



**DETALLE DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE CAUSALIDAD
EN EL ENTORNO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA
CHIMAY DE CHINANGO S.A.C., UBICADA EN EL DISTRITO
MONOBAMBA, PROVINCIA JAUJA, DEPARTAMENTO JUNÍN
DURANTE EL 2022**

SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2022



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación
Ambiental

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

Firmas de los profesionales que aportaron a este documento:

**ÍNDICE DEL CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo general	4
3.2. Objetivos específicos	4
4. ÁREA DE ESTUDIO	5
4.1. Geología regional	7
4.2. Climatología e hidrología	7
4.3. Comunidades hidrobiológicas	8
4.4. Contexto social	8
5. METODOLOGÍA	9
5.1. Objetivo específico 1: Evaluar la calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el río Tulumayo del ámbito de la C.H. Chimay	11
5.1.1. Guías utilizadas para la evaluación	11
5.1.2. Ubicación de puntos de muestreo	11
5.1.3. Parámetros y métodos de análisis	13
5.1.4. Equipamiento y materiales utilizados	14
5.1.5. Aseguramiento de la calidad	14
5.1.6. Procesamiento de datos	14
5.1.7. Criterios de evaluación	18
5.2. Objetivo específico 2: Evaluar la comunidad ictiológica y la población de <i>Creagrutus</i> sp. y <i>Trichomycterus</i> sp. en el tramo de caudal ecológico del río Tulumayo directamente influenciado por la C.H. Chimay	19
5.2.1. Guías utilizadas para la evaluación	19
5.2.2. Ubicación de puntos de muestreo	20
5.2.3. Parámetros y métodos de análisis	20
5.2.4. Procesamiento de datos	21
5.2.5. Criterios de evaluación	21
5.3. Objetivo específico 3: Evaluar la calidad de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y el estado trófico del embalse Tulumayo	22
5.3.1. Guías utilizadas para la evaluación	22
5.3.2. Ubicación de puntos de muestreo	22
5.3.3. Parámetros y métodos de análisis	23
5.3.4. Equipamiento y materiales utilizados	24
5.3.5. Aseguramiento de la calidad	24



5.3.6.	Procesamiento de datos.....	24
5.3.7.	Criterios de evaluación	25
5.4.	Objetivo específico 4: Evaluar el impacto de la purga de sedimento del embalse Tulumayo en el río Tulumayo, durante el 2019, 2020 y 2021	25
5.4.1.	Ubicación de puntos de muestreo.....	28
5.4.2.	Parámetros y métodos de análisis	28
5.4.3.	Criterios de evaluación	29
6.	RESULTADOS	29
6.1.	Objetivo específico 1: Evaluar la calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el río Tulumayo del ámbito de la C.H. Chimay	29
6.1.1.	Agua superficial	29
6.1.2.	Agua turbinada	32
6.1.3.	Sedimento.....	32
6.1.4.	Comunidades hidrobiológicas	36
6.2.	Objetivo específico 2: Evaluar la comunidad ictiológica y la población de <i>Creagrutus</i> sp. y <i>Trichomycterus</i> sp. en el tramo crítico de caudal ecológico del río Tulumayo directamente influenciada por la C.H. Chimay	53
6.2.1.	Comunidad ictiológica	53
6.2.2.	Población de <i>Creagrutus</i> sp. y <i>Trichomycterus</i> sp.	57
6.3.	Objetivo específico 3: Evaluar la calidad de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y el estado trófico del embalse Tulumayo	59
6.3.1.	Agua superficial	59
6.3.2.	Sedimento.....	59
6.3.3.	Comunidades hidrobiológicas	64
6.3.4.	Estado trófico del embalse Tulumayo	71
6.4.	Objetivo específico 4: Evaluar el impacto de la purga de sedimento del embalse Tulumayo en el río Tulumayo, durante el 2019, 2020 y 2021	72
7.	DISCUSIÓN	75
7.1.	Calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimentos y comunidades hidrobiológicas (perifiton y macroinvertebrados bentónicos) en el río Tulumayo del ámbito de la C.H. Chimay.....	75
7.2.	Comunidad ictiológica y población de <i>Creagrutus</i> sp. y <i>Rhamdia quelem</i> en el tramo de caudal ecológico del río Tulumayo directamente influenciada por la CH Chimay	83
7.3.	Calidad de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas (plancton) en el embalse Tulumayo.....	90
7.4.	Purga de sedimentos del embalse Tulumayo.....	93
8.	CONCLUSIONES.....	101



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Concentraciones de OD y DBO en los ríos Uchubamba, Comas y Tulumayo antes de la construcción de la C.H. Chimay (1997) 2
Tabla 2.2. Acciones realizadas por el OEFA en el entorno de la CH Chimay 3
Tabla 5.1. Guías y protocolos de monitoreo para calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas 11
Tabla 5.2. Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas 12
Tabla 5.3. Punto de muestreo de agua turbinada de la CH Chimay 13
Tabla 5.4. Parámetros y métodos de análisis de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas 13
Tabla 5.5. Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica 15
Tabla 5.6. Cuerpo de agua y categoría de comparación para los cuerpos de agua en el área de influencia de la C.H. Chimay 18
Tabla 5.7. Ubicación de los puntos de muestreo 20
Tabla 5.8. Parámetros evaluados 21
Tabla 5.9. Guías y protocolos de monitoreo para calidad de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas 22
Tabla 5.10. Puntos de muestreo para la evaluación del estado trófico del embalse Tulumayo 22
Tabla 5.11. Parámetros y métodos de análisis de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas 23
Tabla 5.12. Fórmulas para el cálculo del TSI según la transparencia del agua, fósforo total y la clorofila a 25
Tabla 5.13. Puntos de muestreo para la evaluación de la purga de sedimento 28
Tabla 5.14. Parámetros y métodos de análisis 28
Tabla 6.1. Metales en los sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo comparados con los valores ISQG y PEL de la guía canadiense 34
Tabla 6.2. Características y evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S) 37
Tabla 6.3. Composición comunitaria total de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas 38
Tabla 6.4. Riqueza de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas 39
Tabla 6.5. Abundancia por phylum de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas 41
Tabla 6.6. Índices de diversidad para microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas 43
Tabla 6.7. Índice de similitud de Bray-Curtis para las microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas 44
Tabla 6.8. Composición comunitaria total de macroinvertebrados bentónicos en los ríos Tulumayo y Comas 45
Tabla 6.9. Riqueza de los MIB en los ríos Tulumayo y Comas 46
Tabla 6.10. Abundancia por taxón de los MIB en cada punto de muestreo en los ríos Tulumayo y Comas 49
Tabla 6.11. Índices de diversidad para los MIB en los ríos Tulumayo y Comas 51



Tabla 6.12. Índice de similitud de Bray-Curtis para los MIB en los ríos Tulumayo y Comas	52
Tabla 6.13. Especies de peces encontradas en el área de estudio de la C.H. Chimay	53
Tabla 6.14. Especies de peces encontradas en el área de estudio de la C.H. Chimay	53
Tabla 6.15. Cantidad de individuos colectados y observados por punto de muestreo.....	55
Tabla 6.16. Resumen de parámetros <i>in situ</i> y abundancias de peces	56
Tabla 6.17. Parámetros <i>in situ</i> y abundancia de <i>Cregrutus</i> sp y <i>Rhamdia quelem</i>	57
Tabla 6.18. Resultados de metales en sedimentos del embalse Tulumayo comparados con los valores ISQG y PEL de la guía canadiense	61
Tabla 6.19. Composición comunitaria total del fitoplancton en el embalse Tulumayo	65
Tabla 6.20. Riqueza del fitoplancton en el embalse Tulumayo.....	65
Tabla 6.21. Abundancia por phylum del fitoplancton en el embalse Tulumayo.....	67
Tabla 6.22. Índices de diversidad para el fitoplancton en el embalse Tulumayo	69
Tabla 6.23. Índice de similitud de Bray-Curtis para fitoplancton en el embalse Tulumayo.	70
Tabla 6.24. Resultados de parámetros de campo y laboratorio del embalse Tulumayo....	72
Tabla 6.25. Valores de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos en el agua superficial del río Tulumayo, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo de la CH. Chimay obtenidos por el OEFA en 201 y su comparación con los ECA para agua 2017	73
Tabla 6.26. Valores de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos en el agua superficial del río Tulumayo, antes, durante y después del desembalse o purga de sedimentos de la represa Tulumayo de la CH. Chimay, obtenidos por el administrado en el 2019, 2020 y 2021, y su comparación con los ECA para agua 2017	74
Tabla 7.1. Caudales mínimos ecológicos aportados por el embalse Chimay	86
Tabla 7.2. Lista descriptiva de posibles efectos en peces	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Ubicación hidrográfica de la C.H. Chimay	6
Figura 4.2. Área de estudio de la EAC en la C.H. Chimay	6
Figura 5.1. Distribución de los puntos de muestreo en el área de estudio de la EAC en la C.H. Chimay	10
Figura 5.2. Curva granulométrica acumulada continua	16
Figura 5.3. Modelo conceptual en el área de estudio durante las actividades de purga de sedimento	27
Figura 6.1. Concentraciones de zinc total en los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022	30
Figura 6.2. Concentraciones de aluminio total en los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022.....	31
Figura 6.3. Concentraciones de manganeso total en los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022.....	31
Figura 6.4. Concentraciones de hierro total en los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022.....	32
Figura 6.5. Concentraciones de elementos mayoritarios en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022.....	33
Figura 6.6. Concentraciones de elementos menores en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022.....	33
Figura 6.7. Concentraciones de elementos trazas en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022.....	34



Figura 6.8. Concentraciones de arsénico en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022..... 35

Figura 6.9. Porcentaje de materia orgánica de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022..... 35

Figura 6.10. Porcentaje de grava, arena, limo y arcilla en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022..... 36

Figura 6.11. Curva granulométrica de sedimento de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022..... 36

Figura 6.12. Distribución porcentual de la composición de especies de las microalgas del perifiton por phylum en los ríos Tulumayo y Comas..... 38

Figura 6.13. Composición de riqueza de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas 40

Figura 6.14. Abundancia por taxón de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas 42

Figura 6.15. Índices de diversidad para microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas 43

Figura 6.16. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas..... 44

Figura 6.17. Distribución porcentual de la composición de especies de los MIB por phylum en los ríos Tulumayo y Comas..... 46

Figura 6.18. Composición de la riqueza de los MIB en los ríos Tulumayo y Comas 48

Figura 6.19. Abundancia por taxón de los MIB por punto de muestreo en los ríos Tulumayo y Comas..... 50

Figura 6.20. Índices de diversidad para los MIB en los ríos Tulumayo y Comas..... 51

Figura 6.21. Escalamiento multidimensional no métrico para los MIB en los ríos Tulumayo y Comas 52

Figura 6.22. Abundancia por especie de pez en cada punto de muestreo 56

Figura 6.23. Análisis de correspondencias canónicas (ACC) tomando en cuenta variables medidas *in situ* y abundancia de peces 57

Figura 6.24. Histogramas de tallas para *Creagrutus* sp. 58

Figura 6.25. Histogramas de tallas para *Rhamdia quelem*..... 58

Figura 6.26. Concentraciones de elementos mayores en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022..... 60

Figura 6.27. Concentraciones de elementos menores en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022..... 60

Figura 6.28. Concentraciones de elementos trazas en sedimento en el embalse Tulumayo, en agosto de 2022..... 61

Figura 6.29. Variación de las concentraciones de arsénico en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022..... 62

Figura 6.30. Variación de las concentraciones de plomo en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022..... 62

Figura 6.31. Variación de las concentraciones de zinc en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022..... 63

Figura 6.32. Porcentaje de materia orgánica de sedimento en el embalse Tulumayo, en agosto de 2022..... 63

Figura 6.33. Porcentaje de grava, arena, limo y arcilla en sedimentos del embalse Tulumayo, agosto de 2022..... 64

Figura 6.34. Curva granulométrica de sedimento en el embalse Tulumayo, en agosto de 2022..... 64



Figura 6.35. Distribución porcentual de la composición de especies por phylum del fitoplancton en el embalse Tulumayo.....	65
Figura 6.36. Distribución porcentual de la composición de especies por phylum del fitoplancton en el embalse Tulumayo.....	66
Figura 6.37. Abundancia por taxón del fitoplancton en el embalse Tulumayo.....	68
Figura 6.38. Índices de diversidad del fitoplancton en el embalse Tulumayo.....	70
Figura 6.39. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de fitoplancton en el embalse Tulumayo.....	71
Figura 7.1. Fotografías a, c y e de los puntos TUL-06, TUL-07 y TUL-08, sin presencia de lluvia; fotografías b, d y f de los puntos TUL-06, TUL-07 y TUL-08, con presencia de lluvia.....	76
Figura 7.2. Concentraciones de aluminio, hierro, manganeso y zinc, de los puntos TUL-09, TUL-10 y TUR-01.....	77
Figura 7.3. Concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS) en (a) y valores de turbidez en (b) de los puntos TUL-09, TUL-10 y TUR-01.....	78
Figura 7.4. Concentraciones de arsénico en los sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo en agosto de 2022.....	80
Figura 7.5. Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre las variables ambientales y las comunidades hidrobiológicas de agosto de 2022: a. Perifiton (microalgas) y b. Macroinvertebrados bentónicos en los ríos Tulumayo y Comas.....	82
Figura 7.6. Estudio de hábitat y propuesta de caudal ecológico en el embalse Tulumayo (Pág. 4-104).....	83
Figura 7.7. Pesca con atarraya y equipo de electropesca.....	85
Figura 7.8. Caudales en el río y embalse Tulumayo comparados con el caudal ecológico calculado por el administrado.....	87
Figura 7.9. Caudales registrados por el administrado en las estaciones TU-01, TU-02, TU-03 y TU-04 en julio, agosto y setiembre de los años 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, y por el OEFA en el 2022.....	88
Figura 7.10. Análisis de regresión entre el caudal y las abundancias de <i>Creagrutus peruanus</i> y <i>Rhamdia quelem</i>	90
Figura 7.11. Forma típica de sedimentación de un embalse.....	91
Figura 7.12. Concentraciones de arsénico, plomo y zinc en el embalse Tulumayo.....	92
Figura 7.13. Quema de maleza en la parte alta de la ladera derecha colindante al embalse Tulumayo.....	92
Figura 7.14. Concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS) en el río Tulumayo reportados por: a) Administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en la represa Tulumayo (2019, 2020 y 2021); y b) OEFA, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo (2021).....	95
Figura 7.15. Concentraciones de aluminio en el río Tulumayo reportados por: a) Administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en la represa Tulumayo (2019, 2020 y 2021); y b) OEFA, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo (2021).....	96
Figura 7.16. Concentraciones de hierro en el río Tulumayo reportados por: a) Administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en la represa Tulumayo (2019, 2020 y 2021); y b) OEFA, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo (2021).....	97
Figura 7.17. Concentraciones de manganeso en el río Tulumayo reportados por: a) Administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de	



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación
Ambiental

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

sedimentos en la represa Tulumayo (2019, 2020 y 2021); y b) OEFA, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo (2021) 98

Figura 7.18. Valores de severidad de los efectos (SEV) en el río Tulumayo en el 2019, 2020 y 2021 101



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación
Ambiental

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACC: Análisis de Correspondencia Canónica

ANA: Autoridad Nacional del Agua

APHA: American Public Health Association

ASTM: American Society for Testing and Materials

AWWA: American Water Works Association

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

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

STEC: Subdirección Técnica Científica

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

WGS 84: World Geodetic System 1984

MINAM: Ministerio del Ambiente



1. INTRODUCCIÓN

La Evaluación ambiental de causalidad (EAC¹) en el área de influencia de la Central Hidroeléctrica Chimay (en adelante, C.H. Chimay) de Chinango S.A.C., se realizó en el 2022 con la finalidad de determinar el riesgo hídrico del río Tulumayo producto de sus actividades de operación.

La C.H. Chimay, actualmente concesionada a Chinango S.A.C.², opera sobre el río Tulumayo a 75 km aguas arriba de la ciudad de San Ramón en el distrito Monobamba, provincia Jauja, departamento Junín³ desde octubre del 2000⁴.

Mediante Memorando N.º 02330-2021-OEFA/DSEM, la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (DSEM) solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) la priorización de la evaluación de causalidad del riesgo hídrico por operación de la C.H. Chimay a fin de verificar la eficacia de los compromisos ambientales asumidos en el instrumento de gestión ambiental del administrado.

Para cumplir con lo solicitado por la DSEM, la DEAM dentro del marco de sus funciones estableció las actividades a realizarse en el área de influencia de la C.H. Chimay⁵.

En ese sentido, se realizaron trabajos de reconocimiento técnico ambiental del 8 al 10 de febrero de 2022 y una evaluación del 4 al 13 de agosto de 2022, en esta última se realizó el muestreo de agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas para evaluar su riesgo hídrico.

Asimismo, para entender el contexto de los resultados de los parámetros evaluados en las diferentes matrices y la preferencia de hábitat en el río Tulumayo dentro del área de influencia de la C.H. Chimay se realizó la recopilación, revisión, análisis y síntesis de la información ambiental existente (registros históricos de los monitoreos realizados por el administrado del 2015 al 2022, y por el OEFA en 2021).

Finalmente, es importante mencionar que todas las actividades programadas en la evaluación fueron realizadas dentro del marco de la función evaluadora del OEFA (Resolución del Consejo Directivo N.º 00013-2020-OEFA/CD) y el presente informe de evaluación ambiental constituirá un soporte técnico por parte de la DEAM para una efectiva supervisión y fiscalización del OEFA, y formará parte del expediente N.º 009-2022-DEAM-EAC.

¹ De acuerdo con el Artículo 24 del Reglamento de Evaluación del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental–OEFA, Resolución de Consejo Directivo N.º 013-2020-OEFA/CD, establece:

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.

² Mediante Resolución Suprema N.º 032-2009-EM del 23 de mayo de 2009 se aprobó la transferencia de la concesión definitiva para desarrollar la actividad de generación de energía eléctrica en la C.H. Chimay de la empresa Edegel S.A.A. a favor de Chinango S.A.C. a partir el 31 de mayo de 2019.

³ Estudio de Impacto Ambiental de la C.H. Chimay, aprobado por el Ministerio de Energía y Minas mediante Memorando N.º 699-98-EM/DGAA del 4 de mayo de 1998.

⁴ La Industria de la Electricidad en el Perú – 25 años de aportes en el crecimiento económico del país. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería – Osinergmin (2016). Pág. 233.

⁵ Plan de evaluación ambiental aprobado mediante Informe N.º 0009-2022-OEFA/DEAM-STEC, el 28 de febrero de 2022.



2. ANTECEDENTES

La C.H. Chimay cuenta con un Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) aprobado desde 1998 por el Ministerio de Energía y Minas (Minem), denominado «Estudio de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica Chimay» (en adelante, EIA)⁶.

De acuerdo con la información del EIA de la C.H. Chimay, antes del inicio de sus operaciones, en 1997, se registraron concentraciones de oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en los ríos Uchubamba, Comas y Tulumayo que cumplieron con los valores límites de la Clase VI: Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial, del Reglamento de los Títulos I, II y III de la Ley General de Agua, Decreto Ley N.º 17752 aprobado por Decreto Supremo N.º 261-69-AP, y su modificatoria por Decreto Supremo N.º 007-83-SA (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Concentraciones de OD y DBO en los ríos Uchubamba, Comas y Tulumayo antes de la construcción de la C.H. Chimay (1997)

Ítem	Código	Fecha	OD mg/L	DBO5 mg/L	Descripción
1	M1	16 y 17 de julio de 1997	5,14	7,5	Río Uchubamba, 50 m aguas arriba de la confluencia con el río
2	M3	16 y 17 de julio de 1997	4,67	9,0	Río Comas, a 20 m aguas arriba de la zona de confluencia con el río Comas (M3)
3	M2	16 y 17 de julio 1997	6,94	4,5	Río Tulumayo, en el sitio de la futura bocatoma de la central hidroeléctrica de Chimay
		6 y 8 de agosto de 1997	6,57	N.D.	
4	M7	6 y 8 de agosto de 1997	6,5	7,5	Río Tulumayo, en el sitio de la futura casa de máquinas de la central hidroeléctrica de Chimay
5	M5	16 y 17 de julio de 1997	5,87	7,5	Río Tulumayo, aproximadamente 500 m aguas abajo de la confluencia con el río Monobamba.
		6 y 8 de agosto de 1997	6,29	N.D.	

(N.D.): No Determinado.

Respecto a las especies de peces registradas en el río Tulumayo se destaca al *Oncorhynchus mykiss* (trucha arco iris) y al *Trichomicterus* sp. (bagre); cabe señalar que, el ejemplar de trucha pescado tuvo un tamaño de 48 cm, lo que podría ser casi el límite inferior de su distribución de acuerdo con el EIA de la C.H. Chimay.

En cuanto al análisis del comportamiento de la diversidad acumulada de macrobentos, este sugiere que la diversidad del macrobentos a lo largo del río Tulumayo se mantiene constante, por lo menos en el tramo comprendido entre la bocatoma y el punto de retorno del agua a su cauce natural de acuerdo con el EIA de la C.H. Chimay.

La DSEM del OEFA realizó acciones de supervisión en la C.H. Chimay para verificar el cumplimiento de sus compromisos ambientales, entre ellos, los compromisos de calidad de agua y caudales en los cuerpos de agua influenciados por dicha central hidroeléctrica, así como el caudal ecológico en el río Tulumayo (Tabla 2.2).

⁶ Aprobado por el Ministerio de Energía y Minas mediante Memorando N.º 699-98-EM/DGAA del 4 de mayo de 1998.

**Tabla 2.2.** Acciones realizadas por el OEFA en el entorno de la CH Chimay

N.º	Administrado	Unidades fiscalizables	Fecha	Documento	Conclusiones relevantes
1	Chinango SAC	Central Hidroeléctrica Chimay	31/10/2018	Informe N.º 297-2018-OEFA/DSEM-CELE	No se identificaron hechos que correspondan presuntos incumplimientos a las obligaciones ambientales establecidas en la normativa ambiental vigente y en su instrumento de Gestión Ambiental aprobado.
2	Chinango SAC	Central Hidroeléctrica Chimay	30/11/2018	Informe N.º 337-2018-OEFA/DSEM-CELE	Se recomendó el inicio de un procedimiento administrativo sancionador en: Verificar la responsabilidad del administrado ante el evento reportado en la Emergencia Ambiental ocurrida el 16 de julio de 2018 en la CH Chimay.
3	Chinango SAC	Embalse Tulumayo (Central Hidroeléctrica Chimay)	22/05/2019	Informe N.º 123-2019-OEFA/DSEM-CELE	No se identificaron hechos que correspondan presuntos incumplimientos a las obligaciones ambientales establecidas en la normativa ambiental vigente, ante precipitaciones de fuerte intensidad previstas, respecto de la CH Chimay y su área de influencia directa.
4	Chinango SAC	Central Hidroeléctrica Chimay	28/06/2019	Informe N.º 206-2019-OEFA/DSEM-CELE	Conforme al Informe de Monitoreo Ambiental del primer trimestre de 2019, en los meses de enero, febrero y marzo 2019, el parámetro sólidos suspendidos totales supera al «valor en cualquier momento» establecido en la Resolución Directoral N.º 008-97-EM/DGAA. No obstante, dicho exceso no es atribuible al administrado.
5	Chinango SAC	Central Hidroeléctrica Chimay	30/06/2020	Informe N.º 170-2020-OEFA/DSEM-CELE	No fue posible determinar la responsabilidad del administrado en los hechos materia de la denuncia (colmatación de sedimentos en el río Tulumayo). Se recomendó el inicio de un proceso administrativo sancionador en: Chinango no cumplió con comunicar la purga de sedimentos de la presa Tulumayo al OEFA y a los grupos de interés con una antelación de cinco días hábiles antes de su realización.
6	Chinango SAC	Central Hidroeléctrica Chimay	30/11/2020	Informe de supervisión N.º 478-2020-OEFA/DSEM-CELE	Se recomendó el inicio de un proceso administrativo sancionador en: El administrado no cumplió con comunicar al OEFA la ejecución de la purga de sedimentos del Desarenador de la Toma Tulumayo de CH Chimay, con cinco (5) días hábiles antes de ser efectuada, de acuerdo a lo establecido en el RPAAE. No es posible atribuirle responsabilidad al administrado por la superación a los ECA agua debido a la purga.
7	Chinango SAC	Central Hidroeléctrica Chimay	27/07/2021	Informe de supervisión N.º 113-2021-OEFA/DSEM-CELE	No se identificaron hechos que correspondan presuntos incumplimientos a las obligaciones ambientales establecidas en la normativa ambiental vigente y en su instrumento de Gestión Ambiental aprobado.



N.º	Administrado	Unidades fiscalizables	Fecha	Documento	Conclusiones relevantes
8	Chinango SAC	Central Hidroeléctrica Chimay	25/11/2021	Informe N.º 00172-2021-OEFA/DEAM-STECS	<p>Se determinó que el desembalse de la represa Tulumayo de la CH Chimay de Chinango SAC, alteró la calidad del agua superficial del río Tulumayo, lo cual fue evidenciado por un incremento de las concentraciones de turbidez, sólidos totales suspendidos, y metales como hierro, aluminio y manganeso durante el desembalse de la represa.</p> <p>El ensamblaje de macroinvertebrados bentónicos está sufriendo cambios en su estructura comunitaria, evidenciado en el incremento de dípteros (orden Diptera), lo cual también tendría relación con los procesos de desembalse y purgas de la represa Tulumayo.</p> <p>la alteración de la calidad del agua superficial del río Tulumayo asociada al incremento de la concentración de sólidos totales suspendidos (STS) durante el desembalse de la represa Tulumayo de la CH Chimay, puede generar efectos subletales en peces, evidenciado en los valores de severidad de efectos (SEV) obtenidos a partir de las concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS) en el río Tulumayo monitoreados durante 36 horas.</p>

El Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (Sinada) del OEFA, desde el 2010 hasta el 2020, registró 15 denuncias ambientales por presunta afectación ambiental del río Tulumayo, por descargas de vertimiento de arena y lodos del fondo de la represa de la C.H. Chimay, acciones probablemente relacionadas con la purga del embalse Tulumayo.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el riesgo hídrico del río Tulumayo relacionado a las actividades de operación de la C.H. Chimay.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el tramo del río Tulumayo del ámbito de la C.H. Chimay.
- Evaluar la comunidad ictiológica y la población de *Creagrutus* sp. y *Trichomycterus* sp. en el tramo de caudal ecológico del río Tulumayo directamente influenciado por la C.H. Chimay.
- Evaluar la calidad de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y el estado trófico del embalse Tulumayo.
- Evaluar el impacto de la purga de sedimento del embalse Tulumayo en el río Tulumayo, durante el 2019, 2020 y 2021.



4. ÁREA DE ESTUDIO

La C.H. Chimay se ubica en el flanco occidental de la cordillera oriental, en el distrito Monobamba, provincia Jauja, departamento Junín, a 45 km de San Ramón (figuras 4.1 y 4.2). La bocatoma se localiza en el río Tulumayo, aguas abajo de la confluencia de sus afluentes, ríos Comas y Uchubamba (Tambillo)⁷. El sector de la cuenca del río Tulumayo delimitado entre la bocatoma y la descarga de la central tiene una extensión de 56 km². La altitud media aproximada es 1250 m s. n. m. y la extensión aproximada de la cuenca hasta la captación de la C.H. Chimay es de 2364 km².

El acceso desde la ciudad de Lima es a través de la carretera de penetración Lima-La Oroya-Tarma-San Ramón (311 km) y de ahí hacia la localidad de Chimay en una distancia aproximada de 45 km, por una vía afirmada hasta el lugar de la bocatoma.

De acuerdo con el esquema hidráulico de la C.H. Chimay, esta tiene un caudal de diseño de 66 m³/s y aprovecha una caída bruta de 219 m para producir 111 MW y abastecer a la subestación Pachachaca⁸, donde se produce la interconexión con el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional de Perú (SEIN). Las estructuras de captación se ubican a 400 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Chacaybamba y consiste en un dique móvil de unos 80 m de longitud. Los diques son de aproximadamente 13 m de altura sobre el fondo del río. Sobre el sector derecho se ubica el dique móvil consistente en una estructura de concreto provisto de compuertas de sector y la parte izquierda se encuentra el dique de material suelto no clasificado. La casa de máquinas incluyendo su descarga se ubica en una terraza de material aluvial, a unos 400 m aguas arriba de la desembocadura del río Monobamba.

En la línea base ambiental del EIA, se precisa que el área de influencia del proyecto de la C.H. Chimay se encuentra en el distrito Monobamba, conformado por anexos ubicados entre la zona de selva baja y altoandina, principalmente: Los Ángeles, en la margen izquierda y Marancocha, Pacaybamba y Yanayacu, en la margen derecha. Asimismo, considera que la comunidad campesina Uchubamba, ubicada también en el distrito Monobamba, podría verse influenciada indirectamente por el desarrollo del proyecto de la C.H. Chimay.

El área de estudio de la EAC en la C.H. Chimay incluyó el embalse Tulumayo y el río del mismo nombre, específicamente, el tramo comprendido entre la cabecera del embalse y la descarga de la central, con una longitud aproximada de 10 km. Asimismo, con fines referenciales se consideró los cuerpos de agua aportantes al río Tulumayo.

Según el Estudio de Hábitat y Propuesta de Caudal Ecológico, el embalse está formado por un dique cuya construcción es de concreto y otros materiales. Este yace transversalmente en el río Tulumayo, el cual está constituido por los ríos Comas y Uchubamba (ríos tributarios) que forman una Y en su configuración. El vaso se extiende en una longitud aproximada de 700 m. sobre el río Tulumayo hasta la confluencia con los ríos tributarios y alrededor de 600 m. y 300 m. sobre el río Comas y Uchubamba respectivamente.

⁷ Informe N.º 137-2003-EM-DGAA/LS. Informe de Caudal Ecológico en el Río Tulumayo - EIA Central Hidroeléctrica Chimay.

⁸ Estudio de Impacto Ambiental de la C.H. Chimay, aprobado por el Ministerio de Energía y Minas mediante Memorando N.º 699-98-EM/DGAA del 4 de mayo de 1998.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

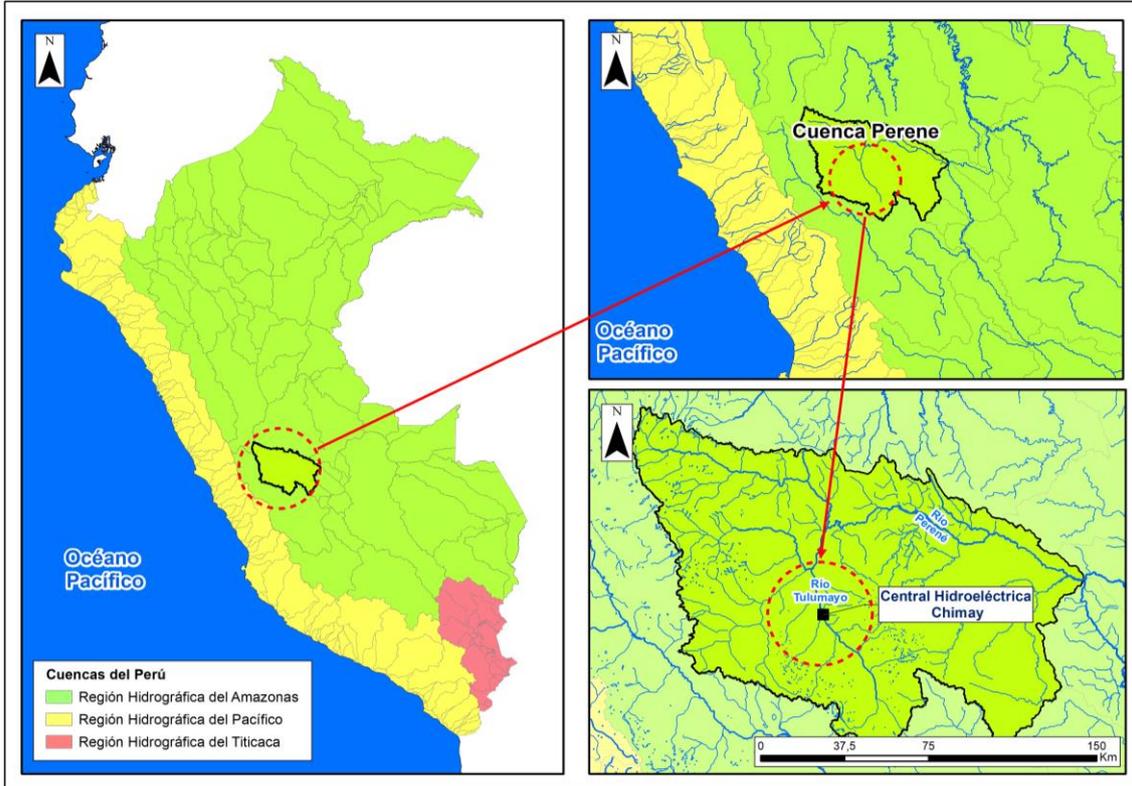


Figura 4.1. Ubicación hidrográfica de la C.H. Chimay

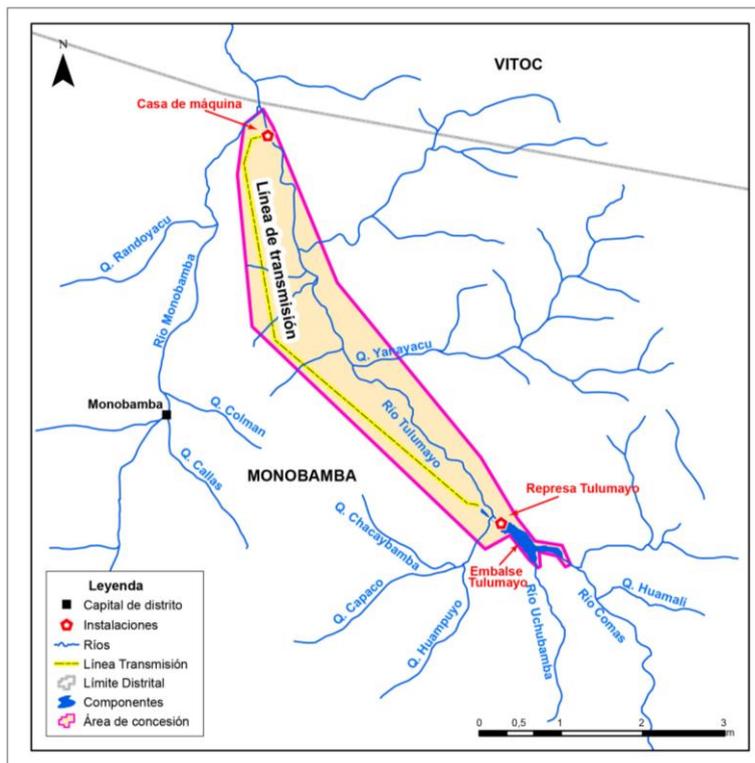


Figura 4.2. Área de estudio de la EAC en la C.H. Chimay



4.1. Geología regional

La morfología del área de estudio está modelada principalmente por la naciente del río Tulumayo a partir de la confluencia del río Comas con el río Uchubamba, dando lugar a una geomorfología controlada por las diferentes litologías existentes, las mismas que presentan composición y resistencia muy variada a los procesos erosivos de acuerdo con lo observado durante la EAC.

Los afloramientos rocosos en el entorno de la CH Chimay corresponden a rocas intrusivas de la Unidad Tarma y San Ramón de composición granodiorítica y monzogranito. Estas litologías se encuentran parcialmente cubiertos por suelos residuales, coluviales y vegetación, los cuales se presentan distribuidos en los valles y quebradas tributarias principales, depositándose material de escombros de gravas y conglomerados polimícticos mal clasificados unidos por una matriz arcillosa a arenosa (Monge *et al.*, 1996).

De lo mencionado anteriormente, se tiene que los depósitos cuaternarios presentan pequeñas terrazas fluvio-aluviales y fluviales. Los taludes se presentan estables, salvo pequeños deslizamientos de material residual y caída de bloques muy localizados. La presencia de aguas subterráneas está relacionada con zonas de intenso fracturamiento controlado por la tectónica local y regional.

4.2. Climatología e hidrología

Según la línea base ambiental del EIA⁹, el clima en la región es típico de las zonas de vida denominadas Bosque Húmedo Premontano Tropical (debajo de los 2000 m s. n. m.) y el Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Tropical (entre 1900 m s. n. m. y 3000 m s. n. m.), corresponden a la selva alta del Perú.

De acuerdo con la información pluviométrica existente, la mayor precipitación del año ocurre entre noviembre y abril, y el periodo de menor precipitación entre mayo y agosto, correspondiendo el resto de los meses a un periodo de transición. No existe una relación directa altitud-precipitación, ya que en las zonas bajas se produce una mayor precipitación debido a la influencia de masas de aire caliente proveniente del Atlántico.

La temperatura media anual varía entre 22,2 °C y 25 °C en la región del río Tulumayo por debajo de los 2000 m s. n. m. La temperatura media mensual alcanza sus valores máximos de diciembre a marzo (30 °C – 35 °C) y las mínimas entre junio y agosto (15 °C – 18 °C). En la zona por encima de los 2000 m s. n. m. (Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Tropical) la temperatura media anual fluctúa alrededor de 15 °C.

Se puede estimar a partir de las estaciones del río Tarma y el Perené, que el promedio anual de humedad relativa varía entre 70 % y 80 %. Los valores de humedad relativa son menores durante el invierno (mayo – agosto) y mayores durante el verano (diciembre – marzo), indicando por consiguiente que la humedad ambiental está en relación directa con las precipitaciones.

En cuanto a los vientos, se puede dar como referencia los valores registrados en la estación del aeropuerto de San Ramón, en donde se reporta como dominante el proveniente del Suroeste, con una velocidad promedio de 15 kph calificado como brisa débil.

⁹ Estudio de Impacto Ambiental de la CH Chimay. Capítulo 3: Línea Base Ambiental, 3.3 Climatología. Aprobado mediante Memorando N.º 699-98-EM/DGAA, el 04/05/1998 por el Ministerio de Energía y Minas.



De acuerdo con la línea base ambiental del EIA del administrado, en la cuenca alta del río Tulumayo se distinguen los siguientes afluentes: ríos Comas, Uchubamba, Carachuco, Chacuas, Monobamba, Marancocha, Conchupalca y Tilsipán. El río Tulumayo y los ríos Tarma y Oxabamba forman el río Chanchamayo, que a vez con el río Paucartambo forman el río Perené, el cual pertenece a la vertiente del Atlántico.

La zona de captación es conocida como Chimay y se ubica en la confluencia de los ríos Comas, Uchubamba, Marancocha y Chacaybamba que dan origen al río Tulumayo, con un ancho promedio de 250 m sobre la cota 1350 m s. n. m. A partir de Chimay hasta la localidad de Pacaybamba, el río Tulumayo se encañona en un tramo de 0,4 m, ensanchándose hasta el tramo ubicado a 2 km aguas abajo de la localidad de Pacaybamba donde vuelve a formarse un cañón de 0,3 km de longitud, luego se ensancha ligeramente hasta la confluencia con el río Monobamba¹⁰.

La estación hidrométrica Presa Chimay ubicada en la C.H. Chimay controla la aportación de entrada al embalse Tulumayo. Dicha aportación es el resultado de las descargas generadas en las cuencas de los ríos Tambillo y Comas, cuyas superficies son de 506 km² y 1827 km² respectivamente¹¹.

4.3. Comunidades hidrobiológicas

Conforme a la línea base ambiental del EIA, la evaluación de la ictiofauna presente en el río Tulumayo, se realizó contando con los servicios de un poblador local que usualmente pesca. Luego de la pesca, se pudieron encontrar 2 ejemplares, el *Oncorhynchus mykiss* (trucha arco iris) y *Trichomicterus* sp.s (bagre). Cabe señalar que, el ejemplar de trucha pescado tuvo un tamaño de 48 cm, lo que podría ser casi el límite inferior de su distribución. Según refieren los pobladores locales, comen a las truchas al menos dos veces a la semana. De este modo, la trucha parece estar perfectamente adaptada a las condiciones que muestra el río Tulumayo en la zona de estudio.

En cuanto a la evaluación de macroinvertebrados bentónicos, las especies que forman los bentos se encuentran más cerca de la base de la red trófica que lo que están las especies que los consumen (truchas, pato de los torrentes, mirlo acuático). La presencia de estos consumidores en el río, indica indirectamente que la red trófica está suficientemente bien estructurada como para permitirles existir y prosperar. El análisis del comportamiento de la diversidad acumulada de macrobentos, sugiere que la diversidad del macrobentos a lo largo del río Tulumayo es más o menos constante, por lo menos en el tramo comprendido entre la bocatoma y el punto de retorno del agua a su cauce natural. Además, este río parece tener una comunidad de macrobentos más diversa que la quebrada Monobamba.

La construcción de la central hidroeléctrica ha significado una reducción de la diversidad en el macrobentos, lo cual parece ser consecuencia de un cambio de la composición faunística y de un incremento de la estructura de dominancia de la comunidad causado por cambios en las condiciones hidrológicas y fisicoquímicas del agua.

4.4. Contexto social

Según la línea base ambiental del EIA, las obras de la C.H. Chimay se encontrarían básicamente en 3 puntos (bocatoma, depósito de materiales y casa de máquinas), ubicados

¹⁰ Estudio de impacto ambiental de la Central Hidroeléctrica Chimay (Pág. 12).

¹¹ Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca Ene-Perené. Autoridad Nacional del Agua. Noviembre-2015.



entre terrenos pertenecientes a los anexos Libertad Tingo y Chacaybamba, en la margen izquierda del río Tulumayo.

Considerando el análisis de los datos a nivel de distrito, de acuerdo con el Censo de Población de 1993 (INEI), el grueso de la población está cursando la primaria o lo han hecho, sea completa o incompleta. Ello indica que el nivel de analfabetismo en esta zona es reducido.

Por la condición de actividad (6 años y más), se considera a la población económicamente no activa (personas que están a cargo de la casa y a estudiantes) en una cantidad superior a las de la población económicamente activa (PEA), ocupada y desocupada. El 80 % de la PEA se dedica a actividades extractivas, vale decir la agricultura, la ganadería, caza y silvicultura.

