

**NFORME N° 00247 -2019-OEFA/DEAM-STEC**

**A** : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**  
Director de Evaluación Ambiental

**DE** : **LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS**  
Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica

**LUIS ANGEL ANCCO PICHUILLA**  
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Minería y Energía

**JUAN CARLOS FERNÁNDEZ CERNA**  
Especialista de Evaluaciones Ambientales

**ASUNTO** : Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Las Bambas administrada por Minera Las Bambas S.A., ubicada en el departamento de Apurímac - 2019

**CUE** : 2019-02-0004

**CÓDIGO DE ACCIÓN** : 0003-5-2019-401, 0017-6-2019-401 y 002-8-2019-401

**REFERENCIA** : Planefa 2019

**FECHA** : *Lima, 15 de octubre de 2019*

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle lo siguiente:

**1. INFORMACIÓN GENERAL**

Los aspectos generales de la vigilancia ambiental realizada en el área de influencia de la unidad minera Las Bambas (en adelante, UM Las Bambas) son presentados en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distrito Challhuahuacho, provincia Cotabambas, departamento Apurímac
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Área de influencia de la UM Las Bambas administrada por Minera Las Bambas S.A.
c.	Problemática identificada	Presunta afectación de agua subterránea, y de los ríos Ferrobamba y Chalhuahuacho por actividades de la UM Las Bambas
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019
e.	Tipo de evaluación	Vigilancia Ambiental
f.	Periodo de ejecución	10 y 11 de mayo de 2019 / 15 de junio de 2019 / 12 y 13 de agosto de 2019



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Profesionales que aportaron a este documento:

**Tabla 1-1.** Listado de profesionales

N.º	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ing. Químico	Gabinete
2	Luis Angel Ancco Pichuilla	Ing. Químico	Gabinete
3	Juan Carlos Fernández Cerna	Biólogo	Gabinete/campo
4	Omar Merlín Jaimes De la O	Ing. Químico	Gabinete/campo
5	Carlos Aurelio Quispe Huamán	Biólogo	Gabinete
6	Silvia Soledad Valenzuela Reyna	Biólogo	Campo

## 2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

El número de puntos y parámetros evaluados en la vigilancia realizada en el área de influencia de la UM Las Bambas se presentan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Puntos y parámetros evaluados durante la vigilancia ambiental

Matriz	Fecha	Parámetros	Cantidad de puntos
Agua superficial	10/05/2019	T°, pH, CE, OD, metales totales y sulfatos	4
	15/06/2019		4
	13/08/2019		3
Agua subterránea (piezómetros)	10/05/2019	T, pH, CE, OD, metales totales, metales disueltos y sulfatos	3
	15/06/2019		3
	12/08/2019		3
Agua subterránea (Manantiales)	10/05/2019	T, pH, CE, OD, metales totales, metales disueltos y sulfatos	2
	15/06/2019		1
	13/08/2019		1
Efluente	10/05/2019	---	No se encontró flujo
	15/06/2019		
	13/08/2019		
Comunidades hidrobiológicas	10/05/2019	Macroinvertebrados bentónicos	5
		Perifiton	5
	13/08/2019	Macroinvertebrados bentónicos	4
		Perifiton	4
Sedimento	13/08/2019	Metales totales	2

\*Los resultados de esta matriz serán presentados en el informe de vigilancia ambiental anual

Los parámetros que excedieron la normativa ambiental en el área de influencia de la UM Las Bambas administrada por Minera Las Bambas S.A., se presentan en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Parámetros que excedieron la normativa ambiental

Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental				
				ECA para agua (2017) <sup>1</sup>			CCME <sup>2</sup>	
				May-2019	Jun-2019	Ago-2019	Ago-2019	
				ISQG	PEL			
Agua superficial	Río Ferrobamba	RFerr1	SW-FU-120	Se	Se	(4)	---	---
		RFerr2	(3)	Se	Se	Se	---	---
Agua subterránea	Piezómetros	ASub1	PM-3A	Mn	Mn, Fe	Mn	---	---
		ASub2	PM-1A	Mn	Mn	Mn	---	---
Sedimento	Río Challhuahuacho	RChal1	(3)	---	---	---	As, Cu	As, Cu
		RChal3	RChal20	---	---	---	Cu	

(1) Agua superficial y Agua subterránea (piezómetros y manantiales): Estándares de Calidad Ambiental para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales) aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

(2) Sedimento: CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment – Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life – Fresh water). ISQG (Interim Sediment Quality Guidelines) y PEL (Probable Effect Level)

(3) No es punto IGA; propuesto por OEFA.

(4) No se colectó la muestra por problemas sociales.

(5) “---”: No aplica.



### 3. ANTECEDENTES

El 16 de diciembre de 2016 se aprobó el Informe N.º 112-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI titulado «Evaluación Ambiental en las áreas de influencia de las unidades fiscalizables por el OEFA (Minería), ubicadas en la intercuenca Alto Apurímac, durante el año 2016», el cual registró la presencia de plomo en todos los puntos de muestreo evaluados en los ríos Record, Ferrobamba y Challhuahuacho que excedieron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua 2015; adicionalmente, el río Challhuahuacho reportó concentraciones de fósforo y pH que incumplieron la norma mencionada.

El 24 de noviembre de 2017 se aprobó el Informe N.º 089-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME, titulada «Informe de la evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad minera Las Bambas, durante el año 2017» el cual concluye que en el río Ferrobamba, las comunidades hidrobiológicas de macroinvertebrados bentónicos y perifiton mostraron signos de afectación al registrar los menores valores de riqueza en el punto PM-MIN-04, que recibe las aguas de contacto del área de operaciones, debido a que el pH y la concentración de cobre incumplieron los ECA para Agua categoría 4; así mismo, la concentración de cobre en sedimento superó los valores ISQG y PEL del estándar canadiense (CCME). Es importante mencionar que, luego de que dichas aguas son tratadas en la poza de clarificación final y que su efluente (PM-MIN-05) descarga en el cauce del río Ferrobamba, cuyos parámetros evaluados en la descarga de este efluente cumplieron con los LMP (2010) y ECA para agua (2008 y 2017) y que aguas abajo recibe el aporte de manantiales. En el punto PM-RE-16, río Ferrobamba, la riqueza del perifiton y macroinvertebrados bentónicos se incrementó en comparación con el punto PM-MIN-04, evidenciando la recuperación de perifiton y macroinvertebrados bentónicos antes de la confluencia con el río Record, ya que reaparecen grupos sensibles como Ephemeroptera y Trichoptera.

El 30 de noviembre de 2018 se aprobó el Informe N.º 353-2018-OEFA/DEAM-STEC, titulada «Informe de la vigilancia ambiental de la calidad de agua superficial realizada en el área de influencia de la unidad minera Las Bambas administrada por Minera Las Bambas S.A., en los distritos Challhuahuacho y Tambobamba, provincia Cotabambas, departamento Apurímac, en el 2018» el cual concluye principalmente que los ríos Record, Challhuahuacho y Ferrobamba presentaron valores de pH alcalinos; sin embargo, en los puntos RReco1, RReco2, RTamb1, RTamb2, Rchal1, RChal2, RFerr2, QMCor1 y RChal3, en al menos uno de los meses, superaron los ECA para Agua 2008 (categoría 3 y 4) y 2017 (categoría 3); asimismo, respecto a la concentración de selenio, en los puntos RFerr1 y RFerr2 (ubicados aguas abajo del vertimiento EF-FU-01) se registraron concentraciones de selenio que superaron los ECA para Agua 2017, categoría 3.

El 14 de junio de 2019 se aprobó el Informe N.º 00131-2019-OEFA/DEAM-STEC, titulado «Vigilancia ambiental de agua superficial, agua subterránea (piezómetros y manantiales) y comunidades hidrobiológicas en el área de influencia de la unidad minera Las Bambas administrada por Minera Las Bambas S.A., ubicada en el departamento Apurímac, durante mayo 2019» el cual concluyó que el río Ferrobamba en los puntos RFerr1 y RFerr2 presentó concentraciones de selenio que incumplieron con los ECA para Agua, categoría 3 D1: Riego de vegetales.

El 03 de octubre de 2019 se aprobó el Informe N.º 00234-2019-OEFA/DEAM-STEC, titulada «Vigilancia ambiental de agua superficial, agua subterránea (piezómetros y manantiales) en el área de influencia de la unidad minera Las Bambas administrada por Minera Las Bambas S.A., ubicada en el departamento Apurímac, durante junio de 2019» el cual concluyó que el río Ferrobamba en los puntos RFerr1 y RFerr2 presentó concentraciones de selenio que



incumplieron con los ECA para Agua (2017), resaltando que el río Ferrobamba aguas arriba del punto RFerr1, ubicado a 800 m aguas abajo aproximadamente del punto de descarga (EFlu-1) de la poza de clarificación, no presentó flujo de agua.

#### **4. OBJETIVO**

Realizar la vigilancia ambiental en los ríos Ferrobamba y Challhuahuacho, así como sus tributarios ubicados en área de influencia de la unidad minera Las Bambas, a través de monitoreos de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas.

##### **4.1. Objetivo específico**

- Evaluar la calidad del agua y sedimentos en los ríos Ferrobamba y Challhuahuacho.
- Evaluar la calidad del agua subterránea en el ámbito del depósito de relaves.
- Evaluar el comportamiento de las comunidades hidrobiológicas y el estado ecológico de los ríos Ferrobamba y Chalhuahuacho.

#### **5. ÁREA DE ESTUDIO**

Geográficamente, la UM Las Bambas se ubica en los Andes de la zona centro-sur del Perú. Políticamente, la UM Las Bambas se ubica en los distritos de Challhuahuacho, Tambobamba y Coyllurqui de la provincia de Cotabambas y en el distrito de Progreso de la provincia de Grau, ambos en el departamento de Apurímac (Anexo B).

Específicamente, el área de estudio comprende los ríos Ferrobamba y Challhuahuacho, así como en sus tributarios, ubicado en el área de influencia de la UM Las Bambas. Asimismo, dentro de la UM Las Bambas se evaluaron los piezómetros ASub1, ASub2 y ASub3.

#### **6. METODOLOGÍA**

A continuación, se detalla la metodología utilizada en el monitoreo de calidad de agua superficial; para lo cual, se precisa el protocolo de monitoreo, la ubicación de los puntos de vigilancia ambiental, los parámetros evaluados y equipos utilizados, así como los criterios de comparación y el procesamiento de datos.

##### **6.1 Agua**

En los apartados siguientes se muestra la metodología desarrollada para evaluar la calidad del componente agua, que comprende los protocolos utilizados para la toma de muestra, la ubicación de los puntos de monitoreo, equipos utilizados, los parámetros evaluados, los métodos de análisis y los criterios de evaluación.

###### **6.1.1 Protocolo de monitoreo**

El protocolo de monitoreo utilizado se describe en la Tabla 6.1.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**Tabla 6.1.** Protocolo de monitoreo utilizado para calidad de agua

Matriz	Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Agua superficial	Protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	Sección 6	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA	2016
Agua subterránea	Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: muestreo de aguas subterráneas	Parte 2	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	---	2016
	<i>National Field Manual for the Collection of Water – Quality Data</i>	Capítulos del A1 al A6	Estados Unidos	U.S. Geological Survey	---	2015

### 6.1.2 Ubicación de los puntos de monitoreo

La ubicación de los puntos de monitoreo ambiental de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas se presenta en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.2.** Ubicación de los puntos de monitoreo para la vigilancia ambiental

N.º	Cuerpo de agua/ cuerpo receptor/ lugar	Matriz	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
1	Río Ferrobamba	Agua superficial	RFerr1*	796884	8437784	3712	Punto ubicado en el río Ferrobamba, aguas arriba del afloramiento FSNom1 que aporta al río Ferrobamba.
2			RFerr2	797405	8437984	3701	Punto ubicado en el río Ferrobamba, aguas abajo de la confluencia con el afloramiento FSNom2 y antes de la confluencia con el río Challhuahuacho.
3			RFerr3**	796262	8437844	3735	Río Ferrobamba, aguas abajo de la poza de clarificación final y canal de contorno (que reemplaza a la estación SW-FU-120 y tiene por objetivo evaluar el efecto del vertimiento proveniente de la descarga de la presa de clarificación final (estación EF-FU-01)).
4	Río Challhuahuacho		RChal1	797514	8437926	3700	Punto ubicado en el río Challhuahuacho, aguas arriba de la confluencia con el río Ferrobamba y aguas abajo de la confluencia con la quebrada Challhuapuquio.
5			RChal3	798671	8439117	3687	Río Challhuahuacho, aguas abajo del centro

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

N.º	Cuerpo de agua/ cuerpo receptor/ lugar	Matriz	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
							poblado del mismo nombre.
6	Piezómetro	Agua subterránea (piezómetros)	ASub1	791142	8440579	3913	Ubicado a 100 m aproximadamente aguas abajo de la presa de relaves de la unidad minera Las Bambas.
7			ASub2	791181	8440820	3917	Ubicado aproximadamente a 100 m aguas abajo de la presa de relaves de la unidad minera Las Bambas.
8			ASub3	791113	8440600	3873	Piezómetro ubicado aguas abajo del depósito de relaves y el tajo Ferrobamba.
9	Río Ferrobamba	Agua subterránea (manantiales)	FSNom1*	796826	8437834	3712	Punto de afloramiento de agua Sin Nombre 1, antes de la confluencia con el río Ferrobamba, aguas abajo del punto RFerr1
10	Río Ferrobamba		FSNom2	797141	8437964	3706	Punto de afloramiento de agua Sin Nombre 2, antes de la confluencia con el río Ferrobamba, aguas arriba del punto RFerr2
11	Manantial Challhuapuquio		FChal10	797528	8437798	3695	Punto ubicado en el manantial Challhuapuquio
12	Poza de clarificación	Efluente minero	EFlu-1**	796165	8437940	3739	Descarga de la poza de clarificación final

\* La vigilancia ambiental en este punto se realizó en al menos un mes de los tres meses de vigilancia ambiental 2019

\*\* No se realizó la vigilancia ambiental por ausencia de flujo de agua en los tres meses de vigilancia ambiental 2019

### 6.1.3 Equipos utilizados, parámetros y metodología de análisis

Los equipos utilizados para la vigilancia ambiental se presentan en la Tabla 6.3. Además, los certificados de calibración del multiparámetro se presentan en el Anexo 5.

**Tabla 6.3.** Equipos utilizados para la vigilancia ambiental

Equipo	Marca	Modelo
Multiparámetro	HACH	HQ40D
GPS	Garmin	Montana 680
Cámara digital	Canon	D30BL

En cada punto de monitoreo se realizaron mediciones *in situ* de los parámetros potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°). Se evaluaron metales totales, metales disueltos y sulfatos. El detalle se presenta en la Tabla 6.4.

**Tabla 6.4.** Métodos y técnica de análisis por parámetro

Matriz	Parámetro	Método de Referencia	Técnica Empleada
Agua superficial y subterránea	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espectrometría ICP-MS
agua subterránea	Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espectrometría ICP-MS
Agua superficial y subterránea	Sulfatos	PE-2090 Rev. 8 2017	Cromatografía Iónica

Fuente: AGQ Perú S.A.C



### 6.1.4 Procesamiento de datos

Los resultados obtenidos fueron digitalizados y ordenados en una base de datos (hojas de cálculo), para posteriormente graficarlos en barras y/o líneas, según los criterios de evaluación presentados.

