelta, están menos influenciados por los STS que los otros metales indicados. Cabe resaltar que la influencia de los STS en el análisis multivariado se comprueba con el análisis SIMPER (Tabla 7.8), en donde registra un 85,1 % de contribución, mientras que la conductividad y los sólidos totales disueltos aportan solo el 7,7 % y 5,3 % respectivamente.



**Figura 7.8.** Biplot del Análisis de correspondencia (AC) para los parámetros y puntos de muestreo antes, durante y después de la purga de sedimentos

<sup>36</sup> Criterio espacial: por la ubicación espacial de los puntos de muestreo evaluados aguas arriba y abajo de la presa de la C.H. Cerra del Águila.



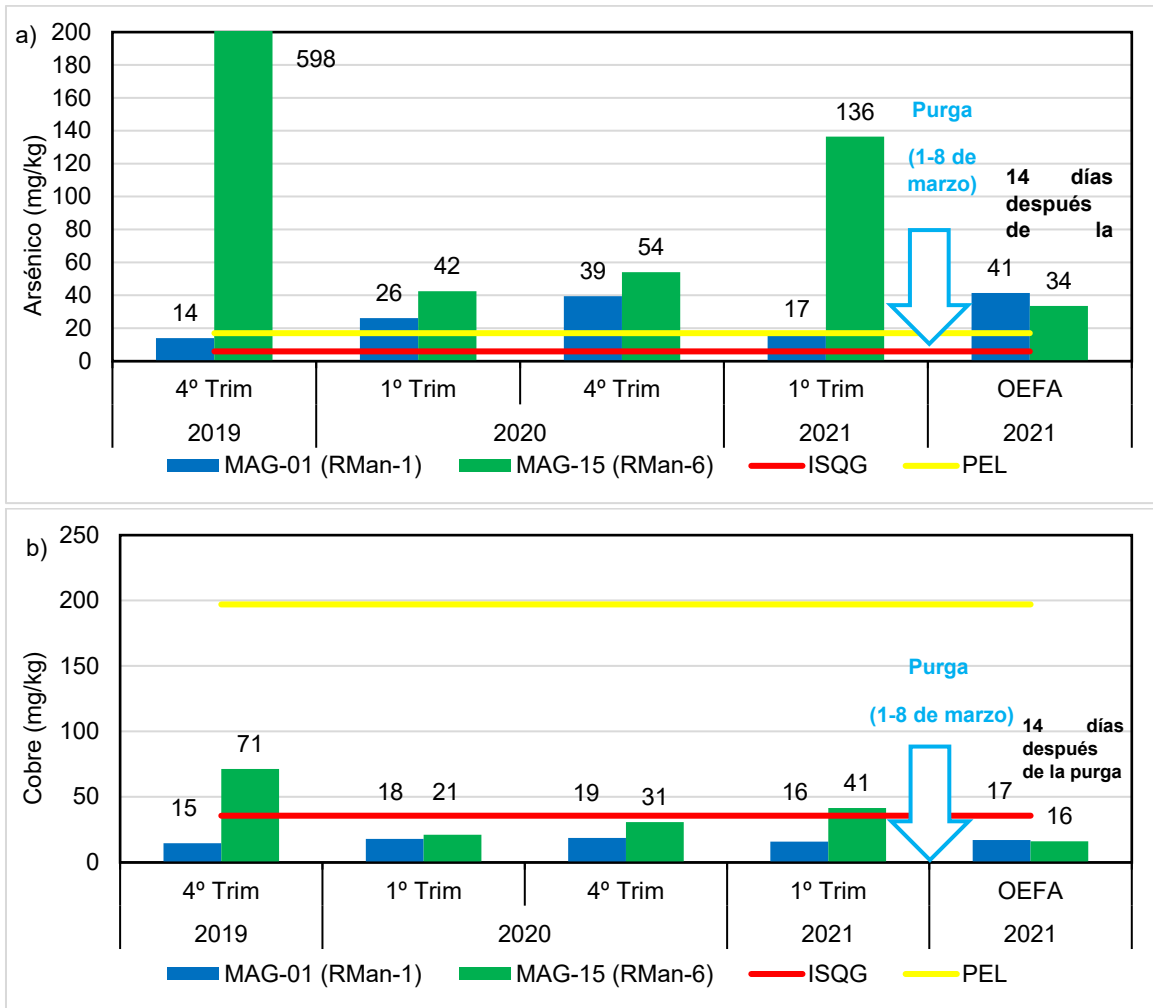
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

**Tabla 7.3.** Análisis SIMPER (porcentajes de similitud) de los parámetros mediante la distancia o medida de disimilitud de Bray-Curtis

Parámetro	Promedio de disimilitud	Contribución %	Acumulativo %	Media			
				Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
STS	35,1	85,1	85,13	33	185	1000	13500
Cond.	3,2	7,7	92,8	451	299	533	532
STD	2,2	5,3	98,07	293	188	329	389
Fe Tot.	0,32	0,76	98,84	1,2	2,8	9,7	55,5
Al Tot.	0,28	0,67	99,51	0,8	2,5	8,3	38,7
Na Tot.	0,12	0,28	99,79	16,3	9,8	19	20,5
Mn Tot.	0,04	0,09	99,88	0,13	0,15	1,13	7,85
P Tot.	0,04	0,09	99,97	0,11	0,22	1,1	7,16
Zn Tot.	0,007	0,017	99,99	0,04	0,04	0,24	1,64
B Tot.	0,002	0,004	99,99	0,18	0,09	0,2	0,22
Pb Tot.	0,001	0,003	99,99	0,01	0,01	0,04	0,41
Cu Tot.	0,001	0,002	100	0	0,01	0,03	0,23
As Tot.	0,001	0,002	100	0,02	0,01	0,04	0,2
Ni Tot.	0,001	0,001	100	0	0	0,02	0,09
Cr Tot.	0	0,001	100	0	0	0,01	0,05
Co Tot.	0	0,001	100	0	0	0,01	0,04

Por otro lado, respecto a la concentración de metales en sedimentos evaluados en los puntos RMan-1 (aguas arriba del embalse) y RMan-6 (aguas debajo del embalse) en el río Mantaro a los 14 días posterior a la purga de sedimentos, en ambos puntos excedieron la normativa canadiense para el valor de arsénico no mostrando diferencias significativas en su concentración (Tabla 6.4). Si embargo, de acuerdo con el registro histórico del administrado (Figura 7.9a) entre el cuarto trimestre del 2019 y primer trimestre del 2021, se registró altas concentraciones de arsénico (antes de la purga) en el punto RMan-6, lo que estaría evidenciando un efecto de acumulación de dicho metal aguas debajo de la presa y disminuyendo notablemente su concentración posterior a la purga de sedimentos por el incremento de caudal que genera el arrastre de dicho material. Este mismo comportamiento se evidencia con las concentraciones de cobre (Figura 7.9b).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 7.9. a)** concentraciones de arsénico, **b)** concentraciones de cobre, desde el año 2019 a 2021.

La dinámica de sedimentos viene acompañada por la regulación hídrica del río Mantaro, evidenciándose cambios en la magnitud, frecuencia y duración del caudal natural (Figura 7.10). Estos generan picos y descensos de escorrentía, en algunos casos muy abruptos como del día 28 de febrero pasando de 31,3 m<sup>3</sup>/s a 282 m<sup>3</sup>/s. Asimismo se puede notar que entre el día 18 al 28 de febrero el caudal reportado correspondió al mínimo establecido como cumplimiento de caudal ecológico de 31,3 m<sup>3</sup>/s, valor establecido para los meses de enero a marzo.





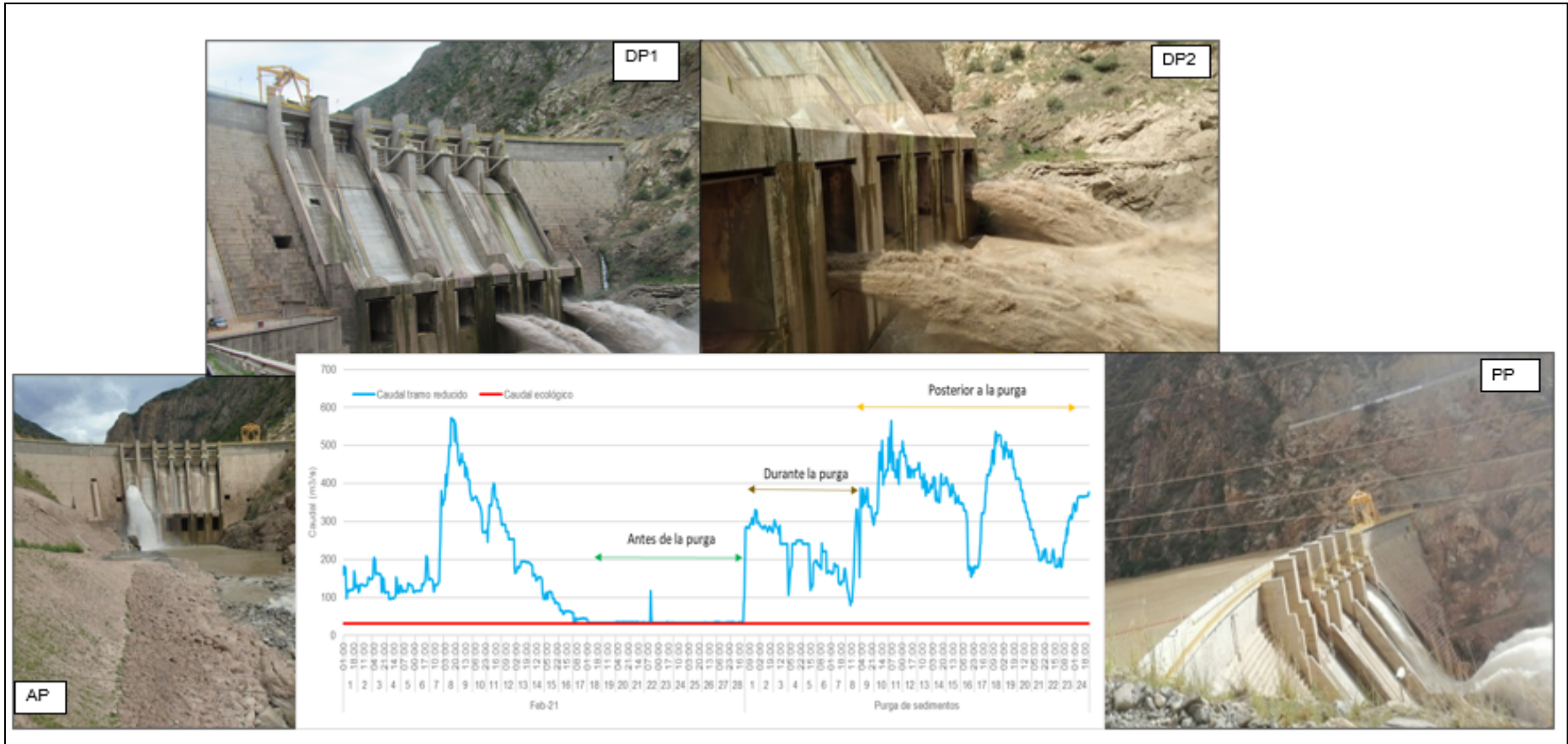
PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 7.10.** Hidrograma de caudales en el tramo de caudal reducido del río Mantaro (aguas debajo de la presa) antes de la purga (AP), 24 horas de iniciada la purga (DP1), 48 horas después de iniciada la purga (DP2) y 14 días posterior al finalizar la purga de sedimentos (PP).





