2019-I01-026185

INFORME N° 00276-2019-OEFA/DEAM-STEC

A : FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN

Director de Evaluación Ambiental

DE : LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS

Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica

LUIS ÁNGEL ANCCO PICHUILLA

Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Minería y

Energía

CARLOS MANUEL AMAYA ROJAS

Especialista de Evaluaciones Ambientales

ASUNTO : Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad

minera La Arena de la Compañía Minera Pan American Silver S.A.C., ubicada en el departamento La Libertad -

2019

CUE : 2019-02-0015

CÓDIGO DE ACCIÓN : 0016-4-2019-401

REFERENCIA : Planefa 2019

FECHA : Lima, 30 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 La Arena de la Compañía Minera Pan American S.A.C. (en adelante, UM La Arena) son presentados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distritos Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad			
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Área de influencia ambiental directa de la unidad minera La Arena de la Compañía Minera Pan American Silver S.A.C.			
C.	Problemática identificada	Presunta afectación de las quebradas La Ramada, Sayapampa y el río Chichiricucho por influencia de las actividades de explotación de la unidad minera La Arena de la compañía minera Pan Americam S.A.C.			
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019			
e.	Tipo de evaluación	Vigilancia ambiental			
f.	Periodo de ejecución	Del 25 de abril al 05 de mayo de 2019			

Profesionales que aportaron a este documento:

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.°	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ingeniero químico	Gabinete
2	Luis Ángel Ancco Pichuilla	Ingeniero químico	Gabinete
3	Carlos Manuel Amaya Rojas	Ingeniero ambiental y de recursos naturales	Gabinete
4	Kilmenia Luna Campos	Bióloga	Gabinete
5	Jacquelyne Del Rosio Chagua Flores	Ingeniero civil	Gabinete
6	César Reátegui Valle	Ingeniero químico	Campo y gabinete

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Los parámetros evaluados en la vigilancia ambiental realizada en el área de influencia de la UM La Arena se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Parámetros evaluados

Matriz	Parámetros	Cantidad de puntos	
	T, pH, CE, OD, potencial redox y caudal	22	
Agua	Bicarbonatos, Carbonatos, Cianuro Total, Cianuro WAD,		
superficial	Cloruros, Cromo hexavalente total*, Metales disueltos,	22	
Supernolai	Metales totales incluido mercurio, Sólidos totales en	22	
	suspensión, Sulfatos y Sulfuros		
	T, pH, CE, OD y potencial redox	2	
Agua	Bicarbonatos, Carbonatos, Cianuro Total, Cianuro WAD,		
subterránea	Cloruros, Cromo hexavalente total, Metales disueltos, Metales	2	
Gastorranoa	totales incluido mercurio, Sólidos totales en suspensión,	_	
	Sulfatos y Sulfuros.		
	T, pH, CE, OD, Potencial redox y Caudal	2	
Efluente	Aceites y Grasas, Bicarbonatos, Carbonatos, Cianuro Total,		
Industrial	Cianuro WAD, Cloruros, Cromo hexavalente total, Metales	2	
madoman	disueltos, Metales totales incluido mercurio, Sólidos totales en	_	
	suspensión, Sulfatos y Sulfuros.		
Sedimento	Metales totales y Mercurio total	21	
Hidrobiología	Perifiton	20	
Tildiobiologia	Macroinvertebrados	18	

^(*) La cantidad del parámetro cromo hexavalente fue de 21 muestras.

Parámetros que excedieron la normativa de la vigilancia ambiental en el área de influencia ambiental directa de la UM La Arena durante el 2019, se presenta en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros que exceden normativa ambiental durante el 2019

		07.11		Norma A	mbiental
Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Código IGA	IGA (1)	Vigente (2)
		OLIA		Abril / Mayo	Abril / Mayo
	Quebrada La Ramada	T4	T4	Mn	Mn
	Quebrada sin nombre2	AS-03	*	Mn	Mn
	Quebrada Sayapampa	P2	P2	Mn	Mn
	Quebrada sin nombre3	AS-05	*	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn
	Quebrada sin nombre3	QS/N-01	*	pH, Al, Cu y Mn	pH, Al, Cu y Mn
Agua superficial	Quebrada Sayapampa	PC-2	PC-2	pH, Al, Cu y Mn	pH, Al, Cu y Mn
	Quebrada Sayapampa	QSaya-4	QSaya-4	Mn	Mn
	Quebrada sin nombre5	AS-06	*	pH, Al, Cu, Fe y Mn	pH, AI, Cu, Fe y Mn
	Quebrada Sayapampa	P5	P5	pH, Cu y Mn	pH, Cu y Mn
	Quebraua Sayapanipa	QSay-03	*	Mn	Mn
	Río Chichiricucho	CHI-21	CHI-21	Mn	Mn

		0 (1)		Norma Ambiental		
Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Código IGA	IGA (1)	Vigente (2)	
		OLFA		Abril / Mayo	Abril / Mayo	
		ESP-AS-7	*	Mn	Mn	
		ESP-AS-3	*	Mn	Mn	
Agua	Piezómetro	AVP-19	AVP-19	-	OD y Mn	
subterránea	Piezómetro	PZ-4A	PZ-4A	-	pH, OD, Fe y Mn	
Efluente	Quebrada La Ramada	M7	M7	-	-	
Industrial	Quebrada Sayapampa	M1	M1	-	-	
	Quebrada La Ramada	SED-QLRam-01	*		Hg	
	Quebrada sin nombre1	SED-QS/N-04	*		As y Hg	
	Quebrada Cullmullacha	SED-T2	*		As y Cu	
	Quebrada La Ramada	SED-QLRam-03	*		As y Hg	
	Quebrada Quishuara	SED-T3	*		Hg	
	Oughrada La Damada	SED-CHI-20	*		As y Hg	
	Quebrada La Ramada	SED-T4	*		As y Hg	
	Quebrada Sayapampa	SED-P2	*		Hg	
	Quebrada sin nombre3	SED-05	*		As, Cu, Pb y Hg	
Sedimento	Quebrada sin nombre3	SED-QS/N-01	*		As, Cu y Hg	
	Quebrada Sayapampa	SED-PC-2	*		Hg	
	Quebrada Sayapampa	SED-QSaya-4	*		Hg	
	Quebrada sin nombre5	SED-06	*		As, Cu y Hg	
	Quebrada Sayapampa	SED-P5	*		As y Hg	
	Quebrada sin nombre6	SED-T6	*		As	
	Quebrada Sayapampa	SED-QSay-03	*		As y Cu	
	Quebrada La Ramada	SEC-T4	*		As y Cu	
		SED-CHI-21	*		As, Cu y Hg	
	Río Chichiricucho	ESP-SED-7	*		As y Hg	
		ESP-SED-3	*		As y Hg	

(1) Normativa aprobada en IGA:

Agua superficial: Estándares de Calidad Ambiental para Agua (en adelante, ECA para agua) establecido en el Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM

Efluentes: Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Metalúrgicas, aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM.

- (2) Normativa vigente comparados referencialmente:
 - Agua Subterránea: *Dutch Target and Intervention Valuaes*, 2000; norma de comparación de forma referencial indicada en su III MEIA, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 255-2017-SENACE/DCA Sedimento: Guía de calidad ambiental de Canadá (CSQG): ISQG y PEL
- (*) No coincide con ningún punto IGA
- (-) No superó la norma de comparación
- (--) No cuenta con norma nacional de comparación

3. ANTECEDENTES

En julio 2014, la Autoridad Nacional del Agua (en adelante, ANA) emitió el informe técnico N.º 038-ANA-AAA.M-SDGCRH del monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca Crisnejas realizado del 10 al 14 de marzo de 2014; de los puntos evaluados en dicho informe el punto RChic1 (río Chichiricucho) presentó superación de los ECA para agua (2008) en los metales hierro y manganeso.

En el 2015, la ANA emitió el informe técnico N.º 007-2015-ANA-AAA M-SDGCRH del III monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca del río Crisnejas realizado del 01 al 12 de setiembre de 2014; de los puntos evaluados en dicho informe el punto RChic1 (río Chichiricucho) presentó superación de los ECA para agua (2008) en los metales hierro y manganeso.

En julio 2016, la ANA emitió el informe técnico N.º 054-2016-ANA-AAAM-SDGCRH del IV monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca Crisnejas realizado del 23 al

28 de noviembre de 2015; de los puntos evaluados en dicho informe el punto RChic1 (río Chichiricucho) presentó superación de los ECA para agua (2008) para el manganeso.

El 15 de setiembre de 2017 fue aprobada la «Tercera modificación toria del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena¹» (en adelante, III MEIAd), la cual indica que la UM La Arena (actualmente operada por Pan American Silver S.A.C.), se ubica en el distrito Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad. La unidad, opera a tajo abierto mediante proceso de lixiviación para la obtención de oro. El yacimiento es un depósito epitermal de alta sulfuración con mineralización de óxidos de oro encajado en arenisca brechificada dentro de la formación Chimú.

El 9 de abril de 2018, la ANA emitió el informe técnico N.º 016-2018-ANA-AAA-VI M-ALA.C/CANC del V monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca Crisnejas – Subcuenca Condebamba Chuyugual realizado del 18 al 22 de setiembre de 2017; donde los parámetros evaluados en el RChic1 (río Chichiricucho) cumplieron los ECA para agua (2008).

El 28 de diciembre de 2018, la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (en adelante, DSEM) emitió el informe de supervisión N.º 689-2018-OEFA/DSEM-CMIN en la cual indican las 2 acciones realizadas, la primera del 29 de agosto al 3 de setiembre y la segunda del 15 al 18 de setiembre de 2018. Las acciones realizadas a la unidad fiscalizable La Arena, fueron realizadas con el objetivo de verificar el cumplimiento de las obligaciones fiscalizables. Durante la primera supervisión evidenció que las concentraciones de manganeso superaron los valores de los ECA para agua Cat. 3 (2015) en los 9 puntos evaluados en la quebrada Sayapampa.