### 6.1.5 Criterios de evaluación

Los resultados del muestreo de agua superficial serán comparados según la clasificación de los cuerpos de agua aprobada en el instrumento de gestión ambiental (IGA); en ese sentido, el plan de monitoreo propuesto en la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de la UM Las Bambas aprobada mediante Resolución Directoral N° 016-2018-SENACE-PE/DEAR, establece la comparación de la calidad de agua superficial con los ECA para Agua Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, según el D.S. N.° 004-2017-MINAM y de acuerdo con la Clasificación de Cuerpos de Agua Continentales Superficiales aprobada mediante R.J. N.° 056-2018-ANA.

**Tabla 6.5.** Categorías de comparación empleados para agua superficial

Cuerpo de agua	Categoría de comparación	Normativa de comparación
Río Ferrobamba	Categoría 3	D.S. N.° 004-2017-MINAM
Río Challhuahuacho	Categoría 3	D.S. N.° 004-2017-MINAM

**Tabla 6.6.** Estándares de comparación para agua superficial de la categoría 3

N.°	Parámetro	Unidad	ECA para Agua	
			D.S. N.° 004-2017-MINAM	
			Categoría 3	
			D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
1	pH	Unidades	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
2	Conductividad eléctrica	( $\mu$ S/cm)	2500	5000
3	Oxígeno disuelto	mg/L	$\geq 4$	$\geq 5$
4	Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$
5	Sulfatos	mg/L	1000	1000
6	Aluminio	mg/L	5	5
7	Arsénico	mg/L	0,1	0,2
8	Bario	mg/L	0,7	---
9	Berilio	mg/L	0,1	0,1
10	Boro	mg/L	1	5
11	Cadmio	mg/L	0,01	0,05
12	Cobre	mg/L	0,2	0,5
13	Cobalto	mg/L	0,05	1
14	Hierro	mg/L	5	---
15	Litio	mg/L	2,5	2,5
16	Magnesio	mg/L	---	250
17	Manganeso	mg/L	0,2	0,2
18	Mercurio	mg/L	0,001	0,01
19	Níquel	mg/L	0,2	1
20	Plomo	mg/L	0,05	0,05
21	Selenio	mg/L	0,02	0,05
22	Zinc	mg/L	2	24

Asimismo, los resultados obtenidos de los puntos de muestreo de agua subterránea (piezómetros y manantiales) fueron comparados referencialmente con la misma normativa de comparación mencionada anteriormente.



## 6.2 Sedimento

En esta sección se proporciona la información concerniente a la metodología utilizada para la evaluación de sedimentos, como protocolos, ubicación de los puntos de monitoreo, equipos, parámetros, técnicas de análisis y criterios de evaluación.

### 6.2.1 Protocolo de monitoreo

Debido a que aún no se cuenta con un protocolo nacional para el monitoreo y evaluación de sedimentos en cuerpos de agua superficial, se utilizó las referencias indicadas en la Tabla 6.7.

**Tabla 6.7.** Protocolo de monitoreo para calidad de sedimentos

Protocolo	Sección	País	Institución	Año
Procedimiento para el muestreo de aguas y sedimento para la determinación de metales	Sección 7.3, 8, y 9.2	Colombia	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	2011
Manuel técnico. Métodos de recolección, almacenamiento y manipulación de sedimentos para análisis químicos y toxicológicos	Sección 2, 3.2.2, 4.4.2-4, 7	Estados Unidos	Agencia para la Protección Ambiental (EPA)	2001
Muestreo de sedimentos	Sección 2, 3, 4, 5, 7.1-2, 9, 11			2016

### 6.2.2 Ubicación de los puntos de monitoreo

La ubicación de los puntos de muestreo de sedimento correspondiente a la tercera vigilancia ambiental en la UM Las Bambas, se detalla en la Tabla 6.2.

#### 6.1.1. Equipos utilizados, parámetros y metodologías de análisis

Las herramientas y equipos empleados para el monitoreo se detallan en la Tabla 6.8.

**Tabla 6.8.** Equipos utilizados para el muestreo de sedimento

N.º	Equipo	Marca	Modelo
1	Equipo de posicionamiento GPS	Garmin	Montana 680
2	Cámara fotográfica digital	Canon	D30BL

Los parámetros y métodos empleados se detallan en la Tabla 6.9.

**Tabla 6.9.** Parámetros y métodos para el análisis de sedimento

Parámetro	Método	Técnica Empleada
Metales totales por ICP-OES	EPA 3050 B: 1996/ EPA 6010 B: 1996	Digestión ácida de sedimentos, lodos y sólidos / Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente
Mercurio total	EPA 7471 B, Rev. 2, February 2007	Mercurio en sólidos y semisólidos (Técnica de vapor frío)

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio ALS LS Perú S.A.C.

### 6.2.3 Procesamiento de datos

Los resultados analíticos obtenidos en la vigilancia ambiental fueron digitalizados y ordenados en una base de datos para cada parámetro evaluado en el área de estudio, previa revisión mediante filtros de calidad, que aseguren la inexistencia de datos erróneos en el sistema, para posteriormente ser comparados según con la normativa que corresponda.





### 6.2.4 Criterios de evaluación

Los resultados de la concentración de metales totales fueron comparados de acuerdo al IGA<sup>1</sup>, referencialmente con los valores de la guía de calidad ambiental para sedimento en cuerpos de agua dulce de Canadá (*Canadian Council of Ministers of the Environment - Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life – Fresh water*)<sup>2</sup>, en adelante CCME.

Esta norma define 2 valores límites:

- *Interim Sediment Quality Guidelines - ISQG* (Directrices provisionales de calidad de sedimentos): Representan el nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos.
- *Probable Effect Level - PEL* (Nivel de efecto probable): Representan el nivel que usualmente o siempre está asociado a efectos biológicos adversos.

### 6.3 Macroinvertebrados bentónicos

Las comunidades hidrobiológicas están directamente relacionadas con las características del agua superficial o sedimento, dependiendo de su hábitat; entonces, los resultados de los análisis de esos componentes (agua y sedimento) se relacionan con los resultados de los análisis de las comunidades hidrobiológicas estudiadas.

#### 6.3.1 Protocolo de monitoreo

La metodología aplicada para la evaluación de las comunidades hidrobiológicas tiene como base la guía «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú» (Tabla 6.10), que establece los criterios técnicos y lineamientos generales, como la logística necesaria, establecimiento de los puntos de muestreo, preparación de materiales, equipos en indumentaria de protección, procedimiento para la toma de muestras, preservación, almacenamiento, conservación y transporte de muestras, entre otros.

**Tabla 6.10.** Guías de referencia para el muestreo de comunidades hidrobiológicas empleadas en la evaluación

Protocolo	Sección	País	Institución	Año
Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú	4 y 5	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	2014

#### 6.3.2 Ubicación de los puntos de monitoreo

La ubicación de los puntos de monitoreo hidrobiológico correspondiente a la tercera vigilancia ambiental en la UM Las Bambas, se detalla en la Tabla 6.2.

<sup>1</sup> Segunda Modificación del Estudio de Impacto Social y Ambiental del Proyecto Constancia - Ampliación Pampacancha del proyecto Constancia, aprobado mediante R.D. N° 168-2015-MEM-DGAAM.

<sup>2</sup> Canadian Council of Ministers of the Environment (2001). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater* (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos en cuerpos de agua dulce). Disponible en: [http://www.ccme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines/](http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/).



### 6.3.3 Equipos utilizados, parámetros y metodologías de análisis

Las herramientas y equipos empleados para el monitoreo de comunidades hidrobiológicas se detallan en la Tabla 6.11.

**Tabla 6.11.** Equipos utilizados para el monitoreo de comunidades hidrobiológicas

N.º	Equipo	Marca	Modelo
1	Equipo de posicionamiento GPS	Garmin	Montana 680
2	Cámara fotográfica digital	Canon	D30BL
3	Red Surber	-	-

Los parámetros y métodos empleados se detallan en la Tabla 6.12.

**Tabla 6.12.** Parámetros y métodos para el análisis de sedimento

Parámetro	Método de ensayo de referencia	Unidad	Técnica Empleada	Observaciones
Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 500 C, 22nd Ed. 2012	Organismos/0,09 m <sup>2</sup>	Identificación taxonómica y análisis cuantitativo	OEFA*
Perifiton	SMEWW 10300C, SMEWW 10300E	Organismos/0,27 m <sup>2</sup>		

\* Las muestras fueron evaluadas por especialistas taxónomos de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA

### 6.3.4 Procesamiento de datos

Para el análisis de los resultados obtenidos de la evaluación hidrobiológica se procedió a caracterizar las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y perifiton, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

#### 6.3.4.1 Composición, riqueza, densidad y diversidad de las comunidades hidrobiológicas (macroinvertebrados bentónicos) y la calidad ecológica según el protocolo CERA-S

Para el análisis de los resultados obtenidos se caracterizó las comunidades hidrobiológicas (macroinvertebrados bentónicos y perifiton). Se evaluó la riqueza y la densidad de la comunidad hidrobiológica basado en sus categorías taxonómicas y la diversidad de especies (diversidad alfa) utilizando los índices de diversidad verdadera (Números de Hill-N1) (Jost, 2006), el índice de dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) y el índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) (Pielou, 1975; Peet, 1974). Los cálculos de todos los análisis se realizaron con el software de código abierto Paleontological Data Analysis Past versión 3.15 (Hammer *et al.*, 2001).

##### a. Composición, riqueza y densidad

Se representó la clasificación taxonómica (phylum, clase, orden, familia y especie) de los macroinvertebrados bentónicos y perifiton.

La evaluación de la riqueza y la densidad de macroinvertebrados bentónicos y perifiton se desarrolló sobre la base de la categoría taxonómica «orden» y «phylum» respectivamente. Es necesario indicar, que los resultados de la densidad de macroinvertebrados bentónicos se analizaron con base en la densidad total, representándose los resultados en individuos/0,27 m<sup>2</sup>, cabe indicar que colectaron en un muestreo simple con 3 replica por cada punto de muestreo teniendo en cuenta los hábitats más dominantes. Para esto, se utilizó el programa Excel en donde se sistematizó los nombres y números de cada especie por cada punto de monitoreo reportado por los taxónomos contratados por el OEFA; posteriormente, se realizó las representaciones mediante gráficas acumuladas.



## b. Diversidad alfa

Para la evaluación de diversidad de especies (diversidad alfa) se utilizará los índices de diversidad verdadera (Números de Hill) con base en el número de especies de cada punto de monitoreo para cada comunidad hidrobiológica. Para esto, se utilizó la variable N1 como la modificación del índice Shannon (H') (Jost, 2006). Es importante mencionar que se realizó la transformación de la data a escala  $\text{Log}_{x+1}$  con la finalidad de evitar sesgo por la dominancia de ciertas especies.

A su vez también se usó el índice de dominancia de Simpson que es uno de los parámetros que nos permiten medir la diversidad de organismos. Este índice es inverso al concepto de equidad de la comunidad, ya que toma en cuenta las especies con mayor importancia sin considerar al resto de especies, siendo menos sensible con la riqueza de especies (Krebs, 1978; Magurran, 1991; Feinsinger, 2003). El índice de Simpson representa la probabilidad de que 2 individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie.

Por último, se desarrolló el índice de equidad de Pielou, el cual mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Pielou, 1975; Peet, 1974).

## c. Análisis Multivariado ANOSIM

Es una prueba no paramétrica que determina la diferencia significativa entre 2 o más grupos, en función de cualquier medida de distancia (Clarke, 1993). Las distancias se convierten en rangos. ANOSIM se utiliza normalmente en la comparación de especies entre grupos de muestras ecológicas. Esto indica si existen diferencias significativas entre los puntos de muestreo o entre las temporadas evaluadas.

## d. Calidad ecológica de ríos altoandinos según el protocolo CERA-S

El protocolo CERA-S da como resultado el estado ecológico de los ríos mediante la combinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica (macroinvertebrados bentónicos). La base del protocolo es la valoración de la calidad biológica del río y las características de su entorno y su representación mediante una combinación sencilla de colores que permite, a quien no tiene una formación científica especializada, observar rápidamente cual es el estado de salud de los sistemas lóticos (Encalada *et al.*, 2011). Es importante mencionar que se hizo una modificación al protocolo CERA-S, donde la calidad biológica que se trabajó fue con el índice biótico andino (ABI).

## e. Calidad hidromorfológica

La calidad hidromorfológica se estimó a partir de la observación de 8 características hidromorfológicas, las cuales son listadas a continuación.

- Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera
- Continuidad de la ribera
- Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje
- Presencia de basuras y escombros
- Naturalidad del canal fluvial
- Composición del sustrato
- Regímenes de velocidad y profundidad del río
- Elementos de heterogeneidad.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

El criterio de elección del puntaje para cada característica se detalla en los datos de campo. Una vez obtenidas las puntuaciones para cada característica hidromorfológica se obtiene una sumatoria de todas ellas, con la finalidad de tener un solo valor por punto de muestreo. Finalmente, para obtener la calidad hidromorfológica, dicho valor es comparado con la siguiente escala (Tabla 6.13).

**Tabla 6.13.** Valoración de la calidad hidromorfológica

Puntuación	Calidad hidromorfológica
> 35	Excelente
29 – 35	Buena
21 – 28	Moderada
11 – 20	Mala
0 – 10	Pésima

Fuente: Encalada *et al.* (2011)

#### f. Calidad biológica - Índice biótico andino (ABI)

A partir de la identificación de las muestras de macroinvertebrados bentónicos se determinará la calidad biológica utilizando el ABI (Índice biótico andino, del inglés *Andean Biotic Index*). Este índice fue desarrollado para ríos altoandinos (sobre los 2000 m s. n. m.) y se obtiene sumando los valores de sensibilidad de cada familia de macroinvertebrados bentónicos presente en cada punto de muestreo (Tabla 6.14).

**Tabla 6.14.** Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI

Orden / Clase	Familia	Puntaje	Orden / Clase	Familia	Puntaje	
Turbellaria	*	5	Trichoptera	Polycentropodidae	8	
Hirudinea	*	3		Xiphocentronidae	8	
Oligochaeta	*	1		Glossosomatidae	7	
Gasteropoda	Ancylidae	6		Limnephilidae	7	
	Hydrobiidae	3		Hydroptilidae	6	
	Limnaeidae	3	Hydropsychidae	5		
	Physidae	3	Lepidoptera	Pyralidae	4	
Planorbidae	3	Dryopidae		5		
Bivalvia	Sphaeriidae	3	Coleoptera	Elmidae	5	
Amphipoda	Hyaellidae	6		Hydraenidae	5	
Hydracarina	*	4		Lampyridae	5	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10		Psephenidae	5	
	Oligoneuridae	10		Ptilodactylidae	5	
	Leptohyphidae	7		Scirtidae(helodidae)	5	
	Baetidae	4		Gyrinidae	3	
Odonata	Polythoridae	10		Diptera	Dytiscidae	3
	Calopterygidae	8			Hydrophilidae	3
	Gomphidae	8			Staphylinidae	3
	Aeshnidae	6	Blepharoceridae		10	
	Coenagrionidae	6	Athericidae		10	
	Libellulidae	6	Simuliidae		5	
Plecoptera	Perlidae	10	Tipulidae		5	
	Gripopterygidae	10	Ceratopogonidae		4	

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Orden / Clase	Familia	Puntaje	Orden / Clase	Familia	Puntaje
Heteroptera	Corixidae	5		Dixidae	4
	Gerridae	5		Dolichopodidae	4
	Naucoridae	5		Empididae	4
	Notonectidae	5		Limoniidae	4
	Veliidae	5		Stratiomyidae	4
	Belostomatidae	4		Tabanidae	4
Trichoptera	Anomalopsychidae	10		Psychodidae	3
	Calamoceratidae	10		Chironomidae	2
	Helicopsychidae	10		Culicidae	2
	Odontoceridae	10		Ephydriidae	2
	Hydrobiosidae	8		Muscidae	2
	Leptoceridae	8		Syrphidae	1
	Philopotamidae	8		*	

\*La categoría taxonómica familia no presenta puntuación, por ende, la categoría taxonómica superior (Orden / Clase) es la que otorga la puntuación. Fuente: Acosta *et al.* (2009)

Para obtener el respectivo valor de calidad hidromorfológica, dichos valores fueron comparados con la siguiente escala (Tabla 6.15).