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Con relación a las comunidades hidrobiológicas, un resumen histórico de la abundancia de macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.11) permitió realizar un análisis temporal desde la pre-construcción, la construcción (etapas antes de los eventos de purga de sedimentos) y la fase de operación (mostrando las purgas de 2019 y 2021) durante la época de lluvias. Asimismo, se consideró el efecto espacial, separando los puntos de muestreo entre aguas arriba del embalse (AE), aquellas ubicadas en el embalse (E), y las ubicadas después del embalse (DE). Las ubicadas después del embalse fueron categorizadas según su distancia hacia la represa, el código DEa indica aproximadamente 1km después del embalse, DEb aproximadamente 10 km después del embalse, DEc aproximadamente 24 km después de la represa y DEd (aproximadamente 26 km aguas debajo de la represa). Nótese que, para la etapa de pre-construcción y construcción, la represa aún no era construida, sin embargo se sigue la referencia con respecto al embalse para comparar con las etapas de operación.

Se pudo observar poco potencial de abundancia en las estaciones evaluadas durante la etapa de pre-construcción, con excepción de incrementos notorios después de la represa. En un río no vadeable como el Mantaro, suele ser difícil encontrar y acceder a hábitats con el tiempo suficiente de colonización de macroinvertebrados bentónicos, sugiriendo herramientas de muestreo alternativas y mayores esfuerzos de muestreo (Flotemersch *et al.* 2006). La estacionalidad hidrológica suele ser un factor que determina el ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos (Puntí *et al.*, 2007), reconociendo en algunos trabajos a la época lluviosa con poco potencial para abundancias de macroinvertebrados bentónicos en comparación con la temporada de estiaje (Jacobsen y Encalada, 1998). La combinación tanto de factores hidrológicos como de factores fluviales podría ser una explicación del porque en algunos puntos de muestreo de la etapa de pre-construcción contiene abundancias de casi 100 individuos y en otros es muy escasa o nula en la zona después del embalse.

Un patrón consistente de abundancias durante los años 2015 y 2016 en el período de construcción muestra la presencia de individuos en todos los puntos evaluados, a diferencia del año 2014. Es difícil saber si el motivo de los puntos de muestreo sin abundancias después del embalse (DEa y DEb) pueda deberse por el inicio de la construcción del embalse o a la estacionalidad, ya que escasas abundancias también han sido observadas durante el período de pre-construcción (2008 y 2012). En el caso de los años 2015 y 2016 parece haber existido hábitat potencial para la presencia de individuos en todos los años, pudiendo estar relacionada a una regulación del caudal durante la construcción.

Los años 2019 y 2021 mostraron desde cero a escasos individuos, y aunque existen estaciones con escasa cantidad en otros años, no podemos dejar de considerar a la purga como una exacerbación del factor hidrológico (Figura 7.10) para que ocurra desprendimiento de individuos de macroinvertebrados bentónicos, como ha sido demostrado en trabajos como el de Hesse y Newcomb (1982).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres «Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

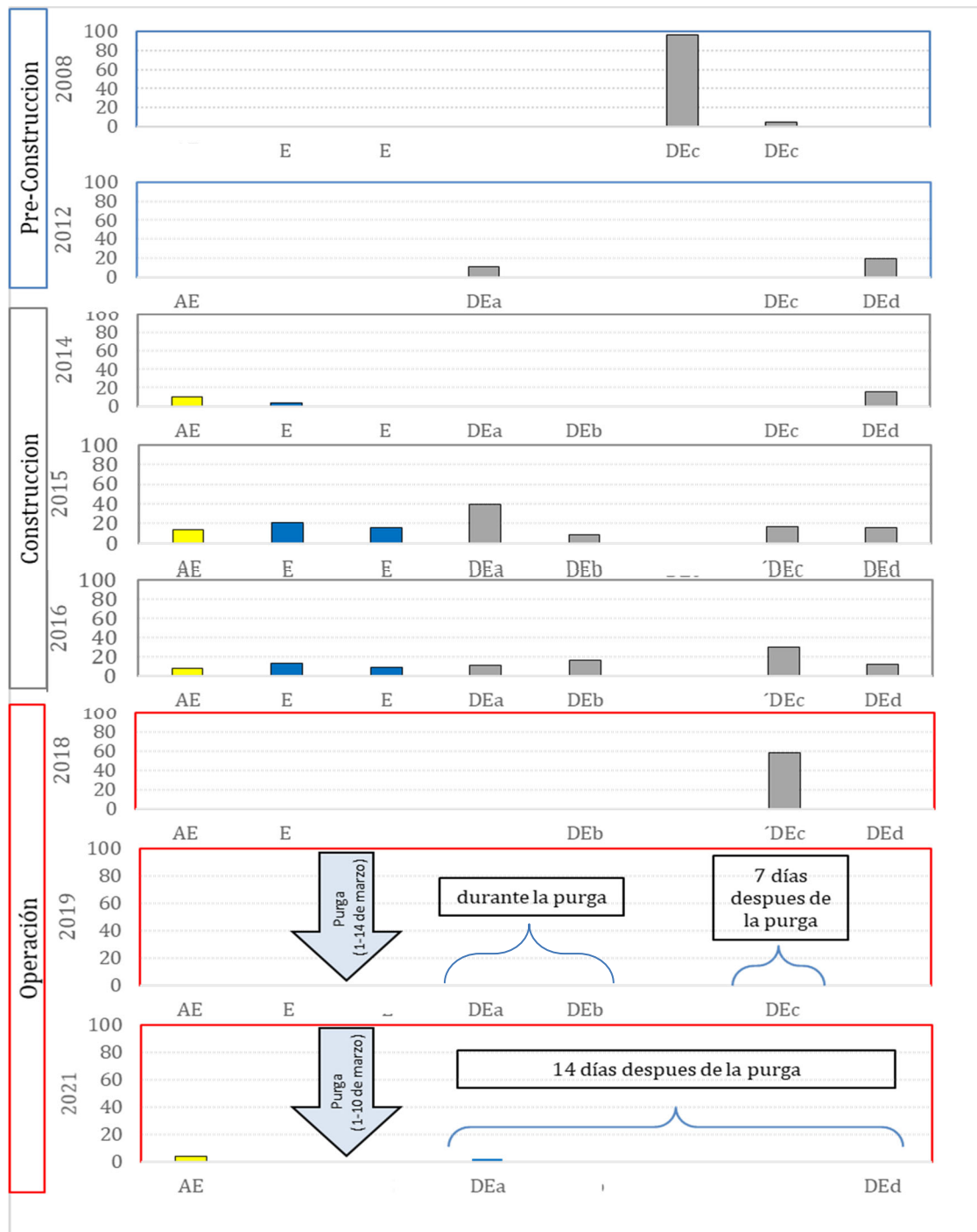
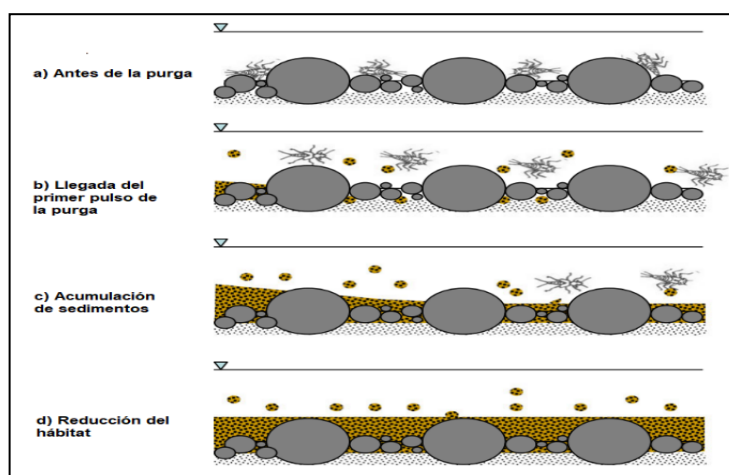


Figura 7.11. Serie histórica de abundancia de macroinvertebrados bentónicos durante la época de lluvias (AE: aguas arriba del embalse, E: embalse, DEa: 1 km después de la represa, DEb: 10 km después de la represa, DEc: 24 km después de la represa)<sup>37</sup> sd: sin datos

<sup>37</sup> El punto de muestreo del administrado que corresponden aguas arriba del embalse (AE) fue H-5. Para el embalse (E) fueron H-3, H-4 y H-E. Para 1 km después del embalse (DEa) fueron H-1. Para 10 km después del embalse (DEb) fue H-12. Para aproximadamente 24 km después del embalse (DEc) fue H-8 y H-6, y para aproximadamente 26 km después del embalse (DEd) fue H-7.

Purgas experimentales también han demostrado desprendimiento de individuos, en este caso identificando al aumento del transporte de sedimentos de fondo (Gomi *et al.*, 2010) como el detonante (Figura 7.12). Excesivo transporte de sedimentos como la que ocurre en las purgas ha mostrado efectos de abrasión y obstrucción a nivel fisiológico, por ejemplo: acumulación de sedimento en redes de Trichoptera o retención interna de sedimentos en organismos filtradores (Jones *et al.*, 2011). Adicionalmente, la acumulación del sedimento dependiendo de las condiciones ocasiona el entierro de individuos de macroinvertebrados bentónicos (Gomi *et al.*, 2010; Jones *et al.*, 2011) en el río.



**Figura 7.12.** Efecto de la acumulación de sedimentos y respuesta de los macroinvertebrados bentónicos durante la purga de sedimentos. a) antes de la purga b) primer pulso de sedimentos c) acumulación de sedimentos d) reducción de hábitat.

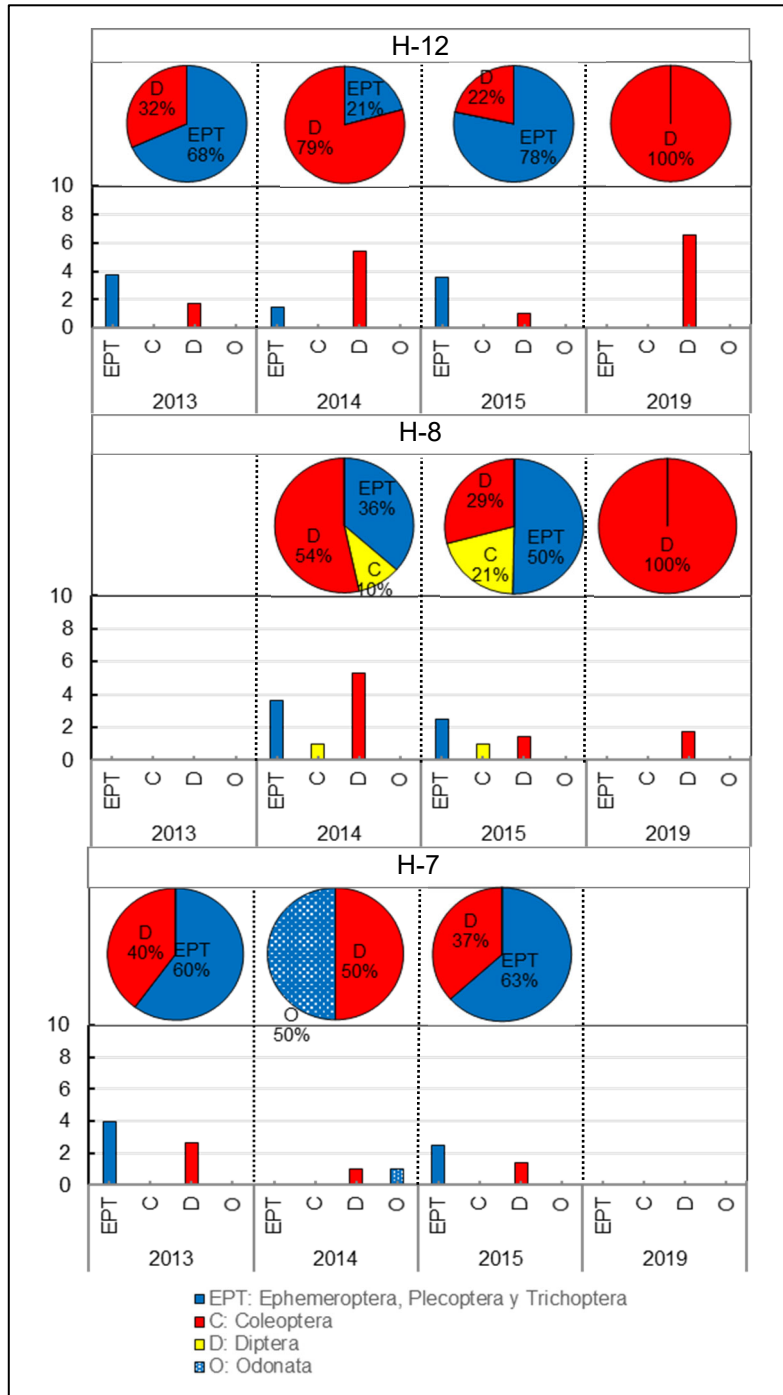
Fuente: Modificado de Gomi *et al.* (2010), p. 5.