El 6 de febrero de 2019 mediante Memorando N.º 00033-2019-OEFA/DSEM, la DSEM solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental realizar acciones de evaluación y monitoreo en los componentes ambientales que forman parte del área de influencia directa de la unidad fiscalizable La Arena, en el marco de sus competencias.

En el Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales – Sinada del OEFA se registró 7 denuncias ambientales desde 2011 hasta 2018, siendo este último año donde se registró 2 denuncias ambientales de posible afectación de la calidad de agua.

La UM La Arena cuenta con 13 instrumentos de gestión ambiental (en adelante, IGA), de los cuales 9 fueron aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (Minem) desde 2010 y 4 fueron aprobados por el Servicio Nacional de Certificación Ambiental (Senace); de los cuales para la comparación de los resultados de la vigilancia ambiental se consideró lo indicado en la III MEIAd, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 255-2017-SENACE/DCA.

En este contexto se realizó la vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera La Arena en cumplimiento del Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental del 2019 (Planefa 2019) del OEFA.

4. OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera La Arena de Pan American Silver S.A.C., a través de monitoreos de agua, sedimento e hidrobiología.

Aprobada mediante Resolución Directoral N.º 255-2017-SENACE/DCA, con fecha 15 de setiembre de 2017

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad del agua superficial en las quebradas La Ramada y Sayapampa; y río Chichiricucho. Así como, evaluar la calidad del agua subterránea asociado al PAD de lixiviación.
- Caracterizar efluentes industriales de la planta de destrucción de cianuro y de la planta de tratamiento del desaguado de los tajos Calaorco y tajo Norte.
- Evaluar la calidad de sedimento en las quebradas La Ramada y Sayapampa; y río Chichiricucho.
- Evaluar el estado de las comunidades hidrobiológicas de perifiton y macroinvertebrados bentónicos en las quebradas La Ramada y Sayapampa; y río Chichiricucho.
- Caracterización hidroquímica de las quebradas La Ramada y Sayapampa; y río Chichiricucho.

5. ÁREA DE ESTUDIO

La UM La Arena se ubica en el distrito Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad (Figura 5.1).

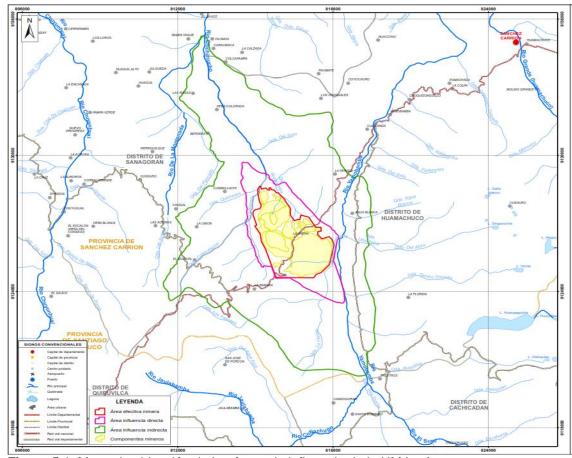


Figura 5.1. Mapa de ubicación de las áreas de influencia de la UM La Arena Fuente: Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena (2017)

Geográficamente, se emplaza en la vertiente oriental de la cordillera Occidental de los Andes Centrales, en la margen izquierda del río Yamobamba y a 15 km de la ciudad de Huamachuco. Su altitud varía entre los 3100 a 3700 m s. n. m. El tipo de mineral a explotar

es un yacimiento Pórfido de Cu-Au-(Mo) que consiste en pirita y calcopirita diseminada, oro en venillas de cuarzo con sulfuros, y oro en minerales oxidados de hierro (hematita, jarosita, goethita y relictos de pirita)².

Regionalmente, la UM La Arena se ubica en el flanco oriental de la cordillera occidental de los andes al norte del Perú; por lo general, el rumbo de las fallas y los ejes de los plegamientos se orientan al NO-SE³. El basamento está conformado por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, cuyas edades van desde paleozoico al Cenozoico.

6. METODOLOGÍA

En este apartado se presenta la metodología empleada en la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM La Arena. Dicha metodología está divida para cada una de las matrices ambientales evaluadas.

6.1. Agua superficial y subterránea

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, equipos utilizados, los parámetros evaluados, los métodos de análisis y los criterios de evaluación.

6.1.1. Protocolos de monitoreo

Los protocolos utilizados para llevar a cabo la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM La Arena se detalla en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Protocolos de monitoreo para agua superficial y subterránea en el área de influencia de la UM La Arena

Matriz	Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Agua superficial	Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales	6.14 Medición de los parámetros de campo (pp. 24–25) 6.15 Procedimiento para la toma de muestras (pp. 25–28) 6.16 Preservación, llenado de la cadena de custodia, almacenamiento, conservación y transporte de las muestras (pp. 28–30) 6.17 Aseguramiento de la calidad del monitoreo (pp. 30–31)	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA	2016
Medición de caudal:	Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos Medición de hídricos		Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA	2016
agua superficial	Manual de hidrometría	Manual completo	Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi)	No aplica	2016

Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena. Aprobada mediante Resolución Directoral N.º 255-2017-SENACE/DCA, con fecha 15 de setiembre de 2017

Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera La Arena, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 106-2018-MEM-DGAAM, con fecha 16 de mayo de 2018

Matriz	Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Agua subterránea	National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data de la U.S. Geological Survey (USGS) TWRI book 9	A.1 Preparations for water sampling	Estados Unidos	U.S. Geological Survey (USGS)	Uso referencial	2015

6.1.2. Ubicación de puntos de monitoreo

Los 9 puntos de monitoreo de agua superficial declarados en los IGA del administrado y los 13 puntos adicionados se ubicaron en las quebradas La Ramada, Sayapampa y el río Chichiricucho. La ubicación y descripción de dichos puntos se presentan en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Ubicación de los puntos de monitoreo de agua superficial

Tabl	Tabla 6.2. Ubicación de los puntos de monitoreo de agua superficial							
N.°	Cuerpo receptor	Código	Coordena WGS84-z	idas UTM iona 17 M	Altitud (m s. n. m.)	Descripción		
	receptor		Este (m)	Norte (m)	(111 3. 11. 111.)			
1	Río Chichiricucho	ESP-AS-3	814238	9131144	3015	Punto de captación de agua del río Chichiricucho a la Piscigranja Virgen Peregrina del caserío Caracmaca, ubicado a 200 metros aguas arriba de la piscigranja y a 4 km aproximadamente aguas abajo de la descarga de la solución rica proveniente de la Poza Raincoat 03 ⁽³⁾ .		
2	Quebrada sin nombre	AS-01*	814186	9131184	2994	Quebrada sin nombre, agua aportante al canal de captación de la piscigranja Virgen Peregrina del caserío Caracmaca, a 20 m de la margen derecha del río Chichiricucho.		
3	Río Chichiricucho	ESP-AS-7	814539	9130613	3085	Río Chichiricucho, ubicado a 750 metros aguas arriba del punto de monitoreo ESP-AS-4, y a 3,5 km aproximadamente aguas abajo de la descarga de solución rica proveniente de la Poza Raincoat ⁽³⁾ .		
4	Río Chichiricucho	CHI-21	815175	9129620	3095	Río Chichiricucho, aguas abajo de la descarga del efluente industrial tratado (1), y a 500 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas La Ramada y Sayapampa.		
5	Quebrada La Ramada	Т4	815292	9128928	3135	Quebrada La Ramada, antes de la confluencia con la Quebrada Sayapampa y río Chichiricucho (1) y a 110 m aguas abajo de la descarga del efluente industrial tratado M1 y a 150 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa.		
6	Quebrada La Ramada	CHI-20	815190	9128818	3145	Quebrada Chichiricucho, aguas arriba de la descarga del efluente industrial tratado ⁽¹⁾ . Quebrada La Ramada, a 60 m aguas arriba de la descarga de efluente industrial tratado M1.		
7	Quebrada Sayapampa	QSay-03	815453	9128956	3130	Quebrada Sayapampa, a 150 m aguas arriba antes de la confluencia con la quebrada La Ramada.		
8	Quebrada sin nombre6	Т6	815685	9128875	3147	Quebrada S/N 1, después del aporte de la quebrada Sayapampa ⁽¹⁾ . Quebrada sin nombre6, a 70 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa, quebrada conocida como Raumate.		