**Tabla 6.15.** Valoración de la calidad biológica con el índice ABI

Puntuación	Calidad biológica	
>74	Excelente	
45 – 74	Buena	
27 – 44	Moderada	
11 – 26	Mala	
<11	Pésima	

Fuente: Acosta *et al.* (2009)

La calidad ecológica se obtuvo combinando las valoraciones de calidad hidromorfológica y calidad biológica. Por ejemplo: si el resultado de combinar las 2 evaluaciones es azul, entonces la calidad ecológica del río es excelente; si es verde, es buena; si es amarilla, es moderada; si es naranja, es mala; y por último si es roja, es pésima. Otras combinaciones también son posibles (Tabla 6.16).

**Tabla 6.16.** Escala de calidad ecológica de un río

	Calidad Biológica					
	Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima	
Calidad hidromorfológica	Excelente	Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Buena	Buena	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Moderada	Buena	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Mala	Moderada	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Pésima	Moderada	Mala	Mala	Pésima	Pésima

Fuente: Encalada *et al.*, 2011



## 7. RESULTADOS

Con la finalidad de una mejor interpretación y análisis de los resultados de agua, el estudio se dividió en 2 zonas, los cuales corresponden a las microcuencas de los ríos Ferrobamba y Challhuahuacho, las cuales se detallan a continuación:

- Zona 1 - Microcuenca Ferrobamba: conformada por el río Ferrobamba (RFerr1, RFerr2 y RFerr3), agua subterránea (piezómetros: ASub1, ASub2 y ASub3), los manantiales (FSNom1 y FSNom2), y el efluente minero (EFlu-1).
- Zona 2 - Río Challhuahuacho y aportante: conformado por el río Chalhuahuacho (RChal1 y RChal3) y el manantial Challhuapuquio (FChal10) que tributa al río Chalhuahuacho.

Los resultados de los parámetros evaluados en la vigilancia ambiental, realizada en el mes de agosto (2019), se muestran en el Anexo H. A continuación, se presentan los resultados de los parámetros que superaron los ECA para Agua 2017, categoría 3 (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM) para los cuerpos de agua superficial y agua subterránea (manantiales y piezómetros).

Los resultados de la vigilancia realizada para comunidades hidrobiológicas en el mes de mayo y junio son reportados en este informe. La información respecto a la toma de muestra para comunidades hidrobiológicas se encuentra en el Informe N.º 234-2019-OEFA-DEAM-STEC.

### 7.1. Zona 1 – Microcuenca Ferrobamba

#### 7.1.1. Calidad de agua

En la Tabla 7.1 se presentan los resultados de pH alcalino del río Ferrobamba en el punto RFerr2 que superó el rango establecido en los ECA para Agua (2017), categoría 3; además, el oxígeno disuelto en las aguas subterráneas de los piezómetros ASub1, ASub2 y ASub3 se encontraron entre 2,97 a 3,30 mg/L siendo menores a lo establecido en la norma mencionada. Estas concentraciones de oxígeno disuelto registrados en las aguas subterráneas son características de este tipo de agua (Freeze y Cherry, 1979).

**Tabla 7.1.** Resultados de la medición de parámetros de campo de la zona 1 comparados con los ECA para Agua 2017

N.º	Cuerpo de agua o receptor	Código	Parámetros de campo				
			Potencial de hidrógeno (pH)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Temperatura (°C)	
1	Piezómetros	ASub1	7,29	3,01	183,1	15,4	
2		ASub3	7,36	3,30	293,0	13,7	
3		ASub2	7,02	2,97	235,0	15,1	
4	Río Ferrobamba	RFerr2	8,63	9,67	517,0	17,2	
5	Manantiales	FSNom2	7,38	6,85	315,0	13,3	
ECA 2017*		Categoría 3*	D1: Riego de vegetales	6,5 - 8,5	≥ 4	2500	Δ3
			D2: Bebida de animales	6,5 - 8,4	≥ 5	5000	Δ3

\* Estándares de Calidad Ambiental para agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM).

Δ3: Variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada; sin embargo, por tratarse de muestras puntuales esta variación de temperatura no será considerada

: Incumple la subcategoría D1 y D2 de los ECA para Agua (2018), categoría 3.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

En el Anexo H-1 se presenta los resultados de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos de las muestras de la zona 1, los cuales cumplieron los ECA para Agua (2017), categoría 3; a excepción de manganeso total en los piezómetros ASub1 y ASub2, y selenio total el río Ferrobamba (RFerr2).

### 7.1.2. Comunidades hidrobiológicas

#### 7.1.2.1. Macroinvertebrados bentónicos

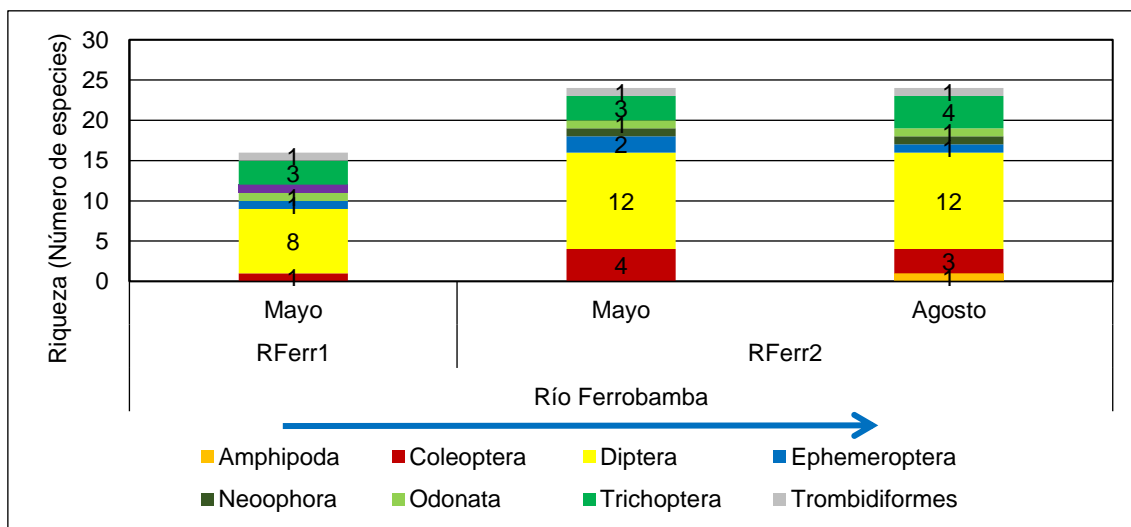
##### a.- Composición, riqueza, densidad y diversidad alfa

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Ferrobamba durante las evaluaciones en los meses de mayo y agosto estuvo representada por 35 especies, agrupada en 2 phyla, 4 clases, 8 órdenes, 19 familias y 35 géneros (Anexo H-2).

En la Figuras 7.1, 7.2 y 7.3 se observa el comportamiento y distribución de la riqueza, densidad y diversidad alfa respectivamente de los grupos de especies macroinvertebrados bentónicos registradas en los cuerpos de agua, donde se registró lo siguiente:

En mayo, en el recorrido del río Ferrobamba en los puntos RFerr1 y RFerr2 se registró una ligera disminución de densidad de 935 y 786 organismos/0,27m<sup>2</sup>; asimismo, se registró un aumento de riqueza de 15 a 24 especies; respectivamente, siendo mayor representado por los órdenes Ephemeroptera y Diptera con el dominio de las especies *Andesiops sp.* y *Simulium sp.*, esto se vio reflejado con el incremento de valor de especie efectiva (N1) de 11,67 a 21,31; además, de medio y altos valores de equidad de Pielou de 0,44 a 0,78 y un moderado y bajos valores de dominancia de Simpson de 0,12 a 0,43; lo que indica una mayor distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies.

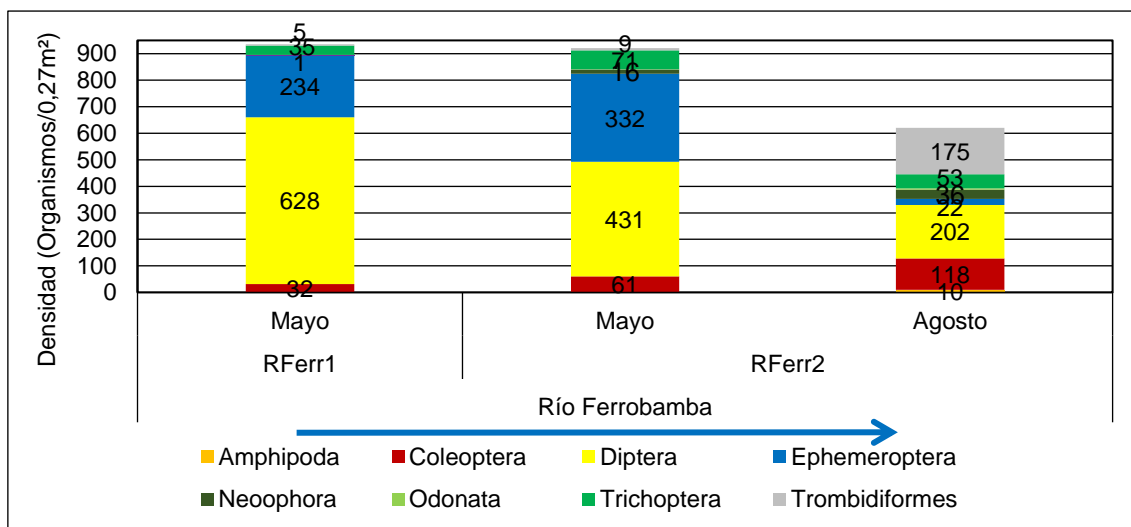
En agosto, el río Ferrobamba (RFerr2) registró menor densidad con 611 organismos/0,27m<sup>2</sup> con respecto a mayo; asimismo, se registró igual riqueza de 24 especies en ambos meses evaluados; siendo mayor representado en mayo por los órdenes Ephemeroptera y Diptera, con el dominio de las especies *Andesiops sp.* y *Polypedilum sp.*; mientras que, en agosto fue mayor representado por los órdenes Trombidiformes y Coleoptera, con el dominio de la taxa Limnesiidae n.d. y la especie *Austrelmis sp.*, esto se vio reflejado en similares valores de especies efectivas (N1) de 20,74 a 21,31; además, de altos valores de equidad de Pielou de 0,73 a 0,78 y bajos valores de dominancia de Simpson de 0,12 a 0,15; lo que indica una mayor distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies. Es importante mencionar que, el punto RFerr1 en agosto se registró sin flujo de agua.



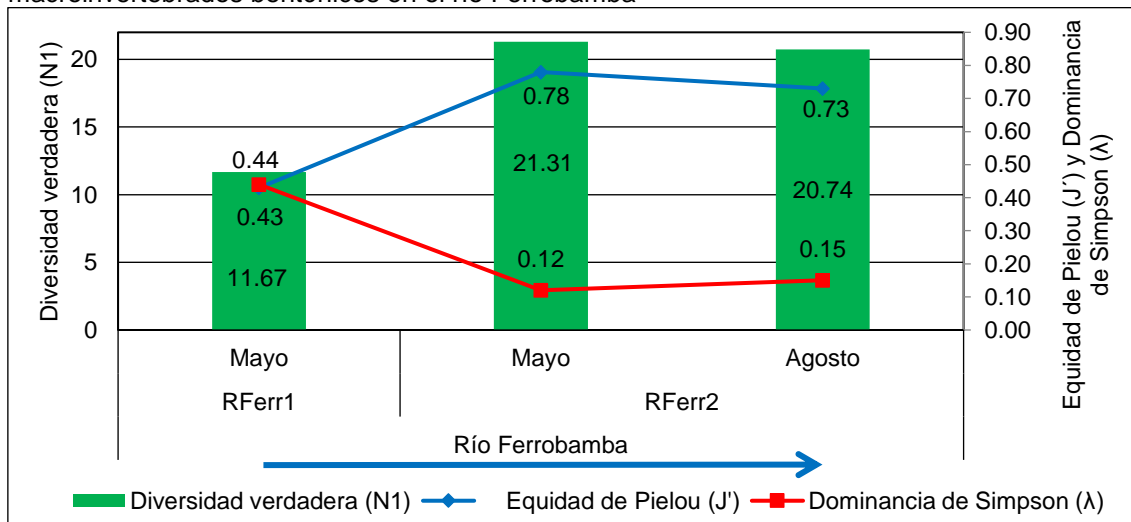


Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**Figura 7.1.** Riqueza (Número de especies distintas) con respecto al orden de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Ferrobamba



**Figura 7.2.** Densidad (abundancia) con respecto al orden de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Ferrobamba



**Figura 7.3.** Diversidad alfa de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Ferrobamba

**b. Resultados del protocolo CERA-S modificado**

En la Tabla 7.2 se observa los resultados obtenidos del análisis de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado. Según el protocolo CERA-S usado referencialmente para la obtención de la calidad ecológica se obtuvo lo siguiente:

La calidad hidromorfológica en mayo en el recorrido del río Ferrobamba del punto RFerr1 al RFerr2 se registró un ligero cambio de calidad mala a moderada; asimismo, el punto RFerr2 en ambos meses registró calidad moderada. Esta evaluación es importante porque nos permite medir el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacente

La calidad biológica (ABI) en ambos meses en el recorrido del río Ferrobamba del punto RFerr1 al RFerr2 registró calidad buena. Esta evaluación nos permite medir el grado de





Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

impacto en el cuerpo de agua a través de la tolerancia o sensibilidad de especies macroinvertebrados.

Finalmente, la calidad ecológica se obtuvo a través de una combinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica registrando moderada calidad en los puntos RFerr1 al RFerr2 (río Ferrobamba) en ambos meses evaluados. Esta evaluación es importante porque nos permite hacer una medición integral del estado en el que se encuentra el ecosistema e incluye la evaluación tanto de los alrededores del río como del ambiente acuático.

**Tabla 7.2.** Resultados de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado

Cuerpos de agua	Código	Mes evaluado	CERA-S		
			Calidad hidromorfológica	Calidad Biológica (ABI)	Estado ecológico
Río Ferrobamba	RFerr1	Mayo	Mala (20)	Bueno (49)	Moderada
	RFerr2	Mayo	Moderada (24)	Bueno (55)	Moderada
		Agosto	Moderada (21)	Bueno (72)	Moderada

### 7.1.2.2. Perifiton

#### 7.1.2.2.1. Microalgas

La comunidad de microalgas en el río Ferrobamba durante las evaluaciones en los meses de mayo y agosto estuvo representada por 50 especies, agrupada en 4 phyla, 6 clases, 15 órdenes, 20 familias y 29 géneros (Anexo H-2).