Por otro lado, en la Figura 7.13 se muestra el comportamiento anual para la abundancia en temporada seca, comparando los años donde aún no se realizaba la purga (2013, 2014 y 2015) en relación con 2019 (donde se realizó una purga de sedimentos). Para este análisis se usó los puntos de muestreo ubicados aguas debajo del embalse H-12, H-8 y H-7 para ver si la purga de sedimentos que aparece en 2019 produjo cambios en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

Un cambio notable en el 2019 se presentó en las tres estaciones (H-12, H-8 y H-7) los cuales en su mayoría presentaron individuos de diferentes órdenes, desde el grupo EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), seguido de Coleoptera y Diptera, e incluso Odonata como lo muestra el punto H-7 del 2014. Mientras que, en el año 2019, la diversidad de órdenes de las tres estaciones se vio reducida solo a individuos de Diptera e incluso no registrando ningún espécimen como en la estación H-7 del 2019. Es de notar que la operación de la central hidroeléctrica ya se encontraba en el 2019, sin embargo no se tiene datos suficientes para comprobar que estos cambios se deban a una regulación hidrológica por la operación, a la purga de sedimentos del 2019, o a una combinación de ambos. No obstante, se puede encontrar en la literatura que grupos de insectos como el EPT responden con migración ante perturbaciones por transporte de sedimentos (Gomi *et al.*, 2010) y aunque la purga en el 2019 ha ocurrido durante la época de lluvia, las secuelas aún se ven en la comunidad hidrobiológica, la cual puede tardar tiempo en recuperarse a su estado anterior (Crosa *et al.*, 2010; Espa *et al.*, 2019).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 7.13.** Valores de  $\sqrt{\text{abundancia}}$  por orden de macroinvertebrados bentónicos para las estaciones de monitoreo H-12 H-8 y H-7 de los años 2013, 2014, 2015 y 2019. Estaciones o años con escasa información no fueron usados.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

El impacto empírico de la purga en peces no ha podido ser determinado en el presente trabajo, sin embargo, el impacto teórico fue determinado mediante el modelo de Newcombe y Jensen (1996). Dicho modelo está basado en la concentración de sedimento en suspensión y el tiempo de la exposición a este. El modelo número 6 de Newcombe y Jensen, aplicado para individuos adultos no salmónidos, fue usado para determinar la severidad de los efectos (SEV):

$$SEV = 4,0815 + 0,7126 \times \ln(ED) + 0,2829 \times \ln(STS)$$

Donde:

SEV: Severidad de los efectos

ED: Tiempo de exposición en horas

STS: Sólidos totales suspendidos (mg/L)

Posteriormente se comparó los valores de SEV con una lista descriptiva de los posibles efectos en peces, mostrada en la siguiente tabla:

**Tabla 7.4.** Lista descriptiva de posibles efectos en peces

SEV	Descripción de efectos
<b>Efecto nulo</b>	
0	Ningún efecto en el comportamiento
<b>Efectos en el comportamiento</b>	
1	Reacción de alarma
2	Abandono de cobertura
3	Respuesta de evasión
<b>Efectos subletales</b>	
4	Reducción a corto plazo en la tasa de alimentación
	Reducción a corto plazo en el éxito de alimentación
5	Menor estrés fisiológico
	Incremento en la tasa de tos
	Incremento tasa de respiración
6	Moderado estrés fisiológico
7	Moderada degradación de hábitat,
	Deterioro del hábitat
8	Indicadores de mayor estrés fisiológico
	Reducción a largo plazo en tasa de alimentación
	Reducción a largo plazo en el éxito de alimentación
	Condición pobre
<b>Efectos letales y paraletales</b>	
9	Tasa de crecimiento reducida
	Eclosión retardada
	Densidad de peces reducida
10	0-20% de mortalidad
	Aumento de la depredación
	Moderado a severa degradación del hábitat
11	>20-40% de mortalidad
12	>40-60% de mortalidad
13	>60-80% de mortalidad
14	>80-100% de mortalidad

Fuente: Newcombe y Jensen (1996, p. 694)



Los resultados permitieron obtener dos valores de SEV para las dos estaciones aguas debajo del embalse. Los valores del 1 de marzo no fueron usados ya que la purga recién estaba iniciando en ese momento por lo que los sólidos en suspensión recién estarían incrementándose. Se usó los valores del 2 de marzo cuyos sólidos en suspensión fueron los más altos (14820 mg/L para ESP-AS-CHCDA-02 y 12240 mg/L para ESP-AS-CHCDA-03) con una duración de 192 horas. Los valores obtenidos de SEV fueron de 10,54 para la estación más cerca al embalse (ESP-AS-CHCDA-02) y 10,49 para la estación más lejana del embalse (ESP-AS-CHCDA-03). Ambos valores de SEV se encontraron entre la categoría de 0-20% de mortalidad y >20-40% de mortalidad, además de un aumento de la depredación y una moderada degradación del hábitat, indicando efectos letales y paraletales teóricos durante la purga de sedimentos.

## 7.2. Descarga no autorizada de agua residual doméstica tratada a la quebrada Huayrapata

Actualmente el administrado cuenta con 2 plantas de tratamiento de agua residual doméstica tratada (en adelante, PTARD) <sup>38</sup>, ubicadas en los campamentos Fundición (zona de la presa y Limonal (zona de casa de máquinas). La descripción y ubicación de los vertimientos autorizados se presentan en la Tabla 7.4.

**Tabla 7.5.** Ubicación de vertimientos de agua residual domestica tratada autorizados

Código	Descripción	Coordenadas UTM (WGS 84, Zona 18)	
		Este	Norte
EF-05	Efluente doméstico tratado proveniente de la PTAR1 del campamento base Fundición	536407	8640578
EF-06	Efluente doméstico tratado proveniente de las PTAR 2 y 3 del campamento base Fundición	535879	8640713
EF-01*	Efluente doméstico tratado proveniente de las PTAR 5 y 6 del campamento base Limonal	532746	8647540
EF-02**	Efluente doméstico tratado proveniente de la PTAR 7 del campamento base Limonal	533071	8647657

(\*) Máximo caudal máximo de descarga 3,13 l/s

(\*\*) Máximo Caudal máximo de descarga 0,18 l/s

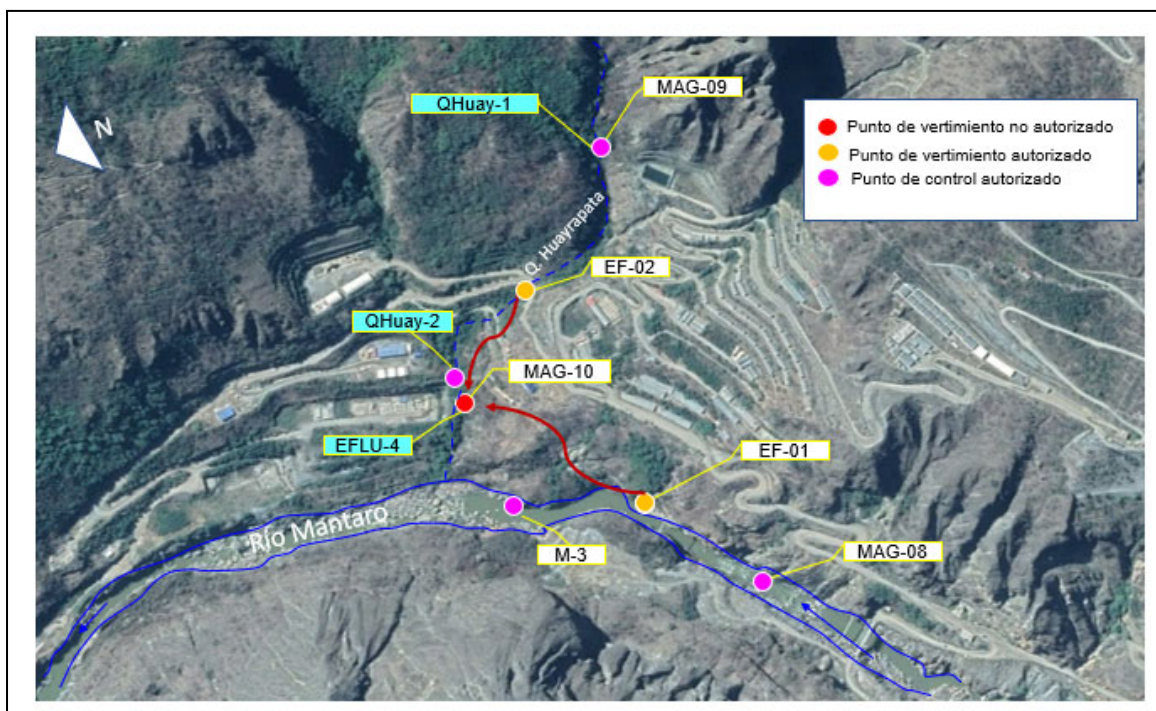
Fuente: Resolución Directoral N° 143-2019-ANA-DCER

Se identificó que la PTAR del campamento Limonal realizaba la descarga aproximadamente a 250 metros aguas abajo de las coordenadas del vertimiento autorizado EF-02 (EFLU-4 código del OEFA), razón por la cual ambos puntos de control autorizados muestreados QHuay-1 (MAG-09 código del administrado) y QHuay-2 (MAG-10 código del administrado) quedan aguas arriba de dicha descarga tal como se aprecia en la Figura 7.14. Asimismo, dicho vertimiento se ubicó a aproximadamente 350 m del segundo vertimiento autorizado EF-01 cuya descarga debiera ser al río Mantaro.

<sup>38</sup> Autorización de vertimientos de agua residual domestica tratada, provenientes de los campamentos Base Fundición y Limonal, ubicados en los distritos de Colcabamba y Surcubamba, provincia de Tayacaja y departamento de Huancavelica, otorgada mediante Resolución Directoral N° 049-2014-ANA-DGCRH, renovada por Resolución Directoral N° 057-2016-ANA-DGCRH y rectificada por Resoluciones Directorales N° 101-2016-ANA-DGCRH, N° 259-2016-ANA-DGCRH y actualmente renovada mediante Resolución Directoral N° 143-2019-ANA-DCERH



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

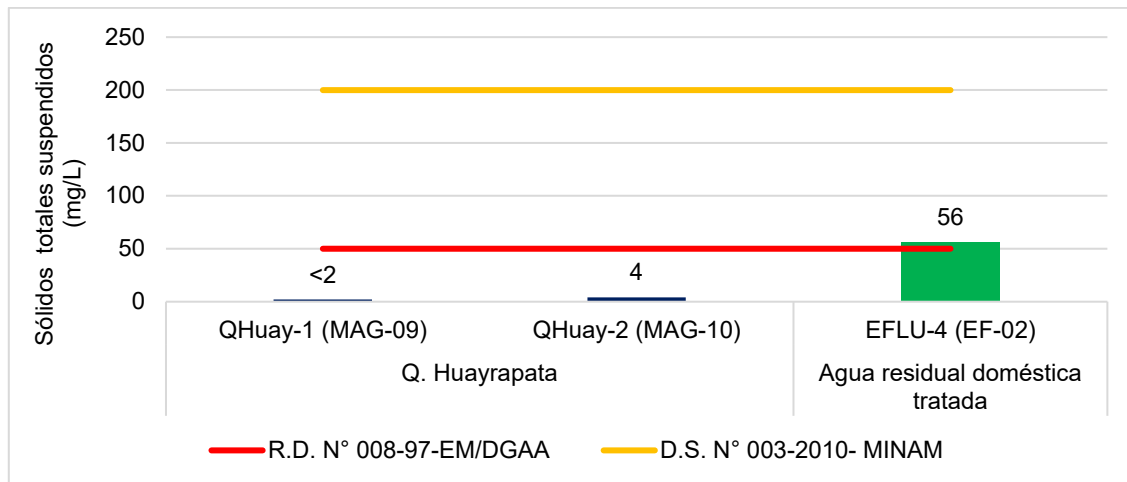


**Figura 7.14.** Ubicación de vertimientos y puntos de control autorizados por la ANA y monitoreados por el OEFA en marzo 2021