La agricultura es la actividad principal, siendo el café el producto básico y, en segundo lugar, las frutas. Los hombres y las mujeres adultas se dedican en pareja, a las labores de la chacra, siendo acompañados por sus hijos cuando estos son pequeños o se encuentran de vacaciones en la escuela.

Otra actividad económica es la minería desarrollada por la empresa SIMSA. La mina es conocida como San Vicente y cuenta, entre otras instalaciones, con la central hidroeléctrica Monobamba, la cual constituye el antecedente más próximo a proyectos de esta naturaleza.

Políticamente, los anexos Chacaybamba, Uchubamba, Los Ángeles, Marancocha y Pacaybamba, así como el caserío Yanayacu, pertenecen a la jurisdicción de Jauja. Sin embargo, dada su mayor cercanía y la existencia de vías de acceso, el vínculo comercial es con San Ramón. Esto ha motivado que, por ejemplo, los centros poblados en mención pertenezcan a la jurisdicción de la Agencia Agraria de San Ramón, en lugar a de la de Jauja, creándose problemas de coordinación en la atención de las necesidades de los agricultores.

Se observa una cierta homogeneidad en la población en términos culturales y raciales. Si bien algunas personas hablan en quechua, todos se comunican en castellano.

5. METODOLOGÍA

Para evaluar el posible riesgo hídrico en el río Tulumayo relacionado a las actividades de operación de la C.H. Chimay se identificaron los principales componentes de la operación, lo cual se realizó mediante la revisión del IGA del administrado y el reconocimiento técnico de campo. Posteriormente se realizó el muestreo de parámetros de agua superficial, agua turbinada, sedimento, comunidades hidrobiológicas y preferencia de hábitat (caudal ecológico). Asimismo, se consideraron resultados proporcionados por el administrado de los monitoreos realizados trimestralmente (de agua turbinada y agua superficial, y de caudal y hábitat). En la Figura 5.1 se presenta el esquema del área de estudio y la ubicación de los puntos de muestreo durante la presente EAC (agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas).

Los resultados se compararon con las normativas precisadas en el IGA del administrado y normativas vigentes y referenciales según los componentes ambientales evaluados de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas. Para el análisis se consideró información histórica del administrado contenido en su IGA, reportes trimestrales (agua turbinada y agua superficial, del 2015 al 2019; y de caudal y hábitat, del 2016 al 2020), así como la remitida por el administrado durante acciones de supervisión (monitoreos durante el desembalse de la presa Tulumayo en los años 2019, 2020 y 2021); asimismo, se consideró informes del OEFA (2021).



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

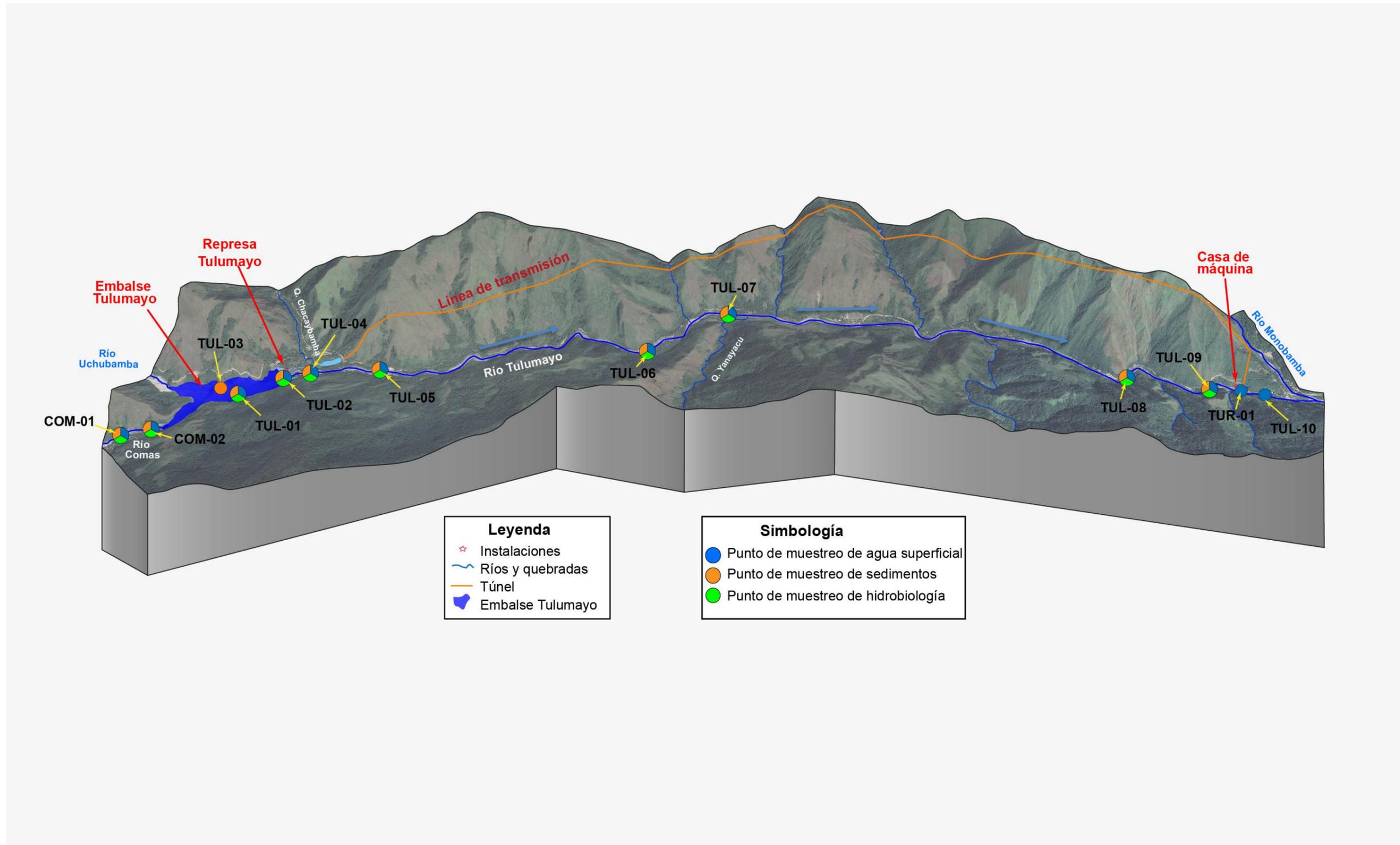


Figura 5.1. Distribución de los puntos de muestreo en el área de estudio de la EAC en la C.H. Chimay



5.1. Objetivo específico 1: Evaluar la calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el río Tulumayo del ámbito de la C.H. Chimay

5.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

Las referencias para el muestreo de agua superficial, agua turbinada, sedimentos y comunidades hidrobiológicas se detallan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Guías y protocolos de monitoreo para calidad de agua superficial, agua turbinada, 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	6	Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Perú
Manual de hidrometría	Todo el documento	Resolución de Presidencia Ejecutiva N.º 066-2019-SENAMHI/PREJ	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)	Perú
Agua turbinada				
Protocolo para el monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales	5	-	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Perú
Sedimento				
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	-	EPA	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	
Comunidades hidrobiológicas				
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, 5 y 6	-	Ministerio del Ambiente (MINAM)	Perú
Protocolo simplificado y guía de evaluaciones de la calidad de ríos andinos (CERA-S) (Encalada <i>et al.</i> , 2011)	Todo el documento	-	Universidad San Francisco de Quito	Ecuador

5.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas se establecieron tomando de referencia el plan de monitoreo del Plan de Manejo Ambiental del



EIA del administrado, así como puntos adicionales que el administrado viene reportando trimestralmente a la autoridad competente como parte de sus compromisos ambientales establecidos en el EIA mencionado. En la Tabla 5.2 detalla los puntos de muestreo ubicados en el río Tulumayo, y el Anexo N° 2 del informe de EAC en la C.H. Chimay, la ubicación espacial de los mismos.

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

N.º	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	AS	SED	HB	Descripción
			Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)					
1	Río Tulumayo	TUL-08	2022-08-04	10:00	467139	8749109	1148	X ¹	-	X ³	Aguas arriba de la casa de maquinas
			2022-08-12	08:40				X	X	X	
2	Río Tulumayo	TUL-07	2022-08-05	10:05	468315	8745445	1234	X ¹	-	X ³	Aguas abajo de la quebrada 4 de la margen derecha
			2022-08-10	12:45				X	X	X	
3	Río Tulumayo	TUL-06	2022-08-06	10:00	469221	8745037	1261	X ¹	-	X ³	Aguas abajo del Puente Yanayacu
			2022-08-10	11:00				X	X	X	
4	Río Tulumayo	TUL-05	2022-08-07	10:00	470794	8743083	1321	X ¹	-	X ³	Aguas arriba del Puente Pacaybamba
			2022-08-11	12:20				X	X	X	
5	Río Tulumayo	TUL-04	2022-08-08	09:50	471118	8742528	1332	X ¹	-	X ³	Aproximadamente 100 m aguas abajo del embalse Tulumayo
			2022-08-11	11:15				X	X	X	
6	Río Comas	COM-01	2022-08-09	10:00	472590	8741646	1379	X ²	-	X ³	Aguas arriba del embalse Tulumayo
			2022-08-11	09:00				X	X	X	
7	Río Tulumayo	TUL-10	2022-08-10	15:00	466599	8750294	1114	X	-	-	Aguas abajo de la descarga de aguas turbinadas de la C.H. Chimay
8	Río Tulumayo	TUL-09	2022-08-10	17:00	466876	8749828	1117	X	X	X	Aguas arriba de la descarga de aguas turbinadas de la C.H. Chimay
9	Río Comas	COM-02	2022-08-11	10:15	472419	8741852	1335	X	X	X	Cola del embalse Tulumayo

Nota:

La precisión de la medición de las coordenadas fue de ± 3 m.

1: Corresponde solo a toma de parámetros fisicoquímicos y mediciones de aforo.

2: Corresponde solo a toma de parámetros fisicoquímicos.

3: Corresponde solo a colecta de peces.

AS: Agua superficial, SED: Sedimentos, HB: Comunidades hidrobiológicas, C.H.: Central hidroeléctrica.

El punto de muestreo de agua turbinada se estableció tomando de referencia el plan de monitoreo del Plan de Manejo Ambiental del EIA, así como lo reportado por el administrado trimestralmente a la autoridad competente como parte de sus compromisos ambientales establecidos en el EIA mencionado. La Tabla 5.3 detalla el punto de muestreo ubicado dentro de la casa de máquina y que descarga al río Tulumayo; en el Anexo 2 se presenta la ubicación espacial de los mismos.

**Tabla 5.3.** Punto de muestreo de agua turbinada de la CH Chimay

N.º	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
1	Río Tulumayo	TUR-01	2022-08-10	16:00	466646	8750063	1119	Descarga de aguas turbinadas de la CH Chimay

5.1.3. Parámetros y métodos de análisis

En todos los puntos de muestreo de agua superficial se analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y turbidez. Asimismo, se colectaron muestras para los parámetros incluidos en la Tabla 5.4, los cuales se seleccionaron en referencia a la actividad desarrollada por el administrado, plan de monitoreo de su EIA y parámetros para establecer relaciones hidroquímicas. Las muestras colectadas se analizaron en un laboratorio acreditado con la ISO/IEC 17025, contratado por el OEFA.

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

Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Técnica
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
	Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS
	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS
	Carbonatos	SMEWW 2320 B, 23rd Ed.2017	Volumetría
	Aceites y grasas	PP-226 (BASED ASTM D7066-04) Rev.1 2017	FTIR
	Bifenilos policlorados-PCB	EPA Method 8082 A Rev. 1 (2007)	GC ECD
Fósforo total	SMEWW 4500-P B(Item 5) y E, 23rd Ed.2017	Método de Ácido Ascórbico	
Agua turbinada	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
	Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS
	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS
	Carbonatos	SMEWW 2320 B, 23rd Ed.2017	Volumetría
	Aceites y grasas	PP-226 (BASED ASTM D7066-04) Rev.1 2017	FTIR
	Bifenilos policlorados-PCB	EPA Method 8082 A Rev. 1 (2007)	GC ECD
Fósforo total	SMEWW 4500-P B(Item 5) y E, 23rd Ed.2017	Método de Ácido Ascórbico	
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



Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Técnica
	Metales totales	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	ICP-MS
	Análisis granulométrico	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	Particle - Size Analysis of Soils
	Bifenilos policlorados-PCB	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	CG/MS
Comunidades hidrobiológicas	Perifiton	SMEWW 10300 C (partes 1 y 2) SMEWW 10900	Organismos/cm ²
	Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW 10500 C (parte 2) SMEWW 10900	Organismos/muestra

Fuente: Informes de ensayo de laboratorios AGQ Perú S.A.C., ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C. y OTEC-OEFA (Anexo 4)

5.1.4. Equipamiento y materiales utilizados

Los equipos y materiales utilizados para el muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas, así como para la medición de los parámetros *in situ*, certificados de calibración y equipo para el posicionamiento de los puntos de muestreo, se detalla en el reporte de campo N.º RC-098-2022-STECC (Anexo N.º 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 2 muestras duplicadas de metales totales, un blanco viajero y un blanco de campo, los que están incluidos en el protocolo citado en la Tabla 5.1. Se tomó un duplicado por cada 10 muestras (metales totales), un blanco de campo y un blanco viajero tanto para la matriz de agua superficial como de agua turbinada.

Sedimento

Debido a que no se cuenta con un protocolo nacional para el monitoreo y las guías de referencia utilizadas tampoco incluyen controles de calidad específicos, para la presente evaluación de sedimentos de agua continental se tomó una muestra duplicada de metales totales.

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 valores límites del Reglamento de la Ley General de Aguas, aprobados en el IGA y, referencialmente, con los valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua 2017 Categoría 3. Finalmente, se realizó gráficos históricos con información de informes trimestrales del 2016 al 2022 del administrado y del OEFA.

El desarrollo del balance iónico de los puntos de muestreo de agua superficial y agua turbinada ubicados en el área de influencia de la C.H. Chimay, se detalla en el Reporte de resultados RR-063-202-STECC (Anexo 4); para lo cual se siguió con el procedimiento siguiente:



• 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 (Σan) y la suma de cationes (Σcat). 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 Σcat ; y los aniones: bicarbonatos (HCO_3^-), fluoruros (F^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y cloruros (Cl^-) para la Σan ¹². Ambas sumas de concentraciones se expresaron en miliequivalentes por litro (meq/L). De esa manera, se estableció el error de balance iónico de acuerdo con la siguiente ecuación (Appelo *et al.*, 2005):

$$Error\ de\ Balance\ Iónico\ (EBI) = 100 \frac{\Sigma cat - \Sigma an}{\Sigma cat + \Sigma an} \% \quad (\text{Ecuación 1})$$

Aunque el EBI es un valor en porcentaje, la ecuación 1 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 ($\mu S/cm$)	50	200	500	2000	>2000
Error aceptable (%)	± 30	± 10	± 8	± 4	± 4

Fuente: Custodio y Llamas (1976)

Manejo de datos por debajo del límite de cuantificación:

Los resultados de algunos parámetros de calidad de agua 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, con la descripción «< límite».

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 se consideren en el análisis multivariado, tomando los valores del límite de detección o cuantificación, al no existir diferencias en los resultados en cuanto a sustituir por la mitad del citado límite.

¹² Los otros iones tomados en cuenta fueron 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.

Sedimento

Todos los resultados obtenidos se digitalizaron y ordenaron 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 se utilizó 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 procedió a dividir a los elementos en mayores (>1000 ppm), menores (>1 ppm), y traza (< 1 ppm), según Rivera (2007); con el fin de visualizar los elementos de acuerdo con 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 5.2).

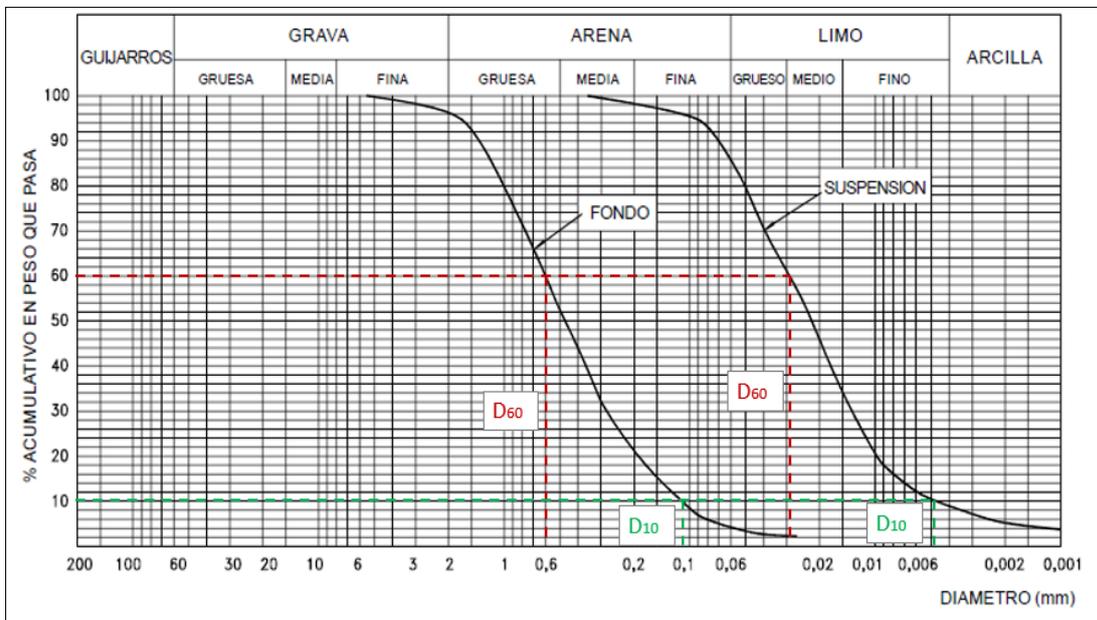


Figura 5.2. Curva granulométrica acumulada continua

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



Comunidades hidrobiológicas

• Perifiton y macroinvertebrados bentónicos

Los componentes de la comunidad hidrobiológica (perifiton, y macroinvertebrados bentónicos) se analizaron individualmente mediante la composición porcentual de los taxones en toda la estructura comunitaria. Para el caso de perifiton, se analizaron las microalgas, aquellos organismos exclusivamente autótrofos. Posteriormente se calculó la riqueza de especies y sus abundancias en cada punto de muestreo por cada componente hidrobiológico (perifiton y macroinvertebrados bentónicos).

La diversidad se evaluó mediante los Índices de Shannon-Wiener (H') y el Índice de Berger-Parker (d), mostrados a continuación (Moreno, 2021):

- Índice de Shannon-Wiener (H'): creado por Shannon (1948) y 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), cuya fórmula es:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i) \quad (\text{Ecuación 2})$$

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): 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; cuya fórmula es:

$$d = \frac{n_{max}}{n_{total}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

d : Índice de Berger-Parker

n_{max} : Número de individuos de la especie más abundante

n_{total} : Número de individuos totales

- Para observar las semejanzas o diferencias entre la estructura de la comunidad hidrobiológica de cada punto de muestreo se aplicó el índice de similitud de Bray-Curtis (Wolda, 1981), cuya fórmula es:

$$\text{Índice de similitud de Bray - Curtis} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S |X_i - Y_i|}{\sum_{i=1}^S [X_i + Y_i]} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

X_i : Número de individuos de la especie i en la muestra 1

Y_i : Número de individuos de la especie i en la muestra 2

S : Número de especies entre las dos muestras

En el caso de comunidades hidrobiológicas (perifiton y macroinvertebrados bentónicos), los valores de abundancias se transformaron mediante raíz cuadrada para que los valores



extremos existentes no tengan tanto peso en la similitud. Posteriormente, el análisis multivariado de escalamiento multidimensional no métrico (EMNM) se utilizó para representar la matriz de similitud en 2 dimensiones.

Para observar la relación de las comunidades hidrobiológicas con las variables ambientales, como las pertenecientes a parámetros fisicoquímicos *in situ*, resultados de agua superficial y resultados de sedimento se usó el análisis de correspondencias canónicas.

5.1.7. Criterios de evaluación

Los criterios de evaluación que se emplearon para la evaluación de agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas se describen a continuación:

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. Chimay se consideró la clasificación de los recursos hídricos establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). De acuerdo a la «Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales»¹³, el río Tulumayo fue considerado con la categoría 3 (Tabla 7.8).

Tabla 5.6. Cuerpo de agua y categoría de comparación para los cuerpos de agua en el área de influencia de la C.H. Chimay

Código de cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Categoría	Código de cuenca
499546	Río Tulumayo*	Categoría 3	49954

(*) En el mapa de Clasificación de los cuerpos de agua superficiales continentales de la ANA, elaborado a partir de la Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA, el río Tulumayo es nombrado como quebrada Puente Paloma. Fuente: <http://geo2.ana.gob.pe:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=c50e424e-3020-433e-938e-66e745d56d9f&fname=Mapa%20de%20Clasificaci%C3%B3n%20ECA%20Per%C3%BA.pdf&access=public>

Los resultados de agua superficial (ríos) se compararon con los valores límites del Reglamento de los Títulos I, II y III de la Ley General de Aguas, Decreto Ley N.º 17752 aprobado por Decreto Supremo N.º 261-69-AP, y su modificatoria por Decreto Supremo N.º 007-83-SA (VL-Reglamento de la LGA), de la Clase VI: Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial (Clase VI), según lo establecido en el EIA del administrado. Dichos resultados, también, fueron comparados referencialmente con los valores Estándares de Calidad Ambiental para Agua aprobados mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM (ECA para Agua-2017), Categoría 3, D1 «riego de vegetales», y D2 «bebida de animales» (en adelante, Cat.3).

Agua turbinada

De acuerdo a D.S. N.º 014-2019-EM «Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas», el agua turbinada que proviene de la operación de una central hidroeléctrica no es considerada agua residual industrial ni efluente. Por lo que los resultados de agua turbinada se compararon referencialmente con los ECA para Agua-2017 de la Cat.3, debido a que aporta al río Tulumayo.

¹³ Aprobada mediante Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA, el 13 de febrero de 2018.



Asimismo, dado que el administrado realiza en sus reportes trimestrales una comparación con los Niveles máximos permisibles de emisión de efluentes líquidos para las actividades de electricidad, Anexo 1 de la Resolución Directoral N.º 008-97-EM/DGAA, se realizó esta comparación (Anexo 4).

Sedimento

Debido a que en la actualidad no se cuenta con normativa nacional para la evaluación de sedimento, se empleó de manera referencial los estándares de la Guía de calidad ambiental canadiense para sedimento de aguas continentales (*Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater*, en adelante CEQG-SQG, 2002)¹⁴ del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME, en sus siglas en inglés), que tienen valores para el: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc y define 2 niveles:

- *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 los macroinvertebrados bentónicos.
- *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 los macroinvertebrados bentónicos.

Los elementos químicos obtenidos en los resultados de metales totales en el sedimento de los puntos de muestreo del río Comas (COM-01 y COM-02) y río Tulumayo (TUL-04, TUL-05, TUL-06, TUL-07, TUL-08 y TUL-09) fueron divididos para su análisis en elementos mayores (Fe, Al, Ca, Mg y K), menores (As, Ba, Co, Cu, Cr, Sn, P, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Na, V y Zn) y trazas (Sb, Be, B, Cd, Hg, Mo y Ag).

5.2. Objetivo específico 2: Evaluar la comunidad ictiológica y la población de *Creagrutus* sp. y *Trichomycterus* sp. en el tramo de caudal ecológico del río Tulumayo directamente influenciado por la C.H. Chimay

5.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

La colecta de peces se realizó mediante el uso de un equipo de electropesca, siguiendo las recomendaciones de la guía «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú», publicado por el Ministerio del Ambiente y el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en el 2014. Se enfocó, principalmente, en *Creagrutus* sp. y *Trichomycterus* sp., especies usadas en el estudio de caudal ecológico del administrado¹⁵.

¹⁴ Recuperado de: https://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/. Consultado el 12 de junio de 2020.

¹⁵ Estudio de hábitat y propuesta de caudal ecológico en el embalse Tulumayo, elaborado por CESEL Ingenieros realizada el 2002.



Se pescó en cada tramo de muestreo, cubriendo la margen izquierda y derecha del río Tulumayo y sus afluentes; además, se registró la cantidad de individuos capturados y observados en cada repetición. El registro mencionado se complementó con la información de los individuos capturados mediante atarraya por el administrado, realizada durante las acciones de evaluación. Se buscó unidades hidromorfológicas similares en los puntos de muestreo para permitir su posterior comparación entre ellas. Adicionalmente, se tomaron medidas de longitud y peso de los individuos capturados.

5.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo se realizó considerando el aporte de diferentes afluentes para observar los cambios producidos por la diferencia de caudal. Estos se encuentran en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Ubicación de los puntos de muestreo

N.º	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Comunidades hidrobiológicas (peces)	Descripción
			Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)			
1	Río Tulumayo	TUL-08	2022-08-04	10:00	467139	8749109	1148	X ¹	Aguas arriba de la casa de maquinas
2	Río Tulumayo	TUL-07	2022-08-05	10:05	468315	8745445	1234	X ¹	Aguas abajo de la quebrada 4 de la margen derecha
3	Río Tulumayo	TUL-06	2022-08-06	10:00	469221	8745037	1261	X ¹	Aguas abajo del Puente Yanayacu
4	Río Tulumayo	TUL-05	2022-08-07	10:00	470794	8743083	1321	X ¹	Aguas arriba del Puente Pacaybamba
5	Río Tulumayo	TUL-04	2022-08-08	09:50	471118	8742528	1332	X ¹	Aproximadamente 100 m aguas abajo del embalse Tulumayo

Nota:

La precisión de la medición de las coordenadas fue de ± 3 m.

¹: Corresponde solo a toma de parámetros fisicoquímicos y aforo.

5.2.3. Parámetros y métodos de análisis

En todos los puntos de muestreo de agua superficial se analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y turbidez. Asimismo, se tomaron datos de aforo para el cálculo del caudal en cada uno de los puntos evaluados.

Además, en dichos puntos se colectaron especímenes donde se evaluó la cantidad de individuos por especie, registrándose sus pesos y tallas por cada individuo. El método de análisis usado para determinar la taxonomía de los especímenes se detalla en la Tabla 5.8.

**Tabla 5.8.** Parámetros evaluados

Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
Comunidades hidrobiológicas	Peces	SMEWW 10600 D (parte 1) SMEWW 10900	Individuos/muestra

5.2.4. Procesamiento de datos

Las identificaciones de los peces en laboratorio hasta nivel de género se compararon con las identificaciones realizados en campo mediante nombre común para establecer las coincidencias entre ellos. Posteriormente, los resultados fueron digitalizados y comparados con ayuda gráficos de barras y circulares.

La relación entre los parámetros de campo *in situ* y la comunidad ictiológica se estableció con ayuda de un análisis de correspondencias canónicas (Legendre y Legendre, 2012). Se descartó especies cuya aparición fue ocasional o muy ínfima.

Finalmente, los registros de tallas por especie de pez fueron representados mediante histogramas de frecuencia.

5.2.5. Criterios de evaluación

El administrado determinó el caudal ecológico en el río Tulumayo a través del modelo RHABSIM (*Riverine Habitat Simulation*) con de la metodología IFIM (Metodología de incremento de caudal), para la cual realizó el levantamiento de información topográfica junto con preferencias de velocidad, profundidad e índice de canal (mezcla de sustrato y cobertura) de individuos adultos, juveniles y alevines de *Creagrutus* sp. y *Trichomycterus* sp.; que le permitió establecer la relación entre el caudal circulante y el hábitat disponible (área ponderada útil en el modelo).

Los resultados del estudio de caudal ecológico del administrado se concentraron en los hábitats de las especies *Creagrutus* sp. y *Trichomycterus* sp., obteniendo un caudal ecológico de 2,4 m³/s. Cabe mencionar que, dicha herramienta de simulación de hábitat se encuentra en la Resolución Jefatural N.º 267-2019-ANA¹⁶ «Lineamientos generales para determinar caudales ecológicos» del ANA.

Con lo mencionado anteriormente, la metodología para este objetivo fue abordado mediante la comparación poblacional de *Creagrutus* sp. y *Trichomycterus* sp. bajo diferentes caudales, comparando las abundancias registradas por cada especie.

Posteriormente, se estableció un análisis de regresión entre el caudal calculado y la abundancia de peces estimada en cada punto de muestreo, observando de esta manera la tendencia de la abundancia de peces respecto al caudal. Los análisis de regresión entre la abundancia de peces y el caudal se compararon con el modelo de hábitat generado por el administrado en su estudio de caudal ecológico.

El análisis de los resultados de tallas de *Trichomycterus* sp. y *Creagrutus* sp., se realizó mediante la representación de dicha variable en histogramas de frecuencias.

¹⁶ Resolución Jefatural N.º 267-2019-ANA. Lineamientos generales para determinar caudales ecológicos. Aprobada el 05 de diciembre de 2019.

**5.3. Objetivo específico 3: Evaluar la calidad de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y el estado trófico del embalse Tulumayo****5.3.1. Guías utilizadas para la evaluación**

La Tabla 5.9 muestra los protocolos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas y se enfocó en las secciones avocadas al muestreo de cuerpos de agua lénticos.

Tabla 5.9. Guías y protocolos de monitoreo para calidad de agua superficial, 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	6	Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Perú
Sedimento				
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	-	EPA	Estados Unidos
Procedimiento de Operación Estándar – <i>Standard Operating Procedure</i> (SOP). #EH-02, Muestreo de Sedimento, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, adaptado del ERT/EAC SOP # 2016	11	-	EPA	
Comunidades hidrobiológicas				
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, 5 y 6	-	Ministerio del Ambiente (MINAM)	Perú
Protocolo simplificado y guía de evaluaciones de la calidad de ríos andinos (CERA-S) (Encalada et al., 2011)	Todo el documento	-	Universidad San Francisco de Quito	Ecuador

5.3.2. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación y descripción de los puntos en el embalse Tulumayo y alrededores se detallan en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10. Puntos de muestreo para la evaluación del estado trófico del embalse Tulumayo

N.º	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	AS	DES	HB	Descripción
			Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)					
1	Embalse Tulumayo	TUL-01 (F) ¹	2022-08-12	12:20	471693	8742177	1350	X	X	X	Margen derecha, cerca al río Comas
		TUL-01 ³									



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

N.º	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	AS	SED	HB	Descripción
			Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)					
2	Embalse Tulumayo	TUL-02 (F) ¹	2022-08-13	11:00	471285	8742407	1337	X	X	X	Cerca de la presa Tulumayo
		TUL-02 (M) ²									
		TUL-02 ³									
3	Embalse Tulumayo	TUL-03 ⁴	2022-08-12	12:20	471748	8741913	1361	-	X	-	Margen izquierda, cerca al río Uchubamba

Nota:

La precisión de la medición de las coordenadas fue de ± 3 m.

¹: Aplicado en puntos del embalse, el sufijo (F) indica la toma de muestra en el punto de muestreo a una profundidad de fondo.

²: Aplicado en puntos del embalse, El sufijo (M) indica la toma de muestra en el punto de muestreo a una profundidad media.

³: Aplicado en puntos del embalse, la toma de muestra en el punto de muestreo fue realizado a nivel superficial.

⁴: Punto de muestreo sin agua.

AS: Agua superficial, SED: Sedimentos, HB: Comunidades hidrobiológicas.

5.3.3. Parámetros y métodos de análisis

En todos los puntos de muestreo de agua superficial se analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y turbidez.

Los parámetros evaluados en el agua superficial del embalse Tulumayo se muestran en la Tabla 5.11. Las muestras colectadas fueron analizadas en un laboratorio acreditado con la ISO/IEC 17025, contratado por el OEFA.

Tabla 5.11. Parámetros y métodos de análisis de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Técnica
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
	Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS
	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	ICP-MS
	Bicarbonatos	SMEWW 2320 B, 23rd Ed.2017	Volumetría
	Carbonatos	SMEWW 2320 B, 23rd Ed.2017	volumetría
	Aceites y grasas	PP-226 (BASED ASTM D7066-04) Rev.1 2017	FTIR
	Bifenilos policlorados-PCB	EPA Method 8082 A Rev. 1 (2007)	GC ECD
	Fósforo total	SMEWW 4500-P B(Ítem 5) y E, 23rd Ed.2017	Método de Ácido Ascórbico
	Demanda bioquímica de oxígeno	SMEWW 5210 B, 23rd Ed.2017	Electrometría
	Clorofila A	SMEWW 10200 H, 23rd Ed.2017	Espectrofotometría de absorción molecular
	Fosfato*	SMEWW 4500-P E, 23rd Ed.2017	Método de Ácido Ascórbico
Nitrógeno total	SMEWW 4500-N C, 23rd Ed.2017	Espectrofotometría de absorción molecular	
Nitrato**	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993	Determinación de aniones inorgánicos por cromatografía de iones.	



Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Técnica
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)	ICP-MS
	Análisis granulométrico	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	Particle - Size Analysis of Soils
	Bifenilos policlorados-PCB	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	CG/MS
Comunidades hidrobiológicas	Fitoplancton	SMEWW 10200 C (parte 1) / SMEWW 10200 F (parte 2.a) / SMEWW 10900	Organismos/L
	Zooplancton	SMEWW 10200 G / SMEWW 10900	Organismos/L

*: Se tomaron 2 muestras en el punto de muestreo TUL-01, a nivel superficial y a una profundidad de fondo; mientras que, para el punto de muestreo TUL-02, se tomaron muestras a nivel superficial, a una profundidad media y a una profundidad de fondo.

** : Se tomaron 2 muestras en el punto de muestreo TUL-01, a nivel superficial y a una profundidad de fondo; mientras que, para el punto de muestreo TUL-02, se tomaron muestras a nivel superficial, a una profundidad media y a una profundidad de fondo.

5.3.4. Equipamiento y materiales utilizados

Los equipos y materiales utilizados para el muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas, así como para la medición de los parámetros *in situ*, certificados de calibración y equipo para el posicionamiento de los puntos de muestreo se detallan en el Reporte de campo N.º RC-098-2022-STEAC (Anexo 3).

5.3.5. 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, y que fueron consideradas en el lote de muestras evaluadas en el río Tulumayo y el agua turbinada que se detallan en el ítem 5.1.5.

Sedimento

Debido a que no se cuenta con un protocolo nacional para el monitoreo y las guías de referencia utilizadas tampoco incluyen controles de calidad específicos, para la presente evaluación de sedimentos de agua continental se consideró realizar una muestra duplicada para el parámetro metales.

5.3.6. Procesamiento de datos

Los criterios empleados para el procesamiento de datos fueron los mismos que los precisados para agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el ítem 5.1.6 de este documento.



5.3.7. Criterios de evaluación

Agua superficial

Los resultados de agua superficial en el embalse Tulumayo se compararon con los VL-Reglamento de la LGA de la Clase VI, y de manera referencial, con los ECA para Agua-2017 de la Cat.3.

Adicionalmente, aquellos parámetros relacionados directamente con el estado trófico como clorofila a y fósforo total serán usados para determinar el estado trófico mediante el índice del estado trófico (Franco *et al.*, 2010):

- Índice del estado trófico (en adelante TSI): Varía entre 0 y 100 es decir, de oligotrófico a hipereutrófico. El índice puede determinarse a partir de la concentración de clorofila a y fósforo total. Los niveles tróficos obtenidos a partir del TSI son: oligotrófico (TSI<30), mesotrófico (30<TSI<60), eutrófico (60<TSI<90) e hipereutrófico (90<TSI<100). El cálculo del índice a partir del fósforo total y clorofila a se encuentra en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Fórmulas para el cálculo del TSI según la transparencia del agua, fósforo total y la clorofila a

Parámetro de eutrofización	Carlson (1977; 1980)	Aizaki <i>et al.</i> (1981)
Fosforo total (P _t) (mg/l)	$TSI_{P_t} = 14,42 \ln(P_t) + 4,15$	$TSI_{P_t} = 10 * (2,46 + \frac{6,68+1,15 \ln(P_t)}{\ln 2,5})$
Clorofila a (Clorf a) (mg/m ³)	$TSI_{Clorf a} = 9,81 \ln(Clorf a) + 30,6$	$TSI_{Clorf a} = 10 * (2,46 + \frac{\ln(Clorf a)}{\ln 2,5})$

Fuente: Modificado de Carlson (1977; 1980) y Aizaki *et al.* (1981).

Sedimento

El criterio de evaluación fue el mismo que el señalado en el ítem 5.1.7 de este documento.

5.4. Objetivo específico 4: Evaluar el impacto de la purga de sedimento del embalse Tulumayo en el río Tulumayo, durante el 2019, 2020 y 2021

Para el desarrollo de este objetivo se utilizó la información secundaria remitida del administrado de resultados de parámetros fisicoquímicos de agua superficial, monitoreados



antes, durante y después de la purga de sedimento del embalse Tulumayo desarrollado en el 2019, 2020 y 2021^{17,18,19}; así como el monitoreo realizado por el OEFA en 2021²⁰.

De acuerdo con el «Estudio de Hábitat y propuesta de caudal ecológico en el Embalse Tulumayo»²¹, una de las condiciones ambientales más críticas durante la operación de la C.H. Chimay sería:

Durante la purga de sedimentos o desembalse de la represa Tulumayo, donde 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 el ecosistema acuático.

Asimismo, para tener una mejor comprensión de esta hipótesis, se elaboró un modelo conceptual de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el transporte de elementos o compuestos de interés (metales pesados y sólidos totales suspendidos), desde las fuentes potenciales de contaminación como el desembalse o purga de sedimentos del embalse Tulumayo de la C.H. Chimay hacia los receptores entre los cuales tenemos el agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas del río Tulumayo (Figura 5.3).

Durante las acciones de supervisión y evaluación ambiental del OEFA desde el 2018 al 2021, se ha registrado 2 eventos de desembalse realizados por el administrado: setiembre de 2019 y setiembre de 2021; así como 1 evento de purga de sedimentos del desarenador de la Toma Tulumayo en agosto de 2020. Para estos eventos el OEFA solicitó al administrado que presente documentación que acredite el cumplimiento de la obligación contenida en el numeral 89.1 del artículo 89^o del RPAE²² para el manejo de sedimentos. Por lo tanto, el administrado presentó información de monitoreos ambientales durante el desembalse y purga de sedimentos del embalse Tulumayo.

¹⁷ Informe del proceso de descarga del desarenador N.º 4 de la Toma Tulumayo en la central hidroeléctrica de Chimay» presentado por el administrado mediante carta N.º AAR-059-2020, que fue anexado al expediente de supervisión N.º 0232-2020-DSEM-CELE.

¹⁸ Evaluación ambiental en el área de influencia durante el desembalse de la presa Tulumayo setiembre de 2019, presentado por el administrado mediante carta CH-AL-030-2019 (registro de OEFA 2019-E01-108249), que fue anexado al expediente de supervisión N.º 0326-2019-DSEM-CELE.

¹⁹ Informe de evaluación ambiental de desembalse del embalse Tulumayo – setiembre 2021, presentado por el administrado mediante carta N.º AAR-041-2021 (registro de OEFA 2021-E01-087688), que fue anexado al expediente de supervisión N.º 0135-2021-DSEM-CELE.

²⁰ Informe N.º 00172-2021-OEFA/DEAM-STEC: «Evaluación ambiental de causalidad durante el desembalse de la represa Tulumayo de la unidad fiscalizable central hidroeléctrica Chimay de Chinango S.A.C., distrito Monobamba, provincia Jauja, departamento Junín, en el 2021».

²¹ Estudio de Hábitat y propuesta de caudal ecológico en el Embalse Tulumayo-diciembre. Edegel. Realizado el 2002.

²² Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas, aprobado por Decreto Supremo N.º 014-2019-MINEM:

«Artículo 89.- Manejo de sedimentos

89.1 La purga de los sedimentos naturales asociados al agua utilizada para la actividad de generación hidroeléctrica debe ser programada en función a la capacidad de dilución y transporte del cuerpo receptor, así como de otras variables relevantes. La frecuencia, volumen y modo en el que se realiza la purga debe estar determinada y sustentada en el Estudio Ambiental o Instrumento de Gestión Ambiental complementario, en cumplimiento de las regulaciones sobre la materia. Si bien la purga de sedimentos no es considerada como agua residual o efluente, sus características fisicoquímicas deben ser monitoreadas a efectos de hacer seguimiento a la calidad del agua, según lo establecido en los compromisos previstos en el Estudio Ambiental o Instrumento de Gestión Ambiental complementario aprobado».



5.4.1. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo realizados por el administrado y el OEFA se presenta en la Tabla 5.14.

Tabla 5.13. Puntos de muestreo para la evaluación de la purga de sedimento

N°	Cuerpo de agua	Fecha de desembalse o purga de sedimentos	Código de puntos de muestreo (OEFA)	Código del punto de muestreo (administrado)	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Descripción
					Norte (m)	Este (m)	
1	Río Tulumayo	Setiembre - 2019	-	TU-01	8743089	470779	Puente Pacaybamba ⁽¹⁾
			-	TU-02	8745083	469121	Aguas abajo puente Pacaybamba ⁽¹⁾
			-	TU-03	8745448	468354	Aguas arriba quebrada Yanayacu ⁽¹⁾
			-	TU-04	8749117	467076	Aguas arriba casa de máquinas ⁽¹⁾
2	Río Tulumayo	Agosto - 2020	-	TU-01	8743089	470779	Después del desarenador (Puente Pacaybamba) luego de la zona de mezcla ⁽¹⁾
3	Río Tulumayo	Setiembre - 2021	-	TU-01	8743089	470779	Puente Pacaybamba ⁽¹⁾
			-	TU-02	8745084	469121	Aguas abajo puente Pacaybamba ⁽¹⁾
4	Río Tulumayo	Setiembre - 2021	ESP-CAS-CHCHI-04	TU-01	8743076	470801	Río Tulumayo, aproximadamente a 90 m aguas arriba del puente Pacaybamba y 0,9 km aguas abajo de la Toma Tulumayo. ⁽²⁾
			ESP-CAS-CHCHI-04	TU-02	8744545	469465	Río Tulumayo, a 2,2, km aproximadamente aguas abajo del puente Pacaybamba y 3,2 km aguas abajo de la Toma Tulumayo. ⁽²⁾

⁽¹⁾ Descripción referencial del OEFA.