N.°	Cuerpo receptor	Código	Coordenadas UTM WGS84-zona 17 M		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
	Teceptor		Este (m)	Norte (m)	(111 3. 11. 111.)	
9	Quebrada Sayapampa	P5	815698	9128746	3153	Quebrada La Ramada, antes de la confluencia con el Río Chichiricucho ⁽¹⁾ Quebrada Sayapampa, a 120 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada sin nombre (T6) y a 460 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada La Ramada.
10	Quebrada Sayapampa	QSaya-4	816177	9128034	3210	Quebrada Sayapampa, a 200 m aguas abajo del efluente (M7) (2). Quebrada Sayapampa, a 170 m aguas abajo del efluente M7 y a 100 m aguas arriba de la poza PLS. Quebrada sin nombre4, a 15 m aguas
11	Quebrada sin nombre4	QS/N-02	816348	9127854	3232	arriba de la confluencia en la quebrada Sayapampa y a 30 m aguas abajo del punto PC-2.
12	Quebrada Sayapampa	PC-2	816356	9127829	3230	Quebrada Sayapampa, a 100 m aguas abajo del efluente (M5) y 100 m aguas arriba del efluente (M7) (2). Quebrada Sayapampa, a 90 m aguas debajo de las tuberías que transportan agua de no contacto del PAD de lixiviación (AS-02).
13	Afloramiento sin nombre	AS-02*	816417	9127767	3239	Agua de no contacto, a 90 m aguas arriba del punto PC-2 y a 40 m aguas abajo del punto PC-1
14	Quebrada sin nombre3	QS/N-01	816455	9127510	3250	Quebrada sin nombre3, a 120 m aguas arriba de la confluencia en la quebrada Sayapampa.
15	Quebrada Sayapampa	P2	816766	9127388	3351	Quebrada Sayapampa, aguas arriba a 50 m de las instalaciones del Proyecto (aguas arriba del punto de descarga M5) (2). Quebrada Sayapampa, a 280 m aguas abajo de la confluencia de la quebrada sin nombre2 (AS-03) y a 100 m colina debajo del PTAR de agua doméstico de la UM La Arena.
16	Quebrada sin nombre2	AS-03	817042	9127268	3286	Quebrada sin nombre2, a 30 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa.
17	Quebrada Sayapampa	QSay-01	817283	9127474	3366	Quebrada Sayapampa, a 250 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada sin nombre2 (AS-03).
18	Quebrada sin nombre3	AS-05	816297	9126621	3313	Quebrada sin nombre3, a 70 m aguas abajo de la captación (AS-04), conocida como Zanja Amarilla.
19	Quebrada La Ramada	QLRam-03	815104	9128378	3191	Quebrada La Ramada, a 120 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada Quishuara y punto ubicado frente a la poza de subdrenaje del depósito de desmonte N° 1 (botadero 1).
20	Quebrada Quishuara	ТЗ	814501	9128302	3204	Quebrada Quishuara, a 600 m antes de la confluencia con la quebrada La Ramada (1).
21	Quebrada Cullmullacha	T2	814482	9127044	3240	Quebrada Cullmullacha, a 200 m antes de la confluencia con la quebrada La Ramada.
22	Quebrada La Ramada	QLRam-01	814706	9126901	3243	Quebrada La Ramada, a 200 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cullmullacha.
23	Quebrada sin nombre1	QS/N-04	814874	9126989	3341	Quebrada sin nombre1, a 150 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada La Ramada.
24	Quebrada sin nombre5	AS-06	815643	9128408	3231	Quebrada sin nombre5, a 150 m de la confluencia a la quebrada Sayapampa y a 30 m del piezómetro PZ-4A.

- (1): Descripción indicada en la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobada mediante R.D. N.º 255-2017-SENACE/DCA
- (2): Descripción indicada en Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera La Arena, aprobada mediante R.D. N.º 106-2018-MEM-DGAAM
- (3): Descripción indicada en el Informe de Supervisión N.º 689-2018-OEFA/DSEM-CMIN, aprobado el 28 de diciembre de 2018.
- * Solo se tomaron parámetros de campo, dichos puntos no se consideraron en los análisis de resultados Nota: La precisión en la medición de las coordenadas UTM fue de ±3 m

Así mismo, se monitorearon 2 puntos de agua subterránea (piezómetro) en el área de influencia ambiental directa de la UM La Arena. La ubicación y descripción de esos puntos se presentan en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Ubicación de los puntos de monitoreo de agua subterránea

N.°	Puntos de monitoreo		nadas UTM Zona 17 M	Descripción
	monitored	Este (m)	Norte (m)	
1	AVP-19	815879	9128276	Gradiente abajo del pad de Lixiviación hacia quebrada Sayapampa (1) y debajo de la poza de procesos.
2	PZ-4A	815648	9128417	Gradiente debajo de la Pila de Lixiviación ⁽¹⁾ y a 100 m de la poza de clarificación 1.

^{(1):} Descripción indicada en la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 255-2017-SENACE/DCA

6.1.3. Equipos utilizados y métodos de análisis

Los equipos utilizados en el monitoreo se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo N° RC-023-2019-STEC.

En todos los puntos de monitoreo, se analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno (en adelante, pH), conductividad eléctrica (en adelante, CE), oxígeno disuelto (en adelante, OD), potencial óxido-reducción (en adelante, ORP) y caudal. Los parámetros evaluados para la vigilancia ambiental fueron seleccionados en referencia a la actividad desarrollada por el administrado (Tabla 6.4).

Tabla 6.4. Parámetros y métodos de análisis para agua superficial

N.°	Parámetro	Método de referencia	Técnica empleada
1	Metales totales incluido mercurio	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
2	Metales disueltos incluido mercurio	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
3	Cianuro WAD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN ⁻ I,E,23rd Ed. 2017	Cyanide. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method
4	Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN- C, E. 22nd Ed. 2012	Cyanate: Colorimetric Method
5	Sulfuros	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-S2- D, 23rd Ed. 2017	Sulfide: Methylene Blue Method
6	Sulfatos	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (validado). 2015	Determination of Inorganic Anions in Driking Water by Ion Chromatography
7	Cloruros	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (validado). 2015	Determination of Inorganic Anions in Driking Water by Ion Chromatography
8	Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
9	Carbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
10	Sólidos totales en suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012	Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C
11	Cromo hexavalente total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cr B, 23rd Ed. 2017	Chromium: Colorimetric Method

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C., los cuales de ubican en el Reporte de resultados N.º RR-016-2019-STEC (Anexo 3)

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 o líneas, según los criterios de evaluación presentados.

6.1.5. Criterios de evaluación

Se tomó en cuenta la clasificación de los recursos hídricos establecida por la ANA. La microcuenca del río Chichiricucho no cuenta con clasificación según la Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA. Para el caso de los afluentes que no estén clasificados expresamente en dicha resolución, pero que tributan a los cuerpos de agua, estos asumirán la categoría del recurso hídrico al que tributan⁴. Por lo que, el río Chichiricucho y tributarios asumen la categoría 3 del río Crisnejas (Tabla 6.5).

Tabla 6.5. Clasificación de los cuerpos de agua

Cuerpo de agua	uerpo de agua Categoría de comparación		
Quebrada Sayapampa	Categoría 3		
Quebrada La Ramada	Categoría 3	ECA para agua, aprobado por el Decreto Supremo N.º 015-2015-	
Quebrada Cullmullacha	Categoría 3		
Quebrada Quishuara	Categoría 3	MINAM	
Río Chichiricucho	Categoría 3		

Los resultados de agua superficial fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (en adelante, ECA para agua) Categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), aprobado mediante Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM, de acuerdo a lo mencionado en su IGA⁵. Así mismo, serán comparados de forma referencial con la norma vigente, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Respecto a los resultados de agua subterránea, serán comparados con la normativa aprobada en su III MEIAd: *Dutch Target and Intervention Valuaes*, 2000. Así mismo, dichos resultados serán comparados de manera referencial con los ECA para agua Cat. 3 aprobado mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

6.2. Efluente industrial

Se tomaron 2 puntos de monitoreo de efluente industrial⁶ de la planta de destrucción de cianuro y de la planta de tratamiento del desaguado de los tajos Calaorco y Norte.

6.2.1. Protocolos de monitoreo

Los protocolos utilizados para llevar a cabo la vigilancia ambiental de los efluentes en el área de influencia de la UM La Arena se detalla en la Tabla 6.6.

Considerando lo establecido en la Tercera Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, el cual indica lo siguiente: En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe de aplicar la categoría del cuerpo hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha autoridad.

Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena. (Resolución Directoral N.º 255-2017-SENACE/DCA)

Según el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM, define como efluente líquido a «cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargado a los cuerpos receptores, que provienen de: c) cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos».

Tabla 6.6. Protocolos de monitoreo para efluentes en el área de influencia de la UM La Arena

Matriz	Protocolo Sección País		Institución	Dispositivo legal	Año	
Medición de caudal: agua	Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	Sección 6.12	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA	2016
superficial	Manual de hidrometría	Manual completo	Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi)	No aplica	2016
Efluente Iíquido	Protocolo de monitoreo de calidad de agua	Capítulos 2.0 y 4.0	Perú	Ministerio de Energía y Minas	Resolución Directoral N.º 004-94-EM/DGAA	1994

6.2.2. Ubicación de puntos

La ubicación y descripción de los 2 puntos de monitoreo de efluente se detalla en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Ubicación de los puntos de monitoreo de efluente de la UM La Arena

N.º	Cuerpo receptor	Puntos de		adas UTM zona 17 M	Descripción
		monitoreo	Este (m)	Norte (m)	
1	Aportante a quebrada La Ramada	M1	815201	9128878	Descarga de efluente industrial de la Planta de Destrucción de Cianuro a la quebrada La Ramada ⁽¹⁾ .
2	Aportante a la quebrada Sayapampa	M7	816257	9127847	Descargas de las plantas de tratamiento del desaguado de los tajos Calaorco y Norte (1) y a 150 m aproximadamente del PAD de lixiviación Fase 4C.

^{(1):} Descripción indicada en la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 255-2017-SENACE/DCA

6.2.3. Equipos utilizados y métodos de análisis

Los equipos utilizados para la vigilancia ambiental se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo N.º RC-023-2019-STEC.

En todos los puntos de monitoreo, se analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno (en adelante, pH), conductividad eléctrica (en adelante, CE), oxígeno disuelto (en adelante, OD), potencial óxido-reducción (en adelante, ORP) y caudal (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Parámetros evaluados y métodos de análisis para efluentes

N.º	Parámetro	Método de referencia	Técnica empleada
1	Aceites y Grasas	ASTM D7066-04 (Validado), 2011	Standard Test Methord for dimer/trimer of chlorotrifluoroethylene (S-316) Recoverable Oil and Grease and Nonpolar Material by Infrared Determination
2	Metales totales incluido EPA 6020A, Rev. 1 February 2007		Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
3	Metales disueltos incluido mercurio	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
4	Cianuro WAD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN-I,E,23rd Ed. 2017	Cyanide. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method
5	Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN- C, E. 22nd Ed. 2012	Cyanate: Colorimetric Method

N.º	Parámetro	Método de referencia	Técnica empleada
6	Sulfuros	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-S2- D, 23rd Ed. 2017	Sulfide: Methylene Blue Method
7	Sulfatos	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (validado). 2015	Determination of Inorganic Anions in Driking Water by Ion Chromatography
8	Cloruros	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (validado). 2015	Determination of Inorganic Anions in Driking Water by Ion Chromatography
9	Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
10	Carbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017	Alkalinity: Titration Method
11	Sólidos totales en suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012	Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C
12	Cromo hexavalente total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cr B, 23rd Ed. 2017	Chromium: Colorimetric Method

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C., los cuales de ubican en el Reporte de resultados N.º RR-016-2019-STEC (Anexo 3)

6.2.4. Procesamiento de datos

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

6.2.5. Criterios de evaluación

Los resultados de los efluentes mineros serán comparados con los Límites Máximos Permisibles (en adelante, LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas aprobado con el D.S. N.º 010-2010-MINAM, tal como lo indica en su IGA⁷.