De los resultados obtenidos en dicha descarga de agua residual doméstica tratada no autorizada (EFLU-4) todos los parámetros cumplieron con Niveles Máximos Permisibles (NMP) para efluentes líquidos producidos en las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica establecidos en la Resolución Directoral N.º 008-97-EM/DGGA y Límite Máximo Permissible (LMP) para descarga de efluentes líquidos establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, a excepción de:

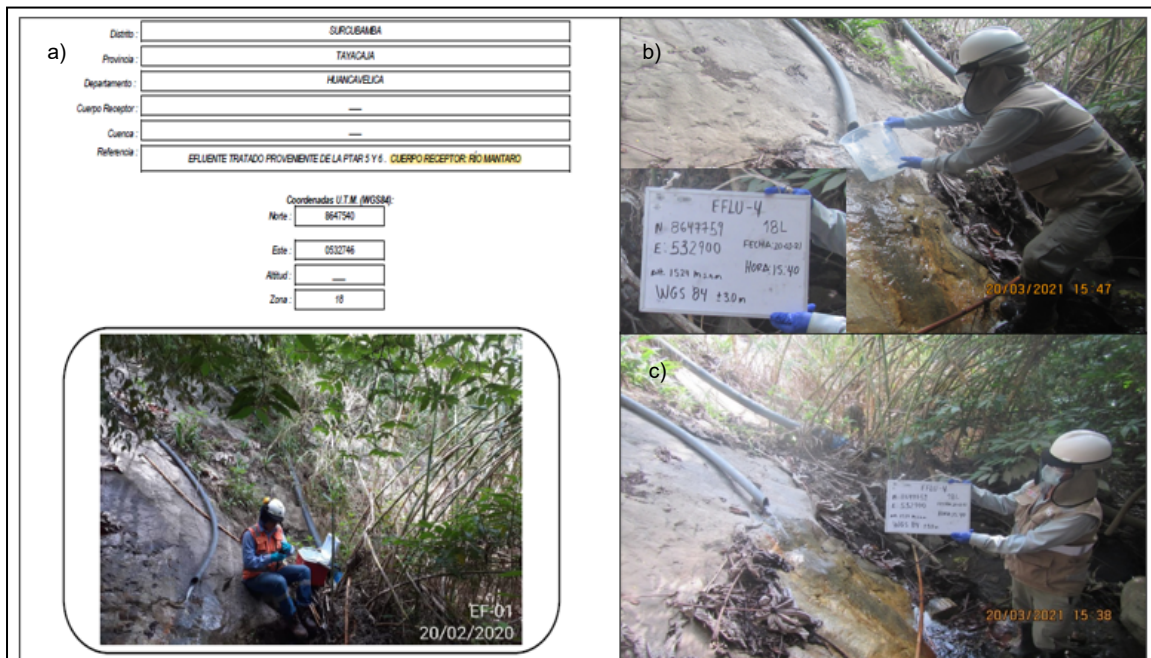
- La concentración de sólidos totales suspendidos (SST) registró 56 mg/L de concentración siendo el valor de NMP de 50 mg/L a su vez estuvo por encima de lo registrado en los puntos de control de agua superficial QHuay-1 y QHuay-2 tal como se aprecia en la Figura 7.15.
- Caudal registrado en la descarga fue de 0,63 l/s siendo el valor máximo de caudal de vertimiento de 0,18 l/s para la quebrada Huayrapata.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 7.15.** Concentración de sólidos totales suspendidos en el vertimiento no autorizado EFLU-04

De la revisión histórica de los informes trimestrales emitidos por el administrado respecto a vertimientos en la zona de casa de máquinas se indica que el punto de vertimiento EF-02 proveniente de la PTAR 7 dejó de descargar culminada la etapa de construcción, reportando así solo monitoreos realizados en el punto de vertimiento EF-01 desde el año 2016 (operación) hacia adelante. Sin embargo, tal como se muestra en la Figura 7.16 el punto de vertimiento que viene siendo reportado por el administrado como EF-01 es el punto EFLU-4 (código de OEFA) cuya descarga fue ubicada, durante las acciones de Supervisión de la EAC en marzo 2021, en la quebrada Huayrapata y no en el río Mantaro.



**Figura 7.16.** Punto de vertimiento identificado en la quebrada Huayrapata. a) ficha técnica reportada en el primer trimestre del año 2020 por el administrado b) y c) monitoreo por OEFA en marzo 2021.





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Dado que el punto de muestreo EFLU-4 corresponde al mismo que el administrado vino reportando desde el año 2016 con código EF-01, por lo cual se ha realizado un análisis histórico de sus concentraciones de sólidos totales suspendidos como se aprecia en la Figura 7.17 , así como del caudal del vertimiento (Figura 7.18) ya que su influencia desde el año 2016 fue hacia la quebrada Huayrapata.

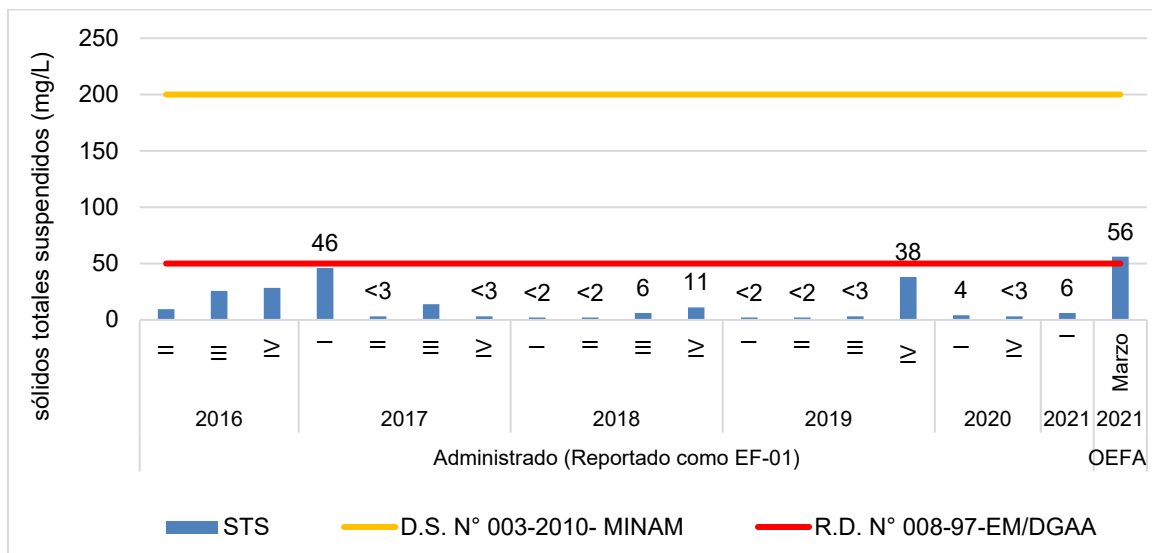


Figura 7.17. Concentración de sólidos totales suspendidos desde el 2016 al 2021 reportados por el administrado como EF-01 y por OEFA como EFLU-4

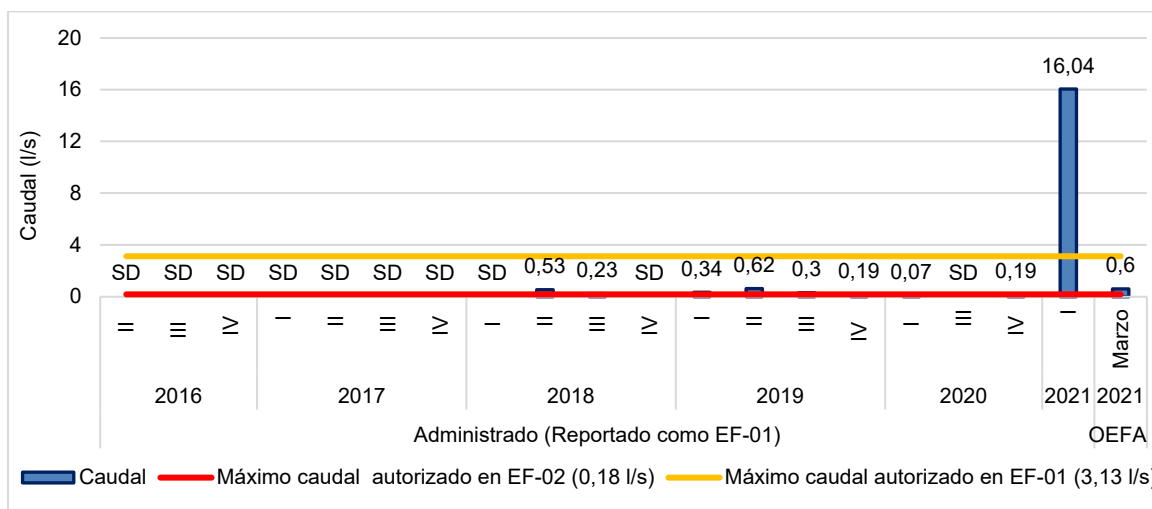


Figura 7.18. Caudal registrado en el vertimiento reportado como EF-01 desde el 2016 y en el EFLU-4

SD: Sin dato

Tal como se puede apreciar en la Figura 7.17 en el mes de marzo 2021 durante las acciones de supervisión se registró un caudal de 0,63 l/s y de acuerdo al reporte trimestral correspondiente al primer trimestre del 2021 se reportó 16,04 l/s siendo el valor máximo autorizado para el vertimiento EF-01 de 3,31 l/s y para el EF-02 de 0,18 l/s.



Por otro lado, los puntos de control QHuay-1 y QHuay-2 caracterizados como aguas bicarbonatadas cálcicas y cuya suma de iones obtuvieron el mayor rango en comparación con los otros puntos evaluados en el río Mantaro y quebradas Durasnuyoc y Pallca cumplieron con los ECA para Agua 2008 y 2017, ambas en la categoría 3. Respecto a los metales presentes en sedimentos en dicha quebrada solo se pudo tomar muestras en el punto QHuay-2 debido a la poca cantidad de sedimentos encontrados, obteniendo que el arsénico y cromo superaron el valor de referencia de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG. Respecto a la presencia de materia orgánica el punto QHuay-2 obtuvo el mayor porcentaje de materia orgánica respecto a los demás puntos evaluados durante el monitoreo.

Las comunidades hidrobiológicas en la quebrada Huayrapata se evaluaron en los puntos QHuay-1 y QHuay-2 las cuales no tuvieron ningún aporte de efluente «observable» por lo cual, deberían tener características ecológicas similares. Sin embargo, QHuay-1 presentó una mayor riqueza, abundancia y diversidad en perifiton y macroinvertebrados bentónicos en comparación con QHuay-2 (Figura 6.28). La comparación entre sus ensamblajes de comunidades también mostró diferencias, siendo para perifiton variables como cromo en sedimento y sólidos totales en suspensión aquellas que posiblemente causaron con mayor énfasis esas diferencias, mientras que en macroinvertebrados bentónicos aquellas diferencias pueden verse por variables como plomo total de agua superficial, oxígeno disuelto y cromo en sedimento. Una posible explicación para estas diferencias es la trocha en medio de estas dos estaciones (Figura 7.8), que puede ser la causante de incrementos de sólidos en suspensión, cromo y plomo, variables que estuvieron correlacionadas con la diferencia que mostraron los ensamblajes de perifiton y macroinvertebrados bentónicos. La Figura 7.13 muestra una fotografía donde la cantidad de sedimentos acumulados fue más notoria en esa estación, comparada con QHuay-1.