⁽²⁾ Descripción obtenida por el OEFA durante la Evaluación Ambiental de Causalidad (EAC) del 2021.

5.4.2. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros y métodos de análisis, considerados por el administrado y el OEFA, cuyos resultados fueron evaluados para este objetivo se describen en la Tabla 5.15 y se encuentran en la información proporcionada por el administrado (2019, 2020 y 2020) que se adjunta en el Anexo 7, así como en el Informe N. 00172-2021-OEFA/DEAM-STEAC del OEFA.

Tabla 5.14. Parámetros y métodos de análisis

Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis
Agua superficial	Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017 Solids Total Suspended Solid Dried at 103 – 105 °C
	Metales totales y disueltos en agua por ICP – MS	EPA Method 200.8, Revision 5.4. 1999. Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio reportados por el administrado y por el OEFA en el Informe N.º 00172-2021-OEFA/DEAM-STEAC (Anexo N.º 7).



5.4.3. Criterios de evaluación

Agua superficial

Para realizar la evaluación de la calidad del agua superficial en el río Tulumayo antes, durante y después de la purga de sedimento del embalse Tulumayo, en base a la información proporcionada por el administrado y el OEFA, se consideró la clasificación de los recursos hídricos establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Según la «Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales»²³, los tramos evaluados del río Tulumayo están clasificados con categoría 3. Por lo tanto, los resultados de agua superficial se compararon con los ECA para Agua-2017 de la Cat.3.

6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante la EAC en el área de influencia de la C.H. Chimay, se detallan por objetivos planteados para evaluar el riesgo hídrico del río Tulumayo relacionados a las actividades de operación de dicha central. Asimismo, los resultados de los ensayos y mediciones en campo de las matrices de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas se encuentran detallados en el Anexo 4 (Reporte de resultados: RR-063-2022-STEC).

6.1. Objetivo específico 1: Evaluar la calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el río Tulumayo del ámbito de la C.H. Chimay

6.1.1. Agua superficial

El muestreo de agua superficial se realizó en agosto de 2022, se evaluaron 9 puntos en total, de los cuales 2 puntos se encuentran ubicados en el río Comas (COM-01 y COM-02) y 7 en el río Tulumayo (TUL-04, TUL-05, TUL-06, TUL-07, TUL-08, TUL-09 y TUL-10). En los siguientes apartados se describen los resultados obtenidos y se compararon con las normas de calidad de agua superficial.

A. Comparación con el Reglamento de los Títulos I, II, y III de la Ley General de Aguas, Clase VI (Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial); aprobado mediante Decreto Supremo N.º 261-69-AP, y su modificatoria por Decreto Supremo N.º 007-83-SA

Los resultados obtenidos de los puntos evaluados en los ríos Comas, tanto los valores de los parámetros medidos en campo como los parámetros analizados por el laboratorio, cumplieron con los VL-Reglamento de la LGA de la Clase VI establecidos en el EIA del administrado, a excepción del parámetro zinc total en los puntos TUL-06 y TUL-09 (Figura 6.1).

Con relación a, los parámetros de campo y otros de interés de los puntos de muestreo en los ríos Comas y Tulumayo, se mencionan sus principales rangos de variación.

- Los valores del potencial de hidrógeno estuvieron en el rango de 6,90 unidades de pH a 7,95 unidades de pH.

²³ Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA. Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales. Aprobada el 13 de febrero de 2018.



- Los valores de conductividad eléctrica variaron entre 53,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 301 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Las concentraciones de oxígeno disuelto estuvieron entre 8,27 mg/L y 8,99 mg/L.
- Los valores de turbidez oscilaron de 5,16 NTU a 268 NTU.
- Las concentraciones de sólidos totales disueltos se encontraron entre 34 mg/L y 188 mg/L.
- El valor más alto de sólidos totales suspendidos fue de 315 mg/L en el punto TUL-06 (río Tulumayo).

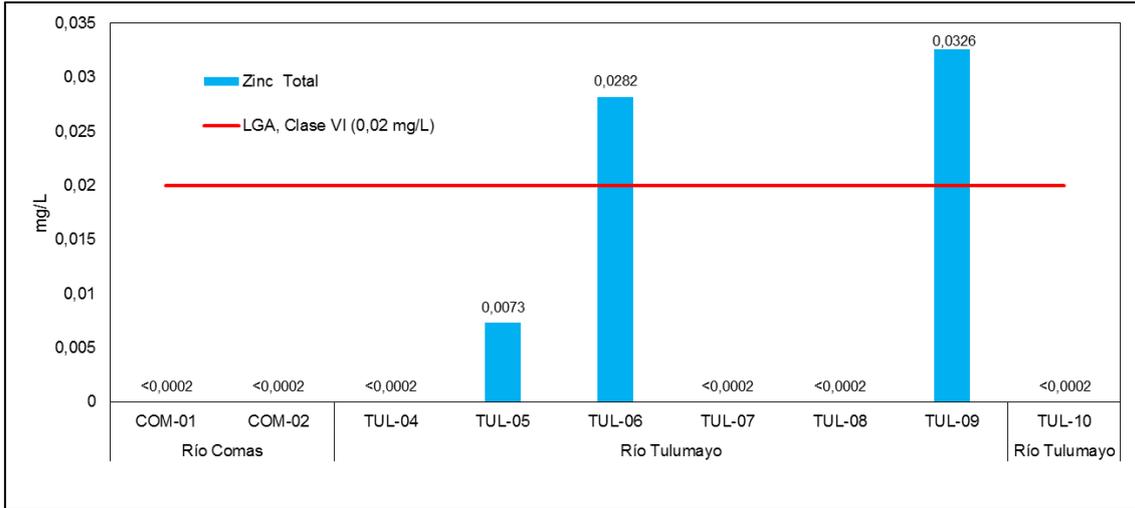


Figura 6.1. Concentraciones de zinc total en los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

B. Comparación con los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales y Subcategoría D2: Bebida de animales; aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

En los puntos de muestreo de los ríos Comas y Tulumayo, los valores de los parámetros de campo y de los analizados por el laboratorio, referencialmente, no excedieron los valores de los ECA para Agua-2017 de la Cat.3; a excepción de algunos metales totales como la concentración de aluminio registrada en el punto TUL-06, manganeso en los puntos TUL-06, TUL-07 y TUL-08, y hierro en los puntos TUL-06, TUL-07, TUL-08 y TUL-09.

En las aguas del río Tulumayo las concentraciones de aluminio total registradas, excedió referencialmente solo en el punto TUL-06 con un valor de 7,328 mg/L los ECA para Agua-2017 de la Cat.3 (Figura 6.2).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

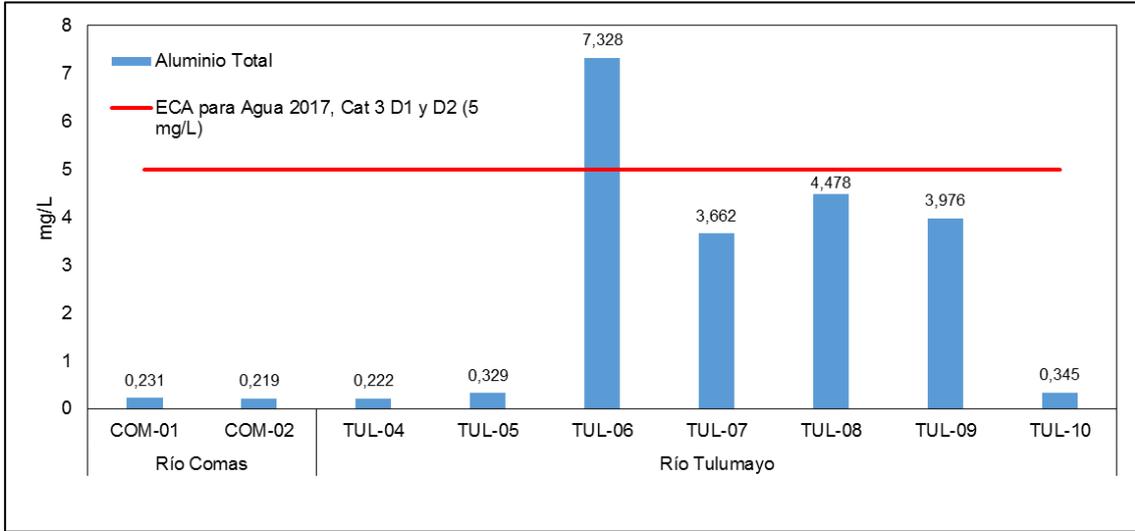


Figura 6.2. Concentraciones de aluminio total en los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

Asimismo, las concentraciones de manganeso total excedieron, referencialmente, los ECA para Agua-2017, Cat.3 con valores de 0,59975 mg/L, 0,28424, 0,36143 mg/L y 0,27682 mg/L en los puntos TUL-06, TUL-07, TUL-08 y TUL-09, respectivamente (Figura 6.3).

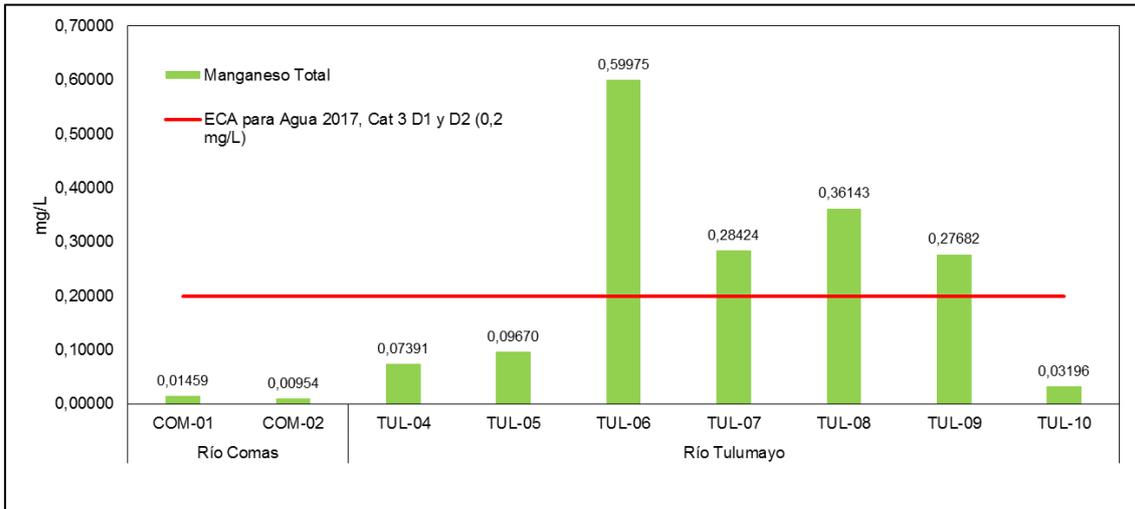


Figura 6.3. Concentraciones de manganeso total en los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

Por otra parte, las concentraciones de hierro total excedieron, referencialmente, los ECA para Agua-2017 de la Cat.3 con valores de 10,319 mg/L, 6,009 mg/L y 5,294 mg/L en los puntos TUL-06, TUL-08 y TUL-09, respectivamente (Figura 6.4).

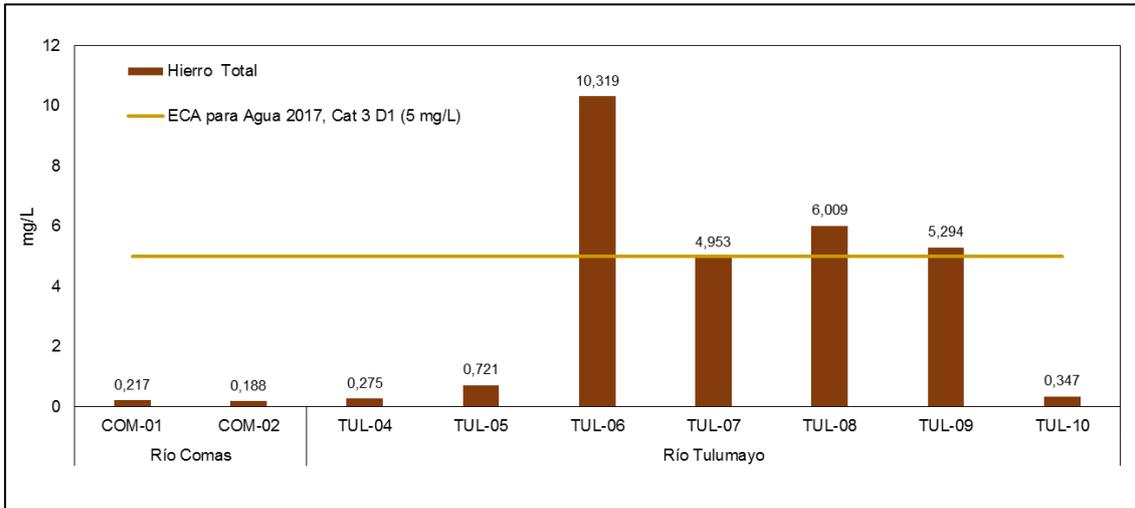


Figura 6.4. Concentraciones de hierro total en los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

6.1.2. Agua turbinada

El muestreo de aguas turbinada se realizó en agosto, dichas aguas descargan al río Tulumayo, el punto evaluado se encuentra contemplado en el instrumento de Gestión Ambiental de la C.H. Chimay, para la evaluación se le asignó el código TUR-01. Asimismo, las normas referenciales de comparación para agua turbinada fueron las siguientes.

A. Comparación con los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales y Subcategoría D2: Bebida de animales; aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

De los resultados registrados en el agua turbinada (TUR-01), tanto de las mediciones de los parámetros de campo como de los del laboratorio, referencialmente, no excedieron los valores de los ECA para Agua-2017 de la Cat.3.

B. Comparación con los Niveles máximos permisibles para efluentes líquidos producto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica; aprobado mediante Resolución Directoral N.º 008-97EM/DGAA

Según los resultados obtenidos del agua turbinada (TUR-01) que descarga al río Tulumayo, los valores de los parámetros de campo y los analizados por el laboratorio, cumplieron referencialmente con los NMP del Anexo 1 de la R.D. 008-97-EM/DGAA, establecidos en el EIA del administrado.

6.1.3. Sedimento

A. Análisis geoquímico

Los sedimentos presentaron predominancia de las concentraciones de hierro respecto a los demás elementos mayoritarios en todos los puntos muestreados, excepto en el punto TUL-04, donde la mayor concentración fue de calcio (Figura 6.5).

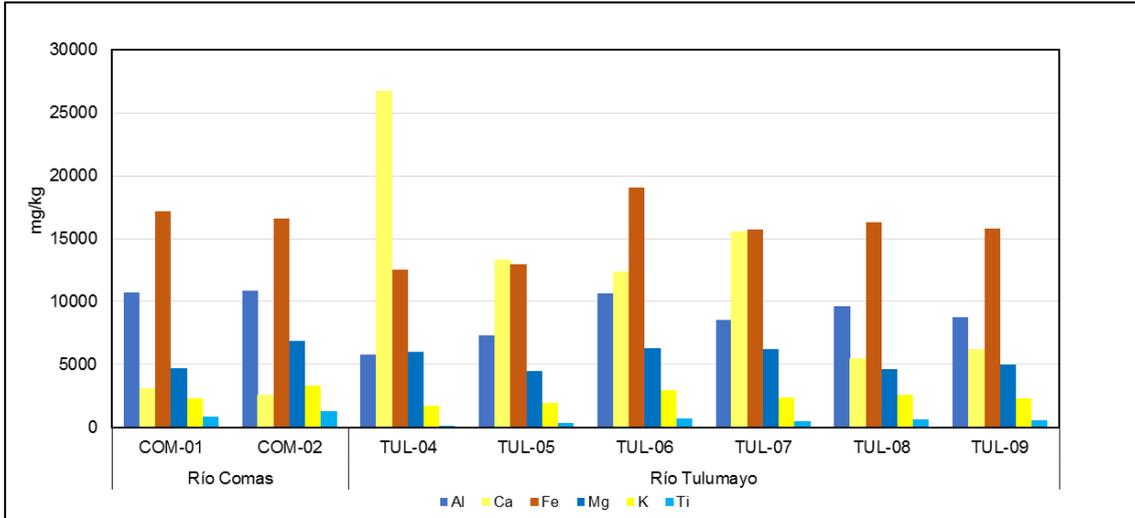


Figura 6.5. Concentraciones de elementos mayoritarios en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

En cuanto a los elementos menores, existió mayor predominancia de fósforo y manganeso respecto a los demás elementos, la mayor concentración de fósforo se encontró en el sedimento del punto COM-02 del río Comas, mientras que la mayor concentración de manganeso se encontró en el sedimento del punto TUL-06 del río Tulumayo (Figura 6.6).

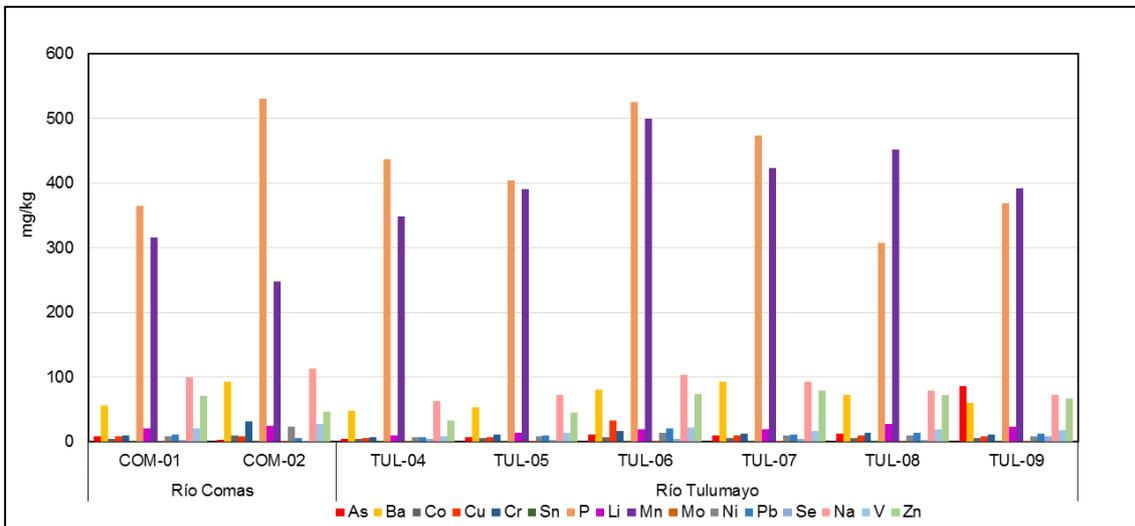


Figura 6.6. Concentraciones de elementos menores en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

Respecto a los elementos trazas estos se encontraron representados por el berilio y molibdeno, la mayor concentración de berilio se encontró en el sedimento del punto TUL-08, mientras que la mayor concentración de molibdeno en el sedimento del punto TUL-09, ambos puntos ubicados en el río Tulumayo (Figura 6.7).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

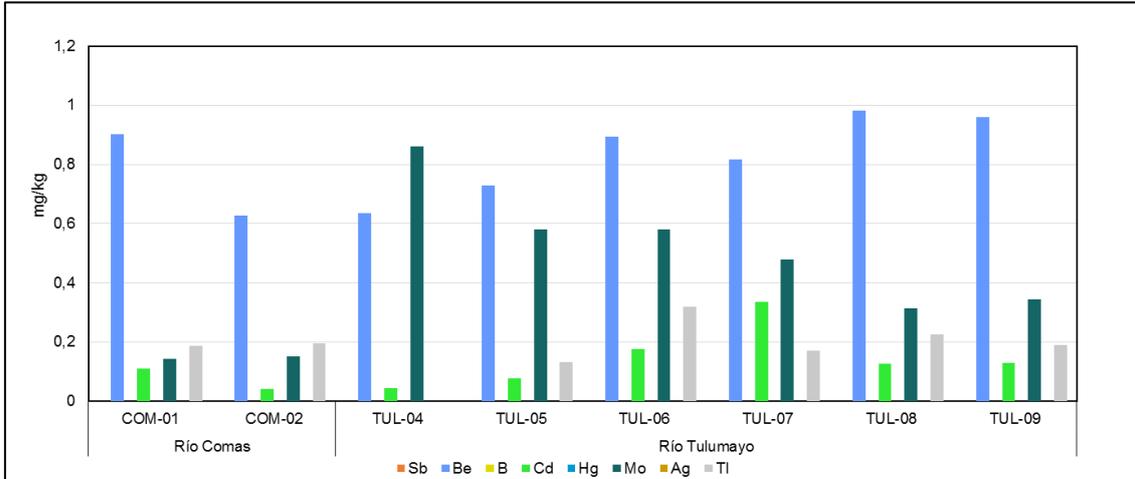


Figura 6.7. Concentraciones de elementos trazas en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

B. Comparación de la concentración de metales en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo con los estándares de la Guía de calidad ambiental canadiense para sedimento de aguas continentales

En la Tabla 6.1 se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en los ríos Comas y Tulumayo, y comparados con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG (en adelante, guía canadiense). Se evidencia que, las concentraciones de arsénico estuvieron por encima del valor ISQG de la guía canadiense en todos los sedimentos evaluados, a excepción de los colectados en los puntos de muestreo TUL-04 y COM-02, ubicados en los ríos Tulumayo y Comas respectivamente. Además, las concentraciones de arsénico en el sedimento del punto TUL-09 excedió el valor PEL de la guía canadiense.

Tabla 6.1. Metales en los sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo comparados con los valores ISQG y PEL de la guía canadiense

Table with 10 columns: Época de muestreo, Punto de muestreo, Nombre, and seven metal parameters (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo, Zinc) with values in mg/kg PS. It compares sediment samples from Río Comas and Río Tulumayo against Canadian guidelines (ISQG and PEL).

(a) Canadian Environmental Quality Guidelines—Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater, 2002.

(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): Concentración por debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos para los macroinvertebrados bentónicos invertebrados.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

Table with columns: Época de muestreo, Punto de muestreo, Nombre, and Parámetros (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo, Zinc) with units mg/kg PS.

(c) Probable Effect Level (PEL): Concentración por encima de la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos en los macroinvertebrados bentónicos.

- Concentraciones que exceden el valor de ISQG.
Concentraciones que exceden los valores de ISQG y PEL.

En la Figura 6.8 se observa en los sedimentos la variación de concentración de arsénico comparados con los valores de la guía canadiense. Los valores obtenidos de arsénico estuvieron en un rango de 2,94 mg/kg a 85,8 mg/kg, con la predominancia a nivel espacial y temporal en el punto TUL-09 que se encontró por encima de los valores ISQG y PEL de la guía canadiense.

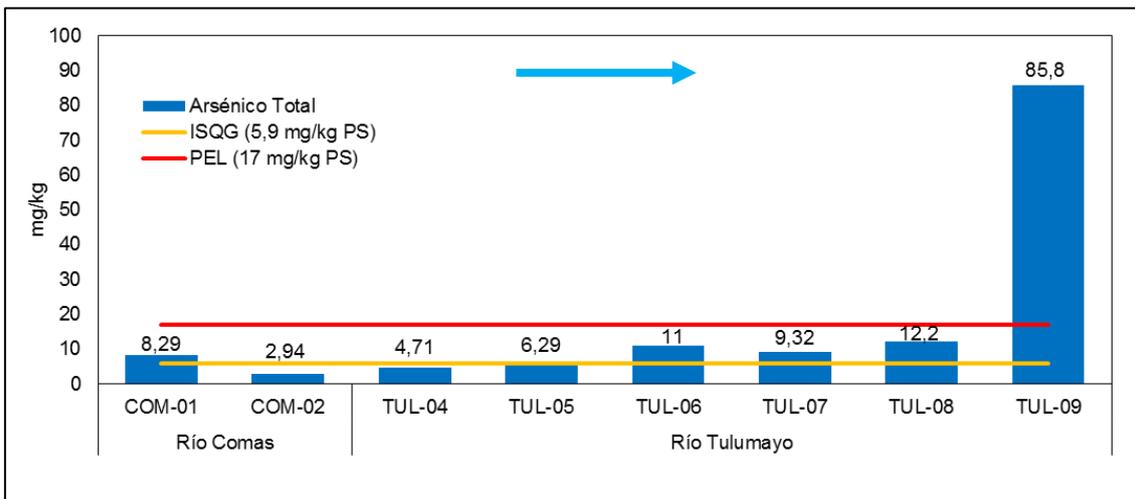


Figura 6.8. Concentraciones de arsénico en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

C. Materia orgánica

Los valores de materia orgánica en los sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo fueron desde menores al límite de cuantificación del laboratorio hasta 1,5 % (Figura 6.9).

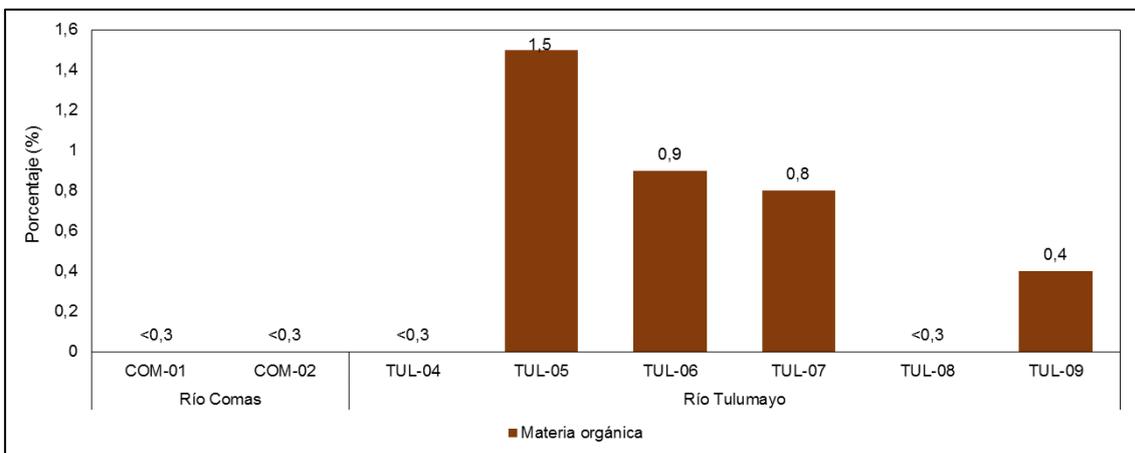


Figura 6.9. Porcentaje de materia orgánica de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022



D. Análisis granulométrico

Respecto al análisis granulométrico en los ríos Comas y Tulumayo, las muestras obtenidas mostraron predominancia en arenas y una menor proporción en grava y finos (limos y arcillas) (Figura 6.10).

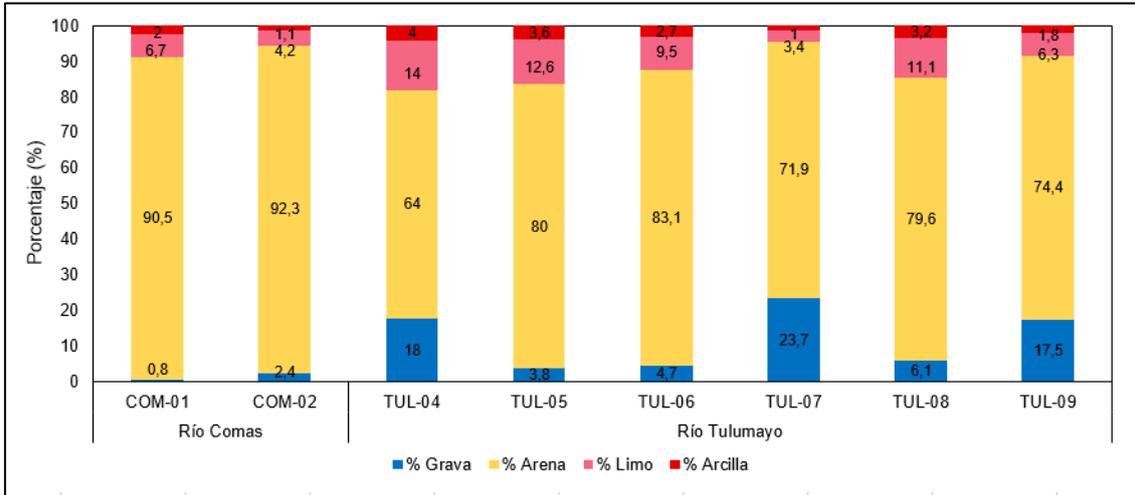


Figura 6.10. Porcentaje de grava, arena, limo y arcilla en sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

A partir de los resultados obtenidos se generó las curvas granulométricas que se observan en la Figura 6.11, donde se evidencia que el sedimento en los puntos de muestreo presenta semejanzas en su granulometría.

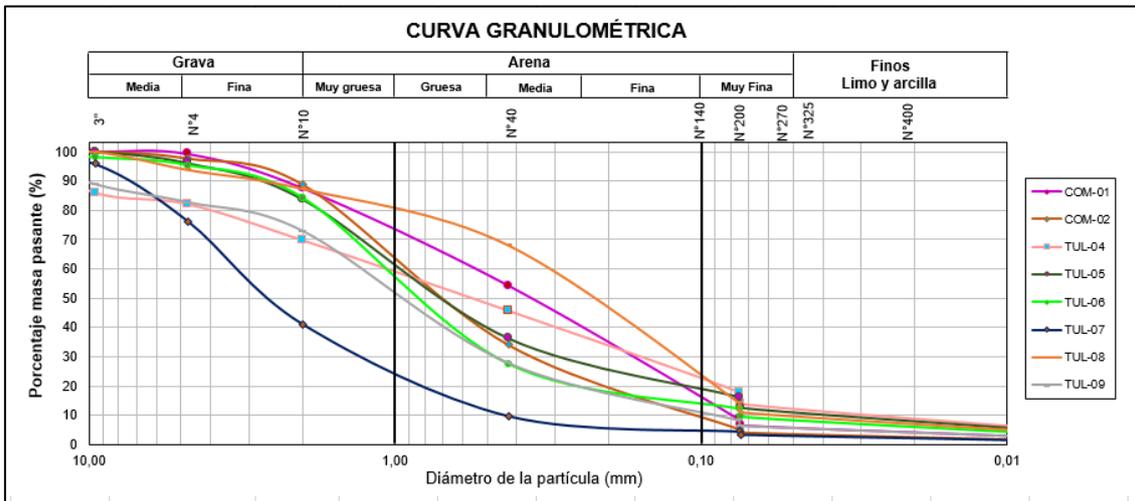


Figura 6.11. Curva granulométrica de sedimento de los ríos Comas y Tulumayo, en agosto de 2022

6.1.4. Comunidades hidrobiológicas

Se evaluaron 8 puntos en total: 6 puntos en el río Tulumayo; los cuales estuvieron conformados por 2 puntos en la parte baja (TUL-09, TUL-08), 2 puntos en la parte media (TUL-07, TUL-06) y 2 puntos en la parte alta (TUL-05, TUL-04); y 2 puntos en el río Comas (COM-1, COM-02). Se realizaron evaluaciones de perifiton y macroinvertebrados bentónicos durante el mes de agosto.



A. Evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos

Los puntajes del Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S), de acuerdo con Encalada *et al.* (2011), de cada punto de muestreo se encuentran en el Reporte de resultados RR-063-2022-STE (Anexo 4) y en la Tabla 6.2 se presenta un resumen.

Tabla 6.2. Características y evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S)

Descripción	1. Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera	2. Continuidad de vegetación de la ribera	3. Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacentes o próximos	4. Presencia de basuras y escombros	5. Naturalidad del canal fluvial	6. Composición del sustrato	7. Regímenes de velocidad y profundidad del río	8. Elementos de heterogeneidad	9. Puntaje final de calidad hidromorfológica
COM-01	5	5	5	5	5	3	5	6	39 (Excelente)
COM-02	5	5	5	5	5	3	5	6	39 (Excelente)
TUL-04	5	5	5	5	5	3	5	6	39 (Excelente)
TUL-05	5	5	5	5	5	3	5	6	39 (Excelente)
TUL-06	5	5	5	5	5	3	5	6	39 (Excelente)
TUL-07	5	5	5	5	5	3	5	6	39 (Excelente)
TUL-08	5	5	5	5	5	3	5	6	39 (Excelente)
TUL-09	5	5	5	5	5	3	5	6	39 (Excelente)

Fuente: Reporte de resultados RR-063-2022-STE (Anexo 4).

B. Perifiton

Esta comunidad está conformada por una parte vegetal (microalgas) y una parte animal (microorganismos). Para el análisis de esta comunidad se consideró solo a las microalgas, debido a la baja diversidad de los microorganismos. En el Anexo 4 se detalla el registro completo de las especies del perifiton.

Composición comunitaria del perifiton

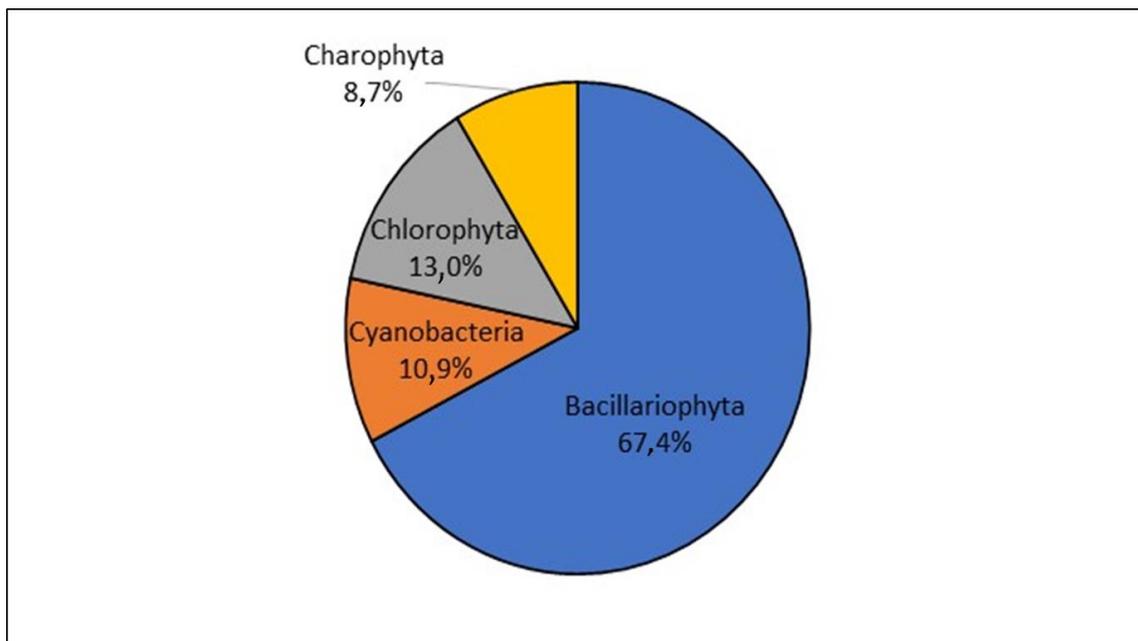
La composición taxonómica de la comunidad de microalgas del perifiton comprendió a 46 especies en total; de las cuales la mayor composición porcentual fue registrada por el phylum Bacillariophyta con el 67,4%, seguido de Chlorophyta con el 13,0% y Cyanobacteria con el 10,9%. El menor número de especies correspondió al phylum Charophyta con 8,7%.

En el río Tulumayo se registró a 41 especies y en el río Comas a 24 especies de microalgas del perifiton. Asimismo, la mayor composición porcentual fue registrada por el phylum Bacillariophyta tanto en el río Tulumayo como en el río Comas con el 66 % y 75 % respectivamente. Los phyla Chlorophyta, Cyanobacteria y Charophyta estuvieron en menor proporción en ambos ríos.

La composición comunitaria total para la comunidad de microalgas del perifiton se encuentra en la Tabla 6.3 y Figura 6.12.

Tabla 6.3. Composición comunitaria total de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas

Phylum	Morfoespecies	% Morfoespecies
Bacillariophyta	31	67,4
Chlorophyta	6	13,0
Cyanobacteria	5	10,9
Charophyta	4	8,7
Total	46	100,0

**Figura 6.12.** Distribución porcentual de la composición de especies de las microalgas del perifiton por phylum en los ríos Tulumayo y Comas

Riqueza del perifiton (microalgas)

Los mayores valores de riqueza se registraron en los puntos TUL-04 y COM-02 con 25 y 21 especies respectivamente. En el caso del río Tulumayo, la riqueza de especies osciló entre 25 y 17, respecto al río Comas la riqueza varió entre las 21 y 13 especies en los puntos COM-01 y COM-02 respectivamente (Tabla 6.4).

En el río Tulumayo, el phylum con mayor riqueza fue Bacillariophyta, desde 66,7 % en TUL-07 hasta los 88,2 % en el punto TUL-06, seguida de Chlorophyta que oscila entre los 6,7 % en TUL-07 hasta los 20 % en TUL-04; la riqueza de las Cyanobacterias varió entre 11,8 % en TUL-06 hasta 20 % en TUL-07, las Charophytas oscilaron entre 6,7 % en el punto TUL-07 hasta los 12 % en TUL-04.

Respecto al río Comas, en COM-01 se registró 13 especies, entre ellas 92,3 % perteneciente al phylum Bacillariophyta y 7,7% al phylum Cyanobacteria; en el punto COM-02 las Bacillariophytas representaron el 71,4 % de la riqueza, seguido de las Cyanobacterias y Chlorophytas con 14,3 % y 9,5 % respectivamente, en menor proporción se registró el phylum Charophyta con 4,8 %. En la Tabla 6.4 y Figura 6.13 se muestran la riqueza de microalgas del perifiton.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

Tabla 6.4. Riqueza de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas

Phyla / Puntos	COM-01	COM-02	TUL-04	TUL-05	TUL-06	TUL-07	TUL-08	TUL-09
S-Bacillariophyta	12	15	17	11	15	10	12	10
S-Cyanobacteria	1	3	0	0	2	3	2	2
S-Chlorophyta	0	2	5	1	0	1	0	0
S-Charophyta	0	1	3	1	0	1	0	0
S-Total	13	21	25	13	17	15	14	12
%S-Bacillariophyta	92,3	71,4	68,0	84,6	88,2	66,7	85,7	83,3
%S-Cyanobacteria	7,7	14,3	0,0	0,0	11,8	20,0	14,3	16,7
%S-Chlorophyta	0,0	9,5	20,0	7,7	0,0	6,7	0,0	0,0
%S-Charophyta	0,0	4,8	12,0	7,7	0,0	6,7	0,0	0,0



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

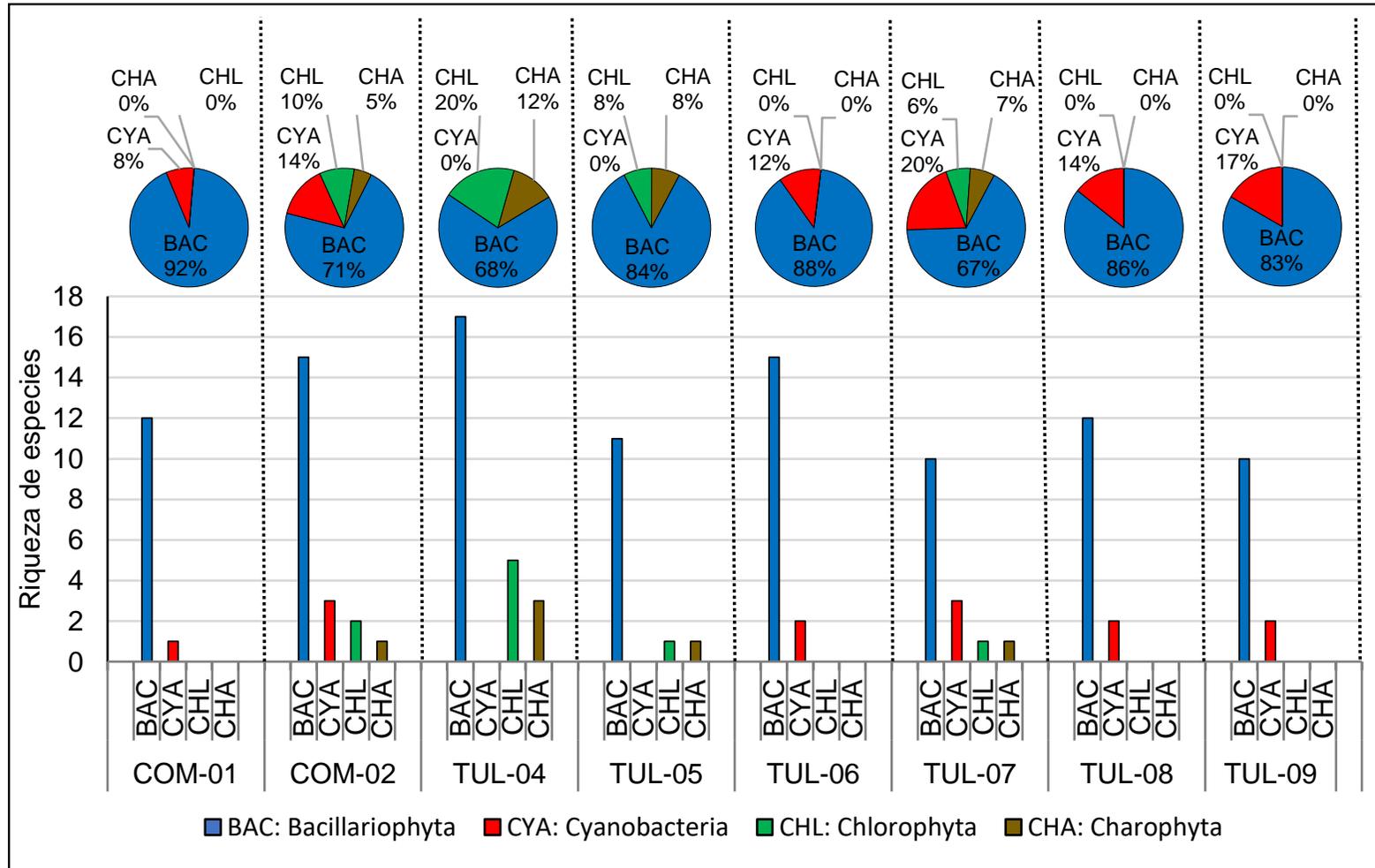


Figura 6.13. Composición de riqueza de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas



Abundancia del perifiton (microalgas)

Las mayores abundancias se registraron en el río Tulumayo, en los puntos de muestreo TUL-04 y TUL-07 con 109135 microalgas y 109402 microalgas respectivamente, seguido por TUL-08 con 72500 microalgas y TUL-05 con 68185 microalgas, menores registros se observaron en los puntos TUL-06 con 34402 microalgas y TUL-09 con 22667 microalgas (Tabla 6.5).