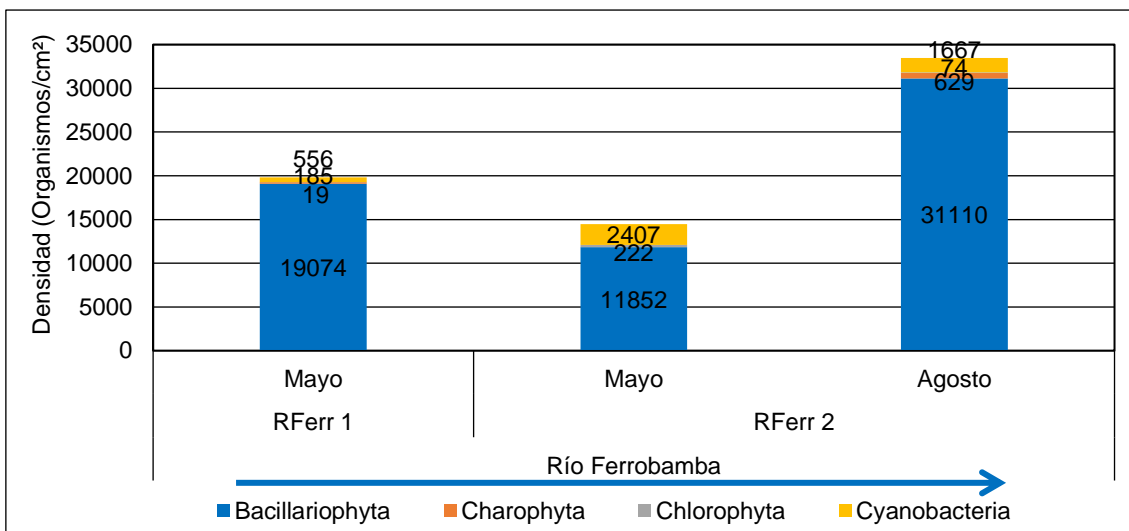
En la Figuras 7.4, 7.5 y 7.6 se observa el comportamiento y distribución de la riqueza, densidad y diversidad alfa respectivamente de los grupos de especies de microalgas registradas en los cuerpos de agua, donde se registró lo siguiente:

En mayo, en el recorrido del río Ferrobamba en los puntos RFerr1 y RFerr2 se registraron una disminución de densidad de 19 833 y 14 481 organismos/cm<sup>2</sup>, así mismo se registró un aumento de riqueza de 18 a 22 especies; respectivamente, siendo predominante el phylum Bacillariophyta con el dominio de las especies *Achnanthes minutissimum* y *Nitzschia palea*. Esto se vio reflejado con el incremento de valor de especie efectiva (N1) de 17,68 a 21,73; además de altos valores de equidad de Pielou de 0,87 a 0,89 y bajos valores de dominancia de Simpson de 0,08 a 0,11; lo que indica una mayor distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies.

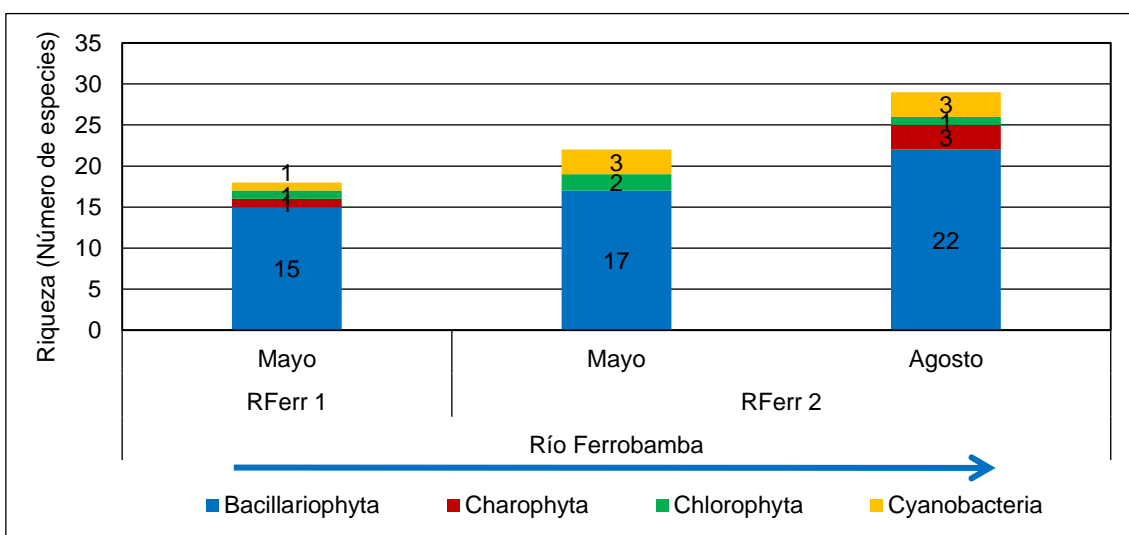
En agosto, el río Ferrobamba (RFerr2) se registró mayor densidad de 33 480 organismos/cm<sup>2</sup> y riqueza con 29 especies con respecto a mayo, siendo predominante por el phylum Bacillariophyta con el dominio de las especies *Achnanthes minutissimum* y *Nitzschia palea*; mientras que, en agosto fue mayor representado por el phylum Bacillariophyta con el dominio de las especies *Fragilaria capuccina* y *Melosira varians*. Esto se vio reflejado en el mayor valor de especies efectivas (N1) de 28,55 con respecto a 21,73 en mayo; además, se registró altos valores de equidad de Pielou de 0,82 y 0,89; así como bajos valores de dominancia de Simpson de 0,08 y 0,09; lo que indica una mayor distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies. Es importante mencionar que, el punto RFerr1 en agosto se registró sin flujo de agua.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

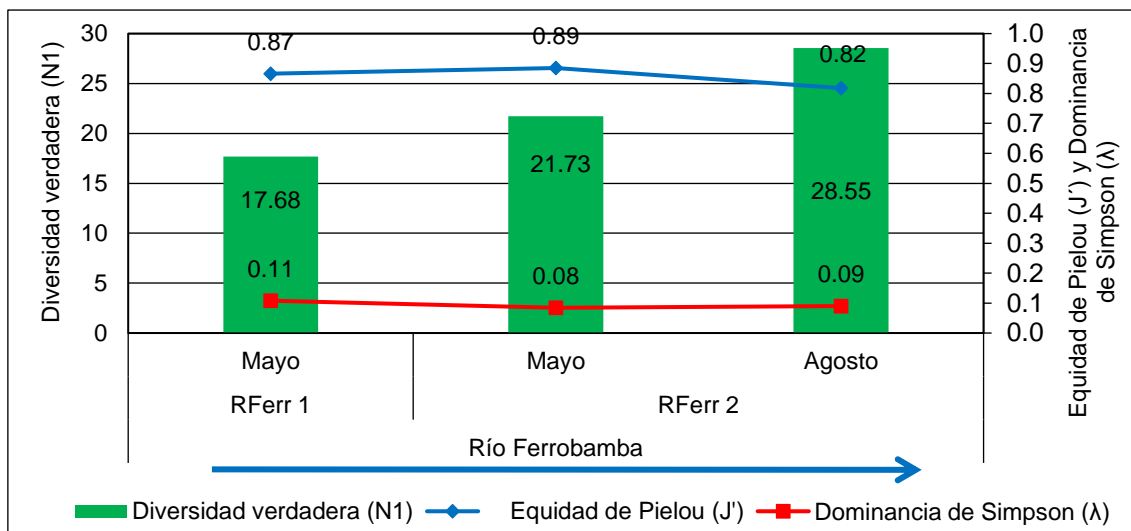


**Figura 7.4.** Riqueza (Número de especies distintas) con respecto al phylum de la comunidad de microalgas en el río Ferrobamba



**Figura 7.5.** Densidad (abundancia) con respecto al phylum de la comunidad de microalgas en el río Ferrobamba

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 7.6.** Diversidad alfa de la comunidad de microalgas en el río Ferrobamba

#### 7.1.2.2.2. Microorganismos

En el río Ferrobamba se registró la composición de microorganismos representada por 3 especies, agrupada en 3 phyla, 3 clases, 3 órdenes, 3 familias y 3 géneros. Debido a la baja o nula abundancia de microorganismos los resultados se pueden observar directamente en el Anexos H-2.

### 7.2. Zona 2 – Río Challhuahuacho y aportante

#### 7.2.1. Calidad de agua

En la Tabla 7.3 se presentan los resultados de la medición de parámetros de campo obtenidos durante el monitoreo de agua superficial en la zona 2, en la que se observa que los valores de potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, y conductividad eléctrica cumplieron lo establecido en los ECA para Agua (2017), categoría 3.

**Tabla 7.3.** Resultados de la medición de parámetros de campo de la zona 2 comparados con los ECA para Agua 2017

N.º	Cuerpo de agua o receptor	Código	Parámetros de campo				
			Potencial de hidrógeno (pH)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Temperatura (°C)	
1	Río Challhuahuacho	RChal1	7,85	7,02	210,4	13,7	
2		RChal3	7,83	7,81	172,5	11,6	
3	Manantial Challhuapuquio	FChal10	7,44	4,64	222,0	15,7	
ECA 2017*		Categoría 3*	D1: Riego de vegetales	6,5 - 8,5	≥ 4	2500	Δ3
			D2: Bebida de animales	6,5 - 8,4	≥ 5	5000	Δ3

\* Estándares de Calidad Ambiental para agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM).

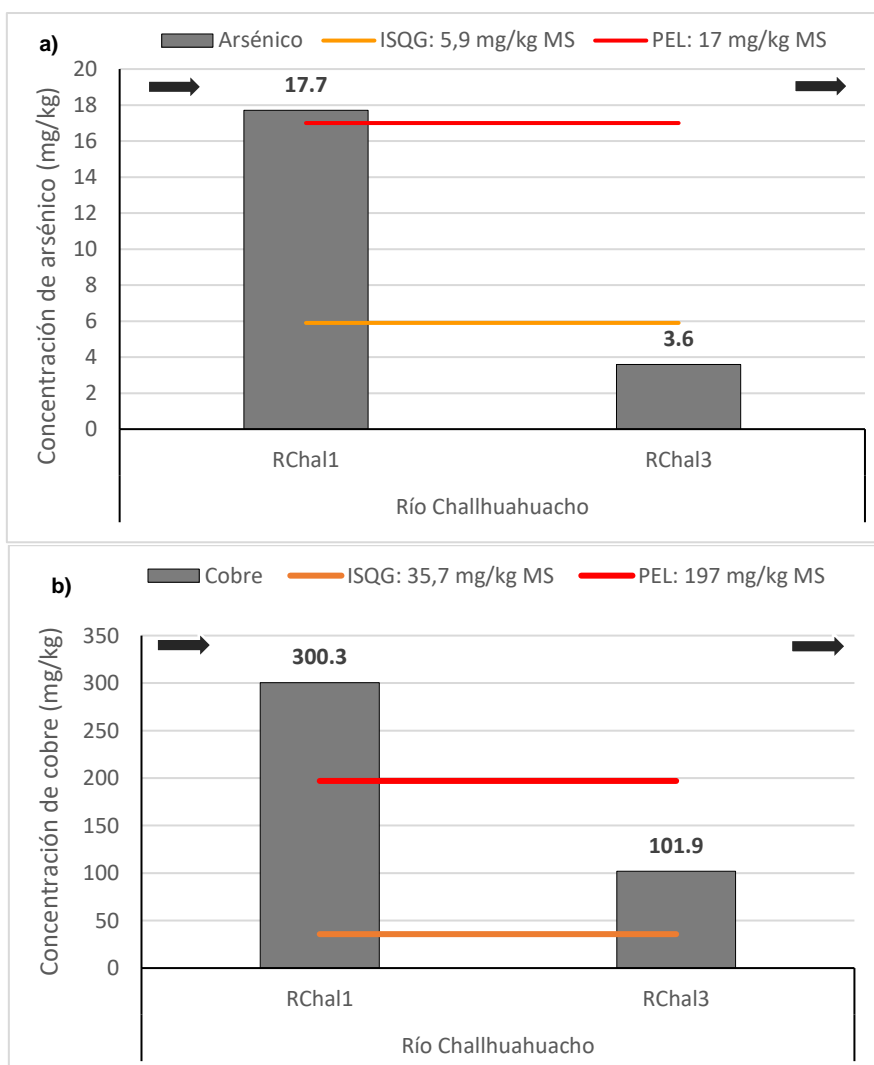
Δ3: Variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada; sin embargo, por tratarse de muestras puntuales esta variación de temperatura no será considerada

En el Anexo H-1 se presenta los resultados de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos de las muestras de la zona 2, los cuales cumplieron los ECA para Agua (2017), categoría 3.

## 7.2.2. Sedimentos

En esta zona se han evaluado 2 puntos de monitoreo (RChal1 y RChal3) de sedimentos, ambos ubicados en el río Challhuahuacho. Los resultados de los parámetros evaluados fueron comparados con los valores de la guía canadiense para sedimentos de aguas continentales (CCME), los demás resultados de los parámetros evaluados se encuentran en el Anexo H-3.

De acuerdo con la Figura 7.7a, el punto RChal1 del río Challhuahuacho, ubicado aguas arriba de la confluencia con el río Ferrobamba, superó en arsénico los valores ISQG y PEL de la guía canadiense; a diferencia del punto RChal3, ubicado aguas abajo del río Ferrobamba, que no superó ningún valor. Asimismo, en la Figura 7.7b, se observa que los puntos RChal1 y RChal3 superaron en cobre el valor ISQG de la guía canadiense; y el punto RChal1 solo el valor PEL de la mencionada guía.



**Figura 7.7.** Resultados de a) arsénico y b) cobre en sedimento

## 7.2.3. Comunidades hidrobiológicas

### 7.2.3.1. Macroinvertebrados bentónicos



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**a.- Composición, riqueza, densidad y diversidad alfa**

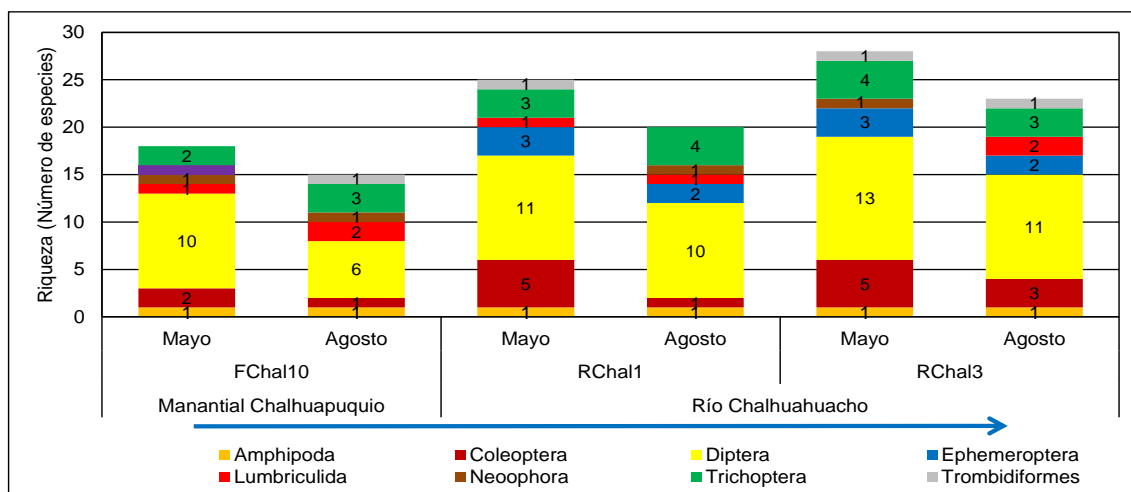
La comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Chalhuhuacho y tributario estuvo representada por 43 especies, agrupada en 3 phyla, 5 clases, 8 órdenes, 20 familias y 43 géneros (Anexo H-2).