El efecto de la acumulación de sedimentos en ambientes lóticos ha sido demostrado como causante en segregar la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Johnson y Richards, 1992), en particular a una escala local donde el aporte se ve influenciado por prácticas de uso del terreno (Richards y Host, 1993). Trabajos como el de Sandin, (2009) mostraron una influencia a diferentes niveles del uso del terreno en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, entre estos usos están considerados aquellos terrenos sin cobertura, refiriéndose en parte a las carreteras, que explicaron una parte del ensamblaje de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

La acumulación de sedimento puede causar incrustación como se observa en la Figura 7.19, reduciendo el hábitat de macroinvertebrados bentónicos (William y Mundi, 1979) y perifiton (Stevenson *et al.* 1996, Kiffney y Bull, 2000). Esto nos conduce a establecer la aparición de caminos entre QHuay-1 y QHuay-2 como posible causa de las diferencias entre ellos, cuyas consecuencias pueden verse no solo en la comunidad de perifiton y macroinvertebrados bentónicos sino en los análisis de metales en agua superficial, como se vieron reflejados anteriormente.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 7.19.** Fotografías mostrando las estaciones QHuay-1 (izquierda) y QHuay-2 (derecha)

### 7.3. Presencia de dípteros hematófagos en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila

El estudio de dípteros adultos de R y G Consultoría Ambiental y Biotecnológica SAC (2017)<sup>39</sup> mostró una baja incidencia de individuos de Simuliidae en zonas cercanas al embalse, al contrario de las zonas cercanas a los centros poblados donde la incidencia fue mayor. En el caso de larvas, aunque la cantidad de puntos de muestreo en la presente EAC no fue abundante, los resultados indicaron un mayor potencial en las quebradas como zonas de crianza de dípteros hematófagos en comparación con el río Mantaro (Tablas 6.19 y 6.20). Por el contrario, el trabajo de Digesa (2020<sup>40</sup>) registró algunas larvas de Simuliidae en el río Mantaro aguas debajo del embalse. Sin embargo, en ambos estudios la presencia de larvas en el embalse fue nula. Adicionalmente, una comparación entre las estaciones del administrado, ubicadas en la zona del embalse y del río mostraron el poco potencial del embalse para albergar larvas de dípteros hematófagos (Tabla 7.6).

**Tabla 7.6.** Abundancias de larvas de dípteros hematófagos (Simuliidae)

Monitoreo	Familia	Estaciones <sup>41</sup>	
		Mantaro (Río)	Mantaro (Embalse)
2018 II Trimestre	Simuliidae	0	2
2019 III Trimestre	Simuliidae	0	0
2020 IV Trimestre	Simuliidae	0	0

La reducción de las zonas de crianzas de dípteros hematófagos como Simuliidae ha sido relacionada con la reconfiguración de la zona natural del río por un embalse en lugares como

<sup>39</sup> R y G Consultora ambiental y biotecnológica SAC. 2019. Identificación, evaluación y análisis de las poblaciones de Dípteros y su relación con el embalse de la central hidroeléctrica Cerro del Águila – Primera Temporada diciembre 2019

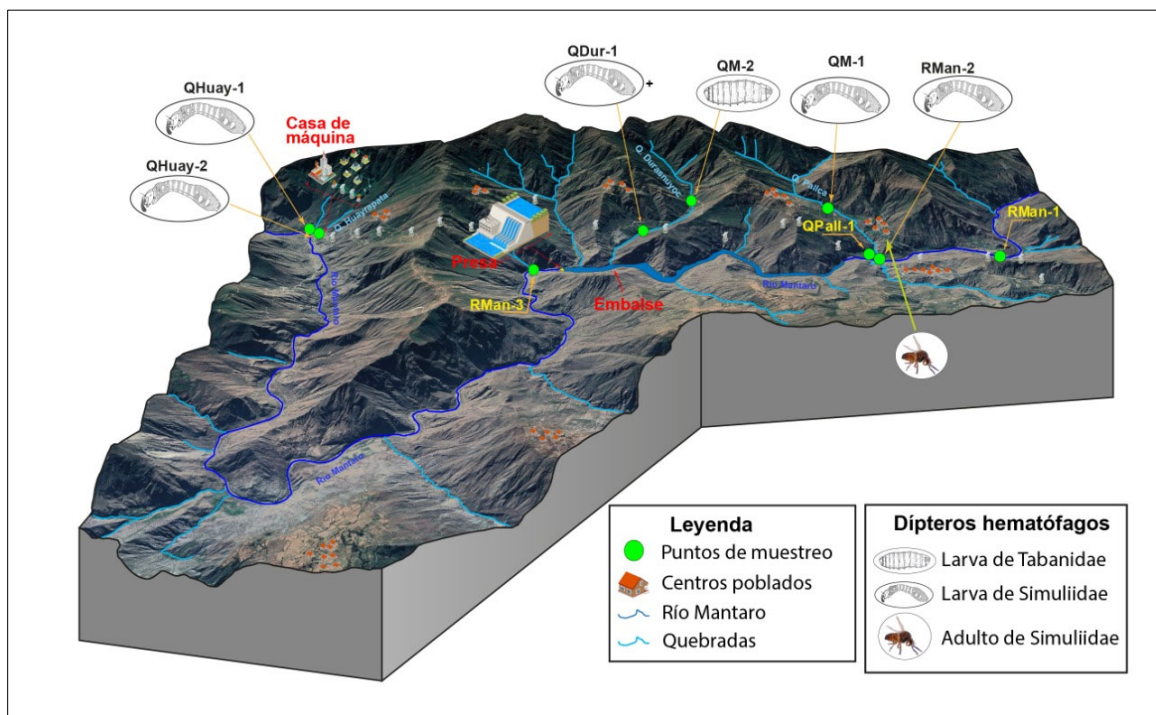
<sup>40</sup> DIGESA, 2020. Informe N°2396-2020/DCOVI/DIGESA

<sup>41</sup> Mantaro (Río) corresponde a las estaciones H-5, H-1, H-12, H-8 y H-7; Mantaro (Embalse) corresponde a las estaciones H-2, H-10 y H-11 del II Trimestre 2018, III Trimestre 2019 y IV Trimestre 2020 del "Informe de monitoreo de calidad ambiental (Aire, Agua Superficial, Ruido, Efluentes y Suelo) y Biológico (Hidrobiología) de la «Central Hidroeléctrica Cerro del Águila»

Es importante mencionar que partir del 2018, las estaciones de monitoreo H-2, H-10, H-11 salen con descripción de ubicación como Río Mantaro.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

el complejo de embalses de Setit en Sudan (Zarroug *et al.*, 2019), los embalses Akosombo y Kpong en Ghana (Girmay, 2016), el embalse de Merowe en Sudan (Zarroug *et al.*, 2014) y los embalses en el río Danubio (Baranov 1936). Por otro lado, la regulación hidrológica aguas debajo del embalse debido a picos repentinos de caudal (Figura 7.10) puede incrementar el transporte de minerales y de sustancias orgánicas, modificando la disponibilidad de comida y disminuyendo la eficiencia de captura de filtradores como las larvas de Simuliidae (Céréghino y Lavandier, 1997). Esto hace pensar que tanto la zona del embalse y aguas abajo de este serían lugares poco potenciales para el desarrollo de larvas de Simuliidae, sin embargo, pueden existir diferencias de límites ecológicos entre especies siendo algunas más tolerantes a los cambios hidrológicos o transporte de sedimentos. Diferencias entre especies pueden darse a nivel de temperatura mostrando abundancias diferentes en un rango altitudinal (Henry y Gonzales, 2008), a nivel de actividad diaria donde algunas especies tienen mayor actividad en diferentes horas del día (Ishii *et al.*, 2008) y a nivel de sustrato donde algunas especies tienen más preferencia por sustrato vegetal que otras (Lestón *et al.*, 2014; Ruiz-Arondo *et al.*, 2014). Si bien la información de especies de otros lugares como las citadas anteriormente puede dar una información general de la ecología de especies de díptero hematofaga, un estudio particular de las especies locales daría una información más precisa, sin embargo, a la fecha, se tiene suficiente evidencia para descartar al embalse como criadero potencial de larvas de Simuliidae.



**Figura 7.20.** Presencia de dípteros hematofagos



#### 7.4. Análisis de las medidas adoptadas para reducir el riesgo de eutrofización del embalse de la C.H. Cerro del Águila

De acuerdo al informe N° 011-2013-ANA-DGCRH/PAAE en respuesta a la consulta 13 de las observaciones formuladas por la Autoridad Nacional del Agua (en adelante, ANA) referente a las medidas implementadas por el administrado para reducir el riesgo de eutrofización en el embalse de la C.H. Cerro del Águila se precisa lo siguiente:

*CdA, ha ampliado el número de estaciones de control del embalse, distribuidas de la siguiente manera: (i) zona de presa en el embalse (MAG-04), (ii) sector medio del embalse (MAG-13) y (iii) cola del embalse (MAG-11). Adicionalmente indica que mantiene la estación de monitoreo MAG-1, aguas arriba de la cola del embalse, la cual servirá como indicador de la calidad de agua que ingrese al embalse. Asimismo, se aumenta la frecuencia de monitoreo a un período trimestral, lo que permitirá tener un mayor registro de las condiciones y variaciones que pudiese presentar la calidad del agua en el área de influencia del embalse.*

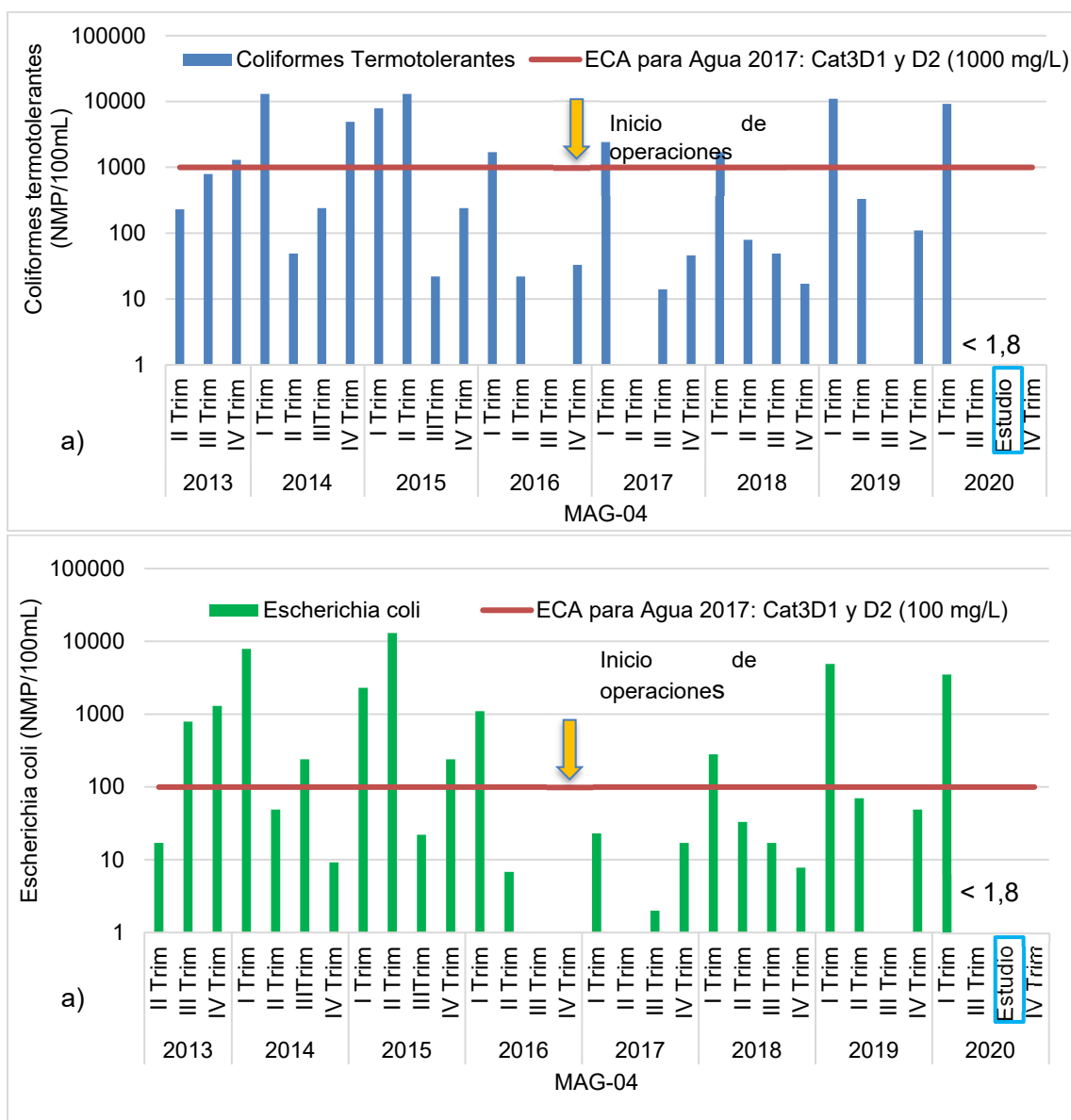
*Finalmente, se reitera que con la finalidad de reducir el riesgo de eutrofización se emplearán aireadores, los cuales se activarán periódicamente, de forma que permita la oxigenación de las aguas.*