Para el caso del río Comas, el punto COM-02 registró la mayor abundancia con 36367 microalgas, seguido de COM-01 con 20500 microalgas. En todos los puntos evaluados se evidenció una predominancia de las Bacillariophytas, seguido en su mayoría por las Cyanobacterias. En la Tabla 6.5 y Figura 6.14 se muestra la abundancia de microalgas del perifiton.

Tabla 6.5. Abundancia por phylum de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas

Phyla / Puntos	COM-01	COM-02	TUL-04	TUL-05	TUL-06	TUL-07	TUL-08	TUL-09
N-Bacillariophyta	20333	34500	107501	68001	31069	106668	66334	16167
N-Cyanobacteria	167	1666	0	0	3333	2667	6166	6500
N-Chlorophyta	0	34	351	17	0	17	0	0
N-Charophyta	0	167	1283	167	0	50	0	0
N-Total	20500	36367	109135	68185	34402	109402	72500	22667
%N-Bacillariophyta	99,2	94,9	98,5	99,7	90,3	97,5	91,5	71,3
%N-Cyanobacteria	0,8	4,6	0,0	0,0	9,7	2,4	8,5	28,7
%N-Chlorophyta	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
%N-Charophyta	0,0	0,5	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

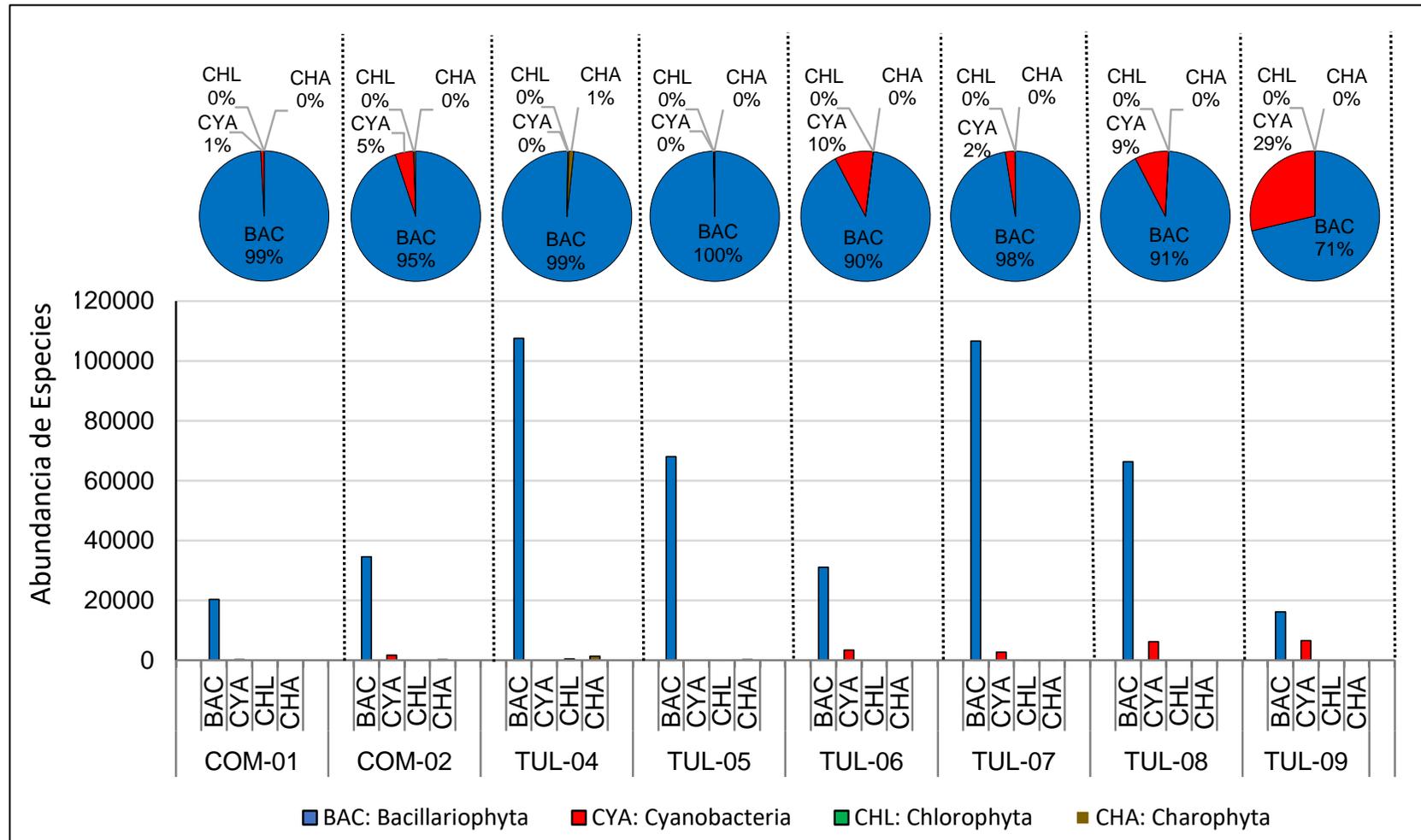


Figura 6.14. Abundancia por taxón de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas



Índices de diversidad

Los puntos de muestreo con los mayores valores de dominancia según el índice Berger Parker (d) se registraron en el río Tulumayo, donde en el punto de muestreo TUL-07 se obtuvo 0,759 unidades, seguido de TUL-05 con 0,513 unidades y TUL-08 con 0,441 unidades; los puntos restantes oscilaron entre 0,163 unidades (TUL-06) y 0,272 unidades (TUL-09) (Tabla 6.6 y Figura 6.15).

Los puntos de muestreo más diversos según el índice de Shannon-Wiener (H') fueron registrados en el río Tulumayo, donde en TUL-04 se obtuvo 2,495 nits/organismo y TUL-06 2,412 nits/organismo. Para el río Comas, en el punto de muestreo COM-02 se obtuvo el mayor índice con 2,349 nits/organismo (Tabla 6.6 y Figura 6.15).

Tabla 6.6. Índices de diversidad para microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas

Índices de diversidad	Índice de Berger Parker	Índice de Shannon-Wiener
	(d)	(H')
COM-01	0,260	1,943
COM-02	0,174	2,349
TUL-04	0,186	2,495
TUL-05	0,513	1,667
TUL-06	0,163	2,412
TUL-07	0,759	1,066
TUL-08	0,441	1,933
TUL-09	0,272	1,988

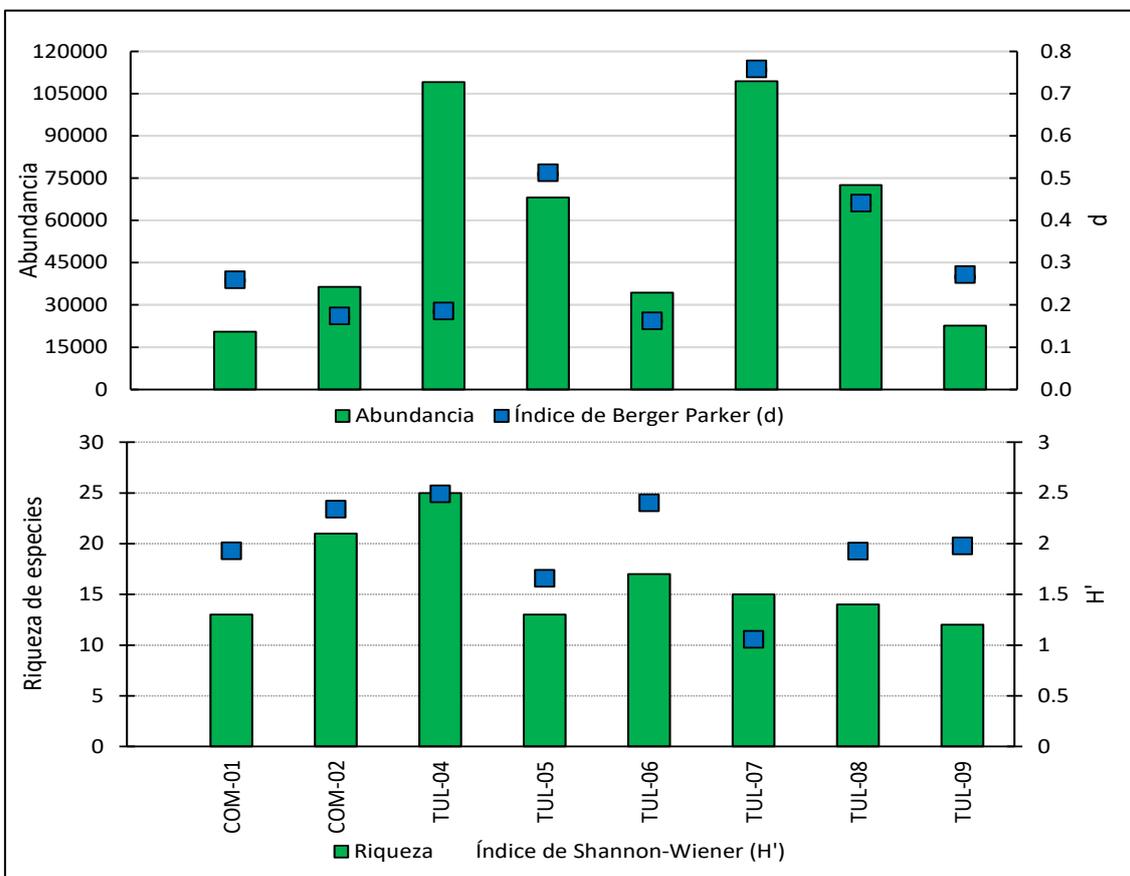


Figura 6.15. Índices de diversidad para microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas
Nota: Límites Superiores e Inferiores para H' y d obtenidos mediante *bootstrapping*



Multivariado

La construcción de las 2 dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico (Figura 6.16) basado en el índice de similitud de Bray-Cutis entre los puntos de muestreo (Tabla 6.7) permitió visualizar la relación de la estructura comunitaria de las microalgas del perifiton por puntos de muestreo. Se observaron 2 grupos definidos a un 45 % de similaridad, el Grupo 1 formado por TUL-04, TUL-05, TUL-06, TUL-07 y TUL-08, y el segundo grupo conformado por TUL-09, COM-01 y COM-02. Asimismo, a un nivel de similaridad de 50 % se observó que los puntos TUL-05, TUL-06 y TUL-07 estarían formando un grupo, y los puntos COM-01 y COM-02 otro grupo (Figura 6.16).

Tabla 6.7. Índice de similitud de Bray-Curtis para las microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas

Punto de muestreo	COM-01	COM-02	TUL-04	TUL-05	TUL-06	TUL-07	TUL-08	TUL-09
COM-01	100,000							
COM-02	50,829	100,000						
TUL-04	24,135	42,889	100,000					
TUL-05	20,976	40,675	55,526	100,000				
TUL-06	19,196	36,688	40,932	59,921	100,000			
TUL-07	25,894	45,618	42,282	47,696	58,405	100,000		
TUL-08	28,850	45,386	45,246	48,406	49,258	50,261	100,000	
TUL-09	40,560	49,963	24,442	34,317	37,470	47,889	42,490	100,000

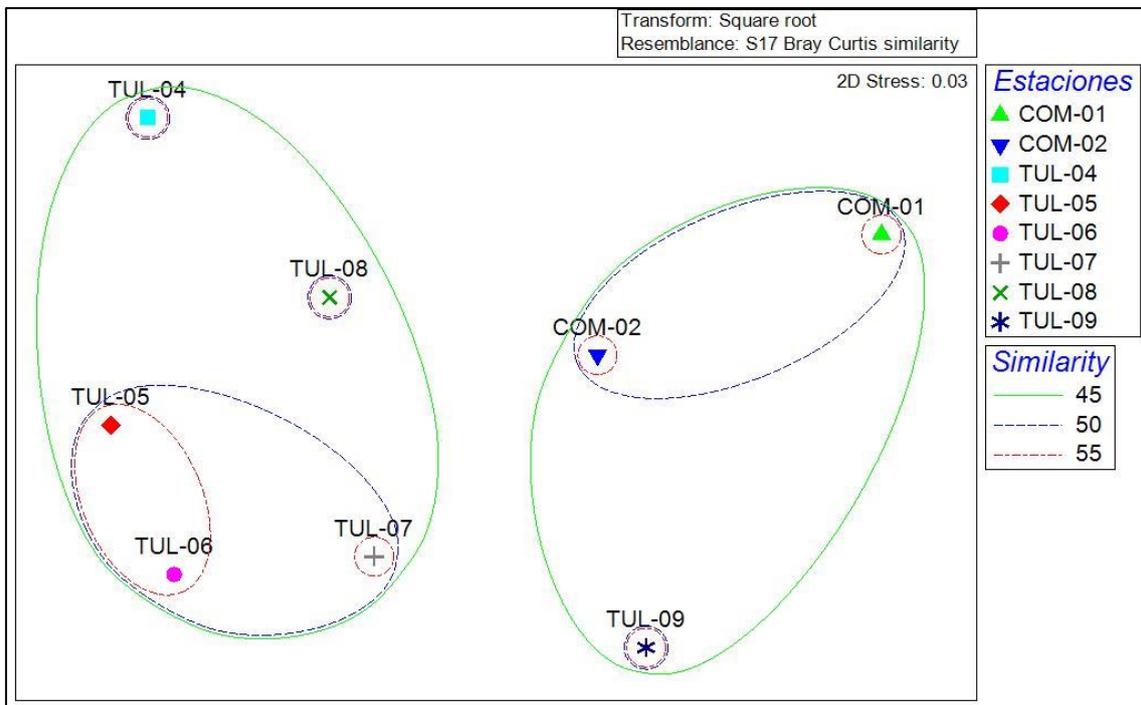


Figura 6.16. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de microalgas del perifiton en los ríos Tulumayo y Comas



C. Macroinvertebrados bentónicos (MIB)

Composición comunitaria de los MIB

La composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos comprendió 55 morfoespecies en total, registrándose en el río Tulumayo a 38 especies y en el río Comas a 46 especies de macroinvertebrados bentónicos. Dentro del phylum Arthropoda, la clase Insecta fue el único grupo taxonómico registrado, siendo el orden Diptera el de mayor representación con 24 morfoespecies (43,6 %), seguido por Coleoptera con 12 morfoespecies (21,8 %) y Trichoptera con 9 morfoespecies (16,4 %). Los órdenes dentro de Insecta con menor representación de morfoespecies fueron Plecoptera y Megaloptera con una morfoespecie cada uno; es decir, el 1,8 % del total de especies.

Asimismo, la mayor composición porcentual fue registrada por el orden Diptera tanto en el río Tulumayo como en el río Comas con el 50 % y 39 % respectivamente, además el orden Coleoptera estuvo representado en un 13 % en el río Tulumayo y en un 24 % en el río Comas. Otros taxa como Ephemeroptera, Trichoptera, Megaloptera, Annelida, Plecoptera y Tricladida se encontraron en menor proporción en ambos ríos.

La composición comunitaria total para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se encuentra en la Tabla 6.8 y Figura 6.17.

Tabla 6.8. Composición comunitaria total de macroinvertebrados bentónicos en los ríos Tulumayo y Comas

Phylum	Clase	Orden	Morfoespecies	% Morfoespecies
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	1	1,8
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	1	1,8
Annelida	Clitellata	-	1	1,8
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	12	21,8
		Diptera	24	43,6
		Ephemeroptera	5	9,1
		Megaloptera	1	1,8
		Plecoptera	1	1,8
		Trichoptera	9	16,4
Total			55	100

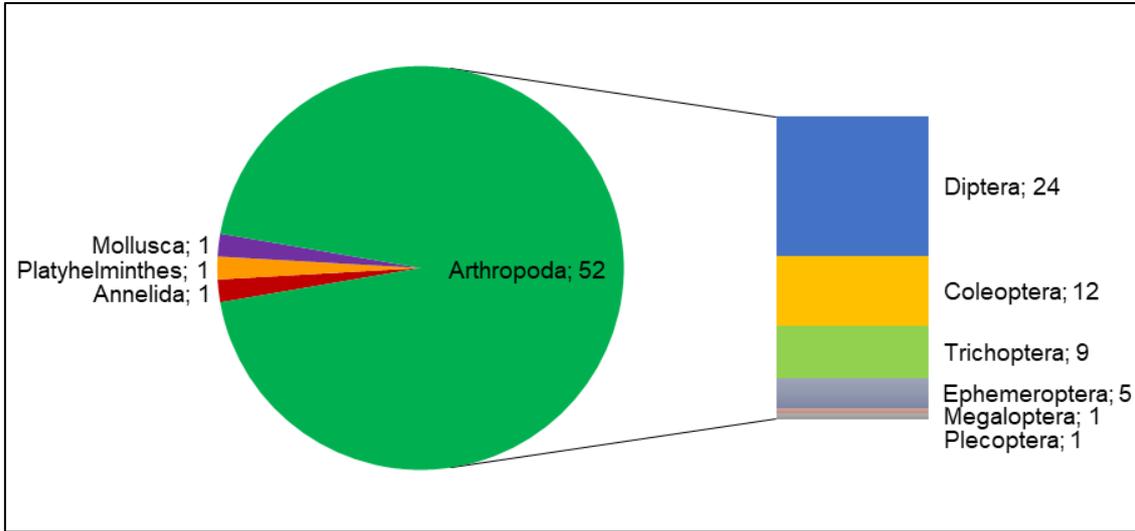


Figura 6.17. Distribución porcentual de la composición de especies de los MIB por phylum en los ríos Tulumayo y Comas

Riqueza de los MIB

La riqueza fue mayor en los puntos de muestreo del río Comas en comparación con los puntos ubicados en el río Tulumayo, donde la riqueza osciló entre 9 especies (TUL-06) y 25 especies (TUL-07). En el caso del río Comas, el punto con mayor riqueza fue COM-02 con 42 especies, seguido del punto COM-01 que registró 19 especies (Tabla 6.9).

Los resultados muestran que la riqueza de macroinvertebrados bentónicos según orden taxonómico fue mayor en el orden Diptera variando entre 20,0 % y 47,1 % en los puntos TUL-08 y TUL-04 respectivamente, seguido por los órdenes Ephemeroptera + Plecoptera + Trichoptera con 33,3 % en COM-02 hasta un 70 % en TUL-08. La riqueza del orden Coleoptera varió entre 5,9 % (TUL-04) hasta 21,4 % en COM-02, el phylum Annelida + Platyhelminthes + Mollusca osciló entre 4 % (TUL-07) hasta 13,6 % (TUL-05), el orden Megaloptera presentó la menor riqueza registrándose solo en el punto COM-02 con 2,4 %.

En la Tabla 6.9 y Figura 6.18 se muestran los resultados de riqueza de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos en los ríos Tulumayo y Comas.

Tabla 6.9. Riqueza de los MIB en los ríos Tulumayo y Comas

Phyla / Puntos	COM-01	COM-02	TUL-04	TUL-05	TUL-06	TUL-07	TUL-08	TUL-09
S-DIP	7	16	8	6	4	11	2	4
S-COL	4	9	1	2	1	4	0	0
S-MEG	0	1	0	0	0	0	0	0
S-EPH+PLE+TRI	7	14	7	11	4	9	7	4
S-ANN+PLA+MOL	1	2	1	3	0	1	1	1
S-Total	19	42	17	22	9	25	10	9
%S-DIP	36,8	38,1	47,1	27,3	44,4	44,0	20,0	44,4
%S-COL	21,1	21,4	5,9	9,1	11,1	16,0	0,0	0,0



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

Phyla / Puntos	COM-01	COM-02	TUL-04	TUL-05	TUL-06	TUL-07	TUL-08	TUL-09
%S-MEG	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
%S-EPH+PLE+TRI	36,8	33,3	41,2	50,0	44,4	36,0	70,0	44,4
%S-ANN+PLA+MOL	5,3	4,8	5,9	13,6	0,0	4,0	10,0	11,1

DIP: Diptera, COL: Coleoptera, MEG: Megaloptera, EPHE: Ephemeroptera, PLE: Plecoptera, TRI: Trichoptera, ANN: Annelida, PLA: Platyhelminthes, MOL: Mollusca.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

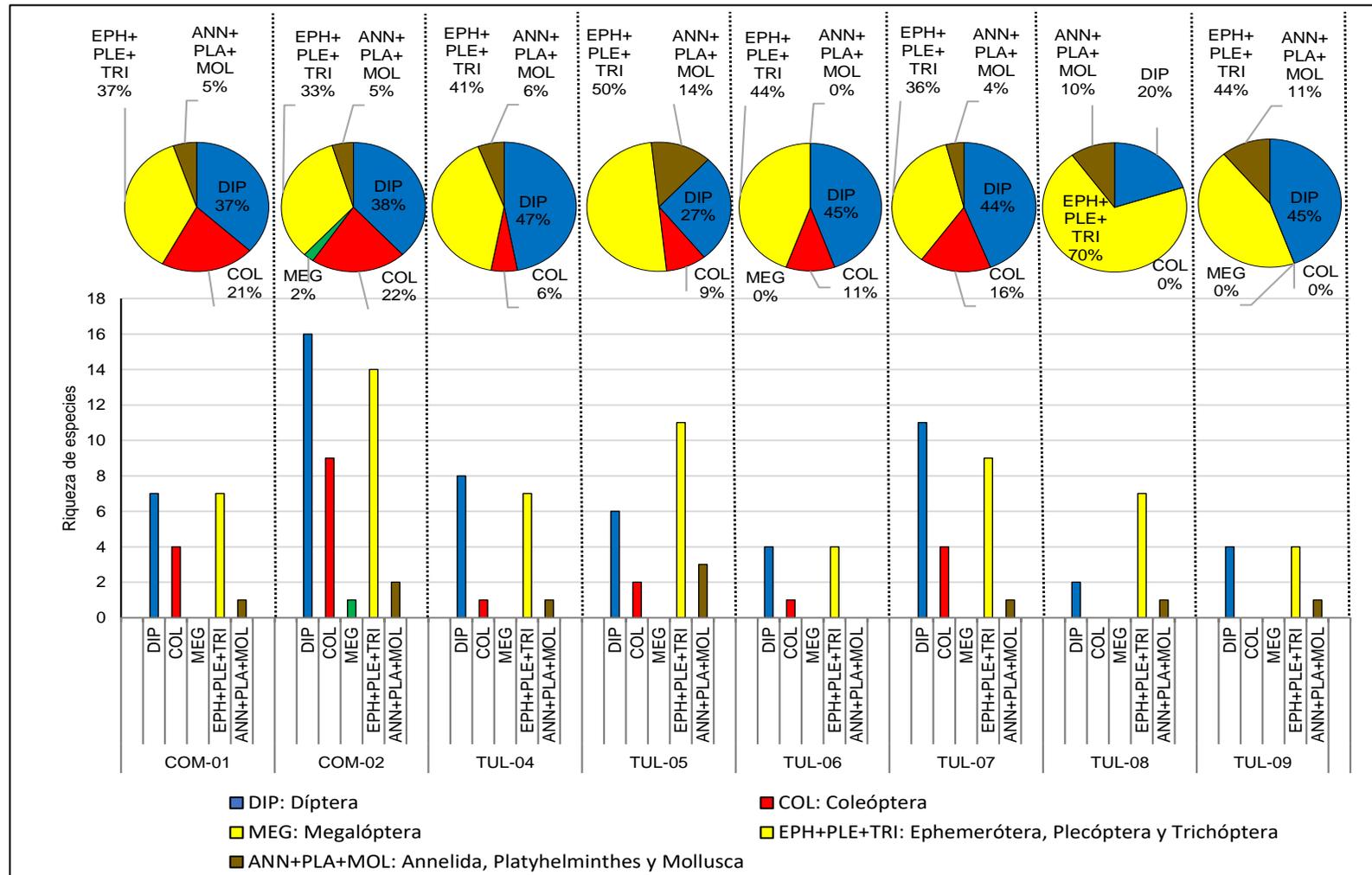


Figura 6.18. Composición de la riqueza de los MIB en los ríos Tulumayo y Comas



Abundancia de los MIB

La abundancia en el río Tulumayo fue mayor en el punto TUL-05 donde se registró 1129 individuos, seguido de TUL-07 y TUL-04 con 637 individuos y 407 individuos respectivamente. Los valores más bajos de abundancia de los macroinvertebrados bentónicos se observaron en TUL-06, TUL-08 y TUL-09 con 85 individuos, 56 individuos y 53 individuos respectivamente. Por otro lado, en el río Comas, el punto COM-02 registró los mayores valores de abundancia con un total de 1026 individuos en comparación con el punto COM-01 que registró 146 individuos (Tabla 6.10).

En el río Tulumayo, los phyla más abundantes fueron Diptera, Ephemeroptera + Plecoptera + Trichoptera y Annelida + Platyhelminthes + Mollusca; mientras que, para el río Comas estuvo distribuido entre el orden Diptera y los órdenes Ephemeroptera + Plecoptera + Trichoptera. En la Tabla 6.10 y Figura 6.19 se muestran las abundancias de los macroinvertebrados bentónicos en los ríos Tulumayo y Comas.

Tabla 6.10. Abundancia por taxón de los MIB en cada punto de muestreo en los ríos Tulumayo y Comas

Phyla / Puntos	COM-01	COM-02	TUL-04	TUL-05	TUL-06	TUL-07	TUL-08	TUL-09
N-DIP	29	133	98	432	7	48	5	4
N-COL	10	80	1	7	1	5	0	0
N-MEG	0	4	0	0	0	0	0	0
N-EPH+PLE+TRI	106	803	58	237	77	279	48	33
N-ANN+PLA+MOL	1	6	250	453	0	305	3	16
N-Total	146	1026	407	1129	85	637	56	53
N-DIP	19,9	13,0	24,1	38,3	8,2	7,5	8,9	7,5
N-COL	6,8	7,8	0,2	0,6	1,2	0,8	0,0	0,0
N-MEG	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N-EPH+PLE+TRI	72,6	78,3	14,3	21,0	90,6	43,8	85,7	62,3
N-ANN+PLA+MOL	0,7	0,6	61,4	40,1	0,0	47,9	5,4	30,2

DIP: Diptera, COL: Coleoptera, MEG: Megaloptera, EPHE: Ephemeroptera, PLE: Plecoptera, TRI: Trichoptera, ANN: Annelida, PLA: Platyhelminthes, MOL: Mollusca.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

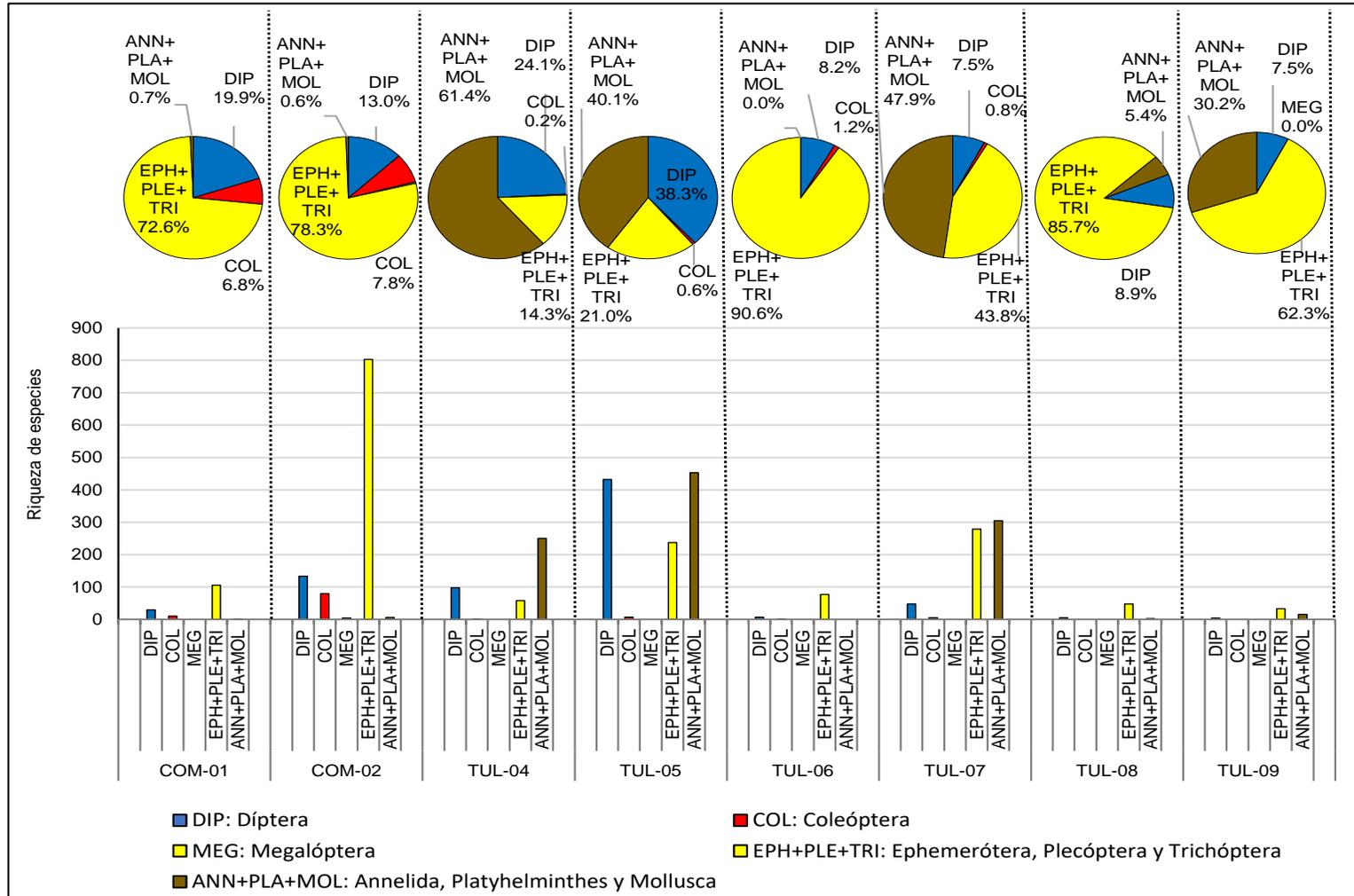


Figura 6.19. Abundancia por taxón de los MIB por punto de muestreo en los ríos Tulumayo y Comas



Índice de diversidad

Los puntos de muestreo con los mayores valores de dominancia según el índice Berger Parker (d) se registraron en el río Tulumayo y variaron entre 0,399 unidades y 0,614 unidades en los puntos TUL-05 y TUL-04 respectivamente. En el río Comas se obtuvieron valores que oscilaron entre 0,256 unidades y 0,425 unidades en los puntos COM-02 y COM-01 respectivamente (Tabla 6.11 y Figura 6.20).

El punto de muestreo más diverso según el índice de Shannon-Wiener (H') se registró en el río Comas, en el punto COM-02 con 2,400 nits/individuo. Los valores para el río Tulumayo varió entre 1,265 nits/individuo (TUL-09) y 1,668 nits/individuo (TUL-05) (Tabla 6.11 y Figura 6.20).

Tabla 6.11. Índices de diversidad para los MIB en los ríos Tulumayo y Comas

Índices de diversidad	Índice de Berger Parker	Índice de Shannon-Wiener
	(d)	(H')
COM-01	0,425	1,952
COM-02	0,256	2,400
TUL-04	0,614	1,440
TUL-05	0,399	1,668
TUL-06	0,471	1,262
TUL-07	0,479	1,539
TUL-08	0,518	1,594
TUL-09	0,547	1,265

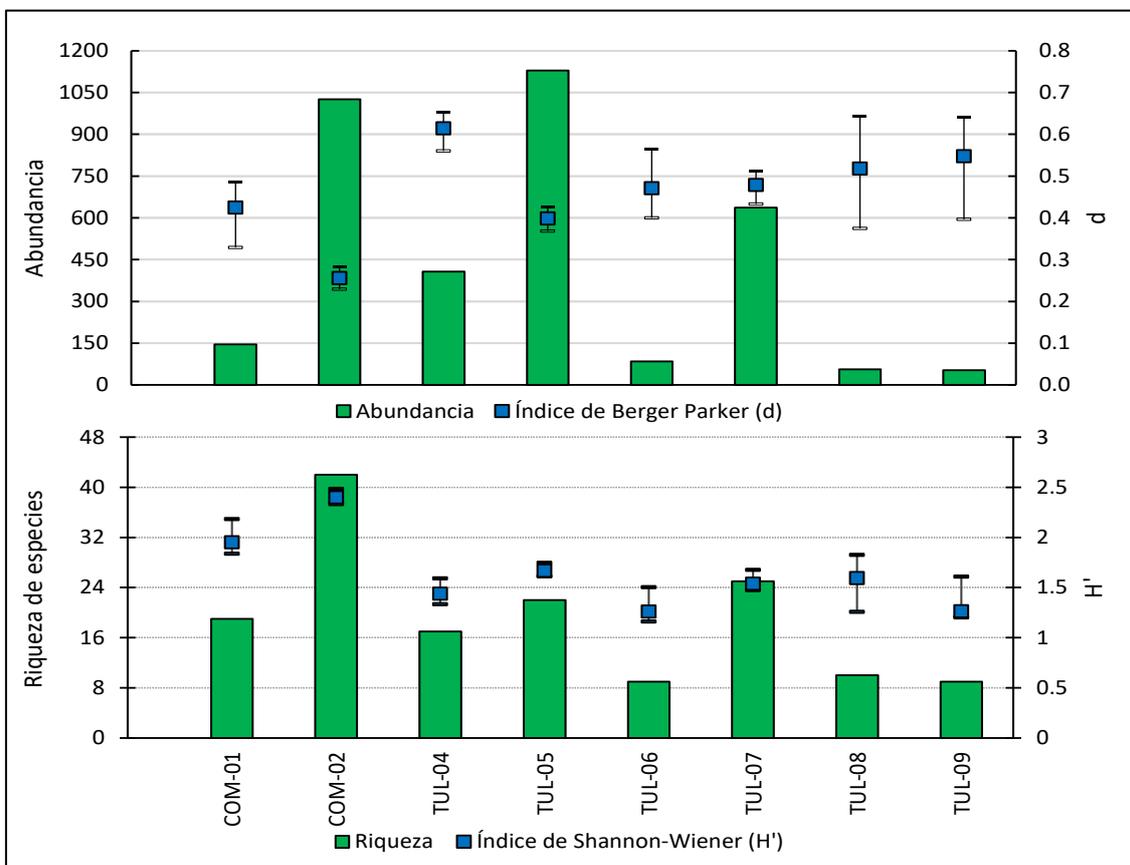


Figura 6.20. Índices de diversidad para los MIB en los ríos Tulumayo y Comas
Nota: Límites Superiores e Inferiores para H' y d obtenidos mediante *bootstrapping*.



Multivariado

La construcción de las 2 dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico (Figura 6.21), basado en el índice de similitud de Bray-Cutis entre los puntos de muestreo (Tabla 6.12) permitió visualizar la relación de la estructura comunitaria de los macroinvertebrados bentónicos por puntos de muestreo. Se observaron 2 grupos claramente definidos con una similitud del 30 %, los cuales están conformados por TUL-04, TUL-05, TUL-07, COM-02 y COM-01, la siguiente agrupación estuvo conformado por TUL-08, TUL-09 y TUL-06. También se observó la conformación de 2 grupos con una similitud del 50 %, el primero formado por TUL-04, TUL-05 y TUL-07; y, el segundo por TUL-09 y TUL-08.

Tabla 6.12. Índice de similitud de Bray-Curtis para los MIB en los ríos Tulumayo y Comas

Punto de muestreo	COM-01	COM-02	TUL-04	TUL-05	TUL-06	TUL-07	TUL-08	TUL-09
COM-01	100,000							
COM-02	30,495	100,000						
TUL-04	32,091	27,976	100,000					
TUL-05	35,147	32,422	58,503	100,000				
TUL-06	31,689	20,362	12,541	20,446	100,000			
TUL-07	36,167	35,463	52,785	54,682	30,903	100,000		
TUL-08	30,588	22,748	27,279	24,994	45,091	36,151	100,000	
TUL-09	25,813	12,572	28,004	21,741	33,745	33,342	60,713	100,000

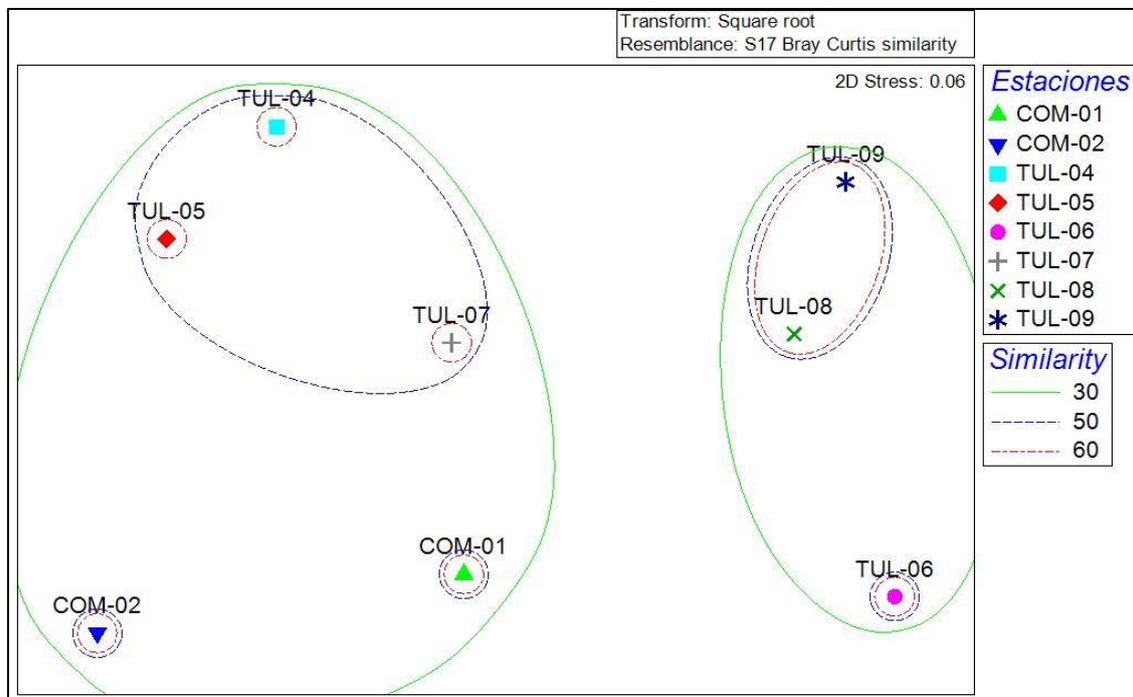


Figura 6.21. Escalamiento multidimensional no métrico para los MIB en los ríos Tulumayo y Comas



6.2. Objetivo específico 2: Evaluar la comunidad ictiológica y la población de *Creagrutus* sp. y *Trichomycterus* sp. en el tramo crítico de caudal ecológico del río Tulumayo directamente influenciada por la C.H. Chimay

6.2.1. Comunidad ictiológica

Dentro del área de estudio se encontró en total 9 especies de peces, conformada por los ordenes Characiformes, Siluriformes y Salmoniformes. Los Characiformes estuvieron conformados por las especies *Creagrutus peruanus* y *Creagrutus unculus*, cuyo nombre común asignado en campo fue anchoveta de río para ambas especies. Los Siluriformes estuvieron conformados por *Rhamdia quelem* con nombre común de barbón, *Chaetostoma lobarhynchos* y *Ancistrus bufonius* con nombre común de carachama, y 3 especies de *Astroblepus* sp. con nombre común de bagre. Finalmente, Salmoniforme conformado por la trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Un resumen de las especies y su nombre común asignado se presenta en las tablas 6.13 y 6.14.

Tabla 6.13. Especies de peces encontradas en el área de estudio de la C.H. Chimay

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género/Especie	Nombre común ²
Chordata	Actinopterygii	Characiformes	Characidae	<i>Creagrutus peruanus</i>	Anchoveta de río ³
Chordata	Actinopterygii	Characiformes	Characidae	<i>Creagrutus unculus</i>	
Chordata	Actinopterygii	Siluriformes	Heptapteridae	<i>Rhamdia quelem</i>	Barbón
Chordata	Actinopterygii	Siluriformes	Loricariidae	<i>Chaetostoma lobarhynchos</i>	Carachama
Chordata	Actinopterygii	Siluriformes	Loricariidae	<i>Ancistrus bufonius</i>	
Chordata	Actinopterygii	Siluriformes	Astroblepidae	<i>Astroblepus mancoi</i>	Bagre
Chordata	Actinopterygii	Siluriformes	Astroblepidae	<i>Astroblepus sabalo</i>	
Chordata	Actinopterygii	Siluriformes	Astroblepidae	<i>Astroblepus</i> sp.	
Chordata	Actinopterygii	Salmoniformes	Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i> ¹	Trucha

1: Especie identificada en campo.

2: Nombre común usado en la identificación de campo (Ficha de campo de hidrobiología del Anexo N.º3 del RC-098-2022-STEC).

3: En la ficha de campo de hidrobiología (Anexo 3 del RC-098-2022-STEC) se usó anchoveta o anchoveta de río, sin embargo, ambas corresponden al mismo género *Creagrutus* sp.

Tabla 6.14. Especies de peces encontradas en el área de estudio de la C.H. Chimay

Nombre común ²	Género/Especie	Foto ⁴
Anchoveta de río ³	<i>Creagrutus peruanus</i>	
	<i>Creagrutus unculus</i>	



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

Nombre común ²	Género/Especie	Foto ⁴
Barbon	<i>Rhamdia quelem</i>	
Carachama	<i>Chaetostoma lobarhynchos</i>	
	<i>Ancistrus bufonius</i>	
Bagre	<i>Astroblepus mancoi</i>	
	<i>Astroblepus sabalo</i>	
	<i>Astroblepus sp.</i>	
Trucha	<i>Oncorhynchus mykiss</i> ¹	SF

SF: Sin Foto

1: Especie identificada en campo.

2: Nombre común usado en la identificación de campo (Informe de ensayo N.º 365-2022-OEFA/OTEC).