En la Figuras 7.8, 7.9 y 7.10 se observa el comportamiento y distribución de la riqueza, densidad y diversidad alfa respectivamente de los grupos de especies macroinvertebrados bentónicos registradas en los cuerpos de agua, donde se registró lo siguiente:

En el manantial Challhuapuquio (FChal10) en mayo se registró la mayor densidad con 1581 organismos/0,27m<sup>2</sup> y riqueza con 17 especies con respecto a agosto que registró 1168 organismos/0,27m<sup>2</sup> y 15 especies; siendo mayor en mayo por los órdenes Neophora y Amphipoda con el dominio de la taxa Dugesiidae n.d. y la especie *Hyaella* sp.; mientras que, en agosto fue representado por los órdenes Diptera y Amphipoda con el dominio de las especies *Cricotopus* sp. y *Hyaella* sp. Esto se vio reflejado con un mayor de valor de especie efectiva (N1) de 14,01 en mayo con respecto a agosto; además se registró medios valores de equidad de Pielou de 0,39 a 0,44 y medios valores de dominancia de Simpson de 0,40 a 0,56; lo que indica una moderada distribución homogénea y una moderada dominancia del grupo de especies.

En mayo, en el recorrido del río Chalhuhuacho de los puntos RChal1 al RChal3 registraron un incremento de densidad de 704 a 809 organismos/0,27m<sup>2</sup>; asimismo, se registró un aumento de riqueza de 25 a 28 especies; respectivamente, siendo mayor representado por el orden Ephemeroptera con el dominio de la especie *Andesiops* sp. Esto se vio reflejado con un ligero incremento de valor de especie efectiva (N1) de 22,25 a 23,06; además, registraron de medio y altos valores de equidad de Pielou de 0,69 a 0,79 y bajos valores de dominancia de Simpson de 0,12 a 0,16; lo que indica una mayor distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies.

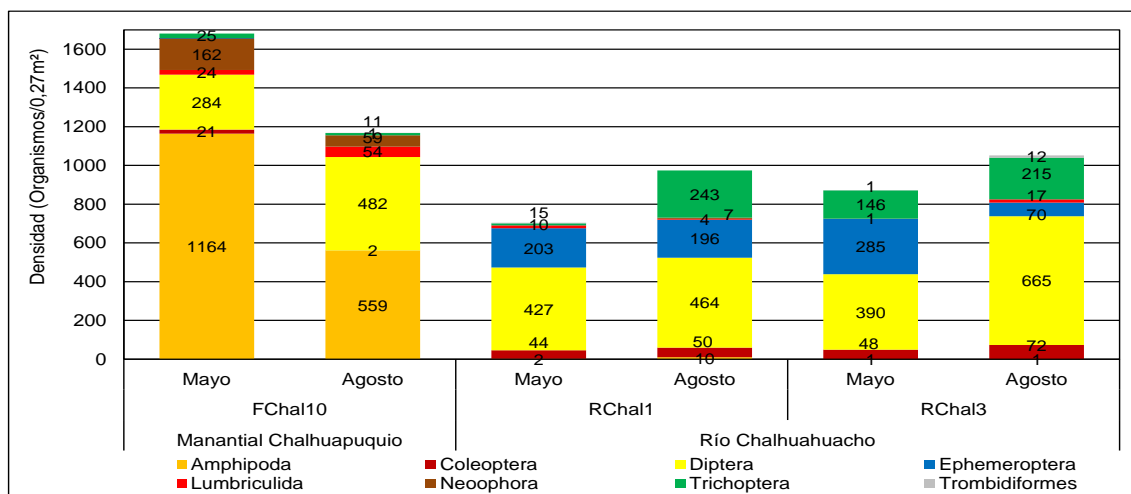
En agosto, en el recorrido del río Chalhuhuacho de los puntos RChal1 al RChal3 se registraron un ligero incremento de densidad de 920 a 1043 organismos/0,27m<sup>2</sup>; asimismo, se registró un aumento de riqueza de 20 a 23 especies; respectivamente, siendo mayor representado por los órdenes Trichoptera y Diptera con el dominio de la especie *Smicridea* sp. y *Cricotopus* sp., esto se vio reflejado con un ligero incremento de valor de especie efectiva (N1) de 16,77 a 18,50; además registraron de medios valores de equidad de Pielou de 0,65 a 0,68 y bajos valores de dominancia de Simpson de 0,17 a 0,20; lo que indica una moderada distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies.



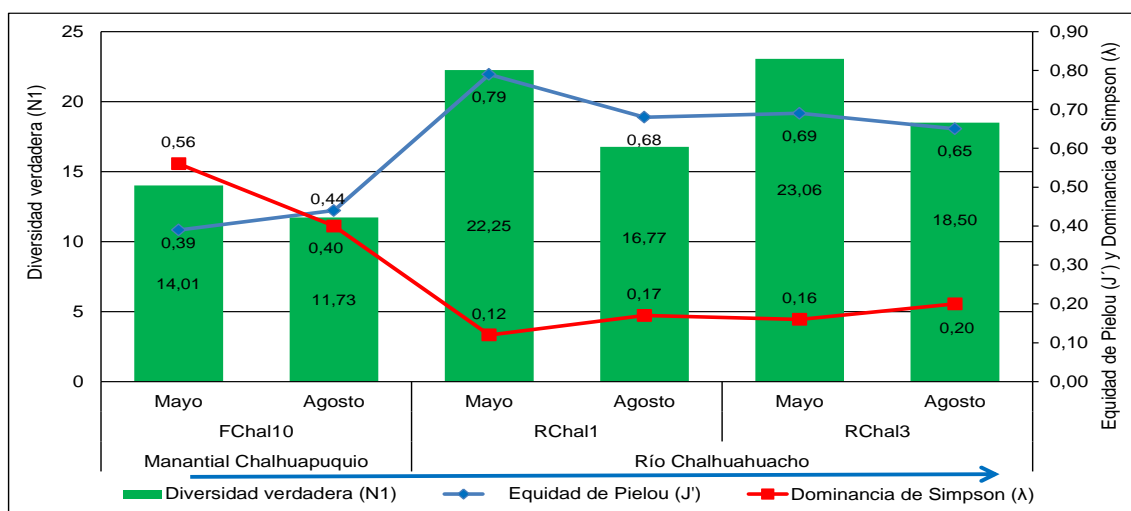


Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**Figura 7.8.** Riqueza (Número de especies distintas) con respecto al orden de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Chalhuhhuacho y tributario



**Figura 7.9.** Densidad (Abundancia) con respecto al orden de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Chalhuhhuacho y tributario



**Figura 7.10.** Diversidad alfa de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Chalhuhhuacho y tributario

**b. Resultados del protocolo CERA-S modificado**

En la Tabla 7.8 se observa los resultados obtenidos del análisis de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado. Según el protocolo CERA-S usado referencialmente para la obtención de la calidad ecológica se obtuvo lo siguiente:

La calidad hidromorfológica en los meses de mayo y agosto en el manantial Chalhuhhuapuquio (FChal10) registraron una calidad moderada, así mismo en el río Chalhuhhuacho (RChal1 y RChal3) registraron calidad mala en los meses evaluados. Esta evaluación es importante porque nos permite medir el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacente.

La calidad biológica (ABI) en los meses de mayo y agosto en el manantial Chalhuhhuapuquio (FChal10) variaron de calidad moderada a buena respectivamente, así mismo en el río



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Chalhuahuacho (RChal1 y RChal3) registraron calidad buena en ambos meses evaluados. Esta evaluación nos permite medir el grado de impacto en el cuerpo de agua a través de la tolerancia o sensibilidad de especies macroinvertebrados.

Finalmente, la calidad ecológica se obtuvo a través de una combinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica registrando moderada calidad en los puntos FChal10 (Manantial Challhuapuquio), RChal1 y RChal3 (Río Chalhuahuacho) en ambos meses evaluados. Esta evaluación es importante porque nos permite hacer una medición integral del estado en el que se encuentra el ecosistema e incluye la evaluación tanto de los alrededores del río como del ambiente acuático.

**Tabla 7-4.** Resultados de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado

Cuerpos de agua	Código	Mes evaluado	CERA-S		
			Calidad hidromorfológica	Calidad Biológica (ABI)	Estado ecológico
Manantial Challhuapuquio*	FChal10	Mayo	Moderada (22)	Moderada (33)	Moderada
		Agosto	Moderada (21)	Bueno (53)	Moderada
Río Chalhuahuacho	RChal1	Mayo	Mala (13)	Bueno (46)	Moderada
		Agosto	Mala (18)	Bueno (66)	Moderada
	RChal3	Mayo	Mala (13)	Bueno (70)	Moderada
		Agosto	Mala (15)	Bueno (63)	Moderada

\*: Se consideró este cuerpo de agua debido a que tiene un flujo y cauce similar a un río o quebrada

### 7.2.3.2. Perifiton

#### 7.2.3.2.1. Microalgas

La comunidad de microalgas en el río Chalhuahuacho durante las evaluaciones en los meses de mayo y agosto estuvo representada por 84 especies, agrupada en 4 phyla, 6 clases, 19 órdenes, 32 familias y 45 géneros (Anexo H-2).

En las Figuras 7.11, 7.12 y 7.13 se observa el comportamiento y distribución de la riqueza, densidad y diversidad alfa respectivamente de los grupos de especies de microalgas registradas en los cuerpos de agua, donde se registró lo siguiente:

En el manantial Challhuapuquio (FChal10) en mayo se registró menor densidad con 29 815 organismos/cm<sup>2</sup>, pero mayor riqueza con 27 especies con respecto a agosto que registró 34 391 organismos/0,27m<sup>2</sup> y 25 especies; siendo predominante los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria con el dominio de las especie *Achnantheidium subatomoides* y *Microcoleus autumnalis* en mayo; mientras que, en agosto fue representado por el phylum Bacillariophyta con el dominio de las especies *Achnantheidium cf. exilis* y *Planothidium lanceolatum*. Esto se vio reflejado con un mayor valor de especie efectiva (N1) de 26,56 en mayo con respecto a agosto; además, se registró medios y altos valores de equidad de Pielou de 0,74 y 0,83, y bajos valores de dominancia de Simpson de 0,09 y 0,13, lo que indica una mayor distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies.

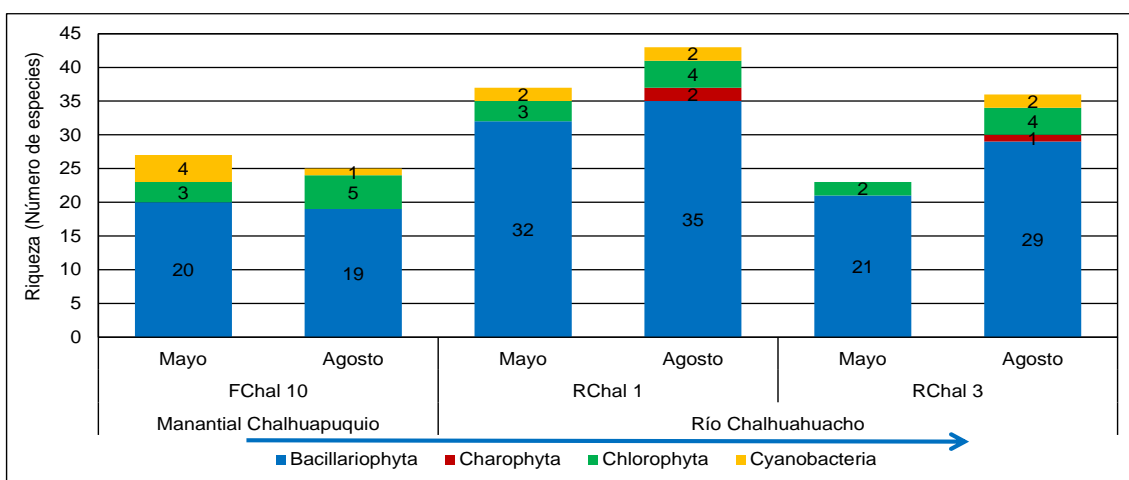
En el recorrido del río Chalhuahuacho de los puntos RChal1 al RChal3 (mayo 2019) se registraron una disminución de densidad de 38 907 a 20 741 organismos/cm<sup>2</sup> y riqueza de 37 a 23 especies; respectivamente, siendo predominante el phylum Bacillariophyta con el dominio de las especies *Encyonema minutiforme* y *Hannaea arcus*. Esto se vio reflejado en la disminución de valores de especies efectivas (N1) de 36,45 a 22,76, además registraron



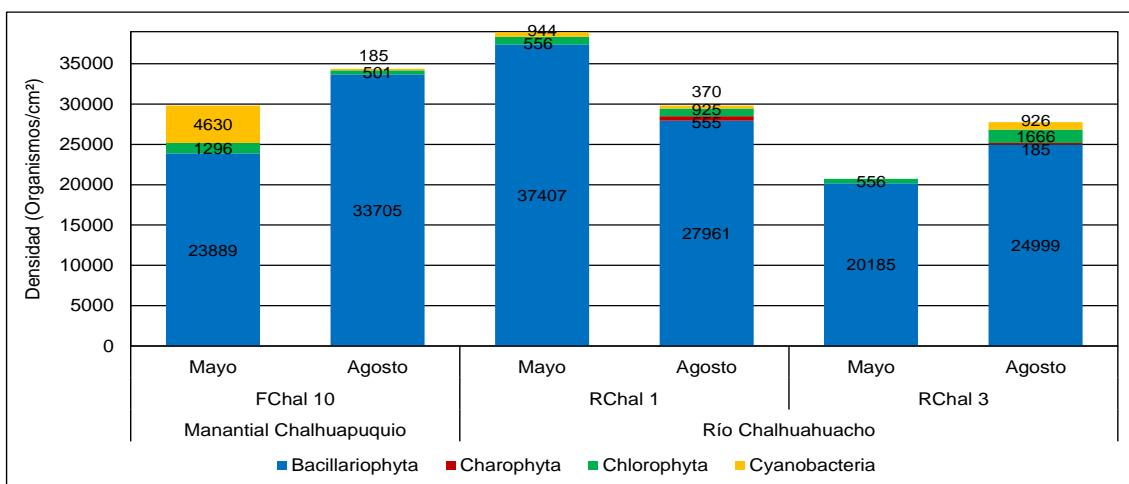
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

altos valores de equidad de Pielou de 0,86 a 0,89 y bajos valores de dominancia de Simpson de 0,05 a 0,09, lo que indica una mayor distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies.

En agosto, en el recorrido del río Challhuahuacho de los puntos RChal1 al RChal3 se registraron una disminución de densidad de 29 811 a 27 776 organismos/cm<sup>2</sup> y riqueza de 43 a 36 especies; respectivamente, siendo predominante el phylum Bacillariophyta con el dominio de las especies *Planothidium lanceolatum*, *Encyonema silesiacum* y *Navicula capitatoradiata*. Esto se vio reflejado en la disminución de valores de especies efectivas (N1) de 42,57 a 35,67; además, registraron altos valores de equidad de Pielou de 0,86 a 0,91 y bajos valores de dominancia de Simpson de 0,04 a 0,09; lo que indica una mayor distribución homogénea y una baja dominancia del grupo de especies.