Tal como indica la referencia dentro de las medidas adoptadas para reducir un posible riesgo de eutrofización el administrado realizará el monitoreo de la calidad de agua antes del ingreso al embalse (MAG-1 y MAG-11) y en el embalse (MAG-04 y MAG-13) así como el empleo de aireadores los cuales se activarán periódicamente.

Dentro de la planificación de la supervisión especial realizada por DSEM en marzo 2021, DEAM solicitó a DSEM realizar el muestreo de parámetros microbiológicos y otros de interés (color, clorofila, fósforo y nitrógeno) antes del inicio de la purga de sedimentos con la finalidad de contar con información que permita evaluar el posible riesgo de eutrofización en el embalse. Dicho monitoreo debía ser realizado antes de cualquier manejo o descarga del embalse para contar con el mayor período de acumulación de agua embalsada. Sin embargo, el muestreo no pudo ser realizado ya que el nivel de la cota del embalse se encontraba a 1546 m s.n.m aproximadamente, siendo el nivel mínimo de 1552 m s.n.m, en el cual se puede utilizar la embarcación. Debido a esto, no se pudo ingresar al embalse utilizando la embarcación. Asimismo, durante las acciones de Supervisión en el marco de la EAC, tal como consta en el Acta de Supervisión (Anexo 7), tampoco se pudo ingresar al embalse para realizar la toma de muestra programada. Por dichas razones expuestas se ha realizado un análisis en base a la información que viene reportando el administrado. A continuación, en la Figura 7.21 se presenta el registro histórico para los parámetros microbiológicos de coliformes termotolerantes y *Echerichia coli* reportados en la zona de presa del embalse (MAG-04, código del administrado) desde el año 2013 al 2020.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

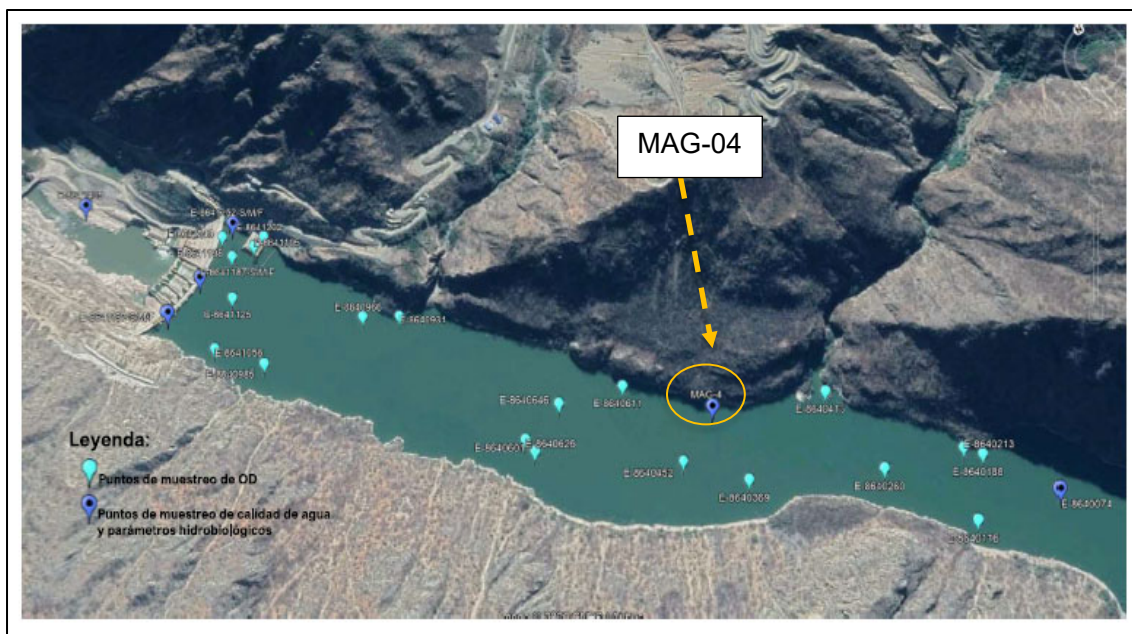


**Figura 7.21.** Reporte histórico de valores de a) coliformes termotolerantes b) Escherichia coli

Como se puede apreciar en la Figura 7.21 se evidencia un registro de valores altos microbiológicos de coliformes termotolerantes, así como de Escherichia coli, cuyos rangos más altos fueron registrados entre el primer y segundo trimestre de cada año coincidente con la temporada húmeda. Sin embargo, dichos valores disminuyen considerablemente entre el tercer y cuarto trimestre a partir de la etapa de operación. Se resalta además, que para el año 2020 posterior al primer trimestre, el administrado viene reportando valores por debajo del límite de cuantificación (<1,8) y justamente entre el tercer y cuarto trimestre del 1 al 2 de setiembre 2020 (época seca), el administrado como medidas de control ante un posible riesgo de eutrofización del embalse realizó un informe técnico del estado trófico del embalse de la C.H. Cerro del Águila (Anexo 5) el cual fue remitido a solicitud de información en el Acta de la Supervisión realizada en el marco de la EAC (Anexo 7).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

De acuerdo a dicho informe el administrado realizó la toma de muestra de 6 puntos para calidad de agua y parámetros hidrobiológicos, los cuales se realizaron a diferentes profundidades y, además se tomaron muestras de parámetros de campo *in situ* en 21 puntos distribuidos en el embalse de la C.H. Cerro del Águila. La distribución de los puntos evaluados se presenta en la Figura 7.22.



**Figura 7.22.** Puntos de muestreo evaluados para el informe de estado trófico del embalse de la C.H. Cerro del Águila realizado por el administrado.

Fuente: Kallpa, (2020, p.5)

De acuerdo al análisis de resultados descritos en dicho informe el administrado concluye lo siguiente:

*Ninguno de los parámetros fisicoquímicos evaluados evidencia rangos equivalentes a un proceso de eutrofización (...) la mayoría de los parámetros relacionados directamente con los procesos de eutrofización presentan valores por debajo del límite de detección del método del laboratorio. Inclusive parámetros microbiológicos.*

Sin embargo, lo afirmado en la conclusión citada no puede ser corroborado restringiendo solo el análisis a la temporada seca donde se ha evidenciado (Figura 7.20) que históricamente se registran los valores más bajos de parámetros microbiológicos a diferencia de la temporada húmeda. Asimismo, de acuerdo a la distribución de puntos evaluados (Figura 7.21) no se consideró el punto de muestreo MAG-01, ubicado en la cola del embalse y que permitiría como punto de control analizar el rango de variación de los parámetros evaluados antes del ingreso al embalse (fosfatos, nitritos, nitratos y oxígeno disuelto). Cabe indicar, además que sólo fueron tomados 2 puntos de muestreo de parámetros hidrobiológicos y microbiológicos en la zona del embalse y que la mayoría se encontró distribuido próximo a la presa.



## 7.5. Régimen de caudal ecológico en el tramo reducido del río Mantaro aguas abajo del embalse de la C.H. Cerro del Águila

De acuerdo al Programa de Monitoreo Ambiental del EIA del administrado en el Capítulo VI ítem 6.3.2 «Monitoreo Ambiental en la Etapa de Operación» indica lo siguiente:

*Con la finalidad de garantizar el normal funcionamiento del ecosistema del río Mantaro aguas abajo de la presa, se deberá comparar el registro de caudales medios con el régimen de caudal establecido para cada mes en la línea base (...).*

Los caudales medios de la referencia que se presentan en la Tabla 7.7 fueron generados a partir de una serie de caudales mensuales promedios observados en estaciones hidrométricas ubicadas aguas arriba de la C.H. Cerro del Águila, considerando períodos de registros antes de la regulación del río Mantaro (1968-1984); que al año 2010 tal como indica el administrado se contaba ya con la regulación de 15 lagunas y además de la existencia de centrales hidroeléctricas en el río Mantaro.

**Tabla 7.7.** Caudal ecológico mensualizado determinado por el administrado (m<sup>3</sup>/s)

Mes	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Serie generada	5,7	6,1	10,6	21,8	31,3	31,3	31,3	21,8	10,6	8,6	7,6	5,7

Fuente: EIA, (2010, p.298).

Por lo cual, el criterio considerado para determinar dichos valores mensualizados de caudal ecológico de acuerdo al administrado fue un análisis hidrológico<sup>42</sup> basado en caudales medios históricos mensuales; considerando el 10 % del caudal medio anual como valor de caudal ecológico.

Cabe indicar que en el EIA además se precisa lo siguiente:

*Las características del río Mantaro en el tramo de estudio, carece de condiciones adecuadas para el desarrollo de un hábitat acuático, por lo cual las metodologías basadas en condiciones hidrobiológicas no son aplicables (...) los métodos hidráulicos no reflejan condiciones naturales del cauce (...) se concluye que es más conveniente el análisis de las metodologías hidrológicas (...).*

Durante las acciones de reconocimiento técnico en el marco de la presente EAC en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila (febrero del 2020) se identificó un posible tramo, aguas arriba del embalse, que cumplía con el acápite 4.1 «descripción de la unidad de análisis» del Anexo II de la Resolución Jefatural N.º 267-2019-ANA «Lineamientos generales para determinar caudales ecológicos». Luego de realizar un análisis del régimen hidrológico de la cuenca del río Mantaro el cual actualmente está influenciado por:

- (i) numerosas obras de regulación como embalses, trasvases y represamientos de lagunas, los cuales ya han alterado el régimen natural del río Mantaro (PROCLIM, 2005)
- (ii) actividades antropogénicas desde la parte alta de la cuenca que influyen en la calidad de agua en el río Mantaro (minería, elevada concentración de parámetros microbiológicos por encima de los ECA para Agua 2017)

<sup>42</sup> Recién en el año 2016 mediante Resolución Jefatural N.º 154-2016-ANA la Autoridad Nacional del Agua-ANA aprueba la «Metodología para determinar Caudales Ecológicos» cuya norma fue derogada por Resolución Jefatural N.º 267-2019-ANA «Lineamientos generales para determinar caudales ecológicos»





(iii) variabilidad de la magnitud, frecuencia y duración de los caudales aguas arriba y aguas debajo de la presa la C.H. Cerro del Águila

(iv) escasa información histórica del hábitat acuático antes del inicio de la regulación del río Mantaro