3: En la ficha de campo se usó anchoveta o anchoveta de río, sin embargo, ambas corresponden a *Creagrutus sp.*

4: Fotografías obtenidas del informe de ensayo N.º 365-2022-OEFA/OTEC del RR-063-2022-STEC

La cantidad de individuos registrados en cada punto de muestreo estuvo en función de las especies identificadas en campo, teniéndose así cantidad de individuos para *Creagrutus sp.* (anchoveta de río), *Rhamdia quelem* (barbón), Loricariidae indet. (carachama), *Astroblepus sp.* (bagre) y *Oncorhynchus mykiss* (trucha). Un resumen de los individuos colectados (ya sea mediante electropesca o atarraya) y observados se encuentra en la Tabla 6.15.



Tabla 6.15. Cantidad de individuos colectados y observados por punto de muestreo

Género/Especie	COM-01 ¹				TUL-04				TUL-05				TUL-06				TUL-07				TUL-08			
	CAP		Observados	TOTAL	CAP		Observados	TOTAL	CAP		Observados	TOTAL	CAP		Observados	TOTAL	CAP		Observados	TOTAL	CAP		Observados	TOTAL
	Electropesca	Atarraya			Electropesca	Atarraya			Electropesca	Atarraya			Electropesca	Atarraya			Electropesca	Atarraya			Electropesca	Atarraya		
<i>Creagrutus sp.</i>	2	6		8	15	32	0	47	2	35	2**	39	18	7	20*	35	24	9	20*	53	4	10	75*	14
<i>Rhamdia quelem</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	3	0	5	8	4	0	5	9	8	0	2	10	20	0	20	40
Loricariidae indet.	1	0	0	1	0	0	7	7	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	3	3
<i>Astroblepus sp.</i>	7	0	0	7	7	0	1	8	3	0	0	3	1	0	0	1	6	0	0	6	1	0	0	1
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1: Punto de muestreo donde la pesca solo pudo ser realizada en el margen derecho, los puntos restantes fueron realizadas en los márgenes derecho e izquierdo del río.

CAP: Capturados

*: Corresponden a alevines de anchoveta de río observados cerca de las orillas.

** : Conformado por 15 alevines de anchoveta de río y 5 adultos de anchoveta de río.

***: Conformado por individuos adultos

La Figura 6.22 muestra la cantidad de individuos totales (capturados + adultos observados) por especie de pez. Se puede observar que en su mayoría los puntos de muestreo estuvieron conformados por *Creagrutus sp.*, *Rhamdia quelem*, Loricariidae indet. y *Astroblepus sp.*, mientras que en minoría por *Oncorhynchus mykiss*, cuyo único individuo se encontró en el punto TUL-05. El punto COM-01²⁴ mostró 8 individuos de *Creagrutus sp.* y 7 de *Astroblepus sp.* El punto TUL-04 estuvo conformado en mayor proporción por *Creagrutus sp.* (47 individuos), mientras que *Rhamdia quelem* se encontró escasamente (1 individuo), Loricariidae indet y *Astroblepus sp.* tuvieron 7 y 8 individuos respectivamente. El punto TUL-05 mantuvo mostrando una mayor proporción de *Creagrutus sp.* pero produjo un incremento en los individuos de *Rhamdia quelem* con respecto a TUL-04, mientras que Loricariidae indet. y *Astroblepus sp.* se presentaron escasamente. El punto TUL-06 mantuvo el mismo patrón que TUL-05, con una mayor proporción de *Creagrutus sp.* respecto a *Rhamdia quelem*, y la escasa presencia de *Astroblepus sp.* El punto TUL-07 mantuvo el mismo patrón encontrado en TUL-05. El punto TUL-08 mostro un cambio diferente, los individuos encontrados de *Rhamdia quelem* fueron mayores, mostrando una mayor proporción para *Rhamdia quelem*

²⁴

COM-01 es la estación con mayor caudal, ya que se encuentra aguas arriba de la captación, esta condición no permitió realizar el aforo y solo permitieron pescar en el margen derecho del río, por lo tanto, esta estación solo se toma referencialmente y no para comparar con las otras ya que el esfuerzo de muestreo es diferente



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

respecto a Creagrutus sp., además los individuos de Loricariidae indet y Astroblepus sp. fueron encontrados escasamente (<5 individuos).

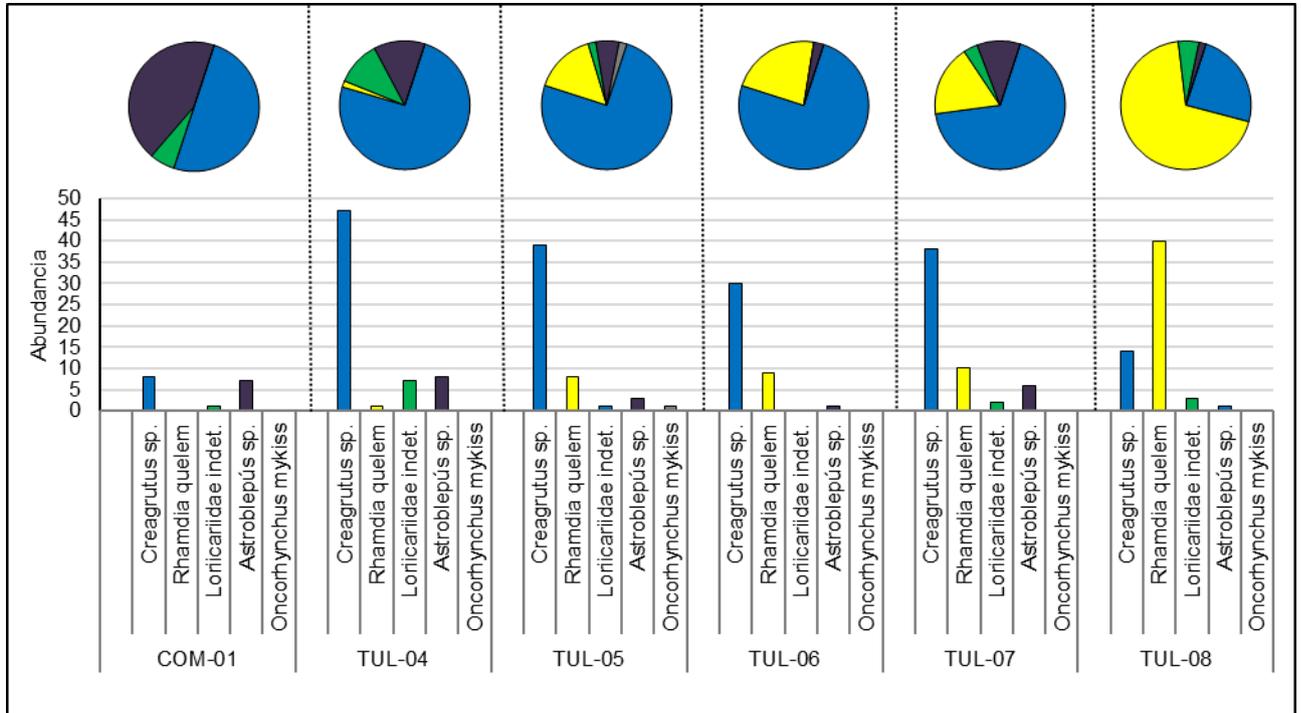


Figura 6.22. Abundancia por especie de pez en cada punto de muestreo

Un resumen de la cantidad de individuos totales (capturados y adultos observados) de Creagrutus sp. y Rhamdia quelem junto con los parámetros medidos in situ se presentan en la Tabla 6.16. Del análisis de correspondencias canónicas (Figura 6.23) se observó que la abundancia de Rhamdia quelem tiende a aumentar en sitios con mayores valores de caudal y pH, sin embargo, lo contrario se observa para Astroblepus sp. y Creagrutus sp.

Tabla 6.16. Resumen de parámetros in situ y abundancias de peces

Table with 14 columns: Puntos de muestreo, Fecha, Hora, Temperatura (°C), potencial de Hidrógeno, Conductividad eléctrica (µS/cm), Oxígeno disuelto (mg/L), Turbidez (NTY), Caudal (m³/s), Abundancia de Creagrutus sp., Abundancia de Rhamdia quelem, Abundancia de Loricariidae indet., Abundancia de Astroblepus sp., Abundancia de Oncorhynchus mykiss.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

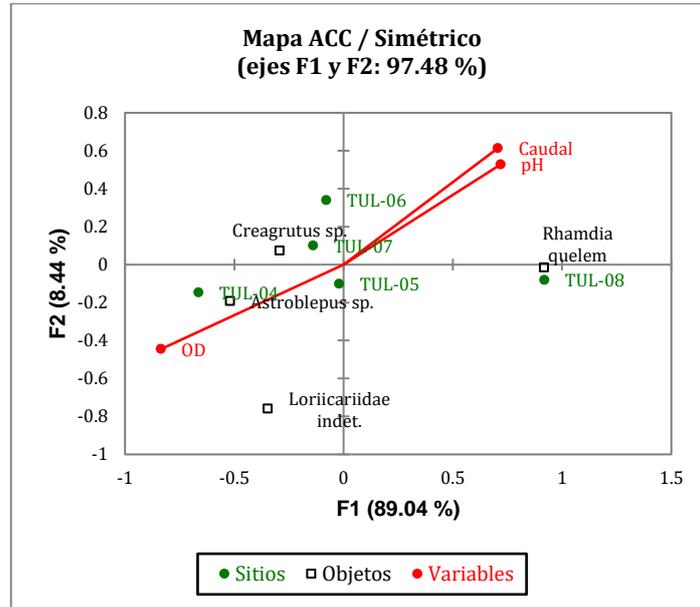


Figura 6.23. Análisis de correspondencias canónicas (ACC) tomando en cuenta variables medidas in situ y abundancia de peces

6.2.2. Población de Creagrutus sp. y Trichomycterus sp.

La correlación entre los parámetros in situ con las abundancias de Creagrutus sp. y Rhamdia quelem se presentan en la Tabla 6.17. El oxígeno disuelto mostró una correlación positiva con la abundancia de Creagrutus sp., mientras que mostró una correlación negativa con la abundancia de Rhamdia quelem. El caudal mostró una correlación negativa de -0,733 con la abundancia de Creagrutus sp, mientras que mostró una correlación positiva de 0,479 con la abundancia de Rhamdia quelem.

Tabla 6.17. Parámetros in situ y abundancia de Creagrutus sp y Rhamdia quelem

Table with 3 columns: Parámetros in situ, Abundancia de Creagrutus sp., and Abundancia de Rhamdia quelem. Rows include Temperature, Hydrogen Potential, Electrical Conductivity, Dissolved Oxygen, Turbidity, and Flow.

Nota: Valores de correlación de Pearson por encima de 0,6.

En base a la cantidad de individuos capturados para su posterior medición, se realizaron los histogramas de tallas (longitud total en cm) para Creagrutus sp. y Rhamdia quelem. Respecto al histograma de tallas de Creagrutus sp. (Figura 6.24) se puede observar la aparición de tallas grandes en los puntos TUL-07 y TUL-08 mientras que en las estaciones TUL-04, TUL-05 y TUL-06 las tallas no exceden los 15,9 cm. Asimismo tallas pequeñas (1,9 cm a 5,4 cm) fueron encontradas en todos los puntos de muestreo con excepción de

TUL-05. Adicionalmente, TUL-04 mostró un comportamiento normal en el histograma de tallas, mientras que en las estaciones restantes fue sesgado.

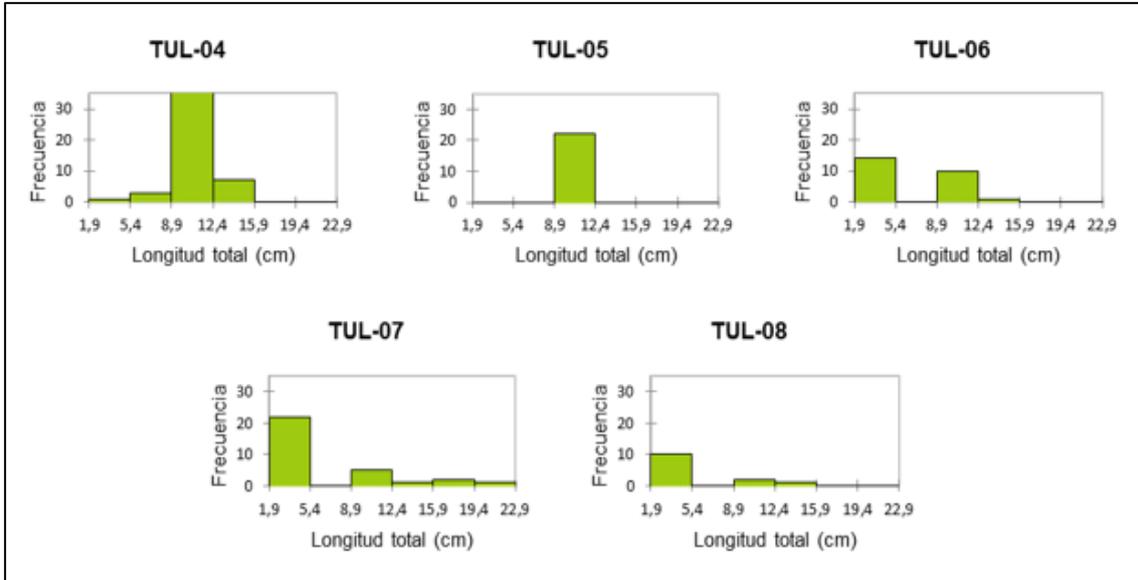


Figura 6.24. Histogramas de tallas para *Creagrutus* sp.

Con respecto a la distribución de tallas de *Rhamdia quelem* (Figura 6.25), la mayor cantidad de individuos capturados se encontró en la estación TUL-08 con un rango de tallas desde 1,76 cm hasta 25,76 cm, tallas más altas se encontró en TUL-07. El comportamiento normal de la distribución de tallas aparece en TUL-08.

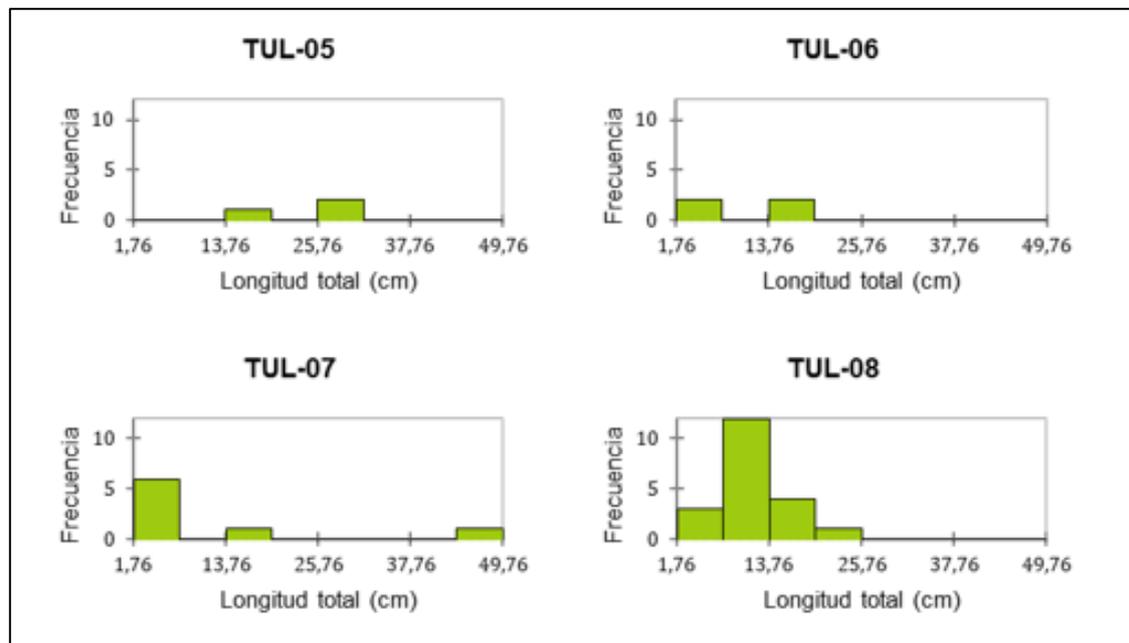


Figura 6.25. Histogramas de tallas para *Rhamdia quelem*

Nota: No se realizó histograma de tallas para la estación TUL-04 porque solo contaba con un individuo.



6.3. Objetivo específico 3: Evaluar la calidad de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y el estado trófico del embalse Tulumayo

6.3.1. Agua superficial

En el embalse Tulumayo se tomaron muestras de agua en los puntos TUL-01 (a nivel de superficie y fondo) y TUL-02 (a nivel de superficie, medio y fondo), en agosto de 2022. Los resultados obtenidos tanto de campo como los de laboratorio se compararon con las normas de calidad de agua superficial.

A. Comparación con el Reglamento de los Títulos I, II, y III de la Ley General de Aguas, Clase VI (Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial); aprobado mediante Decreto Supremo N.º 261-69-AP, y su modificatoria por Decreto Supremo N.º 007-83-SA

Los resultados obtenidos del agua en los puntos evaluados en el embalse Tulumayo (TUL-01 y TUL-02), a diferentes profundidades, cumplieron con los VL-Reglamento de la LGA de la Clase VI establecidos en el EIA del administrado.

Los rangos de variación de los parámetros de campo y otros de interés en los puntos de muestreo del embalse Tulumayo se mencionan sus

- Los valores del potencial de hidrógeno estuvieron en el rango de 7,70 unidades de pH a 7,89 unidades de pH.
- Los valores conductividad eléctrica variaron entre 158,2 $\mu\text{S/cm}$ a 177,3 $\mu\text{S/cm}$.
- Las concentraciones de oxígeno disuelto estuvieron entre 7,43 mg/L y 8,42 mg/L.
- Los valores de turbidez estuvieron entre 2,17NTU a 12,8 NTU.
- Los valores de sólidos totales en suspensión se encontraron por debajo del límite de cuantificación de laboratorio.
- En cuanto a, las concentraciones de sólidos totales disueltos se encontraron entre 106 mg/L a 112 mg/L en el embalse Tulumayo.

B. Comparación con los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales y Subcategoría D2: Bebida de animales; aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

Los valores y concentraciones de los parámetros de campo y los analizados de laboratorio en los puntos evaluados en el embalse Tulumayo (TUL-01 y TUL-02), a diferentes profundidades no excedieron los valores de los ECA para Agua-2017 de la Cat.3.

6.3.2. Sedimento

A. Análisis geoquímico

El sedimento presentó una alta concentración de aluminio, calcio y hierro en todos los puntos de muestreo. Además, el calcio presentó su mayor valor de concentración en el punto TUL-03 (Figura 6.26).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

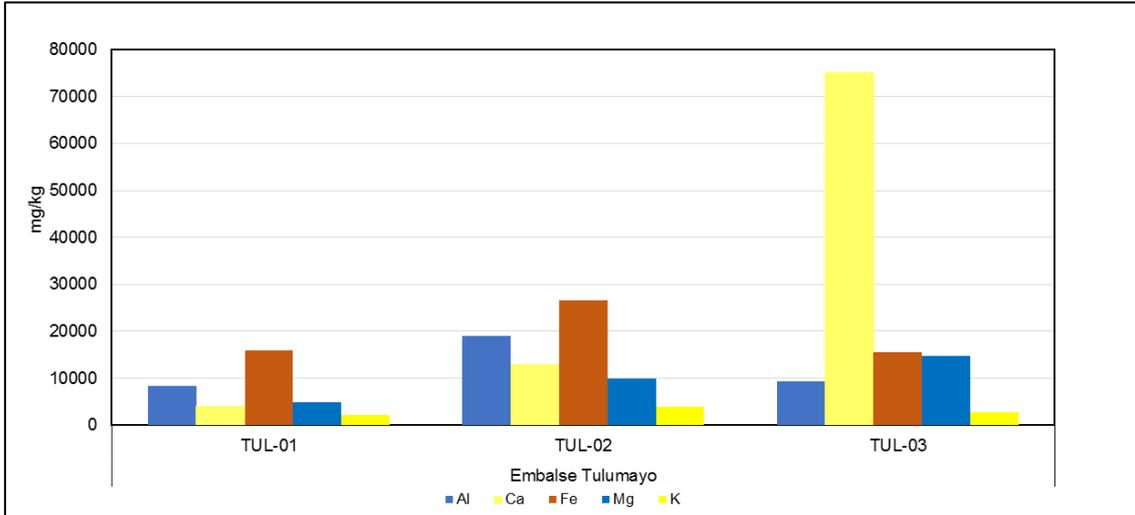


Figura 6.26. Concentraciones de elementos mayores en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022

En cuanto a los elementos menores, en el sedimento existió mayor predominancia de fósforo y titanio respecto a los demás elementos, la mayor concentración de estos elementos se encontró en el punto TUL-02 respecto a los demás puntos de muestreo (Figura 6.27).

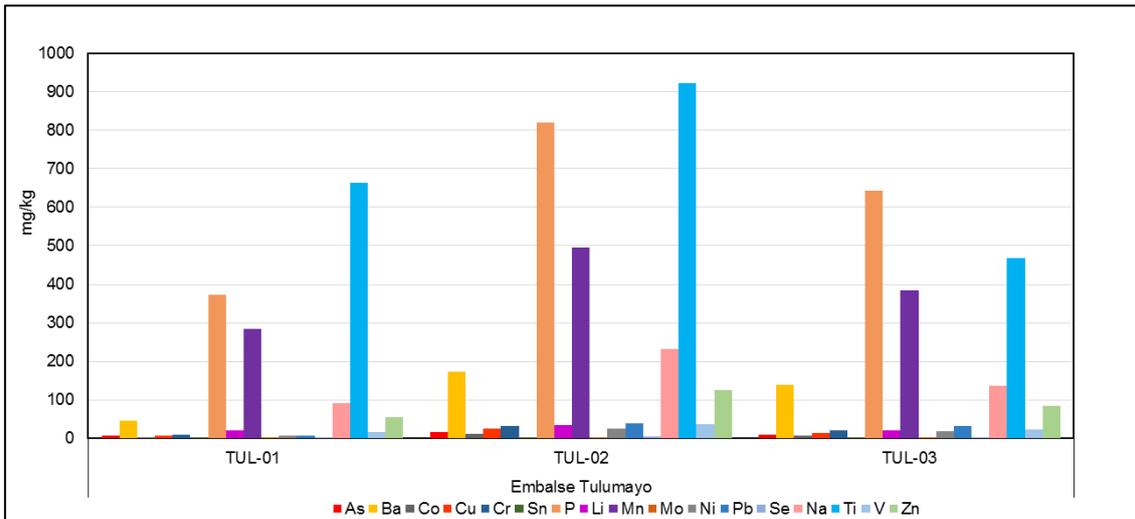


Figura 6.27. Concentraciones de elementos menores en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022

Respecto a los elementos trazas estos se encontraron representados por el berilio y molibdeno, la mayor concentración de estos elementos se encontró en el punto TUL-02 (Figura 6.28).

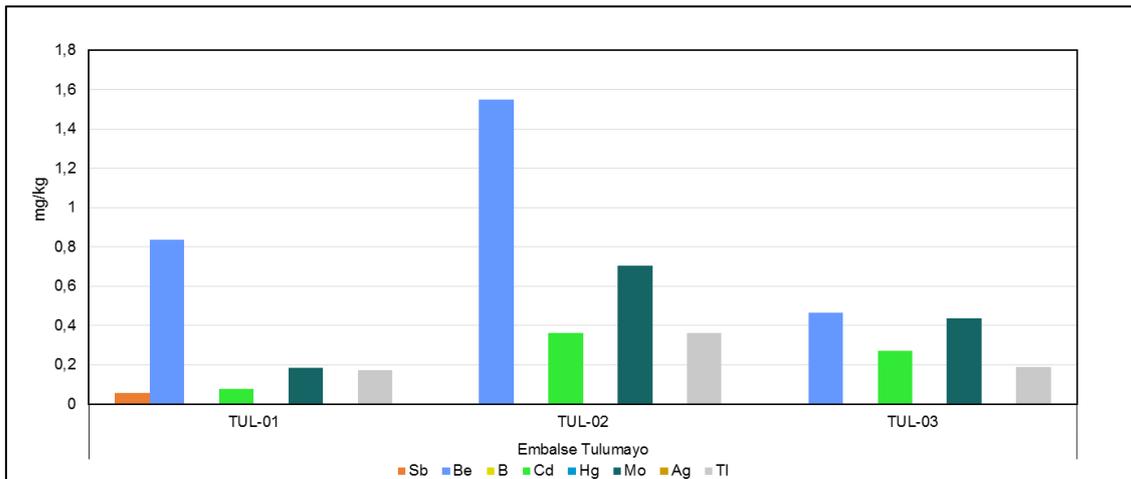


Figura 6.28. Concentraciones de elementos trazas en sedimento en el embalse Tulumayo, en agosto de 2022

B. Comparación de la concentración de metales en sedimento del embalse Tulumayo con los estándares de la Guía de calidad ambiental canadiense para sedimento de aguas continentales

De los resultados se tiene que, en los sedimentos las concentraciones de arsénico en todos los puntos de muestreo estuvieron por encima del nivel ISQG de la guía canadiense y las de plomo y zinc solo en el punto TUL-02 por encima del mismo nivel.

En la Tabla 6.18 se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en el embalse Tulumayo, comparados con los valores ISQG y PEL de la guía canadiense.

Tabla 6.18. Resultados de metales en sedimentos del embalse Tulumayo comparados con los valores ISQG y PEL de la guía canadiense

Época de muestreo	Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
			Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Plomo	Zinc
			mg/kg PS						
Seca	TUL-01	Embalse Tulumayo	6,93	0,07842	6,4	8,962	<0,010	7,496	56
	TUL-02		16,5	0,36395	26	31,8	<0,010	39,1	125
	TUL-03		9,05	0,27306	14	22	<0,010	33,3	84
Guía canadiense - CEQG ^(a)		ISQG ^(b)	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
		PEL ^(c)	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater, 2002.

(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos para los macroinvertebrados bentónicos.

(c) Probable Effect Level (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos en los macroinvertebrados bentónicos.

 : Concentraciones que exceden el valor de ISQG

En la Figura 6.29 se observa la variación de concentración de arsénico comparados con los valores de la guía canadiense. Los valores obtenidos de arsénico estuvieron en un rango de 6,93 mg/kg a 16,5 mg/kg.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

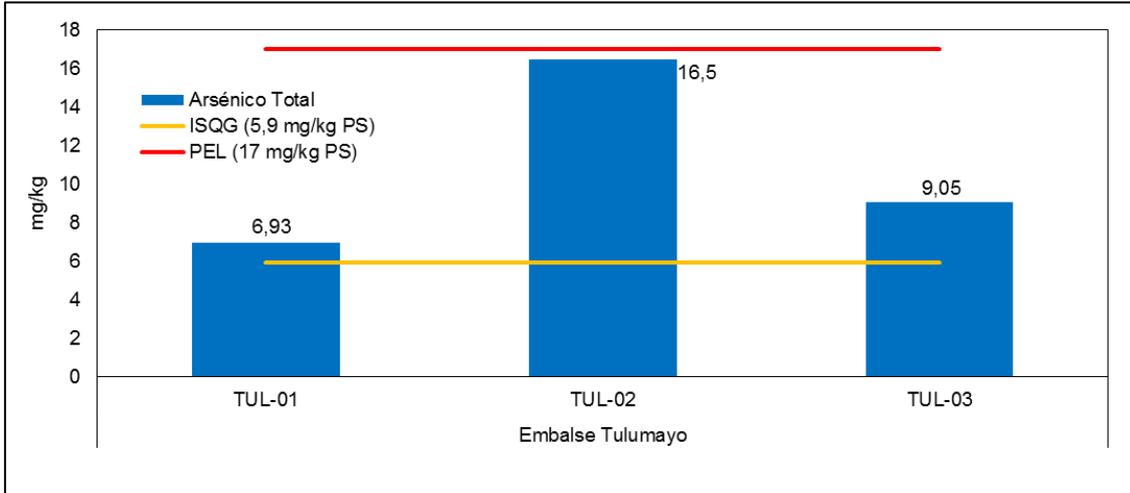


Figura 6.29. Variación de las concentraciones de arsénico en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022

Los resultados de plomo se encontraron entre 7,496 mg/kg y 39,1 mg/kg, su mayor concentración se encontró en el punto TUL-02 (Figura 6.30).

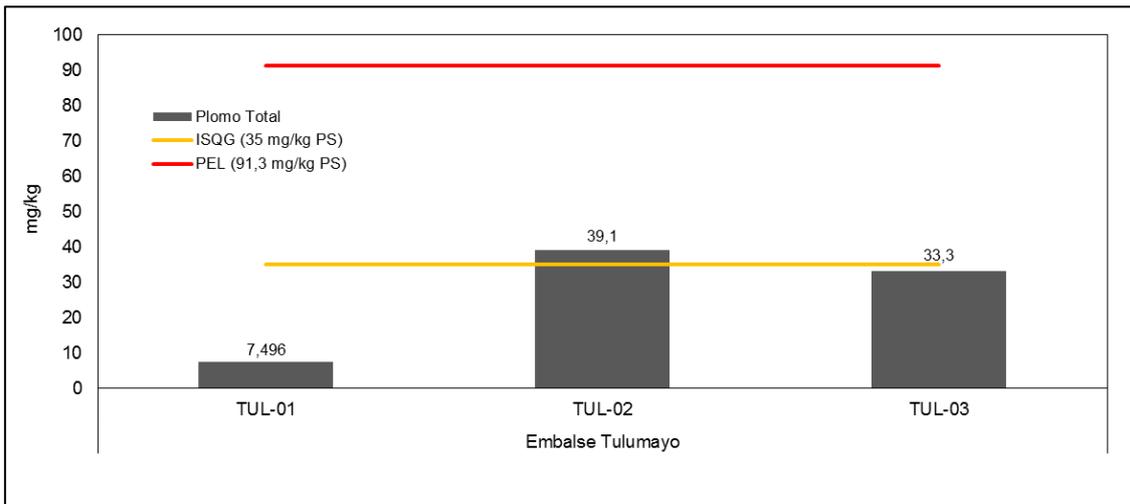


Figura 6.30. Variación de las concentraciones de plomo en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022

Las concentraciones de zinc se encontraron entre 56 mg/kg y 125 mg/kg, su mayor concentración se encontró en el punto TUL-02 (Figura 6.31).

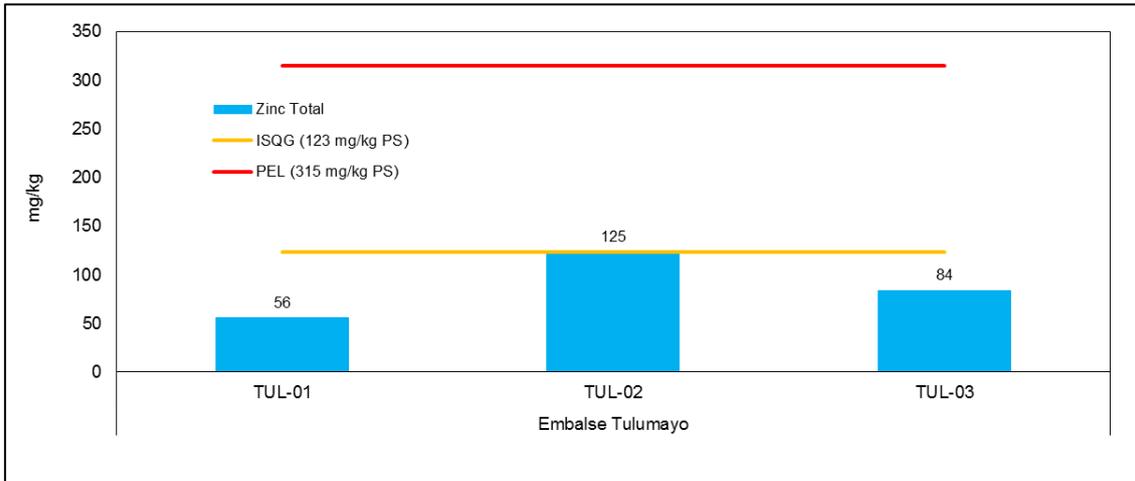


Figura 6.31. Variación de las concentraciones de zinc en sedimentos del embalse Tulumayo, en agosto de 2022

C. Materia orgánica

Los valores de materia orgánica en el sedimento en el embalse Tulumayo fueron menores al límite de cuantificación del laboratorio hasta 1,9 % (Figura 6.32).

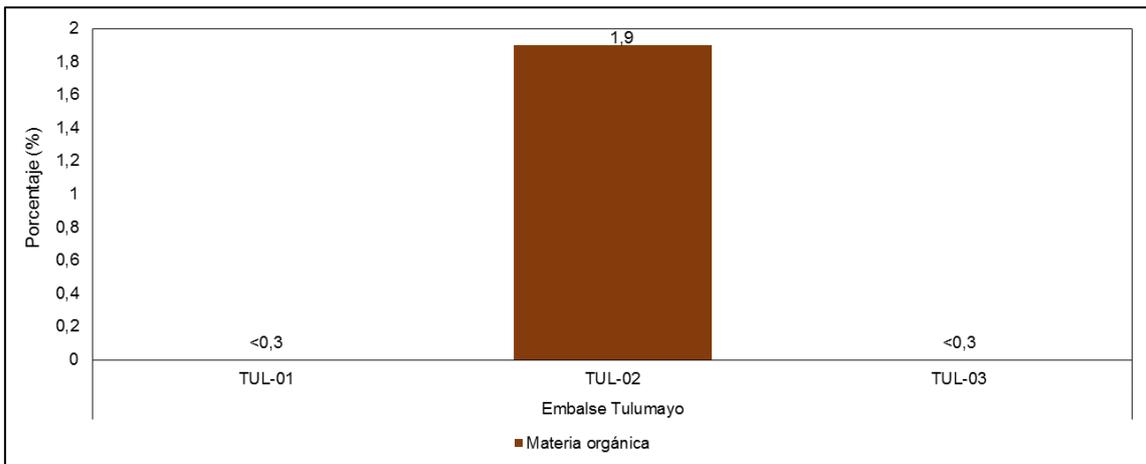


Figura 6.32. Porcentaje de materia orgánica de sedimento en el embalse Tulumayo, en agosto de 2022

D. Análisis granulométrico

Respecto al análisis granulométrico en el embalse Tulumayo, el punto TUL-03 mostró predominancia en arena, mientras que en el punto TUL-02 predominó los finos (limos y arcillas) (Figura 6.33).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

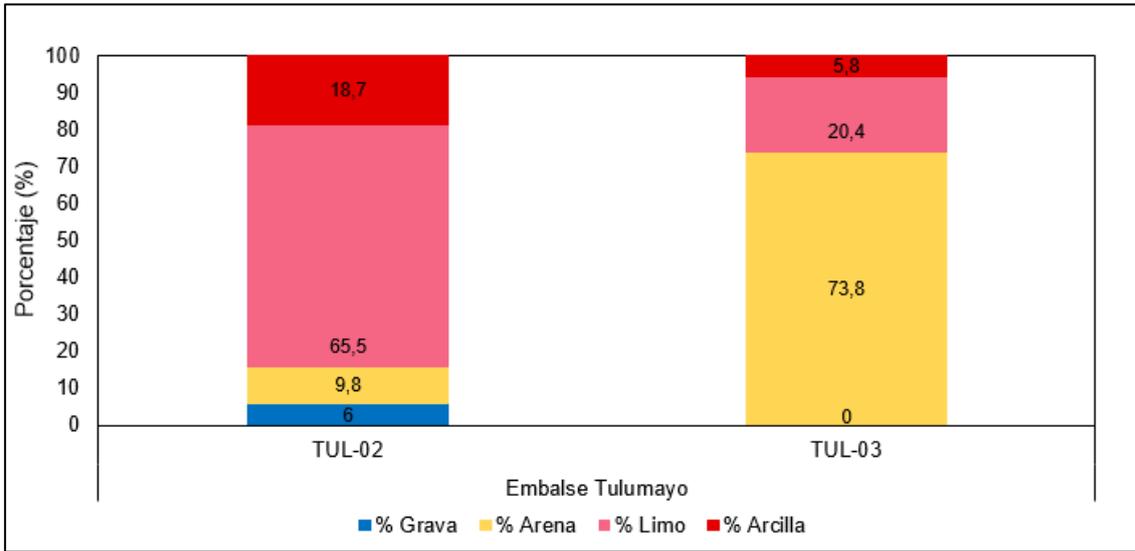


Figura 6.33. Porcentaje de grava, arena, limo y arcilla en sedimentos del embalse Tulumayo, agosto de 2022

A partir de los resultados obtenidos se generó las curvas granulométricas. Los puntos de muestreo de sedimento presentaron semejanzas en su granulometría hasta arena media; sin embargo, se aprecia que la masa pasante es mayor en el punto TUL-02 por el mayor porcentaje de finos (limo y arcilla) (Figura 6.34).

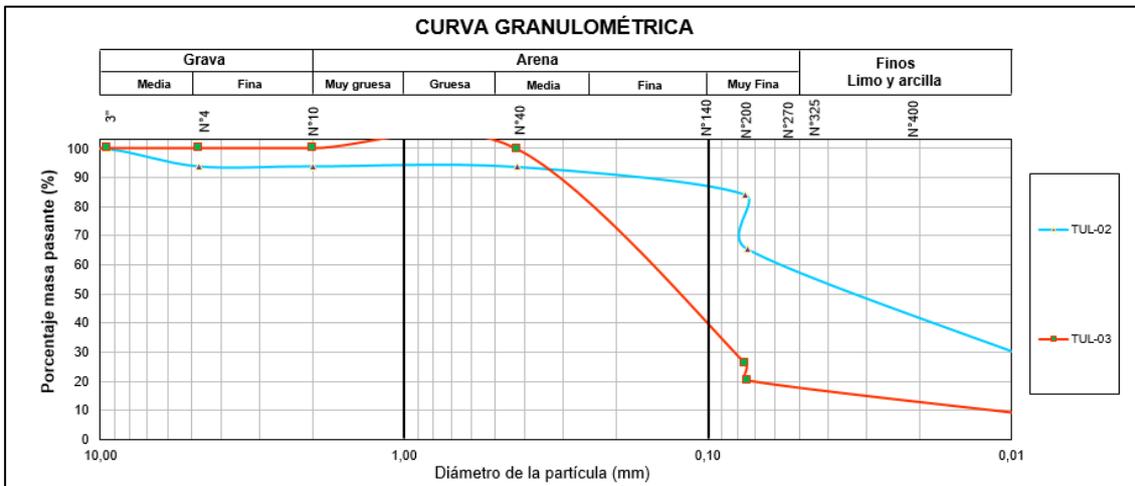


Figura 6.34. Curva granulométrica de sedimento en el embalse Tulumayo, en agosto de 2022

6.3.3. Comunidades hidrobiológicas

Se realizaron evaluaciones de plancton (fitoplancton y zooplancton).

A. Fitoplancton

Composición comunitaria del fitoplancton

La composición taxonómica de la comunidad de fitoplancton comprendió a 28 especies, de las cuales la mayor composición porcentual fue registrada por el phylum Bacillariophyta con



el 78,6 %, seguido de Cyanobacteria con el 14,3 %. El menor número de especies correspondió a los phyla Chlorophyta y Charophyta con el 3,6 % respectivamente. La composición comunitaria total para el fitoplancton se encuentra en la Tabla 6.19 y Figura 6.35

Tabla 6.19. Composición comunitaria total del fitoplancton en el embalse Tulumayo

Phylum	Morfoespecies	% Morfoespecies
Bacillariophyta	22	78,6
Cyanobacteria	4	14,3
Chlorophyta	1	3,6
Charophyta	1	3,6
Total	28	100,0

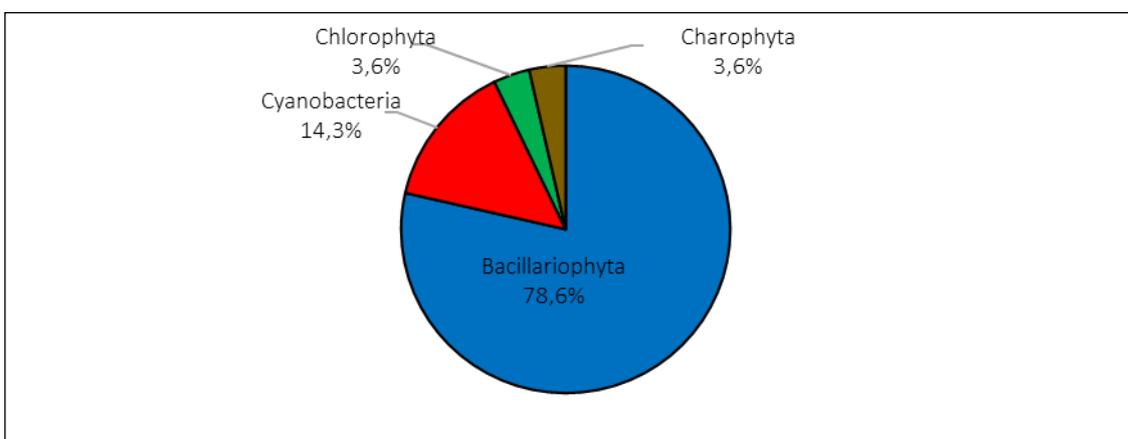


Figura 6.35. Distribución porcentual de la composición de especies por phylum del fitoplancton en el embalse Tulumayo

Riqueza del fitoplancton

La riqueza, en general, fue mayor en los puntos de muestreo en el estrato fondo, donde la riqueza fue de 20 para el punto TUL-01 (F) y 13 para el punto TUL-02 (F), seguidamente los puntos de superficie TUL-01 y TUL-02 presentaron 11 y 5 especies respectivamente. Se evaluó un solo punto en aguas intermedias denominado TUL-02 (M) con riqueza total de 10 (Tabla 6.20).

El phylum más frecuentes en los puntos de muestreo fue Bacillariophyta, desde 80 % en TUL-02 y TUL-02 (M) hasta 100 % en TUL-02 (F), en menor porcentaje estuvieron representadas las Cyanobacterias con variaciones entre 5 % en TUL-01 (F) y 20 % en los puntos TUL-02 y TUL-02 (M), el phylum Chlorophyta registrado solo en TUL-01 con 9,1 %; y, el phylum Charophyta presente solo en TUL-01 (F) con 5,0 %. En la Tabla 6.20 y Figura 6.36 se muestran la riqueza del fitoplancton.