6.3. Sedimento

Se vigilaron 21 puntos de sedimento en las quebradas La Ramada, Sayapampa y el río Chichiricucho.

6.3.1. Procedimiento y/o manuales de monitoreo

Las referencias para la toma de muestras de sedimento en agua superficial, se detallan en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9. Protocolos de monitoreo utilizados para el monitoreo de sedimentos

Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Procedimiento para el muestreo de aguas y Sedimentos para la determinación de metales	Sección 7.3, 8, y 9.2	Colombia	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial		2011
Manual 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		2001
Muestreo de sedimentos	Sección 2, 3, 4, 5, 7.1-2, 9, 11		(EPA)		2016

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C., los cuales de ubican en el Reporte de resultados N.º RR-016-2019-STEC (Anexo 3)

Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena. Aprobada mediante Resolución Directoral N.º 255-2017-SENACE/DCA, con fecha 15 de setiembre de 2017

6.3.2. Ubicación de puntos

Los 21 puntos de monitoreo de sedimento se encuentran dentro del área de influencia ambiental de la UM La Arena, los cuales fueron establecidos en los mismos cuerpos de agua donde se tomaron muestras de agua superficial, es preciso indicar que se adicionó el prefijo «SED» a la codificación de los puntos asociados al monitoreo de agua (Tabla 6.10).

Tabla 6.10. Ubicación de los puntos de monitoreo de sedimento

I abi		ción de los punto		toreo de se adas UTM	edinento	
N.°	Cuerpo	Puntos de		zona 17 M	Descripción	
	receptor	monitoreo	Este (m)	Norte (m)		
1	Río Chichiricucho	ESP-SED-3	814238	9131144	Punto de captación de agua del río Chichiricucho a la Piscigranja Virgen Peregrina del caserío Caracmaca, ubicado a 200 metros aguas arriba de la Piscigranja. A 4 km aproximadamente aguas debajo de la descarga de la solución rica proveniente de la Poza Raincoat 03 ⁽³⁾ .	
2	Río Chichiricucho	ESP-SED-7	814539	9130613	Río Chichiricucho, ubicado, a 3,5 km aproximadamente aguas abajo de la descarga de solución rica proveniente de la Poza Raincoat ⁽³⁾ .	
3	Río Chichiricucho	SED-CHI-21	815175	9129620	Río Chichiricucho, aguas abajo de la descarga del efluente industrial tratado (1), y a 500 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas La Ramada y Sayapampa.	
4	Quebrada La Ramada	SED-T4	815292	9128928	Quebrada La Ramada, antes de la confluencia con la Quebrada Sayapampa y río Chichiricucho ⁽¹⁾ , y a 110 m aguas abajo de la descarga del efluente industrial tratado M1 y a 150 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa.	
5	Quebrada La Ramada	SED-CHI-20	815190	9128818	Quebrada Chichiricucho, aguas arriba de la descarga del efluente industrial tratado ⁽¹⁾ . Quebrada La Ramada, a 60 m aguas arriba de la descarga de efluente industrial tratado M1.	
6	Quebrada Sayapampa	SED-QSay-03	815453	9128956	Quebrada Sayapampa, a 150 m aguas arriba antes de la confluencia con la quebrada La Ramada.	
7	Quebrada sin nombre6	SED-T6	815685	9128875	Quebrada S/N 1, después del aporte de la quebrada Sayapampa (1). Quebrada sin nombre6, a 70 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa, quebrada conocida como Raumate.	
8	Quebrada Sayapampa	SED-P5	815698	9128746	Quebrada La Ramada, antes de la confluencia con el Río Chichiricucho ⁽¹⁾ . Quebrada Sayapampa, a 120 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada sin nombre6 (T6) y a 460 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada La Ramada.	
9	Quebrada Sayapampa	SED-QSaya-4	816177	9128034	Quebrada Sayapampa, a 200 m aguas abajo del efluente (M7) ⁽²⁾ , y a 170 m aguas abajo del efluente M7 y a 100 m aguas arriba de la poza PLS.	
10	Quebrada Sayapampa	SED-PC-2	816356	9127829	Quebrada Sayapampa, a 100 m aguas abajo del efluente (M5) y 100 m aguas arriba del efluente (M7) (2), y a 90 m aguas debajo de las tuberías que transportan agua de no contacto del PAD de lixiviación (AS-02).	
11	Quebrada sin nombre3	SED-QS/N-01	816455	9127510	Quebrada sin nombre3, a 120 m aguas arriba de la confluencia en la quebrada Sayapampa.	
12	Quebrada Sayapampa	SED-P2	816766	9127388	Quebrada Sayapampa, aguas arriba a 50 m de las instalaciones del Proyecto (aguas	

N.°	Cuerpo	Puntos de	Coordenadas UTM WGS84-zona 17 M		Descripción	
	receptor	monitoreo	Este (m)	Norte (m)		
					arriba del punto de descarga M5) ⁽²⁾ , y a 280 m aguas abajo de la confluencia de la quebrada sin nombre2 (AS-03) y a 100 m colina debajo del PTAR de agua doméstica de la UM La Arena.	
13	Quebrada sin nombre2	SED-03	817042	9127268	Quebrada sin nombre2, a 30 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa.	
14	Quebrada Sayapampa	SED-QSay-01	817283	9127474	Quebrada Sayapampa, a 250 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada sin nombre2 (AS-03).	
15	Quebrada sin nombre3	SED-05	816297	9126621	Quebrada sin nombre3, a 70 m aguas abajo de la captación (AS-04), conocida como Zanja Amarilla.	
16	Quebrada La Ramada	SED-QLRam-03	815104	9128378	Quebrada La Ramada, a 120 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada Quishuara y punto ubicado frente a la poza de subdrenaje del depósito de desmonte N° 1 (botadero 1).	
17	Quebrada Quishuara	SED-T3	814501	9128302	Quebrada Quishuara, a 600 m antes de la confluencia con la quebrada La Ramada (1).	
18	Quebrada Cullmullacha	SED-T2	814482	9127044	Quebrada Cullmullacha, a 200 m antes de la confluencia con la quebrada La Ramada (1).	
19	Quebrada La Ramada	SED-QLRam-01	814706	9126901	Quebrada La Ramada, a 200 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cullmullacha.	
20	Quebrada sin nombre1	SED-QS/N-04	814874	9126989	Quebrada sin nombre1, a 150 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada La Ramada.	
21	Quebrada sin nombre5	SED-06	815643	9128408	Quebrada sin nombre5, a 150 m de la confluencia a la quebrada Sayapampa y a 30 m del piezómetro PZ-4A.	

^{(1):} Descripción indicada en la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 255-2017-SENACE/DCA

Nota: La precisión de la medición de las coordenadas fue de ±3 m

6.3.3. Equipos utilizados y métodos de análisis

Los equipos utilizados se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo N.º RC-023-2019-STEC. Por otro lado, los parámetros evaluados en el sedimento se detallan en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11. Parámetros evaluados y métodos de análisis para sedimento

Parámetro	Método de Referencia	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., los cuales de ubican en el Reporte de resultados N.º RR-016-2019-STEC (Anexo 3)

6.3.4. Procesamiento de datos

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

^{(2):} Descripción indicada en Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 106-2018-MEM-DGAAM

^{(3):} Descripción indicada en el Informe de Supervisión N.º 689-2018-OEFA/DSEM-CMIN, aprobado el 28 de diciembre de 2018.

6.3.5. Criterios de evaluación

Los resultados serán comparados referencialmente con los estándares establecidos en la Guía de calidad ambiental canadiense para sedimentos de aguas continentales (CEQG-SQG)⁸, que será denominada en adelante guía canadiense; debido a que no se cuenta con normas nacionales para calidad ambiental de Sedimentos (Tabla 6.12).

Tabla 6.12. Categoría de comparación empleada para Sedimentos

Categorí	Normativa o guía de comparación		
 ISQG (valores guía provisional de por debajo del cual no se esperar PEL (nivel de efecto probable): R más bajo que usualmente o si adversos. 	n efectos biológicos adversos. Lepresenta el nivel de concent	ntración química	Guía de calidad ambiental canadiense para sedimentos de aguas continentales (CEQG- SQG)

6.4. Comunidades hidrobiológicas

Los diversos organismos pertenecientes a las comunidades hidrobiológicas están directamente relacionados entre sí, así como con el ecosistema acuático en el que coexisten. Es por ello importante analizar las comunidades hidrobiológicas y relacionarlas a los componentes no biológicos (agua superficial y sedimento). Estos resultados son alcanzados a través de una serie de procedimientos, que son necesarios desarrollar tanto en campo como en gabinete., los mismos que se describen a continuación.

6.4.1. Guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 6.13 se presentan las guías de referencia nacionales para la evaluación de 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 6.13).

Tabla 6.13. Guía de referencia para el monitoreo de comunidades hidrobiológicas

Protocolo/Guía	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú	4.1.2 Técnicas de colecta – perifiton 5.1.2 Métodos de recolección cualitativos – bentos (macroinvertebrados)	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	No aplica	2015

6.4.2. Ubicación de puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo fueron establecidos en los mismos cuerpos de agua donde se tomaron muestras de agua superficial, considerando si las condiciones de los cuerpos de agua permitían el desarrollo de los macroinvertebrados bentónicos. Es preciso indicar que se adicionó el prefijo «HB» a la codificación de los puntos asociados al monitoreo de agua. (Tabla 6.14).

Canadian Council of Ministers of the Environment (1998). Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment. Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos de aguas continentales).