**Figura 7.11.** Riqueza (Número de especies distintas) con respecto al phylum de la comunidad de microalgas en el río Chalhuhahuacho y tributario



**Figura 7.12.** Densidad (abundancia) con respecto al phylum de la comunidad de microalgas en el río Chalhuhahuacho y tributario



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

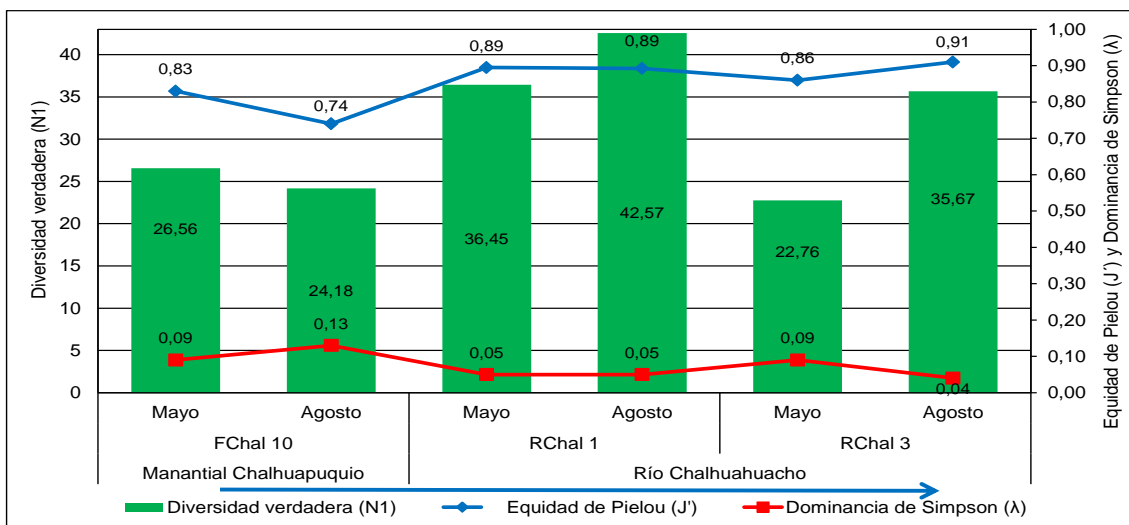


Figura 7.13. Diversidad alfa de la comunidad de microalgas en el río Chalhuahuacho y tributario

### 7.2.3.2.2. Microorganismos

En el río Challhuahuacho y tributario se registró la composición de microorganismos representada por 6 especies, agrupada en 3 phyla, 3 clases, 3 órdenes, 5 familias y 5 géneros. Debido a la baja o nula abundancia de microorganismos los resultados se pueden observar directamente en el Anexo H-2.

## 8. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo realizar la vigilancia ambiental en los ríos Ferrobamba y Challhuahuacho, así como sus tributarios ubicados en el área de influencia de la unidad minera Las Bambas, a través de monitoreos de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas. Asimismo, los resultados obtenidos fueron comparados con información de estudios anteriores realizados por el OEFA en los años 2016, 2017, 2018 y 2019 (mayo y junio); así como, los resultados reportados en la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de la Unidad Minera Las Bambas S.A. (en adelante, TMEIA Las Bambas) e Informes de monitoreo ambiental que son reportados trimestralmente.

La discusión de los resultados se realizó en 2 zonas:

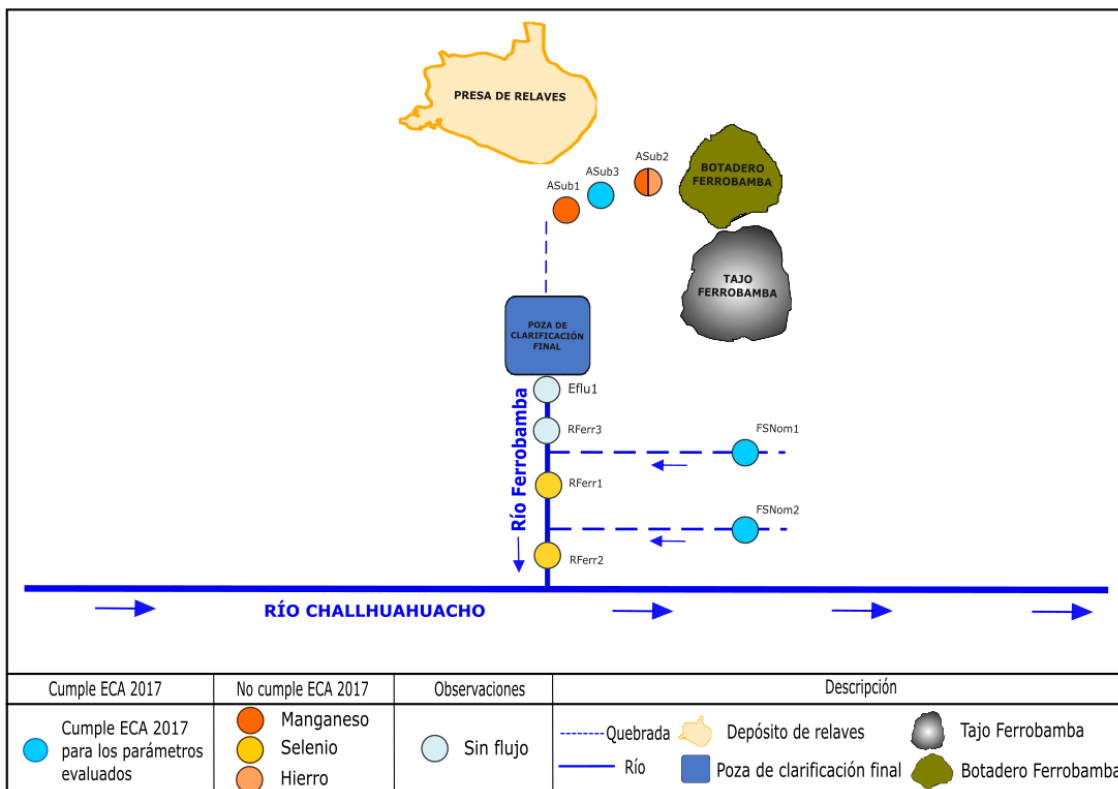
Zona 1: Microcuenca Ferrobamba

Zona 2: Río Challhuahuacho y aportante.

### 8.1. Zona 1 – Microcuenca Ferrobamba

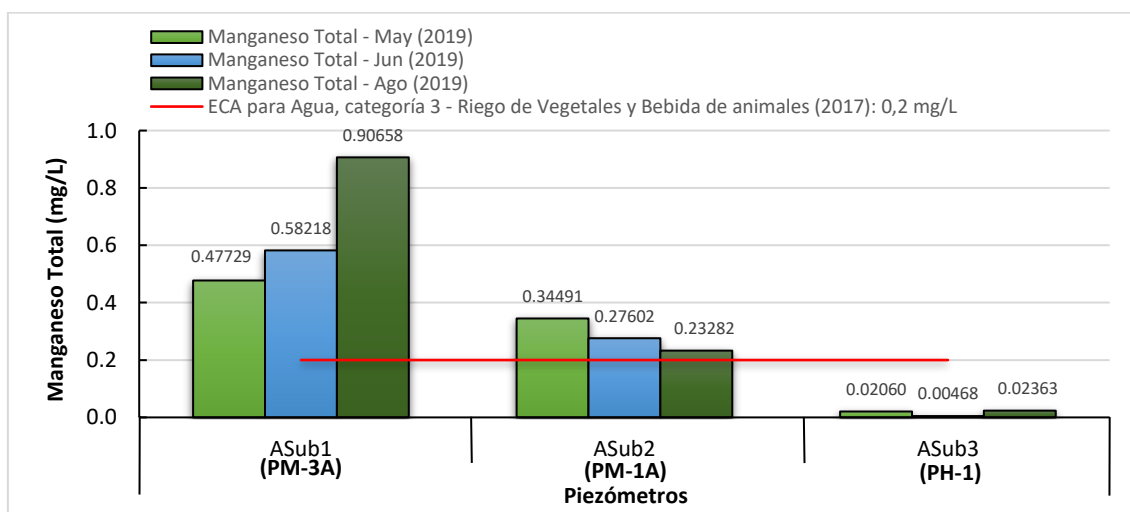
En la Figura 8.1 se presenta el esquema de los puntos de monitoreo de agua superficial y agua subterránea (piezómetros y manantiales) de la zona 1.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 8.1.** Distribución de puntos de monitoreo en la zona 1 - Microcuenca Ferrobamba

El agua subterránea de los piezómetros ASub1 y ASub2, ubicados aguas abajo del botadero Ferrobamba y en el frente este de la presa de relaves de la unidad minera Las Bambas, presentaron concentraciones de manganeso total en los 3 meses evaluados (2019) que superaron los ECA para Agua (2017) categoría 3; no obstante, se observó un incremento progresivo de las concentraciones de manganeso en el piezómetro ASub1, y una disminución progresiva en el piezómetro ASub2 (Figura 8.2).



**Figura 8.2.** Concentraciones de manganeso total en piezómetros (ASub1, ASub2 y ASub3) de la UM Las Bambas

Los resultados de las concentraciones de manganeso obtenidos en la vigilancia ambiental de mayo, junio y agosto de 2019 fueron comparados con la data histórica reportada en la



TMEIA e informes de monitoreo ambiental trimestrales (junio de 2017 a mayo de 2019). En la Figura 8.3 se observa que las concentraciones de manganeso en las aguas de los piezómetros ASub1 (PM-3A) y ASub2 (PM-1A) se incrementaron hasta exceder referencialmente los ECA para agua categoría 3, desde marzo de 2018 hasta mayo de 2019. Cabe indicar que, el agua del piezómetro ASub1 en el mes de noviembre de 2016 presentó un dato anómalo según lo reportado en la TMEIA Las Bambas.

Por otro lado, la concentración del manganeso disuelto registrado en la vigilancia 2019 en el piezómetro ASub1 fue mayor; mientras que en el agua del piezómetro ASub2 fue similar a lo registrado en los informes de monitoreo ambiental trimestral de agua subterránea (Figura 8.3).

El administrado reporta resultados del piezómetro ASub3 (PH-1) desde 2018, debido a que presentó un informe al OEFA indicando lo siguiente: *«...durante las actividades de acondicionamiento del HR-1 realizadas en el mes de marzo de 2018, se enterró con material de desmonte el piezómetro PM-2A de manera involuntaria, ello a consecuencia del movimiento de tierras que se originó durante el proceso, inutilizando el piezómetro en mención para efectos del monitoreo señalado anteriormente...sin perjuicio de lo señalado, y a fin de cumplir con nuestra obligación de monitorear las aguas subterráneas, les indicamos que el Monitoreo Ambiental se ha realizado en el Pozo PH-1...»* por lo que este piezómetro posee poca información histórica para realizar un análisis detallado.



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 de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

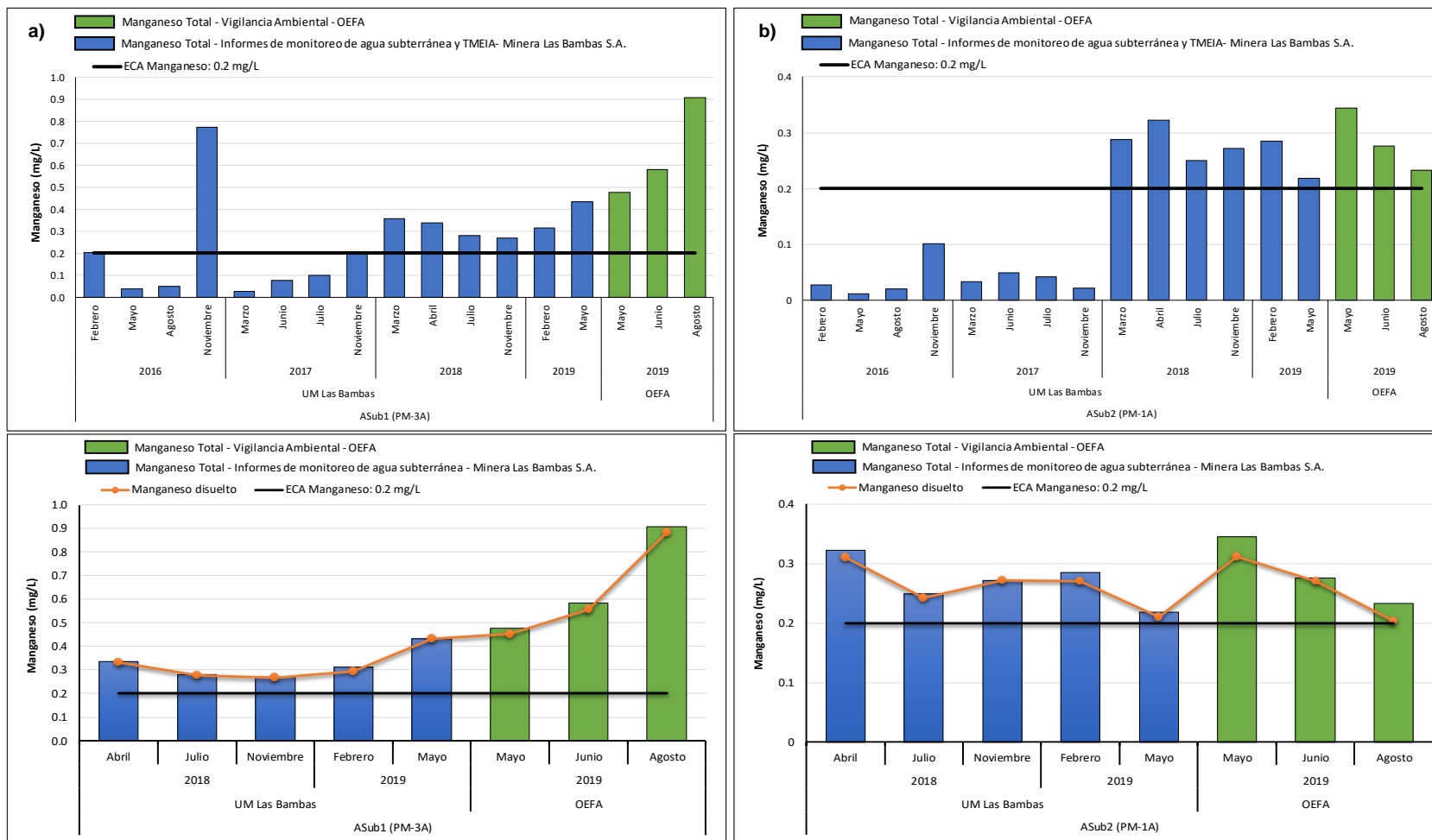


Figura 8.3. Concentraciones de manganeso total y manganeso disuelto comparados con resultados históricos reportados por Minera Las Bambas S.A. en los piezómetros a) ASub1 y b) ASub2



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

En la vigilancia ambiental correspondiente a los meses de mayo, junio y agosto de 2019, se observó que la unidad minera Las Bambas no realizó descarga de efluentes mineros en el punto EFlu-1 (Figura 8.4abc); además, en el punto RFerr3, ubicado en el río Ferrobamba a 130 m aproximadamente del punto de descarga en todos los meses de evaluación, se observó sin flujo de agua en los tres meses de la vigilancia ambiental de 2019.