Tabla 6.20. Riqueza del fitoplancton en el embalse Tulumayo

Phyla / Puntos	TUL-01	TUL-01 (F)	TUL-02	TUL-02 (M)	TUL-02 (F)
S-Bacillariophyta	9	18	4	8	13
S-Cyanobacteria	1	1	1	2	0
S-Chlorophyta	1	0	0	0	0
S-Charophyta	0	1	0	0	0
S-Total	11	20	5	10	13
%S-Bacillariophyta	81,8	90,0	80,0	80,0	100,0
%S-Cyanobacteria	9,1	5,0	20,0	20,0	0,0
%S-Chlorophyta	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0
%S-Charophyta	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

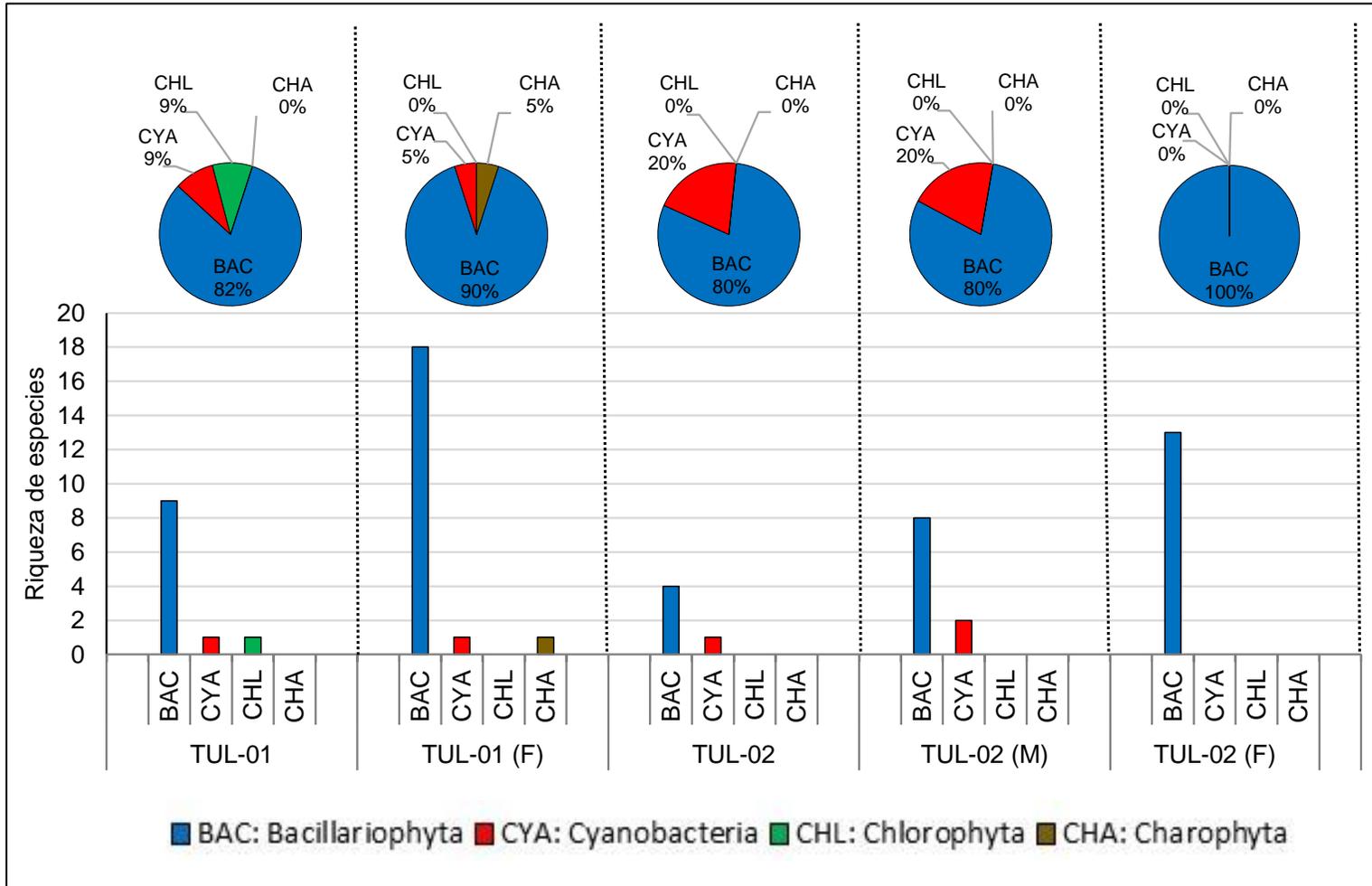


Figura 6.36. Distribución porcentual de la composición de especies por phylum del fitoplancton en el embalse Tulumayo



Abundancia del fitoplancton

La abundancia fue mayor en el punto TUL-01 (F) con 66500 organismos, seguidos de TUL-01 con 23000 organismos y TUL-02 (F) con 21500 organismos; TUL-02 (M) registró un total de 14500 organismos mientras que TUL-02 registró la menor cantidad con 3500 organismos (Tabla 6.21).

El phylum más abundante en los puntos de muestreo ubicados en el embalse Tulumayo fue Bacillariophyta con el 98,5 % en TUL-01 (F) y 100 % en TUL-02 (F). La abundancia del phylum Cyanobacteria varió entre 0,8 % en TUL-01 (F) y 14,3 % en TUL-02, los phyla Chlorophyta y Charophyta tuvieron abundancias bajas y se representó con 2,2 % en TUL-01 y 0,8 % en TUL-01 (F) respectivamente. En la Tabla 6.21 y Figura 6.37 se muestra la abundancia del fitoplancton en el embalse Tulumayo.

Tabla 6.21. Abundancia por phylum del fitoplancton en el embalse Tulumayo

Phyla / Puntos	TUL-01	TUL-01 (F)	TUL-02	TUL-02 (M)	TUL-02 (F)
N-Bacillariophyta	22000	66500	3000	13500	21500
N-Cyanobacteria	500	500	500	1000	0
N-Chlorophyta	500	0	0	0	0
N-Charophyta	0	500	0	0	0
N-Total	23000	66500	3500	14500	21500
%N-Bacillariophyta	95,7	98,5	85,7	93,1	100,0
%N-Cyanobacteria	2,2	0,8	14,3	6,9	0,0
%N-Chlorophyta	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0
%N-Charophyta	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

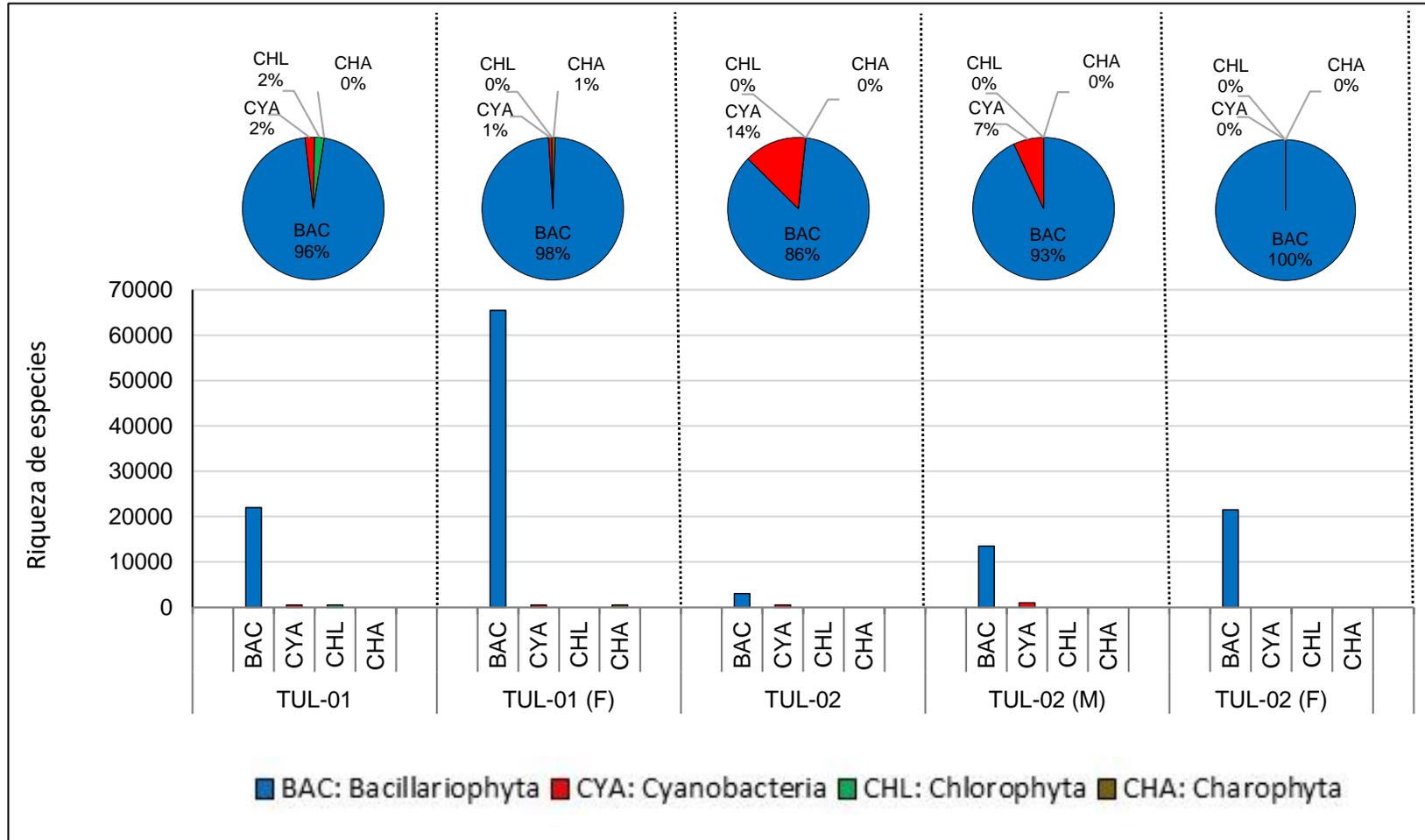


Figura 6.37. Abundancia por taxón del fitoplancton en el embalse Tulumayo



Índice de diversidad

Los puntos de muestreo con los mayores valores de dominancia según el índice Berger Parker (d) se registró en las estaciones TUL-01 con 0,457 unidades, seguido de TUL-02 (M) con 0,310 unidades; los valores de dominancia para las estaciones TUL-01 (F), TUL-02 (F) y TUL-02 superficie oscilaron entre 0,203 unidades y 0,286 unidades (Tabla 6.22 y Figura 6.38).

Los puntos de muestreo más diversos según el índice de Shannon-Wiener (H') se registraron en TUL-01 (F) y TUL-02 (F) con 2,509 nits/organismo y 2,168 nits/organismo respectivamente, seguido de TUL-02 (M) con 1,942 nits/organismo y TUL-01 con 1,777 nits/organismo; mientras que el punto de muestreo con menor diversidad se registró en TUL-02 con 1,550 nits/organismo (Tabla 6.22 y Figura 6.38).

Tabla 6.22. Índices de diversidad para el fitoplancton en el embalse Tulumayo

Índices de diversidad	Índice de Berger Parker	Índice de Shannon-Wiener
	(d)	(H')
TUL-01	0,457	1,777
TUL-01 (F)	0,203	2,509
TUL-02	0,286	1,550
TUL-02 (M)	0,310	1,942
TUL-02 (F)	0,233	2,168

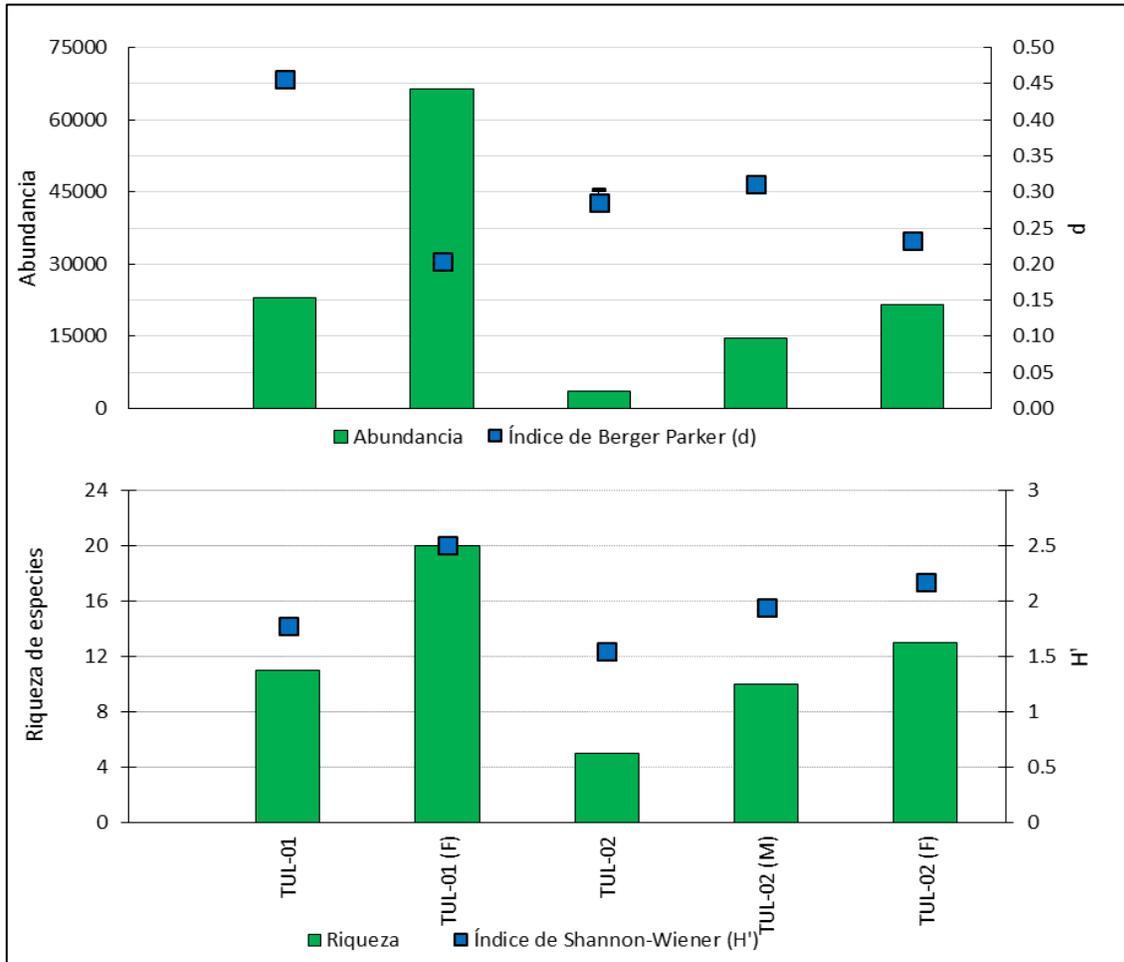


Figura 6.38. Índices de diversidad del fitoplancton en el embalse Tulumayo.

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

Multivariado

La construcción de las 2 dimensiones del escalamiento multidimensional no métrico (Figura 6.39) basado en el índice de similitud de Bray-Curtis entre los puntos de muestreo (Tabla 6.23) permitió visualizar la relación de la estructura comunitaria del fitoplancton por puntos de muestreo. Se observó que los puntos TUL-01 (F) y TUL-02 (F) se encontraron agrupados mostrando un patrón de similitud en su comunidad de hasta 50 %; asimismo se observó que los puntos TUL-01 (F), TUL-02 (F) y TUL-01 presentaron una similitud en su comunidad del 45 % mientras que las comunidades fitoplanctónicas de los puntos TUL-02 y TUL-02 (M) formaron grupos independientes.

Tabla 6.23. Índice de similitud de Bray-Curtis para fitoplancton en el embalse Tulumayo.

Punto de muestreo	TUL-01	TUL-01 (F)	TUL-02	TUL-02 (M)	TUL-02 (F)
TUL-01	100,000				
TUL-01 (F)	49,353	100,000			
TUL-02	35,220	19,034	100,000		



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

Table with 6 columns: Punto de muestreo, TUL-01, TUL-01 (F), TUL-02, TUL-02 (M), TUL-02 (F). Rows show abundance values for different sampling points.

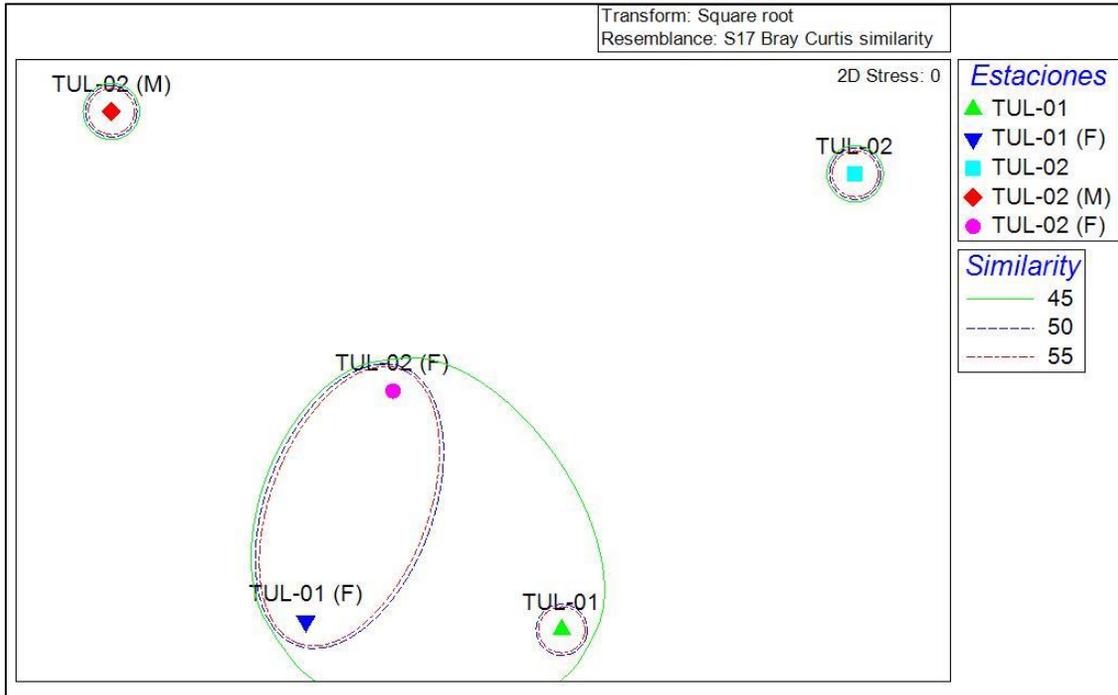


Figura 6.39. Escalamiento multidimensional no métrico para la comunidad de fitoplancton en el embalse Tulumayo

B. Zooplancton

Solo se registró la especie de zooplancton Euglypa tuberculata en el punto de muestreo TUL-02 (F) con una abundancia de 13 organismos/L.

6.3.4. Estado trófico del embalse Tulumayo

Para determinar el estado trófico, se evaluaron 2 puntos de muestreo de agua superficial en el embalse Tulumayo (TUL-01 y TUL-02) a diferentes profundidades (superficie, medio y fondo). En la Tabla 6.24 se muestran los resultados obtenidos de campo y los reportados por el laboratorio del embalse Tulumayo, donde los parámetros de clorofila A y fósforo total presentaron valores menores al límite de cuantificación de laboratorio; razón por la cual no se pudo calcular el índice del estado trófico (TSI). Además, los resultados de fosfato, nitrato y nitrógeno total presentaron bajos valores de concentración.

**Tabla 6.24.** Resultados de parámetros de campo y laboratorio del embalse Tulumayo

Puntos de muestreo	Profundidades	Parámetros									
		pH (Unidad de pH)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	OD (mg/L)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidez (NTU)	Fósforo total (mg/L)	Clorofila A (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrógeno total (mg/L)	Nitrato (mg/L)
TUL-01	Superficie (0 m)	7,89	177,3	8,23	21,0	2,17	<0,010	<0,005	<0,010	<0,120	0,75
TUL-01 (F)	Fondo (2 m)	7,72	173,1	8,25	19,6	-	-	-	0,011	-	0,63
TUL-02	Superficie (0m)	7,79	166,5	8,25	20,6	8,83	<0,010	<0,005	<0,010	<0,120	1,01
TUL-02 (M)	Medio (6 m)	7,83	165,6	7,43	18,3	4,72	-	-	<0,010	-	0,69
TUL-02 (F)	Fondo (13 m)	7,70	158,2	8,42	18,7	12,8	-	-	<0,010	-	0,78

6.4. Objetivo específico 4: Evaluar el impacto de la purga de sedimento del embalse Tulumayo en el río Tulumayo, durante el 2019, 2020 y 2021

A continuación, en las tablas 6.25 y 6.26 se presentan los resultados de parámetros fisicoquímicos y metales en las aguas del río Tulumayo reportados por el administrado en los años 2019, 2020 y 2021 (antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en el embalse Tulumayo); y lo obtenido por el OEFA en el año 2021 (antes y durante el desembalse).

Al respecto se reportaron valores de pH desde ligeramente alcalinos a alcalinos (7,57 unidades de pH a 8,26 unidades de pH), bajos valores de conductividad eléctrica (184,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 296,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$), arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, litio, magnesio, níquel plomo y zinc, en el agua superficial del río Tulumayo, que se encontraron dentro de lo establecido en los ECA para agua 2017 categoría 3, tanto en lo reportado por el administrado (2019, 2020 y 2021) y por el OEFA (2021), antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en el embalse Tulumayo.

Por el contrario, se reportaron altas concentraciones de aluminio, hierro y manganeso (puntos ESP-CAS-CHCHI-04-D3 a ESP-CAS-CHCHI-04-D8; y ESP-CAS-CHCHI-05-D5 a ESP-CAS-CHCHI-05-D8) en el río Tulumayo; además, de altas concentraciones de manganeso en los puntos ESP-CAS-CHCHI-04-D3 a ESP-CAS-CHCHI-04-D5 del mencionado río, que excedieron lo establecido en los ECA para agua 2017 categoría 3, de acuerdo a lo registrado por el OEFA en 2021 durante el desembalse de la presa Tulumayo.

También se reportaron elevadas concentraciones de hierro y manganeso en el río Tulumayo durante el desembalse de la presa Tulumayo en 2021 (puntos TU-01 y TU-02); además, de altas concentraciones de manganeso en el mencionado río durante la purga de sedimentos de 2020 (punto TU-01) y el desembalse de la presa Tulumayo en 2019 (puntos TU-02, TU-03 y TU-04) que excedieron los ECA para agua 2017 categoría 3, de acuerdo a lo reportado por el administrado.

**Tabla 6.25.** Valores de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos en el agua superficial del río Tulumayo, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo de la CH. Chimay obtenidos por el OEFA en 201 y su comparación con los ECA para agua 2017

Puntos de muestreo	Punto IGA	Cuerpo de agua	Purga o desembalse	Parámetros fisicoquímicos						Parámetros inorgánicos												
				pH	C.E. (µS/cm)	O.D. (mg/L)	Turbidez (NTU)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Li (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
ESP-CAS-CHCHI-04-A	TU-01	Río Tulumayo	Antes del desembalse 2021	7,62	274,00	8,68	3,59	163,00	6,00	0,08	0,01521	< 0,00001	< 0,00003	0,0046	< 0,001	0,18	0,065	5,57	0,05455	< 0,0009	< 0,00006	< 0,002
ESP-CAS-CHCHI-04-D3		Río Tulumayo	Durante el desembalse 2021	7,57	210,80	8,81	35,10	123,00	62,00	1,35	0,00579	< 0,00001	0,00092	< 0,0003	0,007	2,2	0,0495	4,25	0,24263	0,0011	0,00328	0,041
ESP-CAS-CHCHI-04-D4		Río Tulumayo		7,84	207,10	9,04	20,60	135,00	50,00	1,03	0,00551	< 0,00001	0,00067	< 0,0003	0,008	1,7	0,0488	4,06	0,20243	0,001	0,00245	0,049
ESP-CAS-CHCHI-04-D5		Río Tulumayo		7,58	201,40	8,79	41,60	124	134	2,31	0,0066	< 0,00001	0,00135	0,0013	0,004	4,2	0,0614	4,66	0,22096	0,0023	0,0051	0,045
ESP-CAS-CHCHI-04-D6		Río Tulumayo		7,57	212,20	8,27	398,00	138	1 636	30,1	0,03056	0,00061	0,02014	0,025	0,047	50	0,1149	19,7	1,3096	0,0345	0,05878	0,231
ESP-CAS-CHCHI-04-D7		Río Tulumayo		7,62	213,00	7,90	978,00	170	2 130	25,9	0,03143	0,00058	0,01689	0,0261	0,036	44	0,1165	18,8	1,4393	0,0336	0,06683	0,244
ESP-CAS-CHCHI-04-D8		Río Tulumayo		7,60	219,60	8,68	455,00	175	766	13,9	0,01847	0,00031	0,00873	0,0149	0,022	24	0,0786	10,8	0,69922	0,0148	0,03261	0,131
ESP-CAS-CHCHI-05-A	TU-02	Río Tulumayo	Antes del desembalse 2021	8,05	184,30	8,60	8,04	105	5	0,123	0,00506	< 0,00001	< 0,00003	< 0,0003	0,001	0,23	0,0312	3,3	0,03546	< 0,0009	< 0,00006	0,016
ESP-CAS-CHCHI-05-D4		Río Tulumayo	Durante el desembalse 2021	7,79	212,70	8,99	23,10	146	19	0,513	0,00464	< 0,00001	0,00036	< 0,0003	0,003	0,94	0,0449	3,94	0,18894	< 0,0009	0,00147	0,021
ESP-CAS-CHCHI-05-D5		Río Tulumayo		7,89	208,70	8,56	95,70	149	231	3,3	0,00795	< 0,00001	0,0021	0,0023	0,005	6,2	0,0538	5,2	0,29157	0,0031	0,00751	0,037
ESP-CAS-CHCHI-05-D6		Río Tulumayo		7,58	215,30	8,61	331,00	143	528	9,56	0,01787	0,00028	0,00608	0,0115	0,014	16	0,058	8,41	0,61537	0,0098	0,0252	0,104
ESP-CAS-CHCHI-05-D7		Río Tulumayo		7,68	207,50	8,43	864,00	138	1 400	18,5	0,02534	0,0004	0,01227	0,0232	0,028	32	0,0901	13	0,94481	0,02	0,04463	0,18
ESP-CAS-CHCHI-05-D8		Río Tulumayo		7,72	223,00	8,80	414,00	141	938	11,5	0,01691	0,00028	0,00779	0,0132	0,021	20	0,0758	9,76	0,64844	0,0121	0,02976	0,127
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua			D1: Riego de Vegetales	6,5 - 8,5	2500	≥ 4	-	-	-	5	0,10	0,01	0,05	0,2	0,1	5	2,5	-	0,2	0,2	0,05	2
D.S. N.º 004-2017-MINAM Categoría 3			D2: Bebida de Animales	6,5 - 8,4	5000	≥ 5	-	-	-	5	0,20	0,05	1	0,5	1	-	2,5	250	0,2	1	0,05	24

Fuente: Información extraída del Informe N. 00172-2021-OEFA/DEAM-STEAC del OEFA.

<: Menor al límite de cuantificación del método del laboratorio.

-: El ECA para agua 2017 - Categoría 3 no considera valores o concentraciones para este parámetro.

: Valores o concentraciones que se encuentran fuera del rango establecido o superaron el ECA para agua Categoría 3: Riego de Vegetales (agua para riego no restringido y agua para riego restringido).

: Valores o concentraciones que se encuentran fuera del rango establecido o superaron el ECA para agua Categoría 3: Riego de Vegetales (agua para riego no restringido y agua para riego restringido) y Bebida de Animales.

**Tabla 6.26.** Valores de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos en el agua superficial del río Tulumayo, antes, durante y después del desembalse o purga de sedimentos de la represa Tulumayo de la CH. Chimay, obtenidos por el administrado en el 2019, 2020 y 2021, y su comparación con los ECA para agua 2017

Puntos de muestreo	Cuerpo de agua	Purga o desembalse	Parámetros fisicoquímicos						Parámetros inorgánicos												
			pH	C.E. (µS/cm)	O.D. (mg/L)	Turbidez (NTU)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Sólidos Totales Suspendedos (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Li (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
TU-01	Río Tulumayo	Durante el Desembalse 2019	8,09	240,0	8,60	-	-	77,8	1,32270	0,0117	<0,0002	0,0010	0,0543	0,0032	2,09820	0,0432	6,1698	0,18810	<0,0004	0,0035	0,0139
TU-02	Río Tulumayo		8,33	231,0	8,66	-	-	12,1	1,76810	0,0106	<0,0002	0,0013	0,0272	0,0030	2,44260	0,0448	6,4186	0,24540	0,0005	0,0048	0,0168
TU-03	Río Tulumayo		8,22	229,0	8,54	-	-	50,4	1,28520	0,0078	<0,0002	0,0011	0,0065	0,0010	2,02420	0,0472	6,1456	0,23010	<0,0004	0,0062	0,0181
TU-04	Río Tulumayo		8,26	226,0	8,25	-	-	131,5	2,46890	0,0100	<0,0002	0,0015	0,0088	0,0037	3,69730	0,0454	6,3049	0,27870	0,0005	0,0070	0,0290
TU-01	Río Tulumayo	Antes de la purga sedimentos (desarenador) 2020	7,76	295,0	9,74	-	-	<3	0,07760	0,0116	<0,0002	<0,0002	0,0174	<0,0005	0,18370	0,0640	6,3487	0,04630	<0,0004	0,0006	0,0090
TU-01	Río Tulumayo	Durante la purga sedimentos (desarenador) 2020	7,91	296,0	8,18	-	-	118,0	1,10060	0,0120	<0,0002	0,0005	0,0269	0,0022	2,16030	0,0617	7,7286	0,21480	0,0007	0,0085	0,0175
TU-01	Río Tulumayo	Antes del desembalse 2021	-	-	-	-	-	10,2	0,20820	0,0179	<0,0002	0,0002	0,0236	0,0011	0,39790	0,0705	5,8990	0,06860	<0,0004	0,0092	0,0144
TU-02	Río Tulumayo		-	-	-	-	-	3	0,11030	0,0161	<0,0002	<0,0002	0,0510	<0,0005	0,16290	0,0647	5,5579	0,02250	<0,0004	0,0131	0,0192
TU-01	Río Tulumayo	Durante el desembalse 2021	-	-	-	-	-	268,7	2,63910	0,0080	<0,0002	0,0017	0,0087	0,0036	5,00430	0,0512	5,6994	0,30960	0,0023	0,0131	0,0268
TU-02	Río Tulumayo		-	-	-	-	-	73,2	1,20400	0,0068	<0,0002	0,0008	0,0031	0,0008	2,16670	0,0447	4,6805	0,18890	0,0009	0,0127	0,0203
TU-01	Río Tulumayo	Después del desembalse 2021	-	-	-	-	-	252,0	2,69920	0,0119	<0,0002	0,0021	0,0077	0,0035	5,31140	0,0473	6,1974	0,34650	0,0038	0,0176	0,0366
TU-02	Río Tulumayo		-	-	-	-	-	249,5	2,68710	0,0111	<0,0002	0,0023	0,0078	0,0035	5,44030	0,0480	6,4684	0,35400	0,0036	0,0195	0,0383
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua		D1: Riego de Vegetales	6,5 - 8,5	2500	≥ 4	-	-	-	5	0,10	0,01	0,05	0,2	0,1	5	2,5	-	0,2	0,2	0,05	2
D.S. N.º 004-2017-MINAM Categoría 3		D2: Bebida de Animales	6,5 - 8,4	5000	≥ 5	-	-	-	5	0,20	0,05	1	0,5	1	-	2,5	250	0,2	1	0,05	24

Fuente: Información extraída de los siguientes informes presentados por el administrado:

- a) «Evaluación ambiental en el área de influencia durante el desembalse de la presa Tulumayo setiembre de 2019» presentado mediante carta CH-AL-030-2019 (registro de OEFA 2019-E01-108249).
b) «Informe del proceso de descarga del desarenador N.º 4 de la Toma Tulumayo en la central hidroeléctrica de Chimay» presentado mediante carta N.º AAR-059-2020.
c) «Informe de evaluación ambiental de desembalse del embalse Tulumayo – setiembre 2021» presentado mediante carta N.º AAR-041-2021 (registro de OEFA 2021-E01-087688).

<: Menor al límite de cuantificación del método del laboratorio.

-: El ECA para agua 2017 - Categoría 3 no considera valores o concentraciones para este parámetro.

: Valores o concentraciones que se encuentran fuera del rango establecido o superaron el ECA para agua Categoría 3: Riego de Vegetales (agua para riego no restringido y agua para riego restringido).

: Valores o concentraciones que se encuentran fuera del rango establecido o superaron el ECA para agua Categoría 3: Riego de Vegetales (agua para riego no restringido y agua para riego restringido) y Bebida de Animales.



7. DISCUSIÓN

Se discuten los principales resultados obtenidos durante la EAC en el área de influencia de la C.H. Chimay de la Compañía Eléctrica Chinango S.A.C. (en adelante, Chinango). El análisis se complementó con información proporcionada por DSEM, el administrado, así como otras referencias citadas que permitieron evaluar los posibles riesgos hídricos del río Tulumayo relacionado a las actividades de operación de la C.H. Chimay.

7.1. Calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimentos y comunidades hidrobiológicas (perifiton y macroinvertebrados bentónicos) en el río Tulumayo del ámbito de la C.H. Chimay

Calidad de agua superficial

La calidad de agua superficial del río Tulumayo en el tramo de caudal reducido antes de la descarga de aguas turbinadas, fue influenciada por las lluvias que ocasionaron la erosión de los suelo y laderas, incrementando los sedimentos en suspensión, en la parte media (TUL-06 y TUL-07) y baja (TUL-08 y TUL-09), lo cual se evidenció por un incremento de las concentraciones de turbidez, sólidos totales suspendidos, y metales como aluminio, hierro, manganeso y zinc.

En las fotografías de la Figura 7.1 a, c y e, se observa los puntos de muestreo TUL-06, TUL-07 y TUL-08 sin influencia de lluvias (04-08-2022, 05-08-2022 y 06-08-2022). En esas fechas, las aguas eran transparentes y presentaron bajos valores de turbidez (16,2 NTU, 1,74 NTU y 3,28 NTU); en comparación con las fotografías b, d y f de los mismos puntos mencionados con influencia de lluvias (10-08-2022 y 12-08-2022) donde las aguas presentan coloración marrón y los resultados de turbidez fueron mayores (161 NTU, 178 NTU y 202 NTU), así como las concentraciones de sólidos totales suspendidos (315 mg/L, 142,3 mg/L y 288,3 mg/L).



Figura 7.1. Fotografías a, c y e de los puntos TUL-06, TUL-07 y TUL-08, sin presencia de lluvia; fotografías b, d y f de los puntos TUL-06, TUL-07 y TUL-08, con presencia de lluvia.

El punto TUL-09 ubicado aguas arriba de la descarga de aguas turbinadas, presentó similares características a los puntos mencionados (TUL-06, TUL-07 y TUL-08) como la coloración marrón, alto valor de turbidez (268 NTU) y sólidos totales suspendidos (161,5 mg/L). Mientras que, el punto TUL-10 ubicado aguas abajo de la descarga de aguas turbinadas presentó resultados bajos de turbidez (17,3 NTU) y sólidos totales suspendidos (18,3 mg/L), así como concentraciones bajas de metales (aluminio, hierro, manganeso y zinc) en comparación con el



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

TUL-09. Cabe indicar que los resultados de campo como de los parámetros analizados de laboratorio del punto TUL-10 y TUR-01 (aguas turbinadas) presentaron valores similares. Esto se debe a que las aguas turbinadas al provenir del proceso de embalse, donde se retiene los aportes de materiales en suspensión y los arrastres de sólidos transportados por los ríos según Flórez *et al.* 2018, presentaron menores valores de turbidez, sólidos totales en suspensión y metales, respecto a las características del punto TUL-09 donde el caudal es reducido (Figura 7.2 y Figura 7.3).

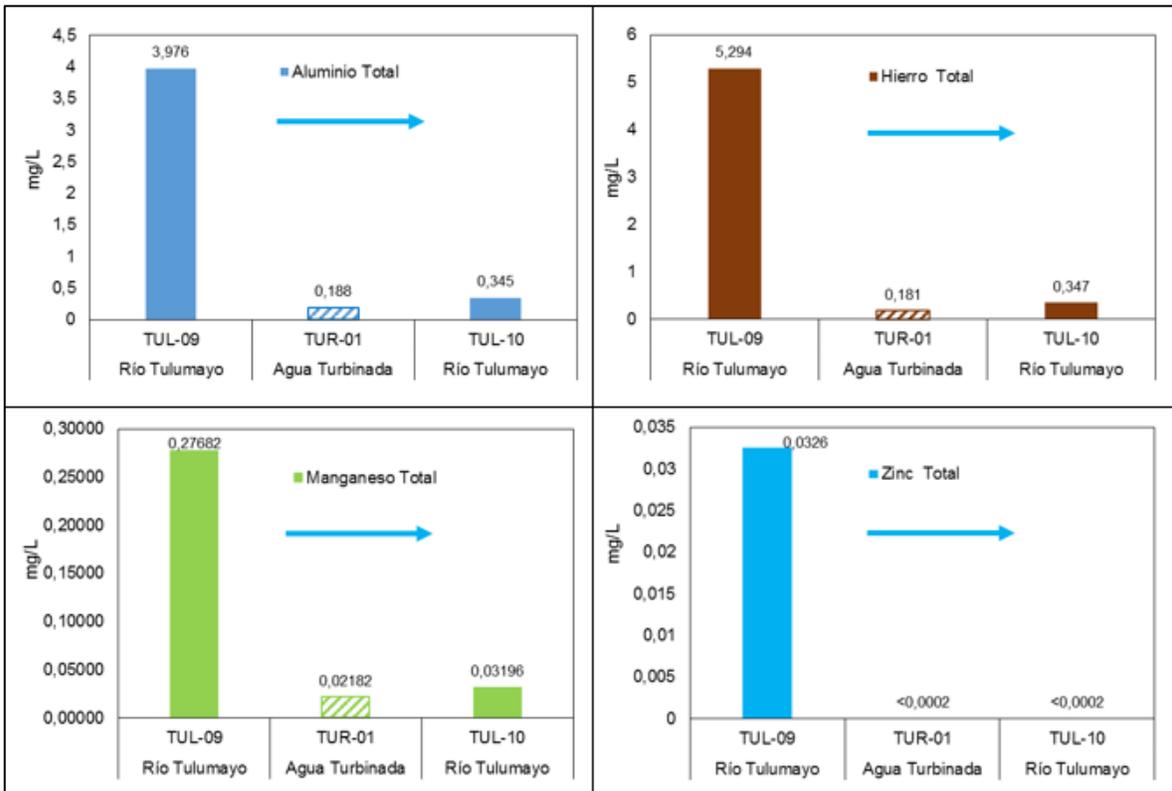


Figura 7.2. Concentraciones de aluminio, hierro, manganeso y zinc, de los puntos TUL-09, TUL-10 y TUR-01.

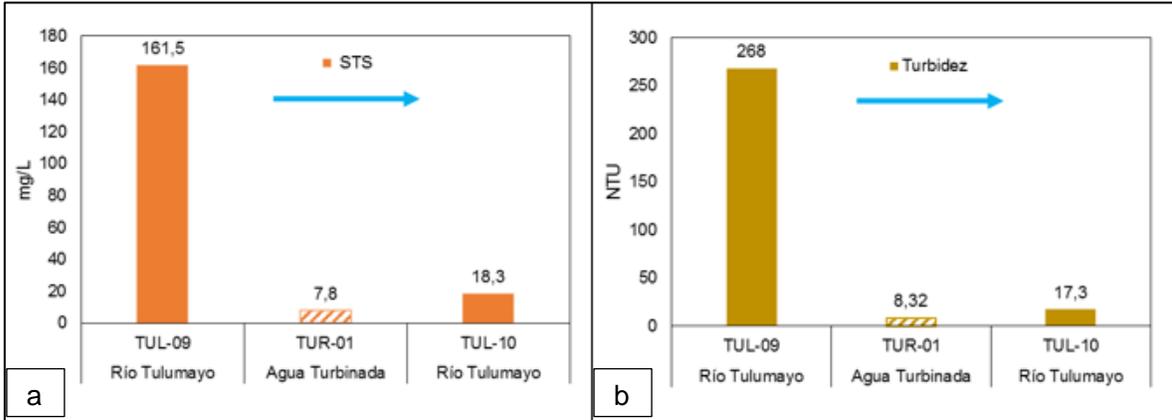


Figura 7.3. Concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS) en (a) y valores de turbidez en (b) de los puntos TUL-09, TUL-10 y TUR-01.

Asimismo, se realizó la comparación de los resultados obtenidos en los monitoreos trimestrales presentados por Chinango S.A.C., en el área de influencia de la central hidroeléctrica Chimay desde el cuarto trimestre de 2016 al segundo trimestre de 2022²⁵ para los puntos AA-EM-TU-01 del río Comas, los puntos TU-01 y TU-02 del río Tulumayo, y lo obtenido por el OEFA durante el 2021²⁶ (figuras 7.4, 7.5 y 7.6).

Como se aprecia en la Figura 7.4, solo hay variaciones asociadas a las temporadas de evaluación (estiaje y avenida) en las concentraciones de aluminio, hierro y manganeso en el río Comas, tanto para lo reportado por el administrado (2016 al 2022, punto AA-EM-TU-01) y a lo obtenido por el OEFA en 2021 (punto ESP-CAS-CHCHI-01) y 2022 (punto COM-01), donde los valores de estos metales se encuentran dentro de lo establecido en los ECA para agua (2017) categoría 3, subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales, a excepción de lo encontrado para el manganeso en enero, febrero y marzo de 2022 (administrado).

En la Figura 7.5, se puede evidenciar que las concentraciones de aluminio, hierro y manganeso para el punto TUL-05 se encontraron en el rango de los valores reportados por el administrado (2016 al 2022) y cumplieron los ECA para agua (2017) categoría 3; sin embargo, difieren de lo encontrado por el OEFA en 2021, debido a que se realizó durante el desembalse de la presa Tulumayo, la cual provocó un incremento de las concentraciones de los metales mencionados.