Tabla 6.14. Ubicación de los puntos de monitoreo de comunidades hidrobiológicas

Tabl	Fabla 6.14. Ubicación de los puntos de monitoreo de comunidades hidrobiológicas						
N°.	Código del punto monitoreo	Coordenadas UTM WGS84-zona 17 M		Altitud (m s. n. m.)	Descripción		
	punto monitoreo	Este (m)	Norte (m)	(111 5. 11. 111.)			
			Zona 1: Qu	ebrada Ramad	da y tributarios		
1	HB-QLRam-01	814706	9126901	3243	Quebrada La Ramada, a 200 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada Cullmullacha.		
2	HB-QS/N-04	814874	9126989	3341	Quebrada sin nombre1, a 150 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada La Ramada.		
3	HB-T2	814482	9127044	3240	Quebrada Cullmullacha, a 200 m antes de la confluencia con la quebrada La Ramada ⁽¹⁾ .		
4	HB-QLRam-03	815104	9128378	3191	Quebrada La Ramada, a 120 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada Quishuara y punto ubicado frente a la poza de subdrenaje del depósito de desmonte N° 1 (botadero 1).		
5	HB-T3	814501	9128302	3204	Quebrada Quishuara, a 600 m antes de la confluencia con la quebrada La Ramada (1).		
6	HB-CHI-20	815190	9128818	3145	Quebrada Chichiricucho, aguas arriba de la descarga del efluente industrial tratado ⁽¹⁾ . Quebrada La Ramada, a 60 m aguas arriba de la descarga de efluente industrial tratado M1.		
7	HB-T4	815292	9128928	3135	Quebrada La Ramada, antes de la confluencia con la Quebrada Sayapampa y río Chichiricucho ⁽¹⁾ . Quebrada La Ramada ubicado a 110 m aguas abajo de la descarga del efluente industrial tratado M1 y a 150 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa.		
		Z	Zona 2: Quel	orada Sayapar	mpa y tributarios		
8	HB-QSay-01	817283	9127474	3366	Quebrada Sayapampa, a 250 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada sin nombre2 (AS-03).		
9	HB-03	817042	9127268	3286	Quebrada sin nombre2, a 30 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa.		
10	HB-P2	816766	9127388	3351	Quebrada Sayapampa, aguas arriba a 50 m de las instalaciones del Proyecto (aguas arriba del punto de descarga M5) ⁽²⁾ . Quebrada Sayapampa, a 280 m aguas abajo de la confluencia de la quebrada sin nombre2 (AS-03) y a 100 m colina debajo del PTAR de agua doméstica de la UM La Arena.		
11	HB-05	816297	9126621	3313	Quebrada sin nombre3, a 70 m aguas abajo de la captación (AS-04), conocida como Zanja Amarilla.		
12	HB-QS/N-01	816455	9127510	3250	Quebrada sin nombre3, a 120 m aguas arriba de		
13	HB-PC-2	816356	9127829	3230	la confluencia en la quebrada Sayapampa. Quebrada Sayapampa, a 100 m aguas abajo del efluente (M5) y 100 m aguas arriba del efluente (M7) (2). Quebrada Sayapampa, a 90 m aguas debajo de las tuberías que transportan agua de no contacto del PAD de lixiviación (AS-02).		
14	HB-QSaya-4	816177	9128034	3210	Quebrada Sayapampa, a 200 m aguas abajo del efluente (M7) ⁽²⁾ . Quebrada Sayapampa, a 170 m aguas abajo del efluente M7 y a 100 m aguas arriba de la poza PLS.		
15	HB-P5	815698	9128746	3153	Quebrada La Ramada, antes de la confluencia con el Río Chichiricucho ⁽¹⁾ Quebrada Sayapampa, a 120 m aguas arriba de la confluencia de la quebrada sin nombre6 (T6) y a 460 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada La Ramada.		

N°.	Código del		adas UTM cona 17 M	Altitud	Descripción
	punto monitoreo	Este (m)	Norte (m)	(m s. n. m.)	'
		Z	Zona 2: Quel	orada Sayapar	mpa y tributarios
16	HB-T6	815685	9128875	3147	Quebrada S/N 1, después del aporte de la quebrada Sayapampa (1). Quebrada sin nombre6, a 70 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Sayapampa, quebrada conocida como Raumate.
17	HB-QSay-03	815453	9128956	3130	Quebrada Sayapampa, a 150 m aguas arriba antes de la confluencia con la quebrada La Ramada.
18	HB-CHI-21	815175	9129620	3095	Río Chichiricucho, aguas debajo de la descarga del efluente industrial tratado (1). Río Chichiricucho a 500 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas La Ramada y Sayapampa.
19	ESP-HB-7	814539	9130613	3085	Río Chichiricucho, ubicado a 750 metros aguas arriba del punto de monitoreo ESP-AS-4. A 3,5 km aproximadamente aguas debajo de la descarga de solución rica proveniente de la Poza Raincoat ⁽³⁾ .
20	ESP-HB-3	814238	9131144	3015	Punto de captación de agua del río Chichiricucho a la Piscigranja Virgen Peregrina del caserío Caracmaca, ubicado a 200 metros aguas arriba de la Piscigranja. A 4 km aproximadamente aguas debajo de la descarga de solución rica proveniente de la Poza Raincoat 03 ⁽³⁾ .

^{(1):} Descripción indicada en la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 255-2017-SENACE/DCA

6.4.3. Equipos utilizados, parámetros y métodos de análisis

Para la evaluación se utilizó equipos y herramientas como: GPS (sistema de posicionamiento global), red surber y otros materiales los cuales se detallan en el Anexo 2, correspondiente al reporte de campo.

Los parámetros las comunidades hidrobiológicas evaluadas y los métodos de análisis utilizados, se especifican en la Tabla 6.15.

Tabla 6.15. Parámetros y métodos de análisis de hidrobiológicos

Parámetro	Método de ensayo de referencia	Unidad de conteo	Técnica empleada	Observaciones
Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW-APHA-AWWA- WEF, Part 10 500 C, 22nd Ed. 2012	Organismos/0,27m ²	Identificación taxonómica y análisis	OEFA*
Perifiton (microalgas y microorganismos)	SMEWW 10300C, SMEWW 10300E	Organismos/cm ²	cuantitativo	

^{*} Las muestras fueron identificadas por especialistas del OEFA.

6.4.4. Procesamiento y análisis de datos

En esta sección se describen los análisis realizados para las comunidades hidrobiológicas de composición, riqueza, abundancia e índices de diversidad (alfa y beta), en base a los reportes de identificación taxonómica. Asimismo, se describen los indicadores biológicos de referencia para la calidad ecológica.

^{(2):} Descripción indicada en Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 106-2018-MEM-DGAAM

^{(3):} Descripción indicada en el Informe de Supervisión N.º 689-2018-OEFA/DSEM-CMIN, aprobado el 28 de diciembre de 2018.

• Composición, riqueza y abundancia

La clasificación taxonómica (phylum, clase, orden, familia, género y especie) de las comunidades de perifiton (microalgas y microorganismos) y de los macroinvertebrados bentónicos evaluados en las 3 zonas de estudio se presenta en el Anexo 3, reporte de resultados.

La evaluación de la riqueza y la abundancia de macroinvertebrados bentónicos se desarrollaron en base a la categoría taxonómica «orden». Las comunidades hidrobiológicas del perifiton (microalgas y microorganismos) fueron evaluadas en base a la categoría taxonómica «especie». Cabe indicar que la abundancia de macroinvertebrados bentónicos se analizó según la abundancia total, representándose en individuos/0,27 m²; la abundancia del perifiton se representó en organismos/cm². Para esto, se utilizó una base de datos en el cual se sistematizó los nombres y números de cada especie por cada punto de monitoreo; posteriormente, se realizó las representaciones mediante gráficas acumuladas por zona evaluada.

• Diversidad alfa

Para el análisis de diversidad de especies (diversidad alfa) se utilizaron los índices de diversidad verdadera (Números de Hill), el índice de dominancia de Simpson (D), y el índice de equidad de Pielou (J').

Números de Hill (diversidad verdadera)

Los índices de diversidad verdadera son modificaciones de los índices comunes de Shannon (H') y Simpson (D) con la finalidad de ajustar la sensibilidad para determinar el comportamiento de la diversidad. En base a esta modificación, se empezó a hacer uso el término «números efectivos de especies», que son las unidades de medición de la diversidad verdadera (Moreno *et al.*, 2011). De ese modo, los datos obtenidos de las comunidades hidrobiológicas se analizan con números efectivos de especies (Hill, 1973; Jost, 2006).

Para ello, se usó la variable N1 como la modificación del índice Shannon (H') (Jost, 2006) que tiene como fórmula:

$$N1 = exp(H) (6.1)$$

Donde:

H: Es el índice de Shannon

Índice de dominancia de Simpson

El Índice de dominancia de Simpson manifiesta la probabilidad que 2 individuos seleccionados aleatoriamente en una comunidad sean de la misma especie. Este índice da mayor valor a las especies abundantes o dominantes (Magurran, 1988; Peet, 1974). Su valor es inverso a la equidad. Este índice pondera las especies dominantes en la comunidad, es decir las que cuentan con más individuos. Si las especies dominantes son pocas y formadas por pocos individuos, entonces sus valores serán bajos, cercanos a cero y si es el caso contrario los valores serán cercanos a uno. Será el valor de 1 cuando todos los individuos pertenezcan a una sola población y consecuentemente a la misma especie. Este índice no tiene unidades.

$$\Lambda = \sum pi2 \tag{6.2}$$

Donde.

Λ: Índice de Diversidad de Simpson

pi: Abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

El Índice de equidad de Pielou

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; Magurran, 1988).

$$J = H' / log 2 S$$
 (6.3)

Dónde.

J: índice de equidad de Pielou

H': Índice de diversidad de Shannon & Wiener

Log2 S: es la diversidad máxima (H'max) que se obtendría si la distribución de las abundancias de las especies en la comunidad fuese perfectamente equitativa

· Diversidad beta

Para la evaluación de diversidad beta se utilizó el coeficiente de similitud de Bray Curtis en base a la similitud de especies entre puntos de monitoreo para cada comunidad hidrobiológica.