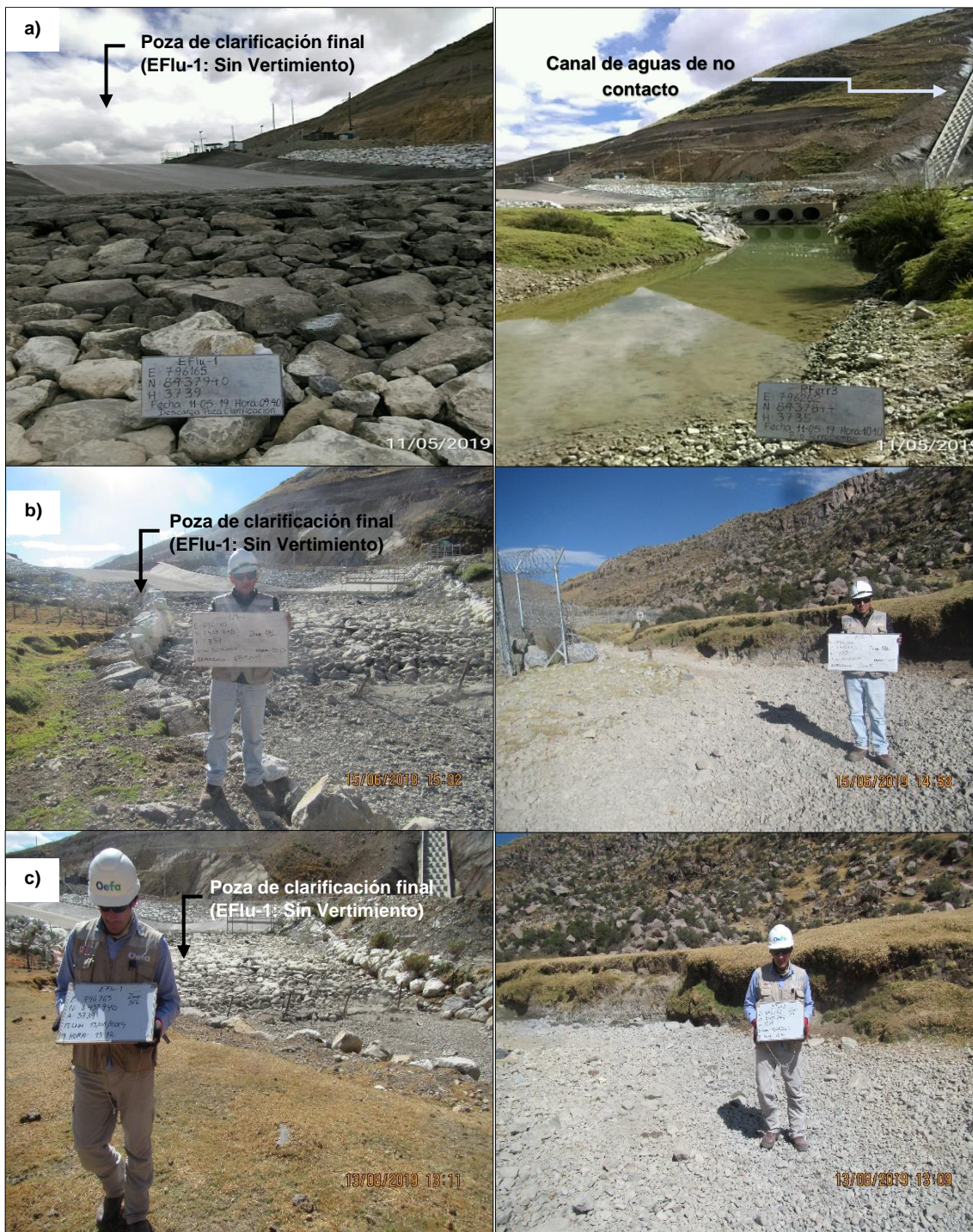
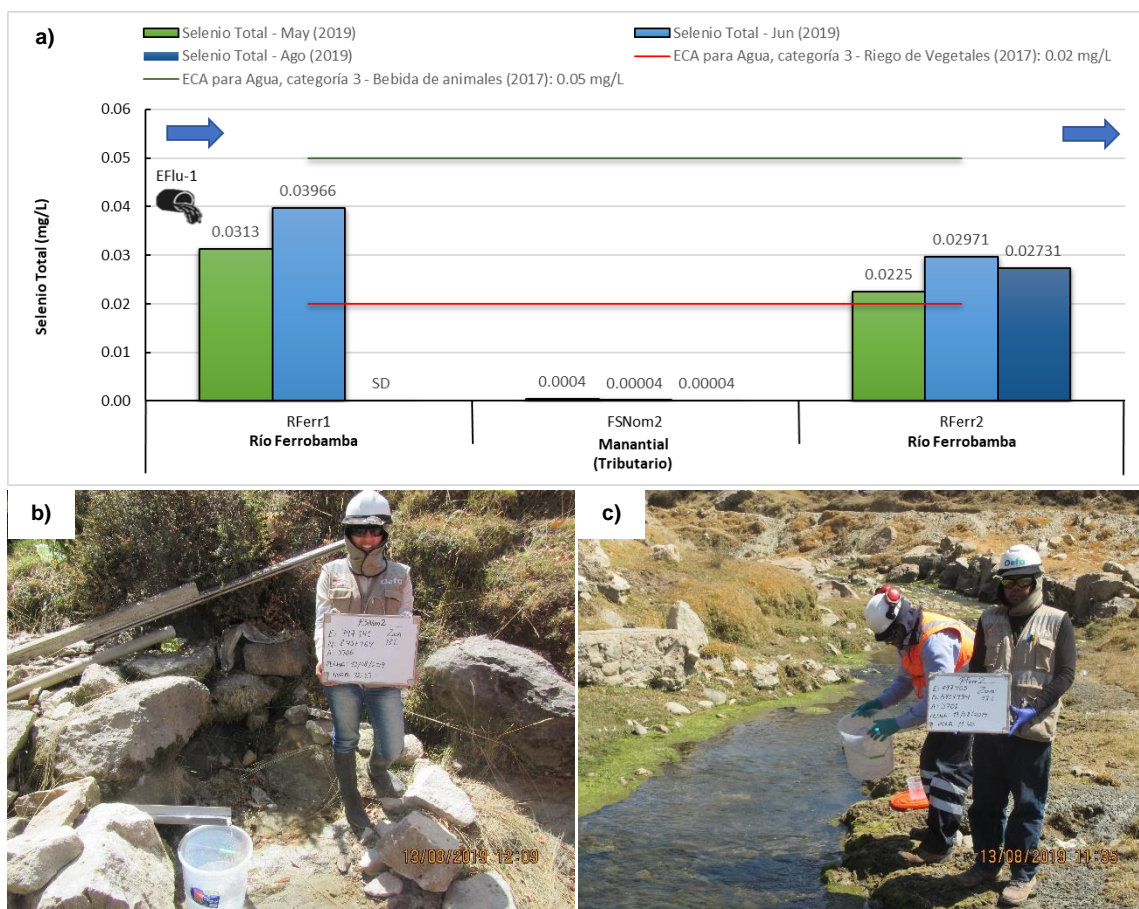


Figura 8.4. Ausencia de descarga en el punto EFlu-1 y tramo del río Ferrobamba sin flujo de agua (RFerr3) en a) mayo b) junio y c) agosto de 2019

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

En la Figura 8.5a se observa el comportamiento de la concentración de selenio en los meses de mayo, junio y agosto de 2019 en los puntos RFerr1, FSNom2 y RFerr2, en la cual este parámetro superó los ECA para Agua (2017), categoría 3 solo en los puntos ubicados en el río Ferrobamba. Es importante mencionar que, en la vigilancia de agosto de 2019 no se tomó muestra de agua en el punto RFerr1 debido a que el poblado de Manantiales impidió dicha actividad. Asimismo, el manantial FSNom2 (Figura 8.5b) registró flujo mínimo de agua en todos los meses de evaluación, cuyos parámetros evaluados cumplieron referencialmente con la norma mencionada; observándose que, las concentraciones de selenio en el punto RFerr2 (Figura 8.5c) disminuyó, pero aún sigue superando el estándar mencionado. Cabe indicar que la presencia de selenio no estaría asociado a la actividad minera dado que durante la vigilancia 2019 no se observó descarga del efluente (EFlu-1).



**Figura 8.5.** a) Concentración de selenio total en la zona 1 b) flujo mínimo de agua en el manantial (FSNom2) c) flujo de agua en el río Ferrobamba (RFerr2)

En la Figura 8.6 se observa que la concentración de selenio en el punto RFerr1 fue variable en el tiempo (2016 - 2019); sin embargo, los resultados registrados por OEFA fueron similares a lo reportado por Minera Las Bambas. Cabe precisar que, desde el cuarto trimestre de 2018 hasta la actualidad Minera Las Bambas no reporta resultados de monitoreo del punto RFerr1 (SW-FU-120) debido a que según la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado de la Unidad Minera Las Bambas aprobado mediante Resolución Directoral N.º 016-2018-SENACE-PE/DEAR, dicho punto quedó reemplazado por RFerr3 (Rferr10); el cual se ubica a 70 m aproximadamente del efluente (EFlu-1).



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

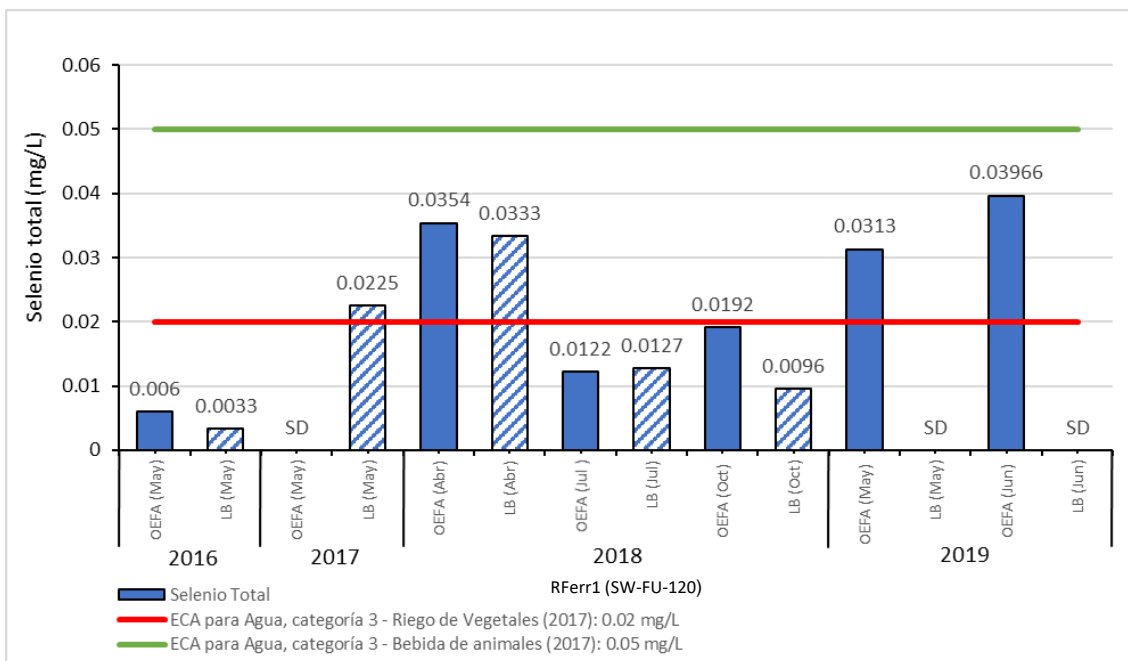


Figura 8.6. Comparación de la concentración del selenio en el punto RFerr1 de la vigilancia 2019 con la data histórica reportada por UM Las Bambas

La comunidad hidrobiológica en el punto RFerr1, ubicado a 750 m aproximadamente del efluente EFU-1, registró menor riqueza de especies de macroinvertebrados bentónicos y microalgas en mayo, y a su vez menor valor de buena calidad biológica con respecto al punto RFerr2 (Figura 8.7), lo que indica que a medida que el flujo del río Ferrobamba se encuentre alejado del punto RFerr1 presenta una mejora en la calidad biológica (ABI) y mayor número de especies; sin embargo, de acuerdo al análisis Anosim no existe diferencias significativas ( $p= 0,1$ ;  $R=1$ ) en composición de especies de macroinvertebrados bentónicos en ambos puntos evaluados.

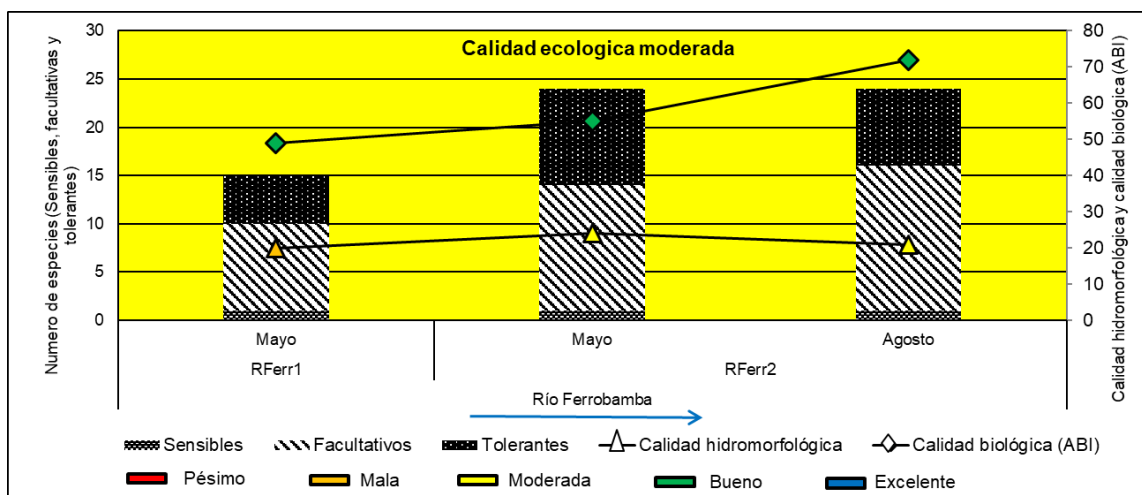


Figura 8.7. Comportamiento de número de especies de macroinvertebrados bentónicos frente a la calidad ecológica según el protocolo CERA-S (calidad biológica (ABI) vs calidad hidromorfológica)

Además, para la comunidad de microalgas en el tramo evaluado registró una mayor densidad de *Achnanthydium minutissimum* (Anexo H) la cual es sensible a la contaminación, especialmente la orgánica (Silva-Benavides, 1996b) y es frecuente en sitios con poca

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

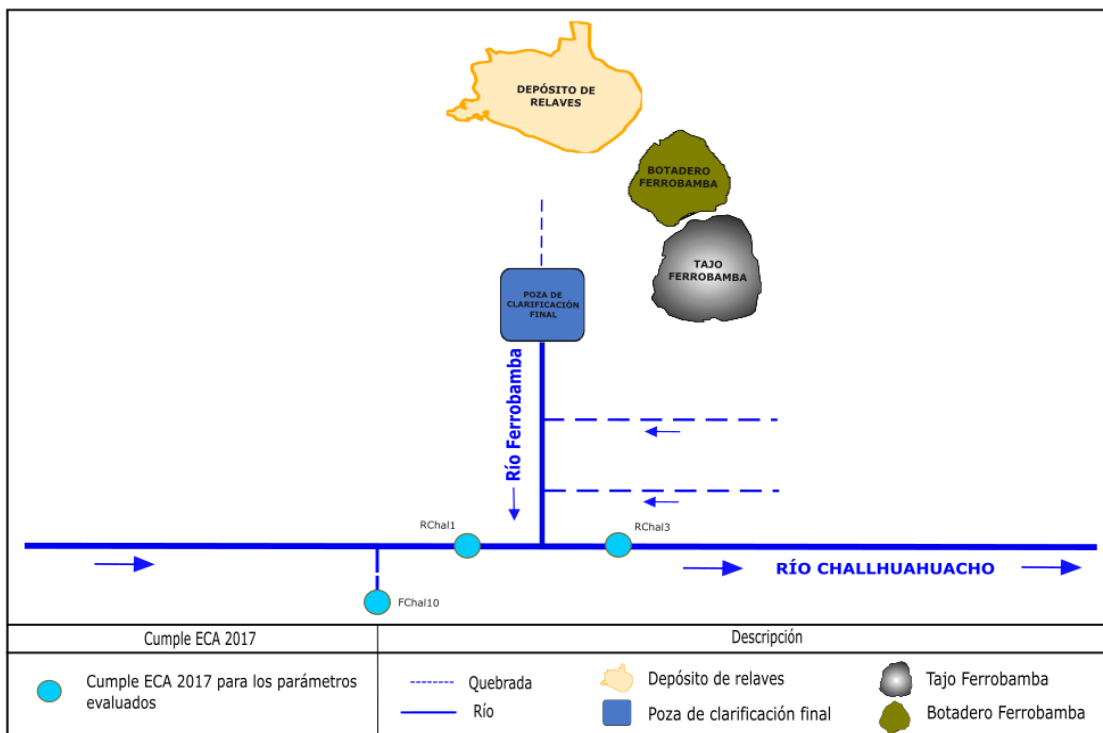
alteración antropogénica (Michels-Estrada, 2003); asimismo, presentó una relación indirecta con la concentración de metales, lo que significa que a mayor concentración de metales menor es la calidad biológica y menor el número de especies. Cabe precisar que, la concentración de selenio que superó los ECA para Agua (2017) no influyó negativamente el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos; esto se vio reflejado en una buena calidad biológica según el índice biótico andino (ABI); sin embargo, se registró una moderada calidad ecológica según el protocolo CERA-S, debido a la mala y moderada calidad hidromorfológica presente en el tramo evaluado.