Por otro lado, en este estudio el punto TUL-06 tuvo altas concentraciones de aluminio, hierro y manganeso que excedieron los ECA para agua (2017) categoría 3, subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales. Estas concentraciones-difieren de lo reportado por el administrado (2016 al 2022), donde sólo se observan variaciones asociadas a las temporadas

²⁵ Monitoreos de caudal y hábitat en el área de influencia de la central Chimay, presentados por Chinango S.A.C. Cuarto trimestre de 2016; primer trimestre, segundo trimestre, tercer trimestre y cuarto trimestre de 2017; primer trimestre, segundo trimestre, tercer trimestre y cuarto trimestre de 2018; primer trimestre, segundo trimestre, tercer trimestre y cuarto trimestre de 2019; tercer trimestre y cuarto trimestre de 2020; primer trimestre, segundo trimestre, tercer trimestre y cuarto trimestre de 2021; primer y segundo trimestre de 2022.

²⁶ Informe N. 00172-2021-OEFA/DEAM-STEC del OEFA.



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 Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

de evaluación (estiaje y avenida), se asemejan a las concentraciones de aluminio, hierro y manganeso obtenidas en el 2021 durante Lo mencionado explica en parte el incremento de las concentraciones de ciertos metales (arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc) en las muestras de sedimento del río Tulumayo; específicamente, el arsénico se encontró en el sedimento de todos los puntos de los ríos Comas y Tulumayo, y su concentración excedió en algunos puntos evaluados los valores ISQG y PEL de la guía canadiense (Figura 7.7).

El río Comas, ubicado aguas arriba del embalse, presentó excedencia de los valores ISQG de la guía canadiense con un valor de 8,29 mg/kg en el punto COM-01, al igual que los puntos ubicados aguas abajo del embalse en el río Tulumayo (TUL-05, TUL-06, TUL-07 y TUL-08) con concentraciones de arsénico entre 6,29 mg/kg y 12,12 mg/kg. Particularmente, la concentración de arsénico en TUL-09 fue de 85,8 mg/kg excediendo el valor PEL de la guía canadiense. Cabe indicar que el arsénico no se está transportando a la columna de agua, debido a que los resultados para este parámetro en agua se encontraron por debajo del límite de cuantificación (<0,0010 mg/L).



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 Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

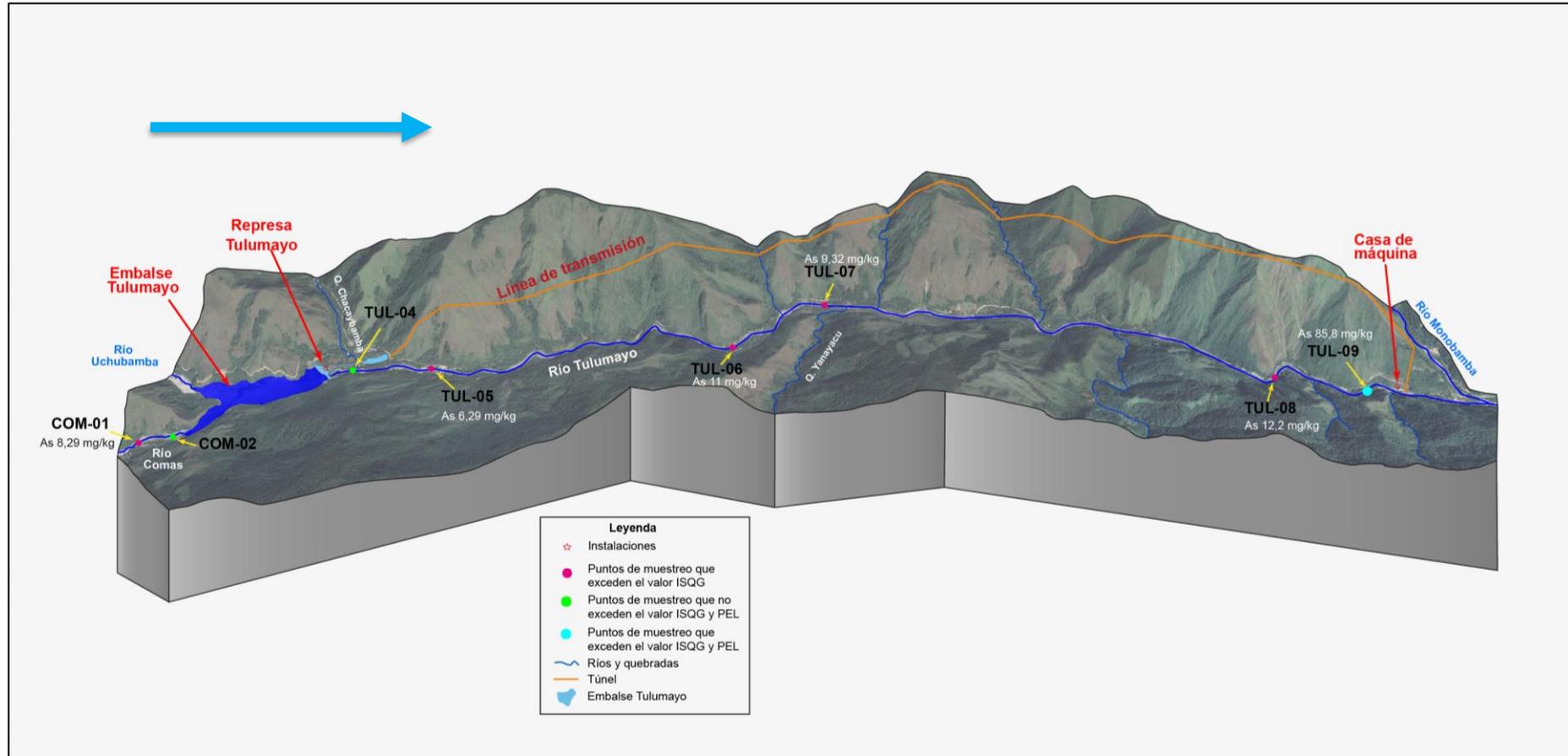


Figura 7.4. Concentraciones de arsénico en los sedimentos de los ríos Comas y Tulumayo en agosto de 2022



Comunidades hidrobiológicas (perifiton y macroinvertebrados bentónicos)

El análisis de correspondencia canónica (ACC) permitió relacionar las especies de microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos con las variables ambientales (Figura 7.8.a-b). La composición de especies de las microalgas del perifiton en el punto TUL-06 estuvieron asociadas con las variables fisicoquímicas de agua superficial como aluminio total, hierro total, manganeso total, zinc y sólidos totales suspendidos. La composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de los puntos TUL-04, TUL-05, TUL-07 y TUL-09 mostró una asociación con la concentración de arsénico total en sedimento, sólidos totales disueltos, temperatura y conductividad eléctrica. Mientras que la composición de especies de macroinvertebrados bentónicos de los puntos TUL-08 y COM-01 se encontró asociado con la concentración de zinc y plomo totales en sedimento, sólidos totales suspendidos, la concentración de zinc y manganeso totales en agua superficial.

A través de los índices de diversidad (Figura 6.20), el punto COM-02 ubicado en el río Comas, presentó una diversidad diferente a los demás puntos evaluados con mayor registro de especies del orden Ephemeroptera y Trichoptera dentro de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

Respecto a lo encontrado, algunas especies de los taxones Chironomidae y Clitellata se muestran más resistentes a las perturbaciones ambientales (Domínguez y Fernandez, 2009) como se observó en el río Tulumayo. La diversidad de especies registradas en el punto COM-02 en el río Comas estaría asociado a la saturación del oxígeno y disponibilidad de microhábitats (Roldán, 1999) encontrándose una alta riqueza del orden Ephemeroptera en este punto.

También se observó una tendencia a disminuir la riqueza de microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos hacia la parte baja del río Tulumayo en los puntos TUL-08 y TUL-09 en comparación a los puntos ubicados en la parte alta; además de que estos puntos estarían asociados por altas concentraciones de aluminio total, hierro y manganeso totales en el agua superficial.

Estos resultados muestran que las comunidades hidrobiológicas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos están relacionadas a las características fisicoquímicas del medio acuático dados por diversos factores, principalmente la temporalidad, donde eventos de lluvias e incrementos del caudal provocan movilización y desalojo de las comunidades hidrobiológicas desde las partes altas hacia las partes bajas de la cuenca (Fossati, *et al.*, 2001; Allan, 2004; Vásquez, *et al.*, 2014). Las características propias del ecosistema acuático: sustrato y suelo, relacionados a la geología estarían influenciando en la composición de especies de las comunidades hidrobiológicas (Allan y Castillo, 2007) a lo largo del tramo evaluado.



7.2. Comunidad ictiológica y población de *Creagrutus* sp. y *Rhamdia quelem* en el tramo de caudal ecológico del río Tulumayo directamente influenciada por la CH Chimay

Comunidad ictiológica

Las especies de peces registradas en el Estudio de hábitat y propuesta de caudal²⁷ precisan el *Trichomycterus* sp.; sin embargo, luego del muestreo de peces en campo no se encontró esta especie. Es posible que *Rhamdia quelem* haya sido confundida con *Trichomycterus* sp. durante la identificación de peces del estudio posiblemente a las limitaciones de información de esos años. Lo que nos inclina a pensar que sea *Rhamdia quelem* es la fotografía encontrada en el Estudio de caudal ecológico (Figura 7.9), ya que los barbicelos maxilares no son características de *Trichomycterus* sp. sino de *Rhamdia quelem*. Sin embargo, es posible encontrar *Trichomycterus* sp. y *Rhamdia quelem* durante los monitoreos de caudal y hábitat²⁸ del administrado. Otro aspecto para señalar es que durante los monitoreos de caudal y hábitat solo se envían muestras de perifiton, plancton y macrobentos para identificación en laboratorio, no enviándose muestras de peces; por lo que la identificación en campo puede ser imprecisa.

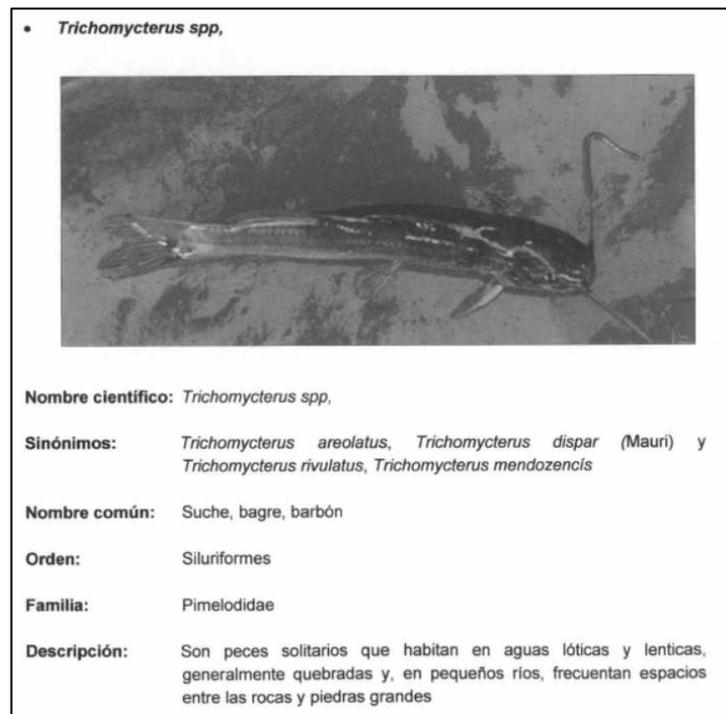


Figura 7.6. Estudio de hábitat y propuesta de caudal ecológico en el embalse Tulumayo (Pág. 4-104)

La técnica de pesca empleada por el administrado para los monitoreos es la atarraya, la misma que fue empleada en acompañamiento durante la EAC. Se observó una diferencia en la

²⁷ Estudio de hábitat y propuesta de caudal ecológico en el embalse Tulumayo realizado por Cesel Ingenieros S.A. realizado el 2002.

²⁸ Estudio de caudal y hábitat en el área de influencia de la central hidráulica de Chimay (monitoreos del 2016 al 2019).



cantidad de especies capturadas mediante la atarraya usada por el administrado y la electropesca usada por OEFA. Con el método de atarraya solo se capturó individuos de *Creagrutus* sp., sin embargo, con la electropesca se capturaron tanto individuos de *Creagrutus* sp. como individuos de *Loricariidae* indet., *Rhamdia quelem* y *Astroblepus* sp. Con respecto a abundancias, la mayor cantidad de individuos de *Creagrutus* sp., estuvo presente con atarraya en los puntos COM-01, TUL-04 y TUL-05, y con electropesca en los puntos TUL-07 y TUL-08 (Figura 7.10). Ambos métodos parecen ser efectivos para la pesca de *Creagrutus* sp., sin embargo, la atarraya mostró deficiencia de colecta para las especies restantes durante la EAC. El uso de la atarraya con el equipo de electropesca pueden ser complementarios para la colecta de peces, e incluso mejorar la eficiencia de captura si se agrega métodos adicionales (Edo y Susuki, 2003), de esta manera se obtiene una mejor representatividad de la comunidad ictiológica para fines de monitoreo que usando una sola herramienta. Herramientas con características similares a la atarraya son usadas en lugares con escasa o ninguna corriente (Portt *et al.*, 2006), además su eficiencia de captura disminuye con la velocidad de corriente para ciertas familias de peces Peterson y Rabeni (2001). Por otro lado, el equipo de electropesca puede ser usado en lugares con corriente mientras se mantenga la seguridad del operador.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

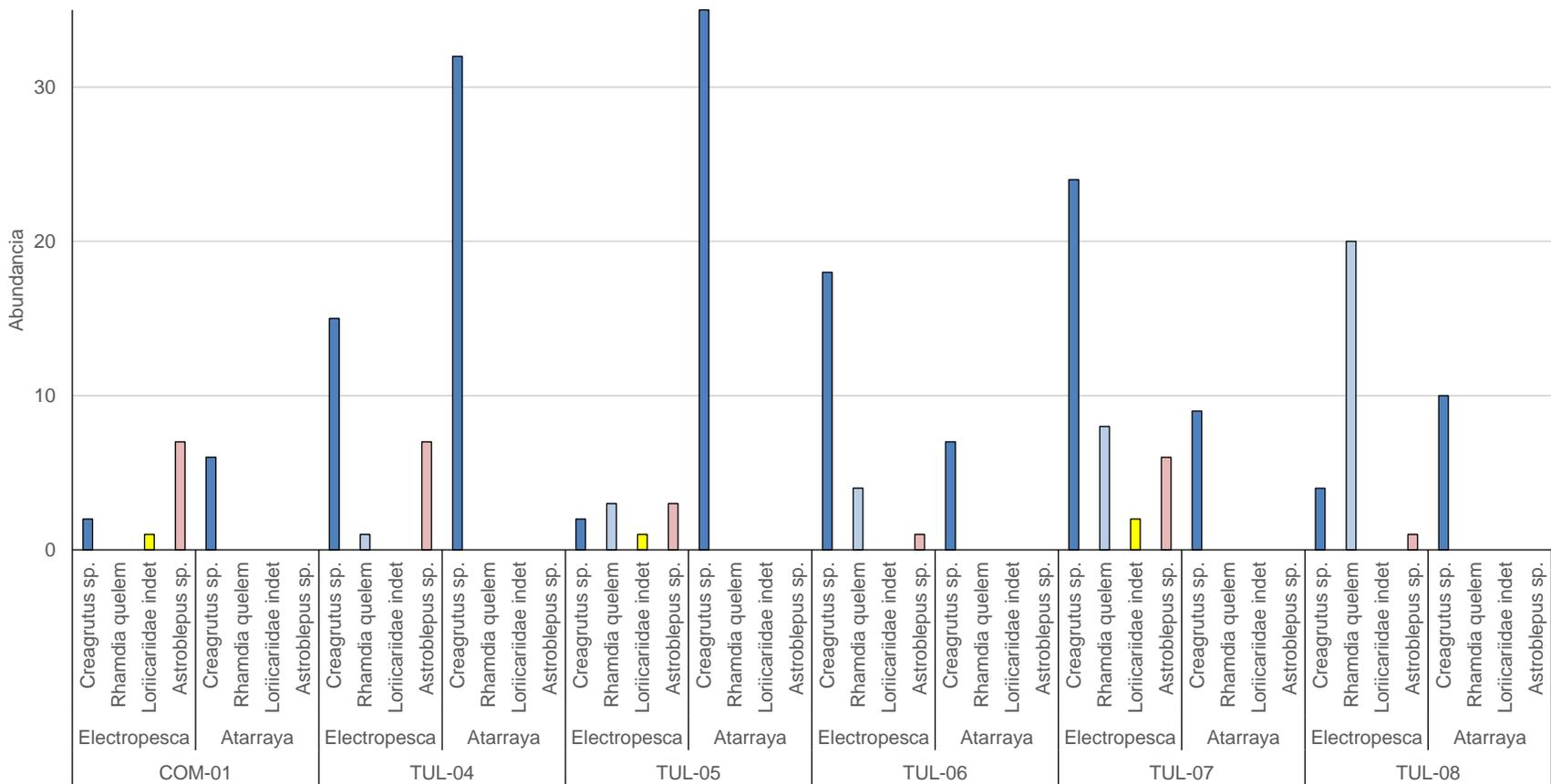


Figura 7.7. Pesca con atarraya y equipo de electropesca



Caudal ecológico

El caudal ecológico calculado por el administrado se desarrolló en el Estudio de hábitat y propuesta de caudal ecológico realizado el 2002²⁹, considerando el hábitat para alevines, juveniles y adultos de *Creagrutus* sp. y para alevines, juveniles y adultos de *Rhamdia quelem* (identificado como *Trichomycterus* sp. en el estudio). Después del análisis de exigencia de caudal de los estadios de estas 2 especies concluyen un caudal de 2,4 m³/s: «Como consecuencia de lo anterior y considerando las operaciones actuales del embalse Chimay, se concluye que el caudal mínimo ecológico es de 2,4 m³/s»³⁰. Además, de acuerdo con el Informe de supervisión N.º EDG-078-2008-10-02³¹ este es el caudal que debe aportar el embalse; sin embargo, hay una gama de caudales durante la época crítica como se describe en el estudio de caudal ecológico del administrado: «... se obtuvieron una gama de caudales mensuales que debe aportar el embalse a lo largo de los periodos de estiaje y medio para mantener el caudal mínimo ecológico»³². Esta gama de caudales que debe aportar el embalse se presenta en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Caudales mínimos ecológicos aportados por el embalse Chimay

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Aporte (m ³ /s)	0,85	1,10	0,57	1,36	1,21	1,07	0,85

Fuente: Estudio de Hábitat y propuesta de caudal ecológico en el Embalse Tulumayo-Diciembre. Edegel. Realizado el 2002 (págs. 6-29).

Se entiende que la gama de caudales es el aporte del embalse Chimay y no un valor puntual de 1 m³/s, aunque con fines prácticos posiblemente se planteó esta alternativa como se menciona en la Resolución de gerencia general de OSINERGIM: «... la concesionaria señaló que lo que aprobó la autoridad competente no es el caudal ecológico, sino que plantea que durante el estiaje las descargas complementan los caudales de aportes por afloramiento y quebradas, es decir, una gama de caudales mensuales que debe aportar el embalse a lo largo de los períodos de estiaje y medio para mantener el caudal mínimo ecológico, toda vez que en el estudio se concluye, al redondear el promedio de los aportes, que el valor a descargar en forma permanente es de 1 m³/s»³³.

Durante la EAC se observó que en los puntos: TUL-04, TUL-05, TUL-07 y TUL-08 no se llegaba al caudal ecológico calculado por el administrado de 2,4 m³/s; solo el punto de muestreo TUL-06 registro un caudal por encima de este valor (Figura 7.11). Incluso el punto con más aportes de quebradas (TUL-08) no llega a alcanzar el valor de caudal ecológico. En el caso del caudal del punto TUL-06, que tiene menos aportes, es posible que el incremento del caudal se deba a la activación de algunas quebradas durante el día de evaluación. El control del caudal por parte del administrado junto con el aporte de las quebradas aguas debajo de la represa Tulumayo estaría generando los caudales mencionados anteriormente.

29 Oficio N.º 3140-2010-MEM/AE que adjunta el Informe N.º 145-2010-MEM-AE/JOCW.

30 Estudio de Hábitat y propuesta de caudal ecológico en el Embalse Tulumayo-Diciembre. Edegel. Realizada el 2002. Pág. 6-18.

31 Resolución de gerencia general OSINERGIM N.º 038. Exp.2010-20.

32 Estudio de Hábitat y propuesta de caudal ecológico en el Embalse Tulumayo-Diciembre. Edegel. Realizada el 2002. Págs. 7-15 d.

33 Resolución de gerencia general OSINERGIM N.º 038. Exp.2010-20.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

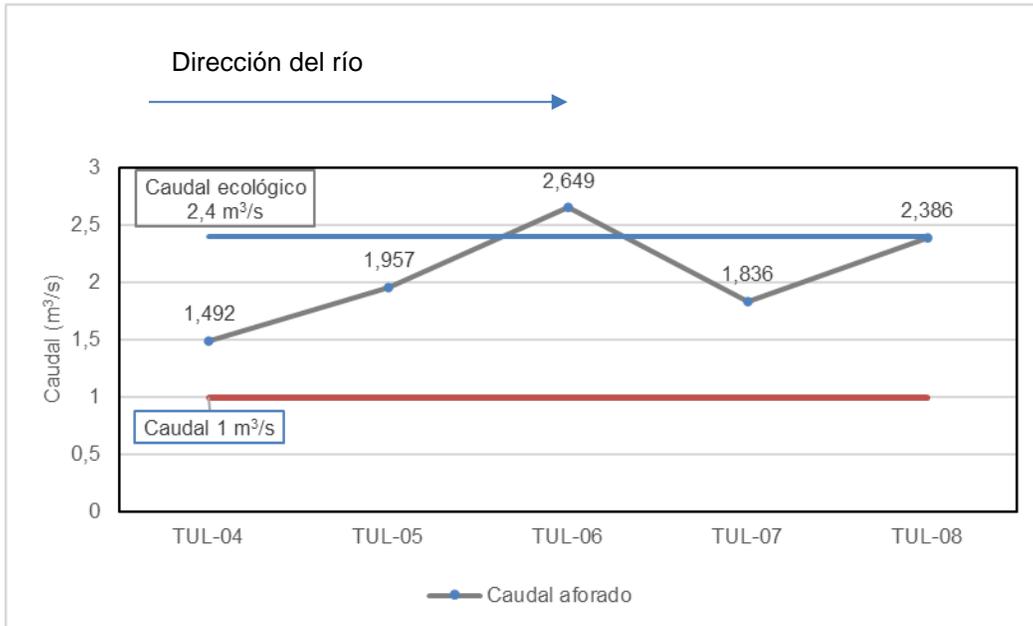


Figura 7.8. Caudales en el río y embalse Tulumayo comparados con el caudal ecológico calculado por el administrado

Los valores de caudal registrado por el administrado superan $1\text{m}^3/\text{s}$ y nos muestran un comportamiento similar: Durante julio, agosto y setiembre de 2018 se observó como la estación más cercana al embalse Tulumayo (TU-01) está por debajo del caudal ecológico, lo mismo ocurre para las estaciones del administrado TU-02 y TU-03, ubicados aguas abajo del embalse. En setiembre de 2017 se observó el mismo comportamiento, a lo igual que en julio, agosto y setiembre de 2018, 2019 y 2020, con excepción de agosto del 2019 donde parece haber un incremento ($< 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$) a partir de TU-02 y en julio de 2021 donde se alcanza $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ en TU-03. A partir de la estación TU-04 se observó que el caudal medido alcanza el valor del caudal ecológico (en todos los meses de 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021). De lo mencionado se puede decir que, en algunos años, por lo menos una tercera parte del río no llega a alcanzar este valor. (Figura 7.12).

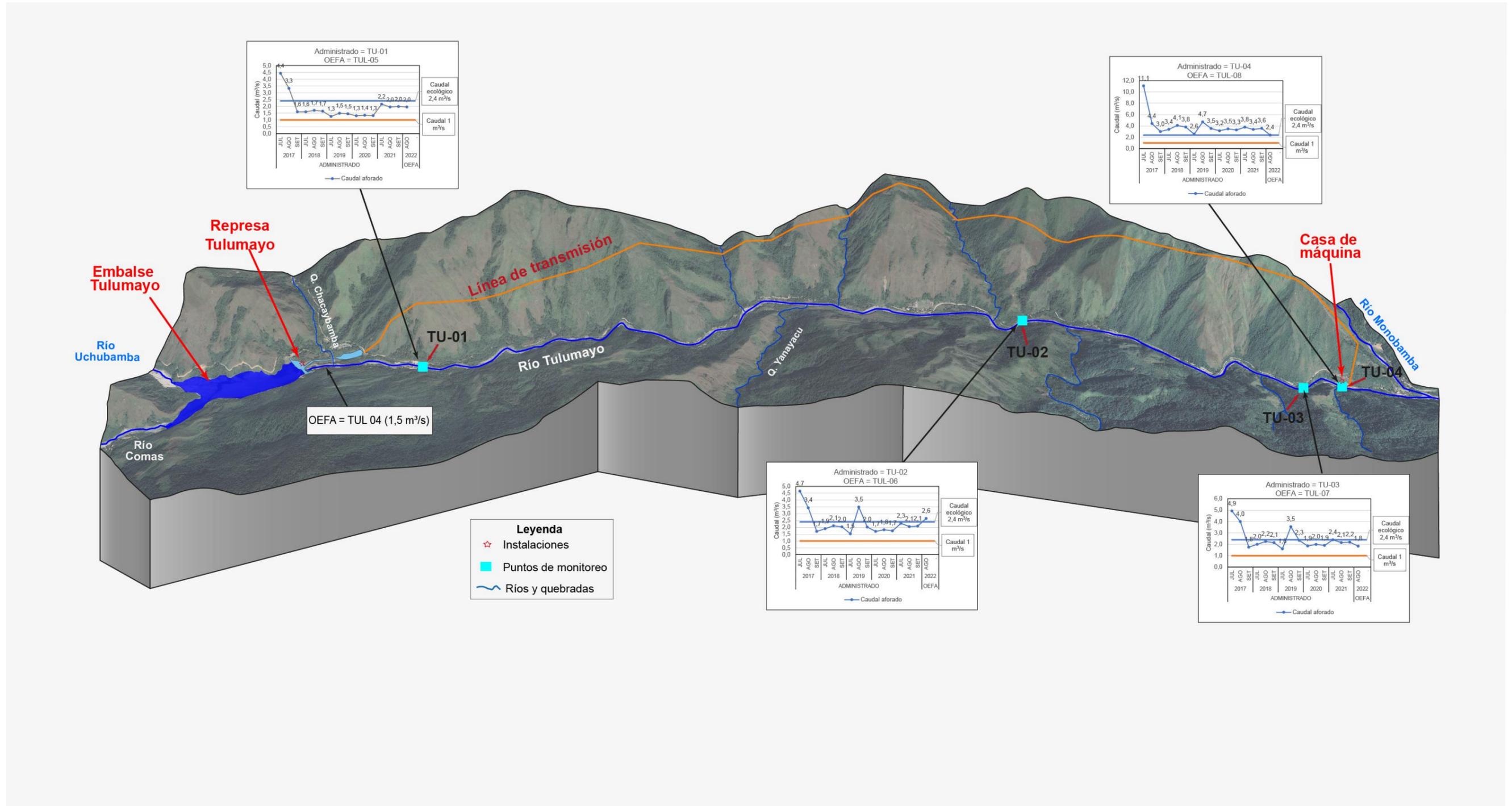


Figura 7.9. Caudales registrados por el administrado en las estaciones TU-01, TU-02, TU-03 y TU-04 en julio, agosto y setiembre de los años 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, y por el OEFA en el 2022



Población de *Creagrutus sp.* y *Rhamdia quelem*

Los análisis de correspondencias canónicas y análisis de correlación de Pearson (ítem 6.2.1, Figura 6.23) mostraron una asociación de la abundancia de *Creagrutus sp.* con oxígeno disuelto y caudal, ocurriendo lo mismo para *Rhamdia quelem* solo que en menor medida para el caudal. Evaluando datos de monitoreo del administrado³⁴ se obtuvieron valores del caudal y de abundancia para *Creagrutus peruanus* y *Rhamdia quelem*. Los datos permitieron evaluar el comportamiento de la abundancia de estas especies respecto al caudal, donde adicionalmente se coloca el valor de caudal de 1 m³/s que el administrado manifiesta como cumplimiento³⁵ y el valor de 2,4 m³/s, el cual aparece como caudal ecológico en el estudio del administrado³⁶ (Figura 7.13).

Se pudo observar que los valores de abundancia de *Creagrutus peruanus* variaron desde ningún individuo hasta 15 individuos tanto para caudales entre 1 m³/s y 2,4 m³/s como para los caudales por encima de 2,4 m³/s. Un pequeño pico de abundancia de 28 individuos ocurre en un caudal de 3,8 m³/s (círculo azul de la Figura 7.13). De la misma forma ocurre para *Rhamdia quelem* donde su abundancia varió entre 0 a 4 individuos para caudales entre 1 m³/s a 2,4 m³/s y para caudales por encima de 2,4 m³/s, con una particularidad de que los pocos picos de abundancia aparecen en caudales por encima de 2,4 m³/s (círculos azules en la Figura 7.13).

Para los datos de los monitoreos de julio, agosto y setiembre del 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021 no parece haber una correlación significativa entre el caudal y las abundancias de *Creagrutus peruanus* y *Rhamdia quelem* (Figura 7.13). Sin embargo, en base al análisis espacial del presente estudio se mostró una correlación negativa entre el caudal con *Creagrutus sp.* y una correlación positiva con *Rhamdia quelem* (Tabla 6.17). Esto se refleja en los gráficos de abundancia donde la menor abundancia de *Rhamdia quelem* estuvo en el punto con menor caudal (TUL-04) en comparación con un punto con mayor caudal (TUL-08), sin embargo, lo opuesto se observa para *Creagrutus sp.* donde una mayor abundancia se registró en TUL-04 en comparación con TUL-08 (Figura 6.22). Estas correlaciones y el registro de las abundancias parecen estar definidas adicionalmente por los hábitats de los puntos de muestreo, mostrando más pozas para la colonización de *Creagrutus sp.* en los puntos con poco caudal y más hábitats de corriente para la colonización de *Rhamdia quelem* en los puntos con mayor caudal (Lampert *et al.*, 2018)

Adicionalmente, es posible identificar que los registros de abundancia de los años más recientes (2020 y 2021) no alcanzan los valores de abundancia más altos como en los años 2017, 2018 y 2019 (cuadrado negro de la Figura 7.13), indicando una disminución de la abundancia en julio, agosto y setiembre de 2020 y 2021.

La variación en la abundancia de peces desde 2017 al 2021 puede estar ligada a la reducción del caudal junto con la interacción de otros factores como: la pérdida de hábitat producto de la reducción en las descargas anuales, el estrechamiento del canal y la homogenización del hábitat (Franssen *et al.*, 2014; Scott *et al.*, 2018). Estudios con décadas de información muestran que la reducción del caudal, actuando a una escala temporal y espacial más amplia, puede contribuir a la disminución de peces nativos (Pennock *et al.*,

³⁴ Monitoreo de caudal y hábitat (Tercer trimestre 2017, tercer trimestre 2018, tercer trimestre 2019, tercer trimestre 2020 y tercer trimestre 2021).

³⁵ Resolución de gerencia general OSINERGIM N.° 038. Exp.2010-20.

³⁶ Estudio de hábitat y propuesta de caudal ecológico en el embalse Tulumayo realizado por Cesel Ingenieros S.A. realizada el 2002.



2022), y aunque en el presente estudio solo se tiene información de 5 años, se pudo identificar una disminución a partir de 2020.

El análisis de tallas permite intuir factores de estrés para *Rhamdia quelem* en las estaciones con menor aporte de quebradas, ya que la distribución normal de tallas solo ocurrió en TUL-08. Sin embargo, ocurre lo contrario para *Creagrutus sp*, donde la distribución normal de tallas estuvo en el punto con menor aporte de quebradas (TUL-04) (Figura 6.24 y 6.25).

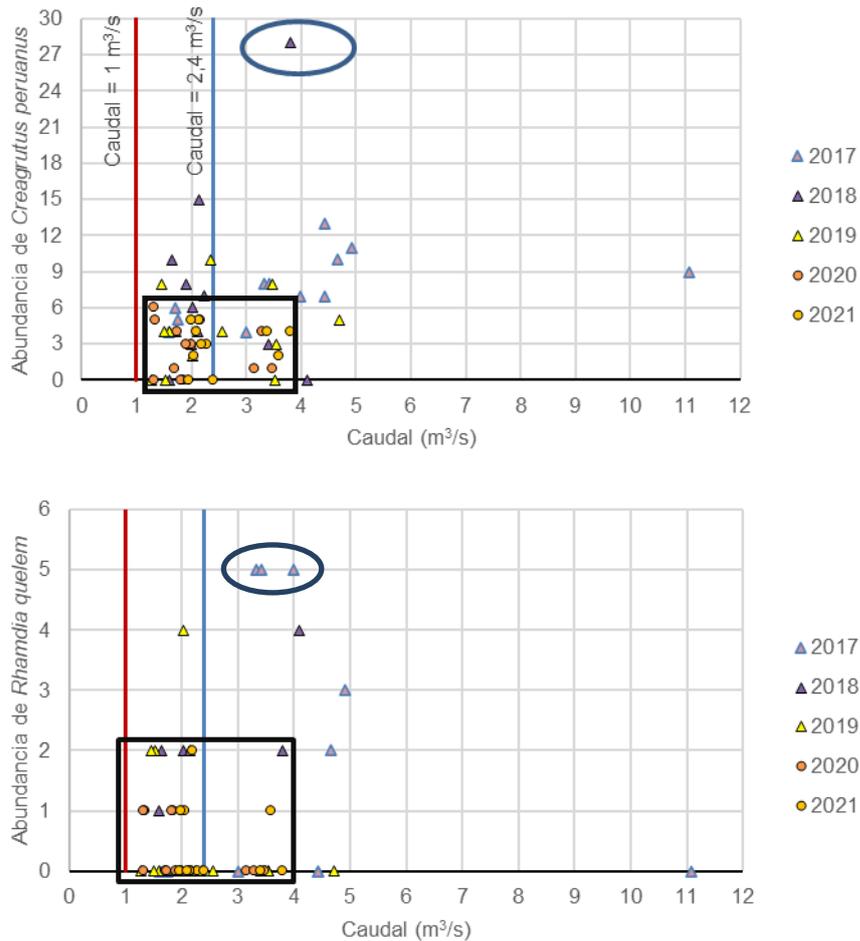


Figura 7.10. Análisis de regresión entre el caudal y las abundancias de *Creagrutus peruanus* y *Rhamdia quelem*

7.3. Calidad de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas (plancton) en el embalse Tulumayo

Los resultados obtenidos de agua superficial de los puntos evaluados en el embalse Tulumayo (TUL-01 y TUL-02) a diferentes profundidades; en superficie: TUL-01 y TUL-02, en medio: TUL-02 (M) y en fondo: TUL-01 (F) y TUL-02 (F), cumplieron con los VL-Reglamento de la LGA de la Clase VI, asimismo, dichos resultados no excedieron los valores de los ECA para Agua-2017 de la Cat.3.

De acuerdo con los resultados de análisis granulométrico, se observó diferencias en la acumulación de sedimento, en el punto TUL-03, predominó la arena y se encontró cerca al río Uchubamba, mientras que el punto TUL-02 predominó el material fino (limo y arcilla) y se ubicó al pie de la represa del embalse a una profundidad de 13 m. Según Flórez *et al.*, 2018, en los embalses existen diferencias en la acumulación de sedimento. Los limos se concentran en las zonas estancadas y más profundas mientras que las arenas en los afluentes, que coincide con lo observado en el embalse Tulumayo.

Además, también se presentaron diferencias en las concentraciones de metales que pueden explicarse por el proceso de sedimentación del embalse (Figura 7.14), donde la velocidad del flujo de agua disminuye con la distancia desde su punto de contacto, lo que origina una sedimentación diferencial de cada tamaño de partícula (Flórez *et al.*, 2018). Esto se observó en el embalse Tulumayo, donde las concentraciones de arsénico, plomo y zinc en el punto TUL-02 ubicado al pie de la presa, excedieron los valores ISQG de la guía canadiense y fueron mayores en comparación a los puntos TUL-01 y TUL-03 que se encontraron cerca a los afluentes del embalse (Figura 7.15)

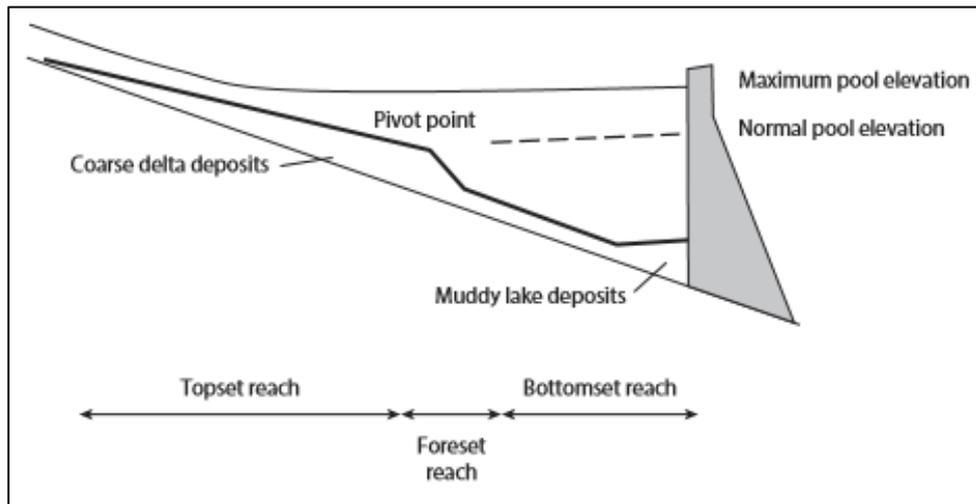


Figura 7.11. Forma típica de sedimentación de un embalse

Fuente: Annandale *et al.*, 2016

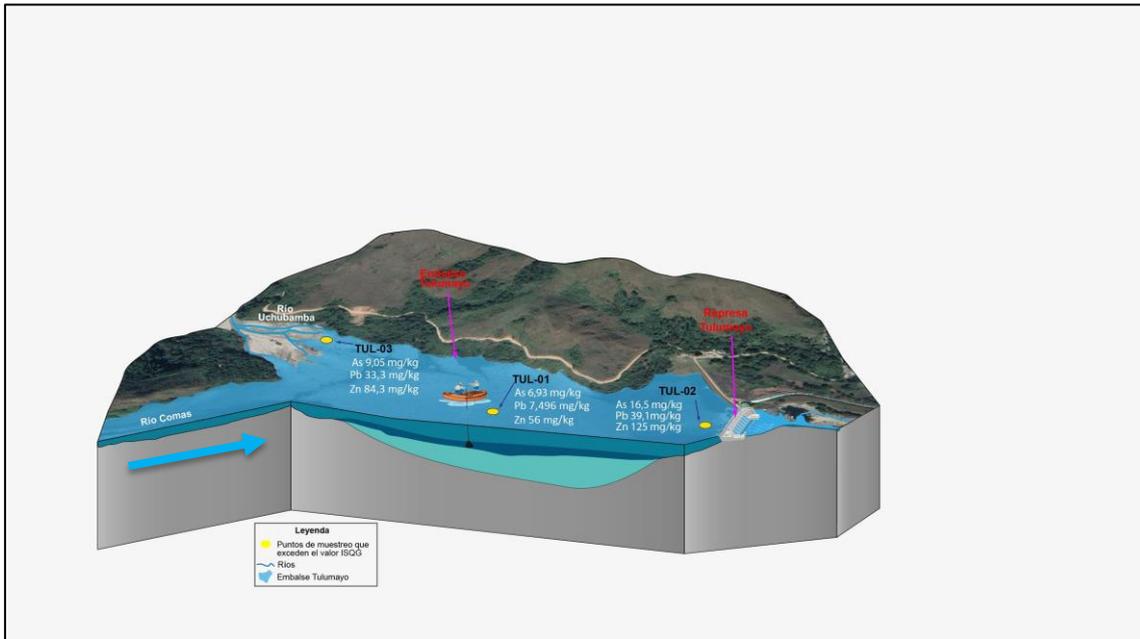


Figura 7.12. Concentraciones de arsénico, plomo y zinc en el embalse Tulumayo

Con respecto a las comunidades hidrobiológicas, las especies fitoplanctónicas muy abundantes en el embalse como *Melosira varians* y *Encyonema minutum* están relacionadas a condiciones eutróficas con alta tolerancia a nitratos (Kivrak y Uygun, 2012). Si bien no se encontró excedencias en los nitratos ni se observaron actividades ganaderas a los alrededores del embalse Tulumayo, se observaron actividades agrícolas como la quema de maleza (Figura 7.16) en la parte alta de la ladera derecha colindante al embalse Tulumayo.



Figura 7.13. Quema de maleza en la parte alta de la ladera derecha colindante al embalse Tulumayo



7.4. Purga de sedimentos del embalse Tulumayo

A continuación, se presenta un análisis de las concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS), hierro (Fe), aluminio (Al) y manganeso (Mn) en el río Tulumayo (Figuras 7.17, 7.18, 7.19 y 7.20) reportados por el administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en el embalse Tulumayo (2019, 2020 y 2021) y lo obtenido por el OEFA, antes y durante el desembalse (2021).

Se evidenció que hay un incremento de las concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS), en el río Tulumayo (puntos TU-01, TU-02, ESP-CAS-CHCHI-04 y ESP-CAS-CHCHI-05), durante y después de la purga de sedimentos (desarenador) y el desembalse en los años 2020 y 2021, tanto en los resultados del administrado y del OEFA (Figura 7.17), en comparación a lo reportado antes del inicio de las actividades de purga y desembalse.