Para determinar el índice de Bray Curtis se empleó la fórmula:

$$IBC = 1 - \frac{(\sum xi - yi)}{(\sum xi + yi)}$$
(6.4)

Donde IBC es el índice de Bray Curtis, xi es la abundancia o densidad de especies i en un conjunto 1 y yi es la abundancia de las especies en el otro. Para facilitar el análisis de los valores de similitud de manera visual, se procedió a la elaboración de dendogramas mediante la unión de pares promedio (Sokal & Michener, 1958; Crisci & López, 1983) utilizando el programa estadístico PAST (Hammer *et al.*, 2001). Esta gráfica resume la similitud de las especies entre dos estaciones de monitoreo.

Calidad ecológica

Tomando como base metodológica el «Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)» (Encalada et al., 2011), se ha realizado la evaluación de calidad ecológica. Para su aplicación, se eligió en el sitio de monitoreo un tramo que midió entre 50 y 100 m de longitud, en el cual se observaron y valoraron dos grupos de variables:

Las características hidromorfológicas: incluye observaciones de vegetación de ribera, de paisaje próximo al río y de algunos elementos del canal del río como su forma y sustrato. Mediante estas observaciones se estima la calidad hidromorfológica.

Los organismos que habitan el agua: macroinvertebrados bentónicos. Se estima. la calidad biológica con información de la composición de especies por punto de monitoreo y el respectivo valor de tolerancia de cada orden taxonómico.

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 y
- Elementos de heterogeneidad.

El criterio de elección del puntaje para cada característica es detallado en los datos de campo. Una vez obtenidas las puntuaciones para cada característica hidromorfológica se obtuvo una sumatoria de todas ellas, con la finalidad de tener un solo valor por punto de monitoreo. Finalmente, para obtener la calidad hidromorfológica, dicho valor fue comparado con la siguiente escala (Tabla 6.16).

Tabla 6.16. Valoración de la calidad hidromorfológica del río

Clase	Puntuación	Calidad hidromorfológica
1	> 35	Excelente
2	29 - 35	Buena
3	21 - 28	Moderada
4	11 - 20	Mala
5	0 - 10	Pésima

Fuente: Encalada et al., 2011

La calidad biológica de los hábitats acuáticos en el área de evaluación se estimó a través del índice biótico andino (ABI, por sus siglas en 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 (Tabla 6.17) presente en cada punto de monitoreo. Cabe indicar que el índice ABI forma parte de un protocolo de evaluación de la «calidad ecológica de los ríos andinos-CERA» (Acosta et al., 2009).

Tabla 6.17. Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI

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

Orden/Clase	Familia	Puntaje	Orden/Clase	Familia	Puntaje
	Veliidae	5		Stratiomyidae	4
	Belostomatidae	4		Tabanidae	4
	Anomalopsychidae	10		Psychodidae	3
	Calamoceratidae	10		Chironomidae	2
	Helicopsychidae	10		Culicidae	2
Trichoptera	Odontoceridae	10		Ephydridae	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 6.18).

Tabla 6.18. Valoración de la calidad biológica con el índice ABI

Clase	Puntuaciones	Calidad Biológica
1	> 74	Excelente
2	45 – 74	Buena
3	27 – 44	Moderada
4	11 – 26	Mala
5	< 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 6.19).

Tabla 6.19. Escala de calidad ecológica de un río

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

Fuente: Encalada et al., 2011

Adicionalmente, para estimar el grado de perturbación del ensamble de macroinvertebrados bentónicos, se recategorizaron las especies registradas a grupos bioindicadores, definidos referencialmente a partir de la clasificación de familias del índice ABI (Acosta et al., 2009), considerando 3 grupos: el primero corresponde a las especies que se agrupan dentro de familias sensibles, que presentan un alto nivel de sensibilidad según las categorías del ABI (entre 8 y 10); el segundo grupo corresponde a las especies que se agrupan dentro de familias facultativas, que según las condiciones pueden tener un grado intermedio de sensibilidad/tolerancia (entre 4 y 7); finalmente, el tercer grupo comprende a las especies que se agrupan dentro de familias tolerantes, que presentan un bajo nivel de sensibilidad (entre 1 y 3).

6.5. Caracterización hidroquímica

La evaluación de los aspectos hidroquímicos permiten caracterizar las aguas en función a su concentración de sales, predominancia catiónica y aniones (tipo de agua). Custodio y Llamas (1996) consideran que los análisis de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y parámetros de campo como la conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y pH, son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en la mayoría de acuíferos y sistemas hidrológicos.

6.5.1. Ubicación de puntos

Los puntos de monitoreo considerados en esta sección corresponden a los de agua superficial de ríos y quebradas, agua subterránea (piezómetros) y efluente industrial evaluados durante abril/mayo 2019 (Tablas 6.2, Tabla 6.3 y 6.7 respectivamente).

6.5.2. Parámetros y métodos de análisis

Se consideraron los resultados de los parámetros que se muestran a continuación:

- Parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, carbonatos y bicarbonatos.
- · Parámetros Inorgánicos: sulfatos y cloruros.
- Metales totales y disueltos: aluminio (AI), plata (Ag), antimonio (Sb), arsénico (As), bario (Ba), boro (B), cadmio (Cd), calcio (Ca), cobre (Cu), hierro (Fe), potasio (K), litio (Li), magnesio (Mg), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), sodio (Na), níquel (Ni), plomo (Pb), mercurio (Hg), selenio (Se), silicio (Si), estroncio (Sr), talio (Tl), titanio (Ti), uranio (U), vanadio (V) y zinc (Zn).

6.5.3. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó de la siguiente manera:

6.5.4. Diagramas hidroquímicos

El análisis de resultados comprendió la elaboración de diagramas hidroquímicos que permitieron caracterizar las aguas en función a su concentración de sales, predominancia de cationes y aniones (tipo de agua).

A. Diagrama de Stiff

Este diagrama corresponde a gráficas poligonales, compuesta por tres ejes horizontales, constituidos por un catión y un anión distribuidos de forma paralela. Todos los cationes se disponen al lado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L.

El diagrama de Stiff permitirá visualizar el tipo de agua (configuración particular), y el grado de mineralización (ancho de la gráfica). En la Figura 6.1 se muestran algunas apreciaciones de este diagrama que caracterizan varios tipos de aguas.

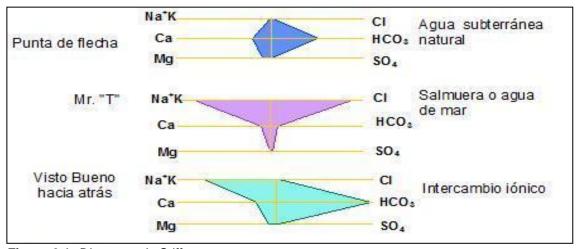


Figura 6.1. Diagrama de Stiff

B. Diagrama de Piper

Este diagrama es la más utilizada, debido a que representa a los aniones y cationes de forma simultánea, además, las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio, 1996).

Este diagrama está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺. Los vértices del triángulo de aniones son SO₄⁻², Cl⁻ y HCO³⁻. Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del aqua deducida a partir de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones dadas en meq/L se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo tres aniones y tres cationes. A cada vértice le corresponde el 100 % de un anión o catión (Figura 6.2).

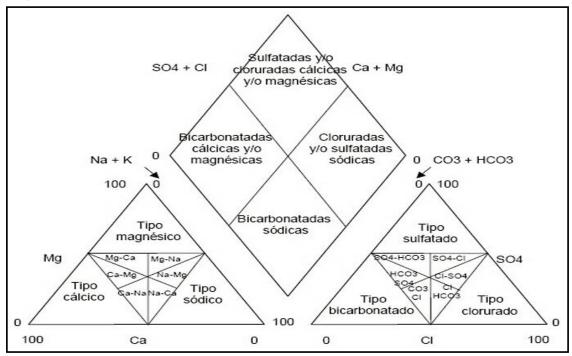


Figura 6.2. Diagrama de Piper

C. Índices hidrogeoquímicos

En este Ítem se integró los aspectos hidroquímicos con los geoquímicos, a través de indicadores que se obtienen del análisis de las aguas y su interacción con su medio circundante. El agua subterránea y el agua superficial están influenciados con el medio que lo rodea, en consecuencia, influye sobre la relación de iones disueltos.

Diagrama de Ficklin

El diagrama de Ficklin *et al.* (1992) y Plumlee *et al.* (1999), se basa en la relación del pH y el contenido de metales disueltos (Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni) contenidos en el agua. Es preciso señalar que este diagrama no considera las concentraciones de manganeso, aluminio y hierro, debido a que estos elementos presentan comportamiento geoquímico muy diferente (Favas *et al.*, 2016), ver Figura 6.3.

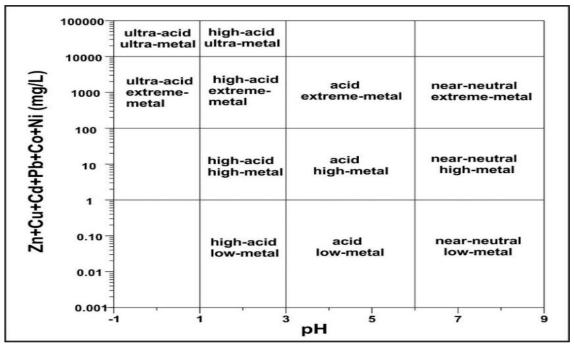


Figura 6.3. Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin)

7. RESULTADOS

En la presente sección se comparará los resultados obtenidos de las matrices agua (agua subterránea, agua superficial y efluente), sedimentos con la norma mencionada en su IGA (sección 7.1) y referencialmente con la norma vigente o internacional (sección 7.2), además se presentarán los resultados de hidrobiología (sección 7.3) por zonas, los cuales se detallan a continuación: Zona 1: que comprende la microcuenca La Ramada y Zona 2: que comprende la microcuenca Sayapampa - Chichiricucho. El monitoreo de agua superficial se realizó del 25 de abril al 5 de mayo de 2019. En la Figura 7.1, se muestra el esquema con la distribución de los puntos por zonas.