En agosto, el punto RFerr2 también registró la misma cantidad de riqueza de especies de macroinvertebrados bentónicos y buena calidad biológica (ABI) con respecto a mayo. Asimismo, para la comunidad de microalgas se registró alta densidad de *Melosira varians* (Anexo A-2) presentes en aguas oligotróficas hasta eutróficas y lugares montañosos con bajas concentraciones de electrolitos (Krammer y Lange-Bertalot, 1991); además, de la presencia de especies *Planothidium frequentissimum* y *Planothidium lanceolatum* (Anexo A-2) que son especies indicadoras de ambientes poco impactados, con pocos nutrientes disponibles y sólidos disueltos, y baja turbidez (Schneck *et al.*, 2007; Silva-Benavides, 1996a).

En el punto PM-RE-16/RFerr2, evaluado en 2017, se registró menor riqueza con 12 especies y menor calidad biológica (calidad moderada) con respecto al 2019, que registró 25 especies y buena calidad biológica, logrando evidenciar un incremento del 50 % de especies facultativas en 2019. Es importante mencionar que, en 2017 se observó descarga de efluente en el punto EFlu-01

## 8.2. Zona 2 – Río Challhuahuacho y aportante

En la Figura 8.8 se presenta el esquema de los puntos de monitoreo de agua superficial y agua subterránea (manantial) de la zona 2.

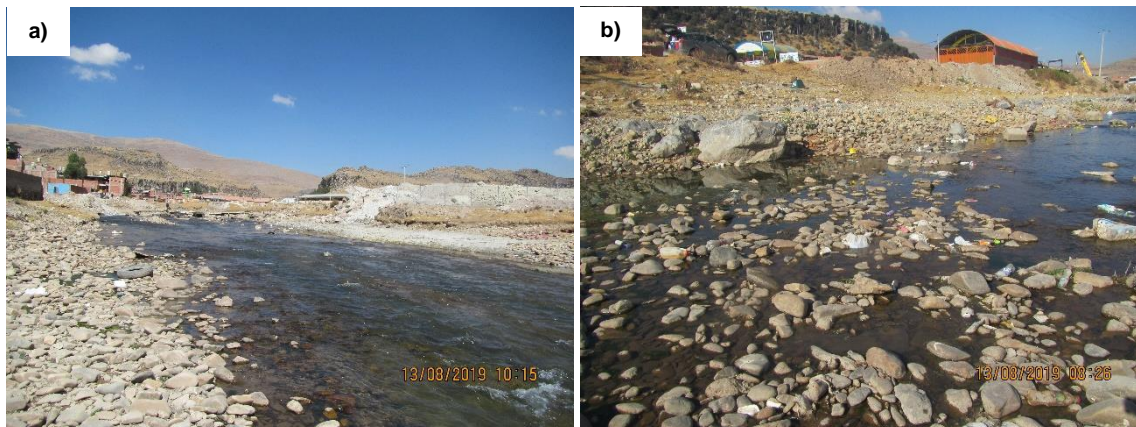


**Figura 8.8.** Distribución de puntos de monitoreo en la zona 2 - Río Challhuahuacho y aportante



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

En la evaluación de la zona 2, se verificó que ningún parámetro evaluado en la vigilancia de 2019 superó los ECA para Agua (2017), categoría 3; sin embargo, en los puntos RChal1 y RChal3 se observó residuos sólidos en la ribera del río Challhuahuacho (Figura 8.9).

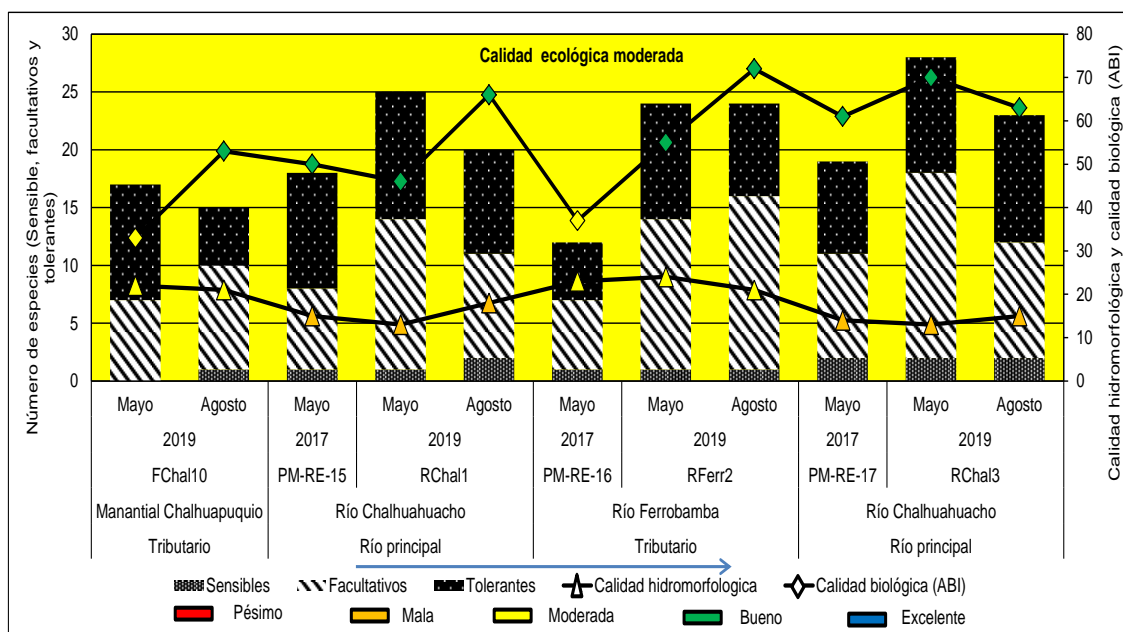


**Figura 8.9.** Residuos sólidos en la ribera del río Challhuahuacho en los puntos a) RChal1 y b) RChal3

En el manantial Challhuapuquio (FChal10), todos los parámetros evaluados en la vigilancia 2019 no superaron los ECA para Agua (2017), categoría 3, lo que refleja una buena condición del agua y el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrando de moderada a buena calidad biológica según el índice biótico andino (ABI); sin embargo, registró una moderada calidad ecológica y moderada calidad hidromorfológica. Además, la comunidad de microalgas registró altas densidades de las especies *Planothidium frequentissimum* y *Planothidium lanceolatum* (Anexo A-2) que son especies indicadoras de ambientes poco impactados, con pocos nutrientes disponibles, pocos sólidos disueltos y baja turbidez (Schneck *et al.*, 2007; Silva-Benavides 1996a) y la especie *Encyonema silesiacum* que se registra en ambientes oligotróficos por preferencia de sitios limpios, con una alta concentración de oxígeno, poca turbidez y bajas concentraciones de nitrato y fosfato. (Silva-Benavides, 1996a; Michels-Estrada, 2003).

En los meses de mayo y agosto de 2019, en el río Challhuahuacho del punto RChal1 al RChal3 se registró un ligero incremento de especies de macroinvertebrados bentónicos y a su vez moderada calidad ecológica (Figura 8.10); asimismo, la dinámica del establecimiento de los macroinvertebrados estaría relacionado indirectamente con las concentraciones acumuladas de los metales en agua y sedimentos, lo que indica que a menor riqueza y valor de calidad biológica mayor sería las concentraciones de metales en agua y sedimentos. Estos resultados corroboran la no influencia del río Ferrobamba en el río Challhuahuacho, debido a la predominancia de especies sensibles y facultativos en ambos cuerpos de agua.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 8.10.** Comportamiento de número de especies macroinvertebrados bentónicos frente a la calidad ecológica según el protocolo CERA-S (calidad biológica (ABI) vs calidad hidromorfológica)

Por otro lado, el comportamiento de las microalgas fue inverso al registro de macroinvertebrados bentónicos, donde en los meses de mayo y junio de 2019 en el punto RChal1 la densidad y la riqueza de especies fueron mayores con respecto al punto RChal3 (Anexo A-2), esto debido a que el punto RChal3 desarrolló mayor densidad del grupo de especies colector-triturador (*Smicridea* sp., *Andesiops* sp. y *Cricotopus* sp.) que hicieron disminuir la comunidad de microalgas.

## 9. CONCLUSIONES

### 9.1. Zona 1 – Microcuenca Ferrobamba

Los parámetros evaluados en los piezómetros ASub1, ASub2y ASub3, ubicados aguas abajo del botadero Ferrobamba y en el frente este de la presa de relaves de la UM Las Bambas, en la vigilancia ambiental de 2019 cumplieron referencialmente los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3 (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM) a excepción del manganeso (ASub1 y ASub2) en todos los meses evaluados y hierro (ASub2) solo en mayo y junio de 2019; además, al comparar con la data histórica las concentraciones de manganeso se incrementaron de 0,2014 hasta 0,90658 mg/L en el punto ASub1, y en el punto ASub2 el manganeso se incrementó de 0,0266 hasta 0,23282 mg/L y de 0,867 a 6,1 para hierro. Cabe indicar que estos metales predominan en el agua subterránea en su fase disuelta.

El efluente minero (EFlu-1) de la poza de clarificación final de la unidad minera Las Bambas no presentó flujo durante la vigilancia ambiental realizada en mayo, junio y agosto de 2019; además, aguas arriba del punto RFerr1, el cauce del río Ferrobamba se encontró sin flujo de agua; sin embargo, en los puntos RFerr1 y RFerr2, se registraron concentraciones de selenio que superaron los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3 (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM) en todos los meses evaluados que disminuyó en el punto RFerr2; asimismo, al comparar con la data histórica se observó un comportamiento variable.



La presencia de selenio en agua no afectó a las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos y perifiton del punto RFerr2, ya que presentó una buena calidad biológica; registrándose especies de microalgas tales como *Melosira varians*, *Planothidium frequentissimum* y *Planothidium lanceolatum*, los cuales son indicadoras de ambientes poco impactados.

## 9.2. Zona 2 – Río Challhuahuacho y aportante

El río Ferrobamba, a pesar de presentar selenio que excedió los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3 (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM) no influyó en la calidad del río Challhuahuacho, debido a que todos los parámetros evaluados tanto aguas abajo como aguas arriba de la confluencia con el río Ferrobamba cumplieron los ECA para agua (2017) durante la vigilancia 2019; además, las concentraciones de arsénico y cobre en sedimento que excedieron el valor PEL disminuyeron aguas abajo de la confluencia con el río Ferrobamba hasta exceder solo el valor ISQG para cobre y ningún valor para arsénico. Estos elementos no influyeron en la calidad del agua ni en la calidad ecológica debido a la predominancia de especies sensibles y facultativas. Por otro lado, todos los parámetros evaluados en el manantial Challhuapuquio, aportante del río Challhuahuacho, también cumplieron referencialmente con la norma mencionada, además presentaron un moderado estado ecológico con predominio de especies sensibles y facultativas.

## 10. RECOMENDACIONES

- Remitir una copia del presente informe a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (DSEM).
- Continuar con la vigilancia ambiental en el río Ferrobamba a fin de determinar el origen de las concentraciones de selenio; así como verificar si con la descarga del efluente EFlu-01 su concentración se incrementa.

## 11. ANEXOS

- Anexo A: Tabla de resultados de la vigilancia ambiental en 2019
- Anexo B: Mapa de ubicación
- Anexo C: Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo
- Anexo D: Ficha fotográfica
- Anexo E: Datos de campo
- Anexo F: Certificados de calibración de los equipos
- Anexo G: Cadena de custodia
- Anexo H: Informes de ensayo de laboratorio
- Anexo I: Ficha de ajuste y verificación de equipos

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. & Prat, N. (2009). Propuesta de un Protocolo de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (C.E.R.A) y su Aplicación a dos Cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), p. 35-64.
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

- Encalada, A.C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N, & Prat, N. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluaciones de la calidad de ríos andinos (CERA-S). Quito: USFQ, UB, AECIO, FONAG.
- Feinsinger P. (2003). El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad. Santa Cruz: Ediciones FAN.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics Software (Version 3.15) [Software]. Disponible desde: <http://folk.uio.no/ohammer/past/>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), p. 363–375.
- Krebs C., 1978. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Nueva York, USA: Harper & Row
- Magurran A. (1991). *Diversidad Ecológica y su medición*. Barcelona, España: Ediciones Veda.
- Pielou, E. C. (1975). *Ecological diversity*. New York: John Wiley & Sons.
- Peet, R.K. (1974). The measurement of species diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 5, 285-307.
- MINAM. 2015. Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú / Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología, Lima: Ministerio del Ambiente, p. 75.
- Silva-Benavides, M. 1996b. The use of water chemistry and benthic diatom communities for qualification of a polluted river in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44: 395-416.
- Michels-Estrada, A. 2003. Ökologie und Verbreitung von Kieselalgen in Fließgewässern Costa Ricas als Grundlage für eine biologische Gewässerbeurteilung in den Tropen. *Dissertationes Botanicae* 377, Cramer, Stuttgart, Alemania.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1986-1991. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae. 2/1: Naviculaceae; 2/2: Bacillariaceae, Epithmiaceae, Surirellaceae; 2/3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae; 2/4: Achnantheaceae. Gustav Fischer, Stuttgart, Alemania.
- Silva-Benavides, M. 1996a. The epilithic diatom flora of a pristine and a polluted river in Costa Rica, Central America. *Diatom. Res.* 11: 105-142.
- Schneck, F., L. C. Torgan & A. Schwarzbald. 2007. Epilithic diatom community in a high altitude stream impacted by fish farming in southern Brazil. Study area Epilithic diatom sampling. *Acta Limnol. Bras.* 19: 341-355.



**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 de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Es cuanto informamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente:

**[LFAJARDO]**

**[LANCCO]**

**[JFERNANDEZC]**

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

**[FGARCIA]**



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 05289208"



05289208