Estas altas concentraciones de STS fueron: 118 mg/L, 252 mg/L (punto TU-01) y 268,7 mg/L (punto TU-02) reportados por el administrado; y de 2130 mg/L (punto ESP-CAS-CHCHI-04) y 1400 mg/L (punto ESP-CAS-CHCHI-05) obtenidos por el OEFA. Asimismo, el administrado reportó concentraciones de sólidos totales suspendidos en el río Tulumayo que variaron desde 12,1 mg/L hasta 131,5 mg/L durante el desembalse en el año 2019, con una alta concentración de este parámetro en el punto TU-04 (131,5 mg/L).

Lo mencionado anteriormente, contrastó a la condición encontrada antes del inicio de las actividades de purga de sedimentos y desembalse durante el 2020 y 2021, donde las concentraciones de sólidos totales suspendidos en el río Tulumayo fueron menores y estuvieron en el rango desde <3,0 mg/L hasta 10,2 mg/L, reportados por el administrado y el OEFA.



Según Weiner (2007) el agua superficial con alto contenido de sólidos en suspensión puede dañar la vida acuática al causar daño por abrasión, obstruir branquias de los peces, dañar lechos de desove y reducir la fotosíntesis al bloquear la penetración de la luz solar en la columna de agua. Estos efectos se habrían generado en el río Tulumayo (en puntos ubicados aguas abajo del embalse Tulumayo), en el cual se registraron altos valores de sólidos totales suspendidos que variaron desde 118 mg/L hasta 2130 mg/L, durante y después de las actividades de purga de sedimentos y desembalse en los años 2019, 2020 y 2021. Asimismo, los sólidos totales suspendidos (STS) incluyen partículas coloidales de oxihidróxidos de hierro y aluminio, así como partículas y otros compuestos de arcilla y limo (Favas *et al.*, 2016), los cuales tienen influencia en la dinámica de otros elementos presentes en el agua, principalmente en el transporte de arsénico y metales pesados debido a fenómenos de adsorción (Favas *et al.*, 2016); además de los efectos adversos sobre la calidad del agua y el impacto en los ecosistemas acuáticos mencionados previamente.

El mismo comportamiento se observó en las concentraciones de aluminio, hierro y manganeso, evidenciándose un incremento en las concentraciones de estos parámetros en el río Tulumayo, durante y después de la purga de sedimentos (desarenador) y el desembalse en los años 2020 y 2021, tanto en los resultados reportados por el administrado y el OEFA, donde las concentraciones de hierro (5,0043 mg/L a 5,4403 mg/L) y manganeso (0,2148 a 0,3540 mg/L) reportados por el administrado excedieron los ECA para agua (2017) subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales para el evento de desembalse del 2021. Asimismo, las concentraciones de aluminio (9,56 mg/L a 30,1 mg/L), hierro (6,2 mg/L a 50,0 mg/L) y manganeso (0,2916 mg/L a 1,4393 mg/L) registradas por el OEFA durante el desembalse del 2021 superaron lo establecido en la norma de comparación (ECA para agua 2017).

Estos resultados difieren de la condición encontrada antes del inicio de las actividades de purga de sedimentos y desembalse en los años 2020 y 2021, donde las concentraciones de aluminio, hierro y manganeso reportadas por el administrado y el OEFA en el río Tulumayo fueron menores.

En relación con el desembalse del 2019, también se evidencian altas concentraciones de manganeso (0,2301 mg/L a 0,2787 mg/L) reportadas por el administrado en el río Tulumayo que excedieron los ECA para agua (2017) subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales.

Se debe tener en cuenta que los embalses de presas son sitios típicos donde se favorece la acumulación de sedimentos (Vrhovnik *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2013); de hecho, son barreras físicas que limitan la transferencia natural de agua que permite la deposición de sedimentos (Friedl y Wüest, 2002). Además, cuando las condiciones fisicoquímicas permanecen estables, la movilidad y biodisponibilidad de los metales que pueden acumularse en los embalses son limitadas debido a su tendencia a asociarse con sedimentos. Sin embargo, al enfrentar cambios ambientales relacionados con el manejo del embalse, por ejemplo, apertura de válvulas de descarga; como el registrado en el desembalse de la represa Tulumayo, se puede generar cambios en las condiciones fisicoquímicas del sistema.

Esto incluye parámetros como la relación sólida/líquido en la columna de agua (Eggleton y Thomas, 2004), como lo evidenciado en las altas concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS) en el río Tulumayo, durante el desembalse de la represa, que tienen influencia en la liberación de metales previamente asociados con los sedimentos.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

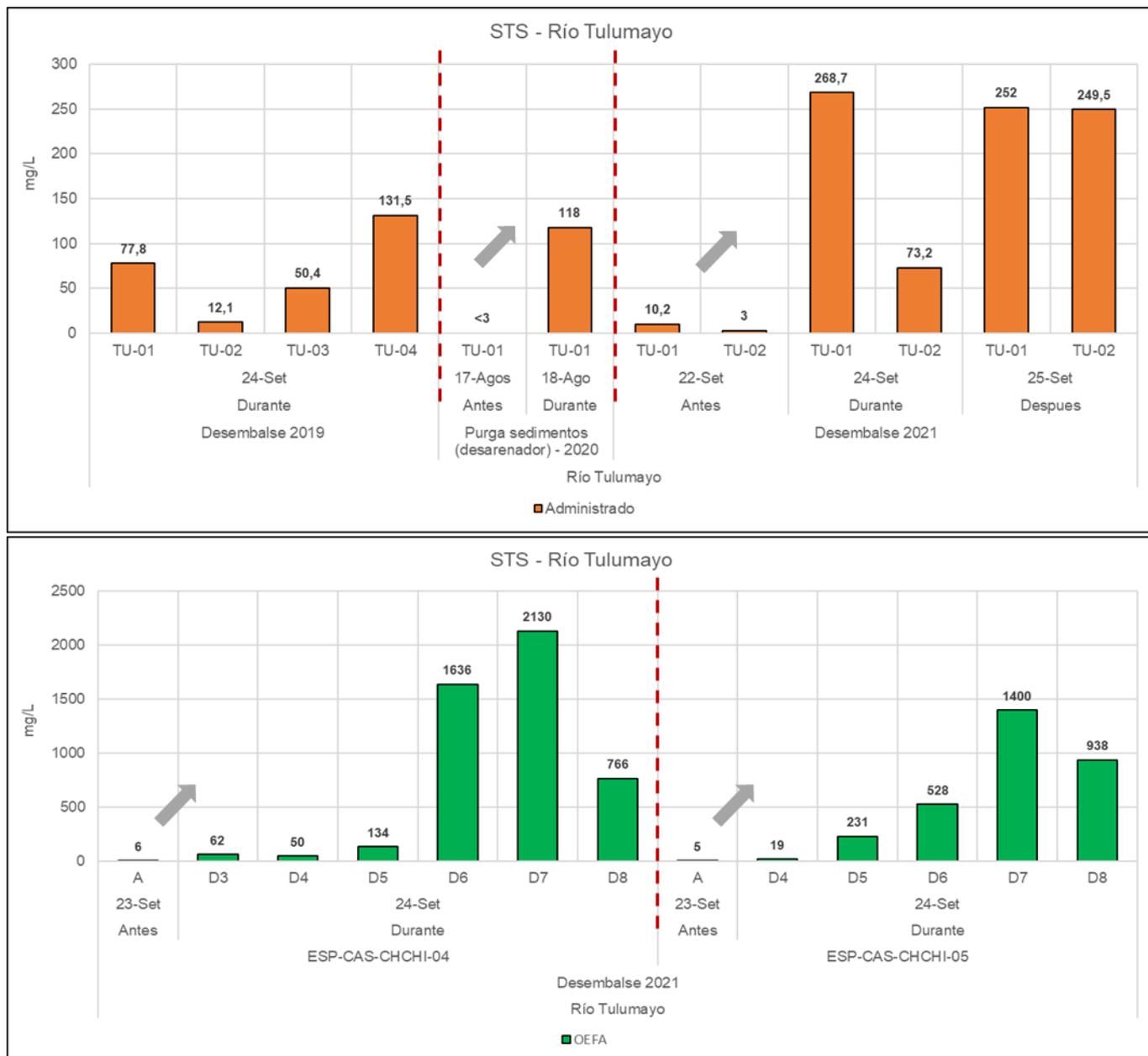


Figura 7.14. Concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS) en el río Tulumayo reportados por: a) Administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en la represa Tulumayo (2019, 2020 y 2021); y b) OEFA, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo (2021)



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

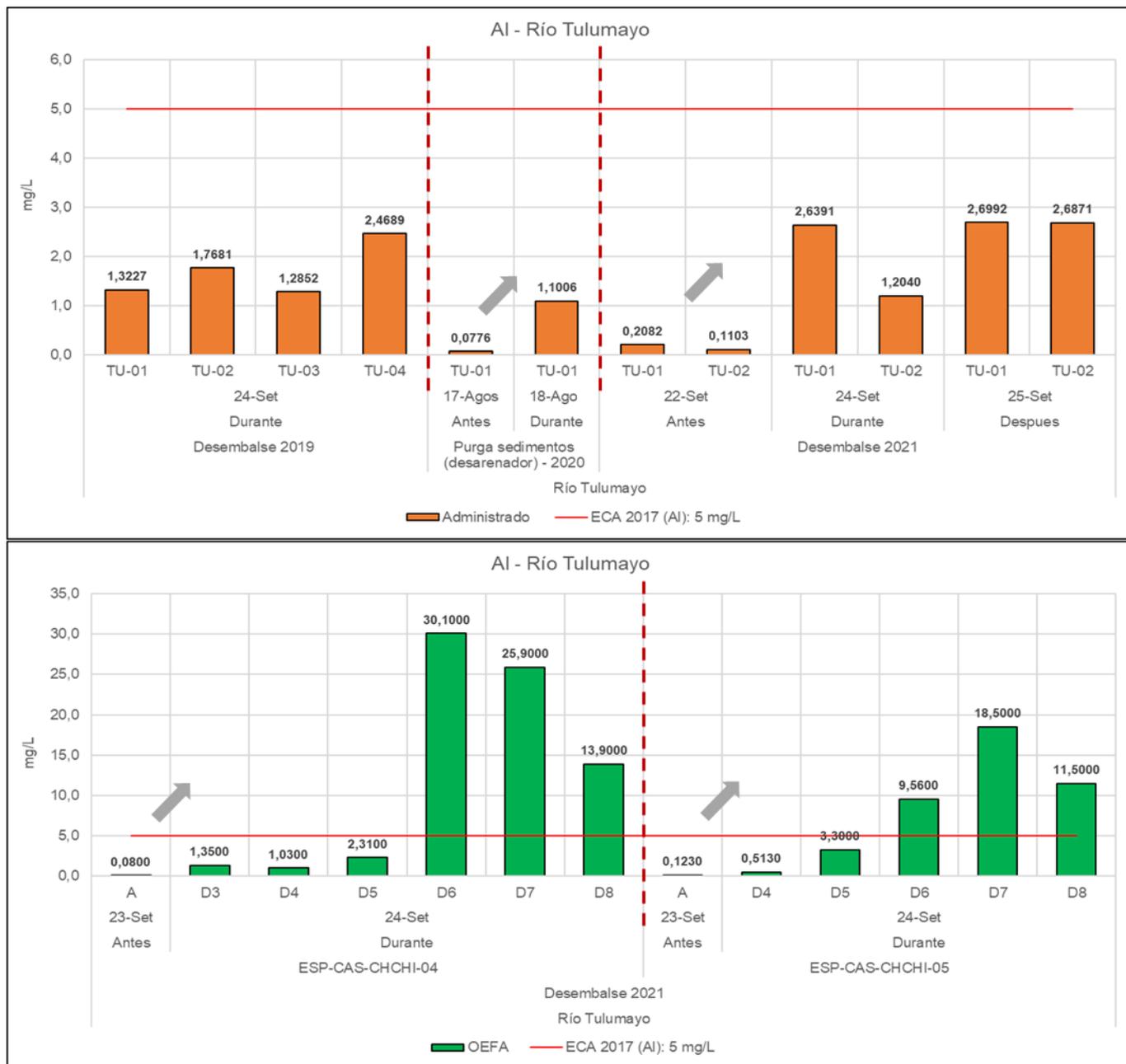


Figura 7.15. Concentraciones de aluminio en el río Tulumayo reportadas por: a) Administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en la represa Tulumayo (2019, 2020 y 2021); y b) OEFA, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo (2021)

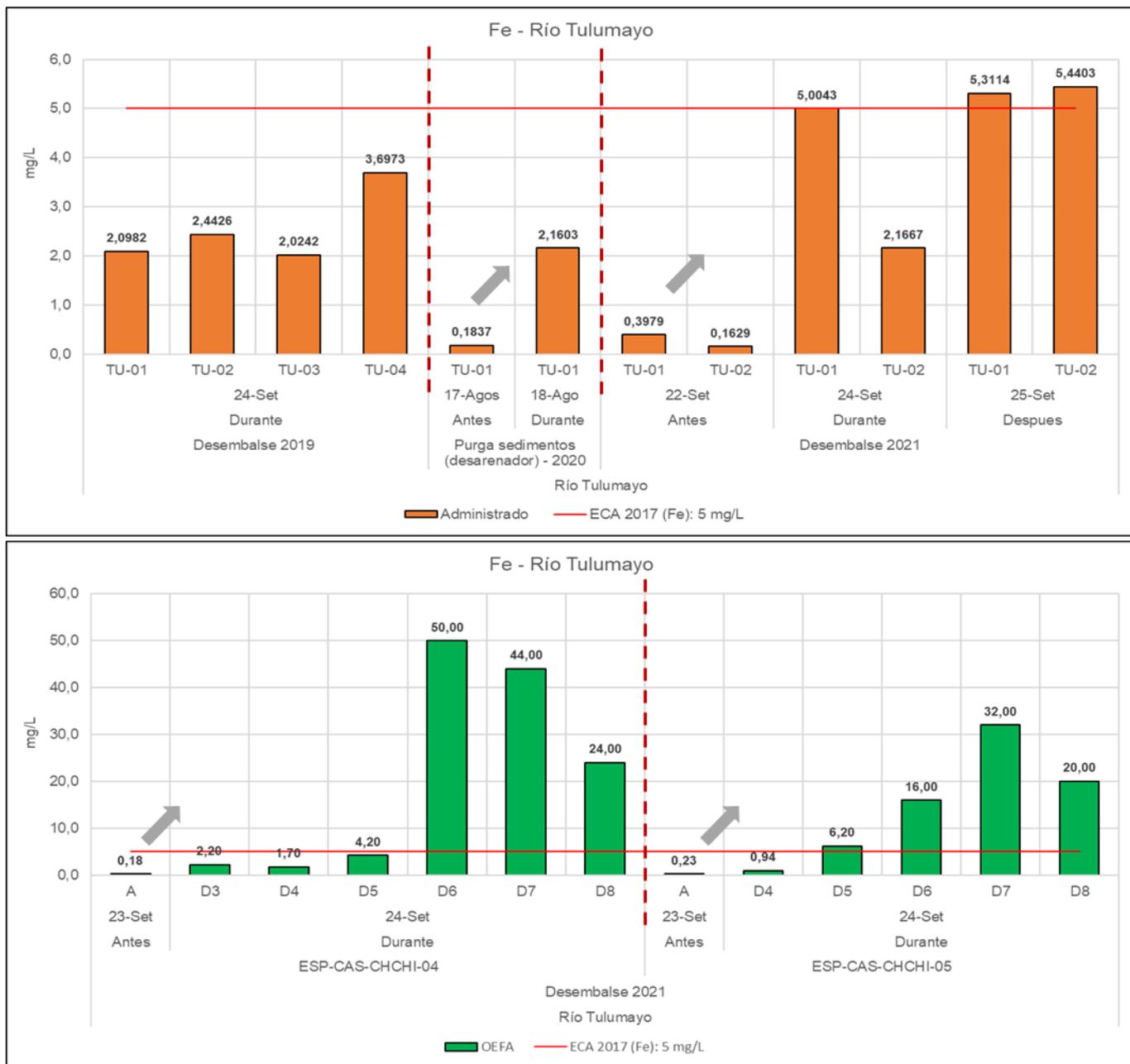


Figura 7.16. Concentraciones de hierro en el río Tulumayo reportados por: a) Administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en la represa Tulumayo (2019, 2020 y 2021); y b) OEFA, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo (2021)

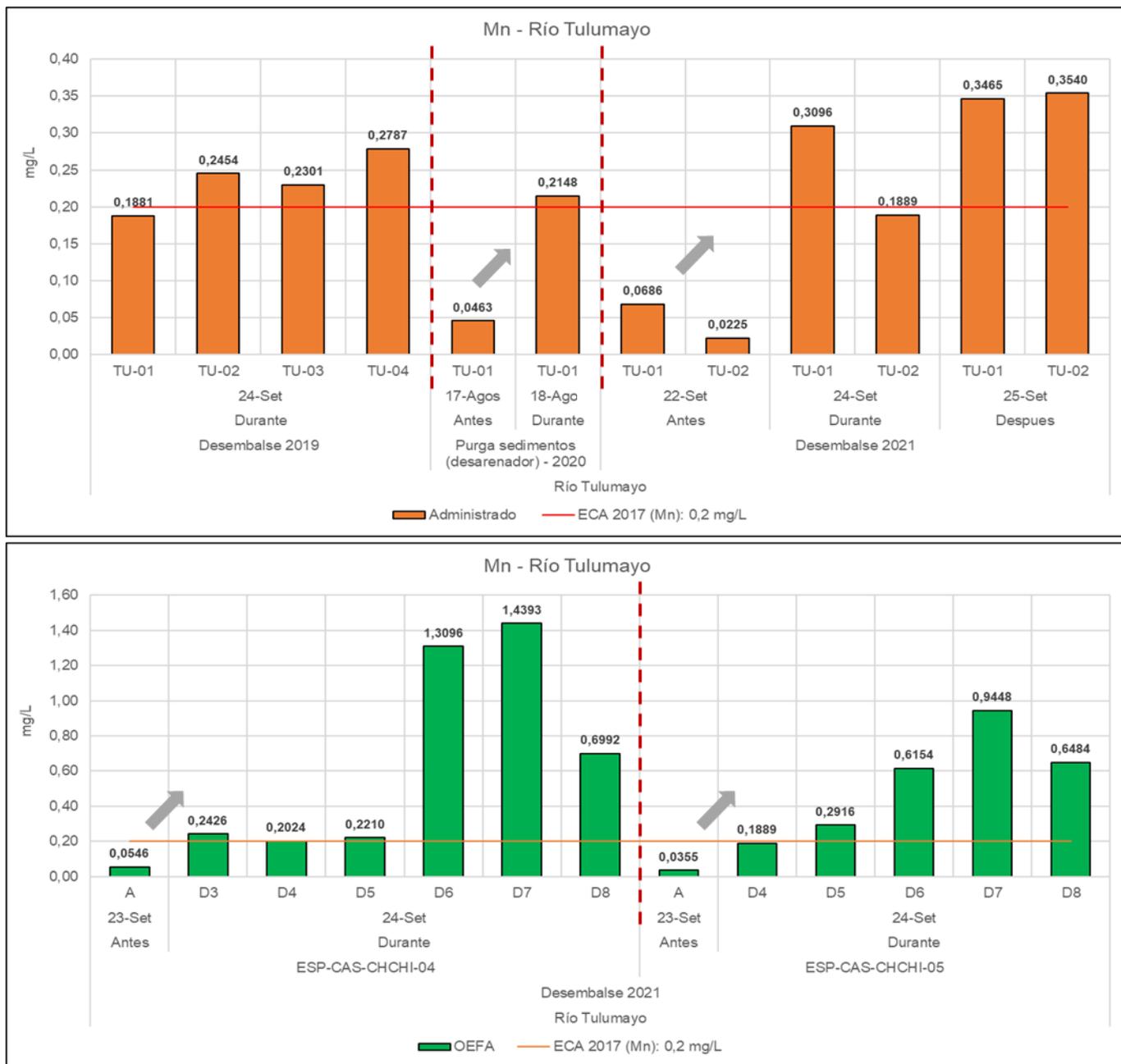


Figura 7.17. Concentraciones de manganeso en el río Tulumayo reportados por: a) Administrado, antes, durante y después de las acciones de desembalse y purga de sedimentos en la represa Tulumayo (2019, 2020 y 2021); y b) OEFA, antes y durante el desembalse de la represa Tulumayo (2021)



En el informe N.º 00172-2021-OEFA/DEAM-STEC, se tiene como principal conclusión del evento de desembalse de 2021 que: «...En la evaluación ambiental de causalidad se determinó que el desembalse de la represa Tulumayo de la C.H. Chimay de Chinango S.A.C., alteró la calidad del agua superficial del río Tulumayo, lo cual fue evidenciado por un incremento de las concentraciones de turbidez, sólidos totales suspendidos, y metales como hierro, aluminio y manganeso durante el desembalse de la represa, que excedieron los ECA para agua 2017, categoría 3, subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales, para el aluminio, hierro y manganeso; en comparación a lo obtenido en el río Tulumayo antes del inicio del desembalse y a lo registrado en los ríos Comas y Uchubamba, ubicados aguas arriba de la represa, donde se registraron bajas concentraciones de los parámetros mencionados y que se encontraron dentro de lo establecido en los ECA para agua 2017...»; y de lo discutido anteriormente, se observa el mismo comportamiento en el río Tulumayo, específicamente para los eventos de purga de sedimentos y desembalse de la represa Tulumayo en los años 2020 y 2021, con los datos reportados por el administrado; evidenciándose que estas actividades están relacionadas a la alteración de la calidad del agua superficial del río Tulumayo, por el incremento en las concentraciones de sólidos totales suspendidos y de metales como hierro y manganeso, durante y después de la purga de sedimentos (desarenador) y desembalse de la represa Tulumayo, que llegaron a exceder los ECA para agua 2017, categoría 3, subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales.

Considerando la existencia de la alteración de la calidad del río Tulumayo relacionada a las actividades de purga de sedimentos y desembalse en los años 2019, 2020 y 2021, se ha calculado mediante el modelo de Newcombe y Jensen (1996), el posible impacto (teórico) que las concentraciones de sedimento en suspensión y el tiempo de la exposición a este generarían sobre el ensamblaje de peces en los puntos de muestreo evaluados por el administrado y el OEFA en el río Tulumayo. El modelo número 6 de Newcombe y Jensen, aplicado para individuos adultos no salmónidos, fue usado para determinar la severidad de los efectos (SEV):

Donde:

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

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 Tabla 7.2.

**Tabla 7.2.** Lista descriptiva de posibles efectos en peces

Severidad de los efectos	Efecto	Descripción
0	Nulo	Ningún efecto en el comportamiento
1	Efecto en el comportamiento	Reacción de alarma
2		Abandono de cobertura
3		Respuesta de evasión
4	Efectos subletales	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	
9	Efectos letales y Paraletales	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)

De acuerdo con las concentraciones de sólidos totales en suspensión (STS) obtenidos por el administrado y el OEFA en el río Tulumayo (puntos TU-01, TU-02, TU-03, TU-04, ESP-CAS-CHCHI-04 y ESP-CAS-CHCHI-05) para los eventos de purga de sedimentos y desembalse en los años 2019, 2020 y 2021, donde los tiempos de exposición fueron de 96 horas³⁷, 6 horas³⁸ y 36 horas³⁹, respectivamente, se obtuvieron valores de severidad de los efectos que variaron desde 6,72 a 8,75 (Figura 7.21), que indicarían efectos subletales, los cuales estarían relacionados a: moderado estrés fisiológico (sólo para la purga de

³⁷ Carta CH-AL-024-2019 del administrado al OEFA (registro 2019-E01-089270): «Desembalse del reservorio Tulumayo para mantenimiento correctivo de la solera de la compuerta de fondo N.º 02», anexada al expediente de supervisión N.º 0326-2019-DSEM-CELE.

³⁸ Informe de Supervisión N.º 478-2020-OEFA/DSEM-CELE: «Resultados de la acción de supervisión realizada el 30 de setiembre de 2020 a la Central Hidroeléctrica Chimay de titularidad del administrado Chinango S.A.C.» del expediente N.º 0232-2020-DSEM-CELE.

³⁹ Informe N.º 00172-2021-OEFA/DEAM-STEC. Evaluación ambiental de causalidad durante el desembalse de la represa Tulumayo de la unidad fiscalizable central hidroeléctrica Chimay de Chinango S.A.C., distrito Monobamba, provincia Jauja, departamento Junín, en el 2021.



sedimentos de 2019), indicadores de mayor estrés fisiológico, reducción a largo plazo en tasa de alimentación, reducción a largo plazo en el éxito de alimentación y una condición pobre, como consecuencias de las actividades de purga de sedimentos y desembalse.

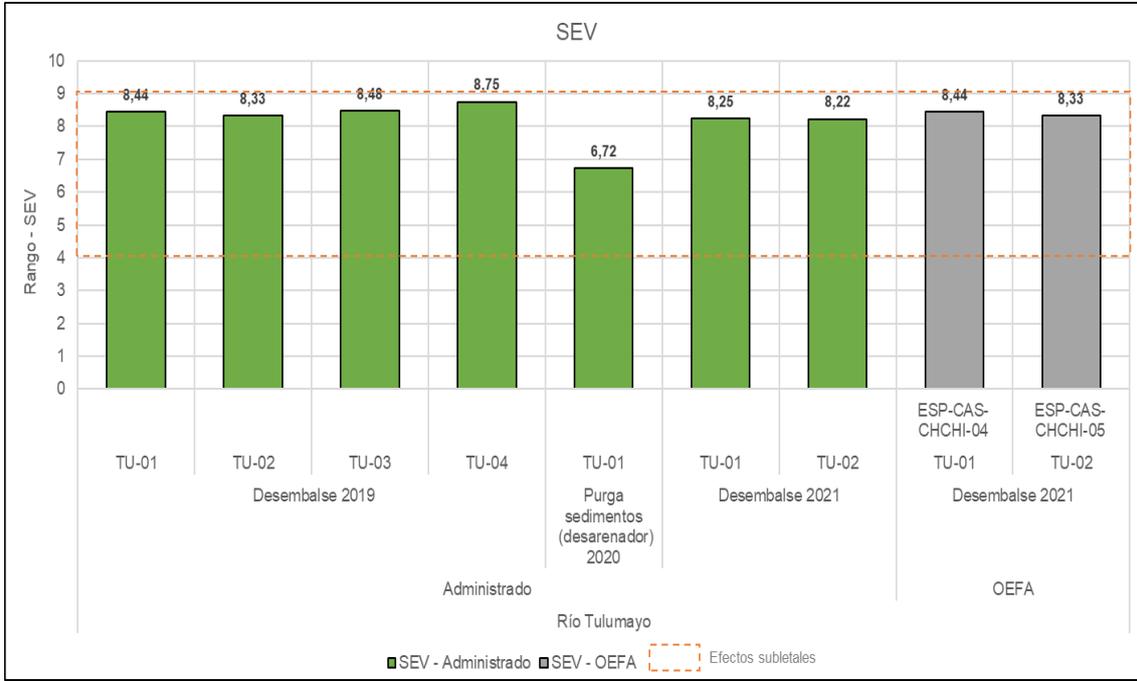


Figura 7.18. Valores de severidad de los efectos (SEV) en el río Tulumayo en el 2019, 2020 y 2021

Nota: Los valores de SER se obtuvieron de los resultados de sólidos suspendidos totales (STS) en el agua del río Tulumayo y duración de la purga de sedimentos o desembalse reportado por el administrado en 2019, 2020 y 2021; y el OEFA en el 2021.

8. CONCLUSIONES

De la evaluación ambiental de causalidad en el entorno de la central hidroeléctrica Chimay de Chinango S.A.C., en el 2022, se determinó lo siguiente:

El caudal medido en el presente estudio se encontró en el rango de 1,492 m³/s a 2,649 m³/s, observándose valores menores (1,492 m³/s, 1,836 m³/s y 1,957 m³/s) en el tramo de caudal reducido al caudal ecológico de 2,4 m³/s calculado por el administrado (Oficio N.º 3140-2010-MEM/AAE), a pesar del aporte de las quebradas aguas abajo del embalse Tulumayo. Esto se observó tanto en los resultados de esta evaluación como en los monitoreos realizados por el administrado. Solamente, según los monitoreos trimestrales del administrado desde 2017 al 2021, la estación más cercana a la descarga de aguas turbinadas en el tramo de caudal reducido llega a alcanzar los 2,4 m³/s de caudal.

Adicionalmente, las actividades de purga de sedimento y desembalse (durante y después de esta actividad) de la represa Tulumayo evidencian un incremento de la concentración de sólidos totales suspendidos y de metales como aluminio, hierro y manganeso, de acuerdo con los datos de OEFA (2021) y del administrado (2019, 2020 y 2021), que pueden generar efectos subletales en peces.



Calidad de agua superficial, agua turbinada, sedimentos y comunidades hidrobiológicas (perifiton y macroinvertebrados bentónicos) en el río Tulumayo del ámbito de la C.H. Chimay

Calidad de agua superficial

La calidad del agua superficial del río Tulumayo en el tramo de caudal reducido en la parte media (TUL-06) y baja (TUL-09), excedieron las concentraciones de zinc de los valores límites del Reglamento de la Ley General de Aguas de la Clase VI. Asimismo, las concentraciones de aluminio, hierro y manganeso excedieron los Estándares de calidad ambiental para agua 2017, categoría 3, subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales en la parte media (TUL-06 y TUL-07) y baja del río Tulumayo (TUL-08 y TUL-09). Las excedencias registradas parecen haber sido originadas por las lluvias que provocaron erosión de los suelos y laderas, que incrementaron las concentraciones de turbidez, sólidos totales suspendidos, y metales como aluminio, hierro, manganeso y zinc en el río Tulumayo.

Las aguas turbinadas (TUR-01) cumplieron los Estándares de calidad ambiental para agua 2017, categoría 3, subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales. Estas presentaron los menores valores de turbidez, sólidos totales suspendidos, y metales, debido a que en el proceso de embalse retiene los aportes de materiales en suspensión y los arrastres de sólidos transportados por el río Tulumayo.

Sedimento

En el análisis granulométrico del sedimento predominó la arena sobre los finos (limo y arcilla). Respecto a las concentraciones de arsénico, estos excedieron los valores ISQG en río Comas (COM-01) y río Tulumayo (TUL-05, TUL-06, TUL-07 y TUL-08), y excedieron los valores de PEL de la guía canadiense en TUL-09. Las excedencias registradas en las concentraciones de arsénico pueden asociarse al arrastre de sedimentos en suspensión que se están depositando en río producto de las lluvias que erosionan el suelo y las laderas en los ríos Comas y Tulumayo.

Comunidades hidrobiológicas

La riqueza del perifiton y de los macroinvertebrados bentónicos fue mayor en el río Comas (COM-02) a diferencia de la zona de caudal reducido en el río Tulumayo, lo cual estuvo asociado a eventos de lluvia e incremento del caudal durante el monitoreo que provocaron la movilización y desalojo de las comunidades hidrobiológicas desde las partes altas hacia la parte baja de la cuenca. Por otro lado, la mayor disponibilidad de microhábitats durante la evaluación en el punto COM-02 favoreció la riqueza de individuos de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

Comunidad ictiológica y población de *Creagrutus* sp. y *Rhamdia quelem* en el tramo de caudal ecológico del río Tulumayo directamente influenciada por la CH Chimay

Se encontró relación entre la abundancia de *Creagrutus* sp. y *Rhamdia quelem* con el caudal, mostrando una relación negativa para *Creagrutus* sp y una positiva para *Rhamdia quelem*. Estas relaciones pueden estar asociadas adicionalmente a los hábitats encontrados, donde *Creagrutus* sp predominó en pozas mientras que *Rhamdia quelem* en hábitats de corriente. Según los datos trimestrales del administrado, no se encontró suficiente evidencia de relación entre caudal con las abundancias de estas especies, sin



embargo, se encontró indicios de disminución de abundancia en años más recientes (2020 y 2021)

Calidad de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas (plancton) en el embalse Tulumayo

Los resultados de los parámetros de campo y de los analizados por el laboratorio de agua superficial de los puntos en el embalse Tulumayo cumplieron con los valores límites del Reglamento de la Ley general de aguas de la Clase VI establecidos en el Estudio de impacto ambiental del administrado. Asimismo, dichos resultados no excedieron los valores de los Estándares de calidad ambiental para Agua-2017 de la categoría 3, subcategorías D1 y D2: Riego de vegetales y Bebida de animales.

En relación con el sedimento, los resultados de análisis granulométrico mostraron diferencias en la acumulación, evidenciado en el punto TUL-03, donde predominó la arena al encontrarse cerca al río Uchubamba, mientras que el punto TUL-02 predominó el material fino (limo y arcilla) al ubicarse al pie de la represa del embalse y en una zona profunda. Respecto a los metales en sedimento, las concentraciones de arsénico, plomo y zinc en el punto TUL-02 ubicado al pie de la presa, excedieron los valores ISQG de la guía canadiense y fueron mayores en comparación a los puntos TUL-01 y TUL-03 que se encontraron cerca a los afluentes del embalse. Es necesario indicar que el embalse está actuando como una barrera física que retiene y acumula, los sólidos en suspensión y sedimento que son arrastrados de los afluentes (río Comas y río Uchumayo) al embalse.

En cuanto al estado trófico del embalse, los parámetros evaluados de clorofila A y fósforo total para su determinación presentaron concentraciones menores al límite de cuantificación de laboratorio. Además, las concentraciones de nutrientes como fosfato, nitrato y nitrógeno total presentaron bajos valores, lo que indicaría que el embalse no tendría un estado eutrófico durante la temporada evaluada.

Purga de sedimentos del embalse Tulumayo

Los eventos de purga de sedimentos y desembalse en los años 2019, 2020 y 2021, de acuerdo con los datos registrado por el administrado y por el OEFA, evidencian una alteración de la calidad del agua superficial del río Tulumayo, por el incremento en las concentraciones de sólidos totales suspendidos y de metales como aluminio hierro y manganeso durante el 2020 y 2021. Estas concentraciones llegaron a exceder los Estándares de calidad ambiental para agua 2017 categoría 3 para los metales manganeso (2020 y 2021) y hierro (2021), según lo registrado por el administrado; y para el manganeso, hierro y aluminio de acuerdo con lo obtenido por el OEFA.

Finalmente, el incremento de la concentración de sólidos totales suspendidos durante los eventos de purga de sedimentos y desembalse de la represa Tulumayo puede generar efectos subletales en peces, evidenciado en los valores de severidad de efectos (SEV) obtenidos a partir de las concentraciones de sólidos totales suspendidos en el río Tulumayo con tiempos de exposición de 96, 6 y 36 horas. Estos efectos estarían asociados a moderado estrés fisiológico (sólo para la purga de sedimentos de 2019), indicadores de mayor estrés fisiológico, reducción a largo plazo en tasa de alimentación, reducción a largo plazo en el éxito de alimentación y una condición pobre.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual review of ecology, evolution and systematics*. 35: 257-284.
- Allan, J. D. y Castillo, M.M. (2007). *Stream ecology; Structure and Function of Running Waters*. 2nd ed. Springer, Dordrecht, The Netherlands. Xiv+436p
- Aizaki, M. O. Otsuki, M. Fukushima, M. Hosomi y Muraoka. (1981). Application of Carlson s trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 21:675681.
- Annandale, George W., Gregory L. Morris, y Pravin Karki. (2016). *Extending the Life of Reservoirs: Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower. Directions in Development*. Washington, DC: World Bank.
- Appelo, C. and Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2nd Edition, Balkema, Rotterdam. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369;
- Carlson, R.E. (1980). More complications in the chlorophyll-Secchi disk relationship. *Limnology and Oceanography*. 25:378-382.
- Custodio, E. y Llamas, M. R. (1976). *Hidrología Subterránea. – Tomo I y II*. Ed. Omega, Barcelona, España.
- Dinka, M. O., Loiskandl, W., y 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>.
- Domínguez, E., y Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina*, 656.
- Edo, K., y Suzuki, K. (2003). Preferable summering habitat of returning adult masu salmon in the natal stream. *Ecological Research*, 18(6), 783-791.
- Elster, J., J. Svoboda y H. Kanda. (2001). Controlled environment platform used in temperature manipulation study of a stream periphyton in the Ny-Ålesund, Svalbard. *Proceedings of International conference – Algae and Extreme Environments – Ecology and Physiology*, J. Elster, J. Seckbach, W. Vincent & O. Lhotsk_ (eds.). Nova Hedvigia, Beiheft 123: 63-75.
- Eggleton, J., Thomas, K.V., (2004). A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environ. Int.* 30, 973–980. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.001>.
- Encalada, A. C., Rieradevall, M., Ríos, B., García, N. y Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)*. Quito, 86 pp.
- Environment Canada. 1998. *Canadian sediment quality guidelines for arsenic: Supporting document*. Environmental Conservation Service, Ecosystem Science Directorate, Science Policy and Environmental Quality Branch, Guidelines and Standards Division, Ottawa. Draft.



Farnham, IM, Singh, AK, Stetzenbach, KJ, Johannesson, KH, (2002). Tratamiento de no detectados en el análisis multivariado de datos geoquímicos de aguas subterráneas: Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 60(1-2), 265-281.

Favas, P., Sarkar, S., Rakshit, D., Venkatachalam, P. y Prasad., M. (2016). Acid Mine Drainages from Abandoned Mines: Hydrochemistry, Environmental Impact, Resource Recovery, and Prevention of Pollution. En M.N.V., Prasad y K., Shih (Eds.), Environmental Materials and Waste, Resource Recovery and Pollution Prevention, 17 (pp. 413 – 462). London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-05144-1>.

Flórez Molina, M. T., Parra Sánchez, L. N., Bolaños Benitez, S. V., Gallo Sánchez, L. J., Poveda Sáenz, A., y amp; Agudelo Echavarría, D. M. (2018). Tasas de sedimentación y características de sedimentos de fondo en tres embalses de Antioquia, Colombia. Ingeniería Del Agua, 22(4), 177–194.

Fossati, O., Wasson, J., Salinas, C., Marin, R. (2001). Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebrate communities in clear water Andean streams (Bolivia). Archiv für Hydrobiologie. 151 (1): 33-50.

Franssen, N. R., Davis, J. E., Ryden, D. W., y Gido, K. B. (2014). Fish community responses to mechanical removal of nonnative fishes in a large southwestern river. *Fisheries*, 39(8), 352-363.

Friedl, G., Wüest, A., (2002). Disrupting biogeochemical cycles — consequences of damming. *Aquat. Sci.* 64, 55–65.

Kivrak, E., y Uygun, A. (2012). The structure and diversity of the epipellic diatom community in a heavily polluted stream (the Akarçay, Turkey) and their relationship with environmental variables. *Journal of Freshwater Ecology*, 27(3), 443–457.

Lampert, V. R., Dala-Corte, R. B., Artioli, L. G. S., y Fialho, C. B. (2018). Do riffle and pool fish assemblages respond differently to longitudinal position along a subtropical stream network. *Fundamental and Applied Limnology*, 192(2), 115-128.

Legendre, P., y Legendre, L. (2012). *Numerical ecology*. Elsevier.

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. y García, R.F. (2018, Setiembre). Apuntes sobre Aplicaciones Ambientales de la Hidrogeoquímica. Consejo Hídrico Federal (COHIFE) de la República de Argentina. Disponible en: <http://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf>.

Monge, R.; Caldas, J. y Vela, Ch. (1996). Geología de los cuadrángulos de Lima (25-i), Lurín (25-j), Chancay (24-i) y Chosica (24-j). INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 43, 163 p.



Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T – Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. GORFI, S.A., Zaragoza (ESP).

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.

Peterson, J. T., y Rabeni, C. F. (2001). Evaluating the efficiency of a one-square-meter quadrat sampler for riffle-dwelling fish. *North American Journal of Fisheries Management*, 21(1), 76-85.

Portt, C. B., Coker, G. A., Ming, D. L., & Randall, R. G. (2006). A review of fish sampling methods commonly used in Canadian freshwater habitats.

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

Rocha, A. (1998). Introducción a la Hidráulica Fluvial. Perú.

Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23(88): 375-387. Scheffer, M., S. R. Carpenter, J. A. Foley, C. Folfe, & B. Walker. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413: 591-596.

Pennock, C. A., Bruckerhoff, L. A., Gido, K. B., Barkalow, A. L., Breen, M. J., Budy, P., y Propst, D. L. (2022). Failure to achieve recommended environmental flows coincides with declining fish populations: Long-term trends in regulated and unregulated rivers. *Freshwater Biology*, 67(9), 1631-1643.

Pérez, G. R. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Academia Colombiana de Ciencia*, 23(88), 375-387.

Ryan, S.E. y Porth, L.S. (1999). A field comparison of three pressure-difference Bedload samplers. *Geomorphology*. 307-322.

Scott, M. L., Reynolds, L. V., Shafroth, P. B., & Spence, J. R. (2018). The role of a non-native tree in riparian vegetation expansion and channel narrowing along a dryland river. *Ecohydrology*, 11(7), e1988.

Soto-Cruz, O., Carrillo-Chávez, J., y Suárez-Sánchez, J. (2011). Concentraciones de metales y metaloides en sedimentos del río Zahuapan, Tlaxcala, México. En R. Jiménez-Guillen, y M. L. Hernández-Rodríguez (Eds.). Zahuapan: río-región-contaminación (pp. 57-78). Tlaxcala, México: El Colegio de Tlaxcala, A.C.

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

Vásquez, R.J.M.; Guevara, C.G.; Reinoso, F.G. (2014). Factores ambientales asociados con la preferencia de habitat de larvas de trichopteros en cuencas con bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 62: 21-40

Vrhovnik, P., Dolenc, T., Serafimovski, T., (2013). The occurrence of heavy metals and metalloids in surficial lake sediments before and after a tailings dam failure. *Pol. J. Environ. Stud.* 22, 1525–1538.



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 Fortalecimiento de la Soberanía Nacional
Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú

Weiner, R. (2007). Applications of Environmental Aquatic Chemistry. U.S.A.: Taylor & Francis Group. p. 182.

Whitton, B.A. y E. Rott. (1996). Use of algae for monitoring rivers II. E. Rott, Publisher, Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria.

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

Zhao, Q., Liu, S., Deng, L., Dong, S., Wang, C., (2013). Longitudinal distribution of heavy metals in sediments of a canyon reservoir in Southwest China due to dam construction. *Environ. Monit. Assess.* 185, 6101–6110. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-012-3010-5>.