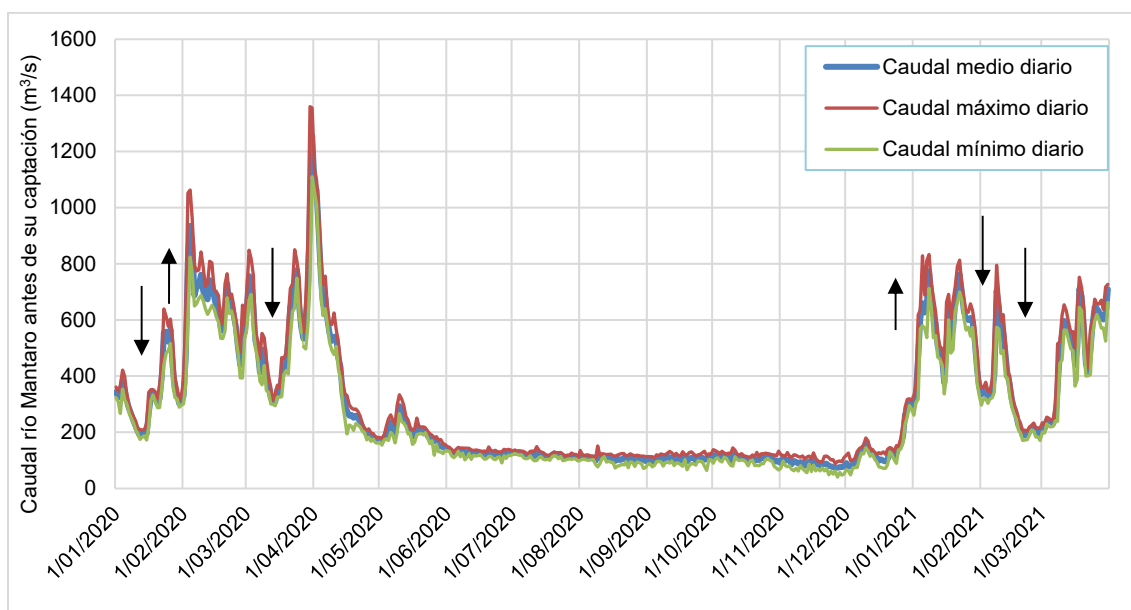
Se determinó que bajo esas condiciones mencionadas y sumado a la poca accesibilidad al río se requeriría un análisis integral a nivel de toda la cuenca del río Mantaro considerando información e influencia de todas las empresas con actividades en dicha cuenca. Por lo tanto, no se podría identificar la afectación del medio acuático en el río Mantaro asociado al régimen de caudal analizando solo la influencia de la C.H. Cerro del Águila.

Cabe precisar que los modelos propuestos para evaluar el caudal ecológico en el área de influencia de la C.H. Cerro del Águila fueron los sugeridos dentro del IFIM «*Instream Flow Incremental Methodology*» método muy conocido para determinar el impacto del cambio del caudal en la comunidad acuática (Navarro *et al.* 1994). Estos modelos se encuentran dentro del programa PHABSIM, que permite establecer una relación cuantitativa entre el caudal circulante y las condiciones hidráulicas que este genera para el hábitat de las especies, a diferencia del método hidrológico, usado por el administrado, cuyas relaciones entre caudal y hábitat de especies son solo observacionales. Incluso en los 90's, algunos estados de Estados Unidos no aplicaban dicha metodología sin considerar las peculiaridades de cada uno de los ríos o de las especies como indica Stalnaker *et al.* (1995).

La metodología IFIM, además de recomendar de un modelo ecohidráulico comprendido dentro del programa PHABSIM, menciona al uso de estándares de caudal mínimo solo como un paso preliminar para la conservación del medio acuático. El IFIM menciona pasar a un análisis de incrementos de problemas, el cual se refiere a incluir dentro de la perspectiva inicial de caudal ecológico, factores que interactúan posteriormente con la perspectiva inicial. Un análisis estático como un estándar de caudal mínimo no permitiría una adecuada evaluación de impactos, sobre todo en una cuenca como el Mantaro donde existe la intervención de numerosas empresas. Este análisis debe incluir como lo mencionamos inicialmente una perspectiva integral de la cuenca y considerar incluso eventos como la purga de sedimentos dentro de la evaluación de caudal ecológico.

En la Figura 7.23 se presenta la variabilidad de la frecuencia, duración y magnitud del caudal del río Mantaro antes de su captación a nivel horario entre los años 2019 al 2020.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»



**Figura 7.23.** Régimen hidrológico del caudal en el río Mantaro aguas arriba del embalse de la C.H. Cerro del Águila.

Fuente: Registro de caudales 2020-2021 reportados por el administrado (Anexo 6).

Tal como se aprecia en la Figura 7.23 el régimen de caudales que fluctúa en el río Mantaro entre el 2020 y 2021 no representa el hidrograma de precipitaciones (Figura 4.3) donde la estacionalidad comprende dos periodos: uno húmedo con máximo en los meses de verano entre enero, marzo y otro período de estiaje en donde las precipitaciones son mínimas junio y julio, cuyo patrón se cumple en casi todas la estaciones de la cuenca (PROCLIM, 2005), sino por el contrario se evidencia fluctuaciones que varían entre 170 a 1300 m<sup>3</sup>/s entre los meses enero a marzo y para el período de temporada seca los caudales varían de 35 a 300 m<sup>3</sup>/s aproximadamente. Por lo tanto, se evidencia la influencia de la regulación hídrica en el río Mantaro asociado a las numerosas obras hidráulicas que a la fecha se han desarrollado (Figura 4.3.).

## 8. CONCLUSIONES

De la evaluación de riesgo hídrico en el río Mantaro relacionado a las actividades de operación de la C.H. Cerro del Águila se determinó:

### Generales

De la EAC se determina que durante la purga realizada por la CH Cerro del Águila, se alteró la calidad del agua debido a que a las 48 horas de iniciada la purga, los parámetros de aluminio, hierro, manganeso, plomo, arsénico y cobre excedieron los ECA para Agua 2008 o 2017 Categoría 3 en los puntos de muestreos ubicados aguas debajo de la presa (RMan-3 y RMan-4), así como el histórico reportado. Dicha excedencia se debe al aumento de sólidos totales suspendidos los cuales incrementaron su concentración en 1125% para el punto RMan-3 y 1769 % para el punto RMan-4 respecto al valor reportado antes del inicio de la purga. Dicho comportamiento fue diferente al punto de control ubicado aguas arriba de la presa (RMan-1) donde las concentraciones de los parámetros de agua no mostraron cambios



significativos antes y durante la purga y no excedieron los ECA en ningún parámetro citado. Esta condición fue corroborada ya que a los 14 días después los puntos de muestreo evaluados durante la purga aguas arriba y aguas debajo de la presa no excedieron los ECA para Agua 2008 o 2017, manteniendo sus concentraciones similares al monitoreo antes de la purga.

La alteración de la calidad de agua asociada al incremento de sólidos totales suspendidos durante la purga de sedimentos de C.H. Cerro del Águila puede generar efectos letales y paraletales teóricos en los peces, debido a los valores de severidad obtenidos a partir de una concentración de 12240 y 14820 mg/L de sólidos totales suspendidos y para una duración de 192 horas. Estos efectos estarían asociados con aumento de la depredación, una moderada degradación del hábitat y entre un 0-40% de mortalidad. Asimismo, se evidencia un cambio de la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos a corto plazo a partir de la etapa de operación donde se iniciaron las purgas de sedimentos. Incluso las secuelas de este evento permanecieron meses posteriores, mostrado en la desaparición de grupos taxonómicos como Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Coleoptera.

Con relación a los dípteros se tiene la suficiente evidencia del poco potencial del embalse para albergar larvas de dípteros hematófagos (Simuliidae). La fuente con mayor potencial de crianza de estos fueron las quebradas aledañas, mientras que mayor presencia de adultos fueron reportados en las zonas cercanas a los centros poblados.

Se identificó que la PTAR del campamento Limonal realizaba la descarga de agua residual doméstica tratada en un punto no autorizado a la quebrada Huayrapata (EFLU-4 código del OEFA) en las coordenadas Norte: 8647759 y Este: 532900, aproximadamente a 350 metros aguas arriba del vertimiento autorizado EF-01 (Norte: 8647540 y Este: 532746) y el cual vienen reportando en sus reportes trimestrales desde el año 2017 con descarga al río Mantaro. Asimismo, de acuerdo a su primer reporte trimestral del año 2021 el caudal de descarga fue de 16,04 l/s siendo el máximo autorizado de acuerdo a la Resolución Directoral N° 049-2014-ANA-DGCRH 3,13 l/s.

Los parámetros evaluados en el punto no autorizado EFLU-4 cumplieron con los Niveles Máximos Permisibles (1997) a excepción de los sólidos totales suspendidos que registró un valor de 56 mg/L, superior el límite establecido; y respecto a los Límites Máximos Permisibles (2010) todos los valores se encontraron dentro del rango.

### **Específicas**

A la fecha el administrado carece de suficiente evidencia para demostrar que no se estaría generando un riesgo de eutrofización en el embalse de la C.H. Cerro del Águila, debido a que el informe técnico del estado trófico del embalse de la central hidroeléctrica elaborado por el administrado en el año 2020 solo ha considerado el muestreo de parámetros microbiológicos e hidrobiológicos en temporada seca donde los valores de dichos parámetros históricamente son bajos y sin excedencia de los ECA para Agua 2017 a diferencia de la temporada húmeda.

Los cambios en la magnitud, frecuencia y duración del caudal natural del río Mantaro aguas debajo de la presa de la C.H Cerro del Águila, genera picos y descensos de escorrentía, en algunos casos muy abruptos como del día antes del inicio de la purga pasando de 31,3 m<sup>3</sup>/s a 282 m<sup>3</sup>/s.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Las condiciones de regulación alta del río Mantaro con actividades antropogénicas desde la parte alta de la cuenca, numerosas obras de infraestructura hidráulica, y escasa información histórica del hábitat acuático antes del inicio de la regulación, se requiere de un análisis integral de toda la cuenca donde se considere la influencia de todos los administrados para determinar el caudal ecológico en el tramo reducido de la C.H. Cerro del Águila.

Durante la purga de sedimentos los puntos de control establecidos por el administrado para el monitoreo de este (MAG-7, MAG-12 y MAG-15) no son suficientes para el adecuado monitoreo de la calidad de agua superficial en el río Mantaro dado que no se ha considerado un punto de control de referencia antes del embalse de la C.H. Cerro del Águila.

Durante la purga de sedimentos las concentraciones de los parámetros de aluminio, hierro, manganeso, plomo, arsénico y cobre excedieron los ECA para Agua 2008 o 2017 Categoría 3 en los puntos de muestreos ubicados aguas debajo de la presa de la C.H. Cerro del Águila (RMan-3 y RMan-4). Estas concentraciones fueron más altas que el registro histórico de los monitoreos trimestrales del administrado entre el año 2014-2020: 67% más para el aluminio, 13% más para el hierro, 339% más para el manganeso, 281 % más para el plomo, 83% más para el arsénico, 242 % más para el cobre.

La concentración de sólidos totales suspendidos durante la purga de sedimentos se incrementaron a las 48 horas de inicio de la purga en 1125% para el punto RMan-3 y 1769 % para el punto RMan-4 respecto al valor reportado el primer día, determinándose además que dicho parámetro influye en la dinámica de los metales que excedieron los ECA para Agua 2008 o 2017 ya que estadísticamente se determinó un impacto en el agua superficial aguas debajo de la presa durante la purga debido a los cambios de estados que sufre el sistema a diferencia del punto de control aguas arriba de la presa (RMan-1) que no mostro cambios significativos antes, durante y después de la purga de sedimentos.

Existe suficiente evidencia que demuestra el cambio de la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos a partir de la etapa de operación en los puntos de muestreo debajo de la presa. Se demostró que, durante los meses de lluvia, estos cambios están relacionados con la purga de sedimentos del embalse, ya que los registros de macroinvertebrados bentónicos son escasos durante y después de la purga. Incluso las secuelas de este evento permanecieron meses posteriores al evento, mostrado en la desaparición de grupos taxonómicos como Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Coleoptera.