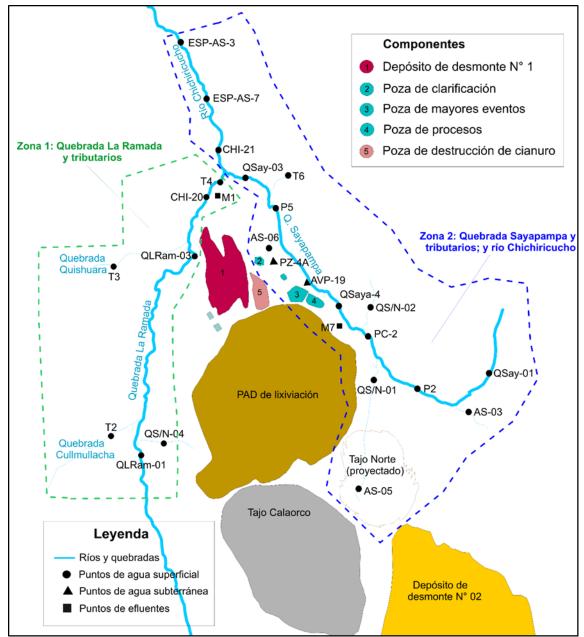


Figura 7.1. Esquema con la ubicación de los puntos de monitoreo ambiental

7.1. Comparación con las normas aprobadas en los IGA

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de los componentes agua superficial, agua subterránea y efluente industrial comparados con las normativas aprobadas en su IGA.

7.1.1. Zona 1: Microcuenca La Ramada

En esta zona se realizó el monitoreo de 7 puntos de agua superficial, distribuido de la siguiente manera: 4 en la quebrada La Ramada (QLRam-01, QLRam-03, CHI-20 y T4), 1 en la quebrada Cullmullacha (T2), 1 en la quebrada Quishuara (T3) y 1 en el tributario sin nombre1 (QS/N-04). Así mismo, se monitoreo 1 punto de efluente industrial (M1).

7.1.1.1.Agua Superficial

Las quebradas evaluadas en la zona 1 presentaron resultados de pH cercanos a la neutralidad (de 7,27 a 7,86 unidades), conductividad eléctrica de 66,1 a 190,2 μ S/cm y oxígeno disuelto de 6,48 a 7,00 mg/L, tal como se observa en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Resultados de parámetros de campo de agua superficial comparados con los ECA

para agua Cat.3 (2015)

para agua Gat.G (2010)	Monitoreo		Parámetros de campo			
Cuerpo de agua	Código	Fecha	Potencial de hidrógeno	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L) *	
Quebrada La Ramada	QLRam-01	01/05/2019	7,81	67,5	6,75	
Quebrada sin nombre1	QS/N-04	01/05/2019	7,86	82,8	6,55	
Quebrada Cullmullacha	T2	01/05/2019	7,67	67,5	6,65	
Quebrada La Ramada	QLRam-03	01/05/2019	7,65	66,1	6,53	
Quebrada Quishuara	T3	01/05/2019	7,59	68,1	6,48	
Quebrada La Ramada	CHI-20	29/04/2019	7,40	74,2	6,68	
Queblada La Raillada	T4	29/04/2019	7,27	190,2	7,00	
ECA para Agua Cat.3	ECA para agua Cat.3: RV (2015)	Riego de cultivos de tallo alto y bajo	6,5-8,5	2500	4	
. •	ECA para agua Cat.3: BA (2015)	Bebida de animales	6,5-8,4	5000	5	

^{*:} Valor mínimo

La Tabla 7.2, muestra la concentración de manganeso en el punto T4 que excedió los ECA para agua Cat. 3: RV y BA (2015). Los demás parámetros evaluados en las quebradas de la zona 1 no excedieron dicha norma.

Tabla 7.2. Resultados de manganeso comparados con los ECA para agua Cat.3 (2015)

Tabla 7.2. Resultados de manganeso comparados con los ECA para agua Cat.3 (2013)						
		Parámetro				
Cuerpo de agua	Código	Manganeso total (Mn) (mg/L)				
Quebrada La Ramada	QLRam-01	0,06163				
Quebrada sin nombre1	QS/N-04	0,0277				
Quebrada Cullmullacha	T2	0,06061				
Quebrada La Ramada	QLRam-03	0,08426				
Quebrada Quishuara	Т3	0,09781				
Quebrada La Ramada	CHI-20	0,10165				
Queblada La Namada	T4	0,6178				
ECA para Agua Cat.3	ECA para agua Cat.3:RV (2015)	0,2 mg/L				
LOA para Agua Cat.3	ECA para agua Cat.3:BA (2015)	0,2 mg/L				
	: Resultados que exceden los ECA para agua Cat.3: RV y BA					

Respecto a los resultados de cianuro total y cianuro Wad se reportó valores por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio acreditado, esto se evidencia en el Anexo 3, Reporte de Resultados N.º 016-2019-STEC.

7.1.1.2. Efluente Industrial

Todos los parámetros evaluados en el efluente de la planta de destrucción de cianuro (M1), que descarga a la quebrada La Ramada, cumplieron con los Límites Máximos Permisibles (en adelante, LMP), aprobado con el D.S. N.º 010-2010-MINAM (Tabla 7.3 y Anexo 3).

Tabla 7.3. Resultados de parámetros de campo del efluente industrial, comparados con los LMP del 2010

			Parámetros de campo			
Descripción	Código	Fecha	Potencial de hidrógeno	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	
Efluente de la planta de destrucción de cianuro	M1	29/04/2019	8,29	1835	5,67	
LMP – Efluente líquido d actividades Minero – Metalúrgicas	Límites en cualquier momento		6 - 9	-	-	

7.1.2. Zona 2: Microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

En esta zona se realizó el monitoreo de 16 puntos de agua superficial, distribuido de la siguiente manera: 6 en la quebrada Sayapampa (QSay-01, P2, PC-2, QSaya4, P5 y QSay-03), 1 en el tributario sin nombre2 margen izquierda (AS-03), 2 en el tributario sin nombre3 margen izquierda y parte alta de PAD de Lixiviación (AS-05 y QS/N-01), 1 en el tributario sin nombre4 margen derecha (QS/N-02), 1 en el tributario sin nombre5 margen izquierdo y parte baja del PAD de lixiviación (AS-06), 1 en el tributario sin nombre6 margen derecha (T6), 1 en la quebrada La Ramada (T4) y 3 puntos en el río Chichiricucho (CHI-21, ESP-AS-7 y ESP-AS-3). Así mismo, se monitoreo 2 puntos de agua subterránea (AVP-19 y PZ-4A) y 1 punto de efluente industrial (M7).

7.1.2.1. Agua superficial

Las quebradas sin nombre3 (AS-05, QS/N-01), Sayapampa (PC-2, P5) y sin nombre5 (AS-06) presentaron pH ácidos por debajo del rango establecido en los ECA para agua Cat. 3 (2015); mientras que las demás quebradas presentaron pH cercanos a la neutralidad. Las quebradas evaluadas en la zona 2 presentaron conductividad eléctrica de 19,2 a 1331 µS/cm y oxígeno disuelto de 5,55 a 7,05 mg/L, tal como se observa en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4. Resultados de parámetros de campo de agua superficial comparados con los ECA

para agua Cat.3 (2015)

	Monitoreo		Parámetros de campo			
Cuerpo de agua	Código	Fecha	Potencial de hidrógeno	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	
Quebrada Sayapampa	QSay-01	01/05/2019	7,51	36,7	6,54	
Quebrada sin nombre2	AS-03	30/04/2019	7,26	47,5	5,8	
Quebrada Sayapampa	P2	30/04/2019	7,37	42,1	5,55	
Quebrada sin nombre3	AS-05	01/05/2019	3,4	955	6,05	
Quebrada sin nombre3	QS/N-01	30/04/2019	3,31	439	6,06	
Quebrada Sayapampa	PC-2	30/04/2019	4,0	155,5	6,24	
Quebrada sin nombre4	QS/N-02	30/04/2019	7,14	19,2	6,24	
Quebrada Sayapampa	QSaya-4	30/04/2019	6,88	1331	6,83	
Quebrada sin nombre5	AS-06	02/05/2019	3,09	673	5,66	
Quebrada Sayapampa	P5	29/04/2019	4,52	260	6,75	
Quebrada sin nombre6	T6	29/04/2019	8,26	165,1	6,82	
Quebrada Sayapampa	QSay-03	29/04/2019	6,63	827	6,47	
Quebrada La Ramada	T4**	29/04/2019	7,27	190,2	7,00	
	CHI-21	29/04/2019	7,07	338	7,05	
Río Chichiricucho	ESP-AS-7	28/04/2019	7,11	163,9	6,88	
	ESP-AS-3	28/04/2019	7,29	559	6,61	

ECA para Agua Cat.3	ECA para agua Cat.3: RV (2015)	Riego de cultivos de tallo alto y bajo	6,5-8,5	2500	4
	ECA para agua Cat.3: BA (2015)	Bebida de animales	6,5-8,4	5000	5
			: Resultados que superaron los ECA para agua Cat.3: RV y BA		

^{**:} Quebrada La Ramada (T4) que al unirse con la quebrada Sayapampa forma el río Chichiricucho

La Tabla 7.5, muestra las concentraciones de aluminio, cadmio, cobalto cobre, hierro, manganeso, mercurio y zinc que superaron los ECA para agua Cat. 3 (2015), en las quebradas evaluadas en la zona 2.