Se determinó teóricamente que la purga de sedimentos puede generar efectos letales y paraletales en los peces, debido a los valores de severidad obtenidos a partir de una concentración de 12240 y 14820 mg/L de sólidos totales suspendidos y para una duración de 192 horas. Estos efectos estarían asociados con aumentos de la depredación, una moderada degradación del hábitat y entre un 0-40% de mortalidad.

Se identificó que la PTAR del campamento Limonal realizaba la descarga de agua residual doméstica tratada en un punto no autorizado a la quebrada Huayrapata (EFLU-4), a aproximadamente 250 metros aguas debajo del vertimiento autorizado EF-02 y 350 metros aguas arriba del vertimiento autorizado EF-01. Los parámetros evaluados en el punto no autorizado EFLU-4 cumplieron con los Niveles Máximos Permisibles (1997) a excepción de los sólidos totales suspendidos que registró un valor de 56 mg/L, superior el límite establecido;



y respecto a los Límites Máximos Permisibles (2010) todos los valores se encontraron dentro del rango.

## 9. RECOMENDACIONES

En base a la revisión de información de los informes trimestrales que vienen reportando el administrado a partir de su operación se recomienda que se solicite evidencia mediante fichas de campo con fotografías de los muestreos realizados para agua, sedimento e hidrobiología.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (2018). *Resultados del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en el ámbito de la cuenca del río Mantaro -2018*. Autoridad Nacional del Agua (ANA). Informe N.º 040-2019-MINAGRI-ANA-AAAXMANTARO-AT/CECHM

ANA (2021). Hidrografía de las cuencas del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Tumbes. Autoridad Nacional del Agua. Autoridad Nacional del Agua (ANA). Disponible en <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/mantaro/Hidrograf%c3%ada>.

Appelo, C. and Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2nd Edition, Balkema, Rotterdam. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>.

Baranov, N. (1936). Studien an pathogenen und parasitischen Insekten. IV. Simulium (Danubiosimulium) columbaczense Schonb en Yougoslavie. Inst. Hyg. Schule Volksgesund. Zagreb 36.

CEPES (2016). Comunidades Campesinas del Perú. Centro de Estudios Sociales. Disponible en <https://cepes.org.pe/2017/08/04/directorio-2016-comunidades-campesinas-del-peru/>.

Crosa, G., Castelli, E., Gentili, G., Espa, P. (2010). Effects of suspended sediments from reservoir flushing on fish and macroinvertebrates in an alpine stream. *Aquatic Sciences*, 72, 85-95.

Custodio, E. y Llamas, M. R. (1976). *Hidrología Subterránea*. – Tomo I y II. Ed. Omega, Barcelona, España.

Groffman P.M., Baron J., Blett T., Gold A., Goodman I., Gunderson L., Levinson B., Palmer M., Paerl H., Peterson, LeRoy Poff N., Rejeski D., Reynolds J., Turner M., Weathers K. & Wiens J (2006). *Ecological Thresholds: The Key to Successful Environmental Management* o

Davis, S.N. y De Wiest, R. (1971). *Hidrología*. – Tomo I. Ed. Ariel, Barcelona España.

Dinka, M. O., Loiskandl, W., & Ndambuki, J. M. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 444-456. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.02.007>.



- Espa, P., Batalla, R.J., Brignoli, M.L., Crosa, G., Gentili, G., Quadroni, S. (2019). Tackling reservoir siltation by controlled sediment flushing: Impact on downstream fauna and related management issues. *PLoS ONE* 14(6): 1-26
- Flotemersch, J. E., Stribling, J. B., Paul, M. J. (2006). Concepts and approaches for the bioassessment of non-wadeable streams and rivers. EPA 600-R-06-127. US Environmental Protection agency, Ohio.
- Gandhi University, Kerala, India]. Shodhganga: a reservoir of Indian theses. <http://hdl.handle.net/10603/25955>.
- Girmay, Y. (2006). Assessing the environmental impacts of a hydropower project: the case of Akosombo/Kpong dams in Ghana. M. Sc. thesis. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Gomi, T., Kobayashi, S., Negishi, J.N., Imaizumi, F. (2010). Short-term responses of macroinvertebrate drift following experimental sediment flushing in a Japanese headwater channel. *Landscape and Ecological Engineering*. 6: 257-270.
- Hesse, L.W., Newcomb, B.A. (1982). Effects of flushing spencer hydro on water quality, fish and insect fauna in the Niobara River, Nebraska. *North American Journal of Fisheries Management* 2:45-52.
- Hem, J. D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (Vol. 2254). Department of the Interior, US Geological Survey. Disponible en: <https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2254/pdf/wsp2254a.pdf>.
- Huamani, S (2018). Estudio geológico geotécnico de la central hidroeléctrica Cerro del Águila, provincia de Tayacaja, región de Huancavelica. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín, Escuela de ingeniería geológica, Arequipa.
- INGEMMET. (1964). Bol. N° 12 - Geología del Cuadrángulo de Pampas, Hoja 25-n.
- Jacobsen, D., Encalada, A. (1998). The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian high-land streams in the wet and dry season. *Archiv fur Hydrobiologie* 142(1):53-70
- Johnson, L. B.; Richards, C. (1992). Investigate landscape influences on stream macroinvertebrate communities. *Water Resources Update* 87:41-48
- Jones J. I.; Murphy, J. F.; Collins, A. L.; Sear, D. A.; Naden, P. S.; Armitage, P. D. (2011). The impact of fine sediment on macro-invertebrates. *River Research and Applications* 28(8)
- Kendall, M. G. (1945). The treatment of ties in rank problems. *Biometrika*. 30(1/2) 81-93.
- Kiffney, P. M.; Bull, J. P. (2000). Factors Controlling Periphyton Accrual during Summer in Headwater Streams of Southwestern British Columbia, Canada. *Journal of Freshwater Ecology*, 15(3): 339-351.



- López, C.C. (2018). Análisis de las características fisicoquímicas del agua subterránea de la cuenca del río Chicú, Colombia, usando indicadores hidroquímicos y estadística multivariante. *Ingeniería y Ciencia*, 14(28), 35-68. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.28.2>.
- Magurran, A.E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Mariño, E.E. & García, R.F. (2018, Setiembre). Apuntes sobre Aplicaciones Ambientales de la Hidrogeoquímica. Consejo Hídrico Federal (COHIFE) de la Republica de Argentina. Disponible en: <http://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf>.
- Martínez, A. (1998). Interpretación Ambiental de datos hidroquímicos de la laguna continental de Castiñeiras. *Geographicalia*, 36,101-109.
- MINAM (2015). Estudio: Memoria descriptiva: Zonificación ecológica y económica del departamento de Junin a nivel meso y escala 1:100000. Ministerio Nacional del Ambiente Junin, Peru. 385 pp.
- Molina, M.T., Sánchez, L.N., Benítez, S.V., Sánchez, L.J., Sáenz, A., Echavarría, D.M. (2018). Sedimentation rates and characteristics of bottom sediments in three reservoirs of Antioquia, Colombia. *Ingeniería del agua*, 22(4), 177-194. <https://doi.org/10.4995/la.2018.8001>.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T – Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. GORFI, S.A., Zaragoza (ESP).
- Navarro, J., McCauley, D. y Blystra, A. (1994). Instream Flow incremental methodology (IFIM) for modelling fish hábitat. *Journal of wáter management modelling*. 6062.
- Newcombe, C. P.; Jensen, J. O. T. (1996). Channel suspended sediment and fisheries: A synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries Management* 16: 693-727.
- Ortega, H., Hidalgo, M., Trevejo, G., Cortijo, A.M., Meza, V., Espino, J. (2012). Lista anotada de los peces de aguas continentales del Perú: Estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Diversidad Biológica Museo de Historia Natural, UNMSM.
- Puntí, T. (2017). Ecology of Chironomidae communities in Mediterranean reference streams. Dr. Sci. Thesis, Universidad de Barcelona, ESP. 151 pp
- PROCLIM. (2005). Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y Contaminación de aire-PROCLIM. Instituto Nacional de Recursos Naturales-INRENA.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 25(6), 914-928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>.





Richards, C.; Host, G. (1993). Identification of predominant environmental factors structuring stream macroinvertebrate communities within a large agricultural catchment. *Freshwater Biology* 29: 285-294.

Rivera, M. (2007). *Introducción a la geoquímica general y aplicada*. Segunda edición, 279pp.

Rekha, V. B. (2013). A comparative study of the hydrological scenario of Peruvanthanam sub watershed and Valiyathodu sub watershed of Manimala River basin, Kerala, South India, Chapter 6: Ion Chemistry (pp. 75-83). [Tesis de doctorado en Ciencias Ambientales, Mahatma

Rusydi, A. F. (2018, Febrero). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 118 012019 [Colloquium]. Global Colloquium on GeoSciences and Engineering, Bandung, Indonesia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>.

Sánchez E. & Quinteros Z. 2017. Pertinencia del concepto de estándares de calidad ambiental (ECA) en la gestión de sistemas ambientales con varios estados alternativos. Estudio casos de una experiencia peruana. *Ecología Aplicada*, 16(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i2.1019>

Sandin, L. (2009). The effects of catchment land-use, near-stream vegetation, and river hydromorphology on benthic macroinvertebrate communities in a south-Swedish catchment. *Fundamental and Applied Limnology Archiv für Hydrobiologie* 174(1): 75-87.

Senamhi (2020). Mapa climático del Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi). Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

Stiff Jr, H.A. (1951). The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *Journal of Petroleum Technology*, 192, 376-379. <https://doi.org/10.2118/951376-G>.

Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *The bell system technical journal*. 27: 379-423, 623-656.

Stevenson, R. J.; Bothwell, R. J.; Lowe, R. L. (1996). *Algal Ecology*. Academic Press. California. USA. 753 pp.

Tennant, D.L. (1976) Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources, *Fisheries*, 1:4, 6-10, DOI: 10.1577/1548-8446(1976)0012.0.CO;2

United States Department of Agriculture (USDA). 1998. Stream Visual Assessment Protocol. National Water and Climate Center Technical Note 99-1

Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Ministerio del Ambiente, PE.

Venables, W. N.; Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Fourth edition. Springer





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
«Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia»

Villamarín, C.; Rieradevall, M.; Paul, M.J.; Barbour, M.T.; Prat, N. (2013). A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA index. *Ecological Indicators* 29: 79-92.

Villamarin, C., Rieradevall, M., Prat, N. (2020). Macroinvertebrate diversity patterns in tropical highland Andean rivers. *Limnetica* 39(2):677-691

Villamarin, C.; Villamarín-Cortez, S.; Salcido, D. M.; Herrera-Madrid, M.; Ríos-Touma, B. (2021). Drivers of diversity and altitudinal distribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in the Ecuadorian Andes. *Revista de Biología Tropical*. 69 (1): 113-126.

Williams D.D. & Mundie J.H. (1978) Substrate size selection by stream invertebrates and the influence of sand. *Limnology and Oceanography*, 23, 1030-1033.

Wolda, H. (1981). Similarity índices, sample size and diversity. *Oecologia* vol. 50: 296-302

Walton, N.R.G. (1989). Electrical Conductivity and total dissolved solids-what is their precise relationship? *Desalination*, 72(3), 275-292. [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(89\)80012-8](https://doi.org/10.1016/0011-9164(89)80012-8).

Zarroug I, Elaagip A, Abuelmaali S, Mohamed H, ElMubarak W, Hashim K, Deran T, Aziz N, Higazi T. 2014. The impact of Merowedamon Simulium hamedense vector of onchocerciasis in Abu-Hamed focus - Northern Sudan. *Parasit Vectors*. 7:168.

Zarroug, I. M., Elaagip, A., Gumaa, S. G., Ali, A. K., Ahmed, A., Siam, H. A., ... & Hashim, K. (2019). Notes on distribution of Simulium damnosum sl along Atbara River in Galabat sub-focus, eastern Sudan. *BMC infectious diseases*, 19(1), 1-5.