Tabla 7.5. Resultados de metales comparados con los ECA para agua Cat.3 (2015)

		Parámetros							
Cuerpo de agua	Código	Aluminio total (Al)	Cadmio total (Cd)	Cobalto total (Co)	Cobre total (Cu)	Hierro total (Fe)	Manganes o total (Mn)	Mercurio total (Hg)	Zinc total (Zn)
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Quebrada Sayapampa	QSay-01	0,078	< 0,00001	0,00072	0,00062	0,2719	0,0915	< 0,00003	< 0,0100
Quebrada sin nombre2	AS-03	0,117	< 0,00001	0,00127	0,00477	2,682	0,5158	< 0,00003	< 0,0100
Quebrada Sayapampa	P2	0,078	< 0,00001	0,00117	0,00144	2,307	0,41417	< 0,00003	< 0,0100
Quebrada sin nombre3	AS-05	64,53	0,01477	0,10377	2,015	10,71	13,21	< 0,00003	2,109
Quebrada sin nombre3	QS/N-01	16,68	0,00401	0,03254	1,042	4,7	3,696	< 0,00003	0,6202
Quebrada Sayapampa	PC-2	5,197	0,00128	0,0105	0,32422	2,375	1,282	< 0,00003	0,2002
Quebrada sin nombre4	QS/N-02	0,036	< 0,00001	0,00045	0,00059	0,4082	0,0328	< 0,00003	0,0178
Quebrada Sayapampa	QSaya-4	2,441	0,0043	0,02354	0,1678	0,8316	6,271	< 0,00003	0,2557
Quebrada sin nombre5	AS-06	15,44	0,00353	0,03236	0,4435	15,94	10,56	0,00446	0,737
Quebrada Sayapampa	P5	3,812	0,00158	0,01315	0,31774	1,689	1,748	< 0,00003	0,1904
Quebrada sin nombre6	Т6	0,038	< 0,00001	< 0,00001	0,00057	0,0981	0,00858	< 0,00003	< 0,0100
Quebrada Sayapampa	QSay-03	1,917	0,00203	0,01428	0,11448	1,103	3,72	< 0,00003	0,1205
Quebrada La Ramada	T4**	0,34	0,00029	0,00207	0,0075	0,486	0,6178	< 0,00003	0,021
	CHI-21	0,775	0,00055	0,00365	0,03781	0,5112	1,319	< 0,00003	0,0335
Río Chichiricucho	ESP-AS-7	1,546	0,00045	0,00378	0,07918	1,687	0,5843	< 0,00003	0,0592
Critoriii odorio	ESP-AS-3	0,759	0,00079	0,00313	0,03354	0,7423	1,857	< 0,00003	0,0299
ECA para	ECA para agua Cat.3:RV (mg/L)	5	0,01	0,05	0,2	5	0,2	0,001	2
Agua Cat.3 (2015)	ECA para agua Cat.3:BA (mg/L)	5	0,05	1	0,5	*	0,2	0,01	24
: Resultados que superaron los ECA para agua Cat.3: RV									
		: Resultad	dos que supe	raron los E	CA para aç	gua Cat.3:	RV y BA		
No precente velor en esperámetro para la sub esteraria									

^{*:} No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.
**: Punto considerado en la zona 2 (Quebrada La Ramada) por ser tributario en similitud de la quebrada Sayapampa para formar al río Chichiricucho

Respecto a los resultados de cianuro total y cianuro Wad de la zona 2 se reportó valores por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio acreditado (Anexo 3, Reporte de Resultados N.º 016-2019-STEC).

7.1.2.2. Agua subterránea

Todos los parámetros evaluados en las aguas subterráneas de los piezómetros ubicados gradiente abajo de la poza de procesos del PAD de Lixiviación (AVP-19) y de la pila de lixiviación del PAD (PZ-4A) no superaron los valores de la norma Dutch Target and Intervention Valuaes (2000) indicada en su IGA⁹ (Tabla 7.6 y Anexo 3). Las aguas subterráneas de estos piezómetros presentaron pH de 5,89 y 7,25 unidades, conductividad eléctrica de 59,3 a 240 µS/cm y oxígeno disuelto de 2,43 y 3,79 mg/L.

7.1.2.3. Efluente industrial

Todos los parámetros evaluados en el efluente de la planta de tratamiento del desaguado del tajo Calaorco y tajo Norte (M7), que descarga a la quebrada Sayapampa, cumplieron con los LMP, aprobado con el D.S. N.º 010-2010-MINAM (Anexo 3). Además, este efluente presentó pH básico (8,26 unidades), conductividad eléctrica de 1740 µS/cm y oxígeno disuelto mayor a 5,9 mg/L.

7.2. Comparación referencial con la norma vigente o estándar internacional

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de los componentes agua superficial, agua subterránea y sedimento comparados referencialmente con la norma nacional vigente o internacional.

7.2.1. Zona 1: Microcuenca La Ramada

En esta zona se realizó el monitoreo de 7 puntos de sedimento, ubicados en los mismos lugares de los puntos de agua superficial.

7.2.1.1. Sedimento

Los 7 puntos evaluados en las quebradas de la zona 1 presentó la siguiente distribución: 4 en la quebrada La Ramada (SED-QLRam-01, SED-QLRam-03, SED-CHI-20 y SED-T4), 1 en la quebrada Cullmullacha (SED-T2), 1 en la quebrada Quishuara (SED-T3) y 1 en el tributario la quebrada sin nombre1 (SED-QS/N-04).

La Tabla 7.8, muestra las concentraciones de arsénico, cobre y mercurio que superaron los valores ISQG o PEL de la guía canadiense (CEQG). Los demás parámetros evaluados en las quebradas de la zona 2 no superaron dicha norma (Anexo 3).

Tabla 7.6. Resultados de metales totales para calidad de sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG o PEL de la CEQG-SQG

	Monitoreo		Parámetros		
Cuerpo de agua	Código	Fecha	Arsénico total (mg/kg)	Cobre total (mg/kg)	Mercurio total (mg/kg)
Quebrada La Ramada	SED-QLRam-01	1/05/2019	< 17,5	17,5	0,21
Quebrada sin nombre1	SED-QS/N-04	1/05/2019	31	18,2	0,41
Quebrada Cullmullacha	SED-T2	1/05/2019	19,8	48,2	<0,10
Quebrada La Ramada	SED-QLRam-03	1/05/2019	18	29,2	0,34
Quebrada Quishuara	SED-T3	1/05/2019	< 17,5	10,2	0,25
Quebrada La Ramada	SED-CHI-20	29/04/2019	50,9	33,7	0,76

Tercera modificación del Estudio de Impacto Ambiental de la UM La Arena. (Resolución Directoral N.º 255-2017-SENACE/DCA)

	Monitoreo		Parámetros			
Cuerpo de agua	Código	Fecha	Arsénico total (mg/kg)	Cobre total (mg/kg)	Mercurio total (mg/kg)	
	SED-T4		36,6	31,9	0,61	
CEQG-SQG		ISQG	5,9	35,7	0,17	
		PEL	17	197	0,486	
		: Resultados que superaron el valor ISQG de la CEQG				
		: Resultados que superaron el valor ISQG y PEL de la CEQG				

7.2.2. Zona 2: Microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

En esta zona se realizó el monitoreo de 15 puntos de sedimento y 2 puntos de agua subterránea.

7.2.2.1. Agua Subterránea

El pH ligeramente ácido (5,89 unidades) del agua subterránea del piezómetro PZ-4A se encontró por debajo del rango de los ECA para agua Cat. 3 (2017); por otro lado, el oxígeno disuelto en el agua subterránea de ambos piezómetros se encontró por debajo del valor establecido en dicha norma, condiciones de hipoxia¹⁰ que es natural en aguas subterráneas (Custodio, 1996), tal como se muestra en la Tabla 7.9.

Tabla 7.7. Resultados de parámetros de campo de agua subterránea comparados con los ECA

para agua Cat.3 (2017)

Lugar	N	Ionitoreo	Parámetros de campo		
	Código	Fecha	Potencial de hidrógeno	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Poza de procesos	AVP-19	02/05/2019	7,25	240	2,43
Poza de clarificación	PZ-4A	02/05/2019	5,89	59,3	3,79
ECA para Agua Cat.3	ECA para agua Cat.3: RV (2017)	Riego de cultivos de tallo alto y bajo	6,5-8,5	2500	≥ 4
	ECA para agua Cat.3: BA (2017)	Bebida de animales	6,5-8,4	5000	≥ 5
			: Resultados que superaron los ECA para agua Cat.3: RV y BA		

La Tabla 7.10, muestra las concentraciones de hierro (PZ-4A) y manganeso (AVP-19, PZ-4A) que superaron los ECA para agua Cat. 3 (2017). Los demás parámetros evaluados en ambos piezómetros no excedieron dicha norma (Anexo 3).

Tabla 7.8. Resultados de metales de agua subterránea comparados con los ECA para agua

Cat.3 (2017)

, , ,		Parámetros			
Lugar	Código	Hierro total (Fe) (mg/L)	Manganeso total (Mn) (mg/L)		
Poza de procesos	AVP-19	2,119	0,6641		
Poza de clarificación	PZ-4A	7,052	0,36233		
ECA para Agua Cat.3 (2017)	ECA para agua Cat.3:RV (mg/L)	5	0,2		
	ECA para agua Cat.3:BA (mg/L)	*	0,2		
		: Resultados que superaron los ECA para agua Cat.3: RV			
		: Resultados que superaron los ECA para agua Cat.3: RV y BA			

^{*:} No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

Hipoxia: baja saturación de oxígeno disuelto.

7.2.2.2. Sedimento

Los 15 puntos evaluados en las quebradas de la zona 2 presentó la siguiente distribución: 6 en la quebrada Sayapampa (SED-QSay-01, SED-P2, SED-PC-2, SED-QSaya4, SED-P5 y SED-QSay-03), 1 en la quebrada sin nombre2 margen izquierda (SED-03), 2 en la quebrada sin nombre3 margen izquierda (SED-05 y SED-QS/N-01), 1 en la quebrada sin nombre5 margen izquierda (SED-06), 1 en la quebrada sin nombre6 margen derecha (SED-T6), 1 en la quebrada La Ramada (SED-T4) y 3 en el río Chichiricucho (SED-CHI-21, ESP-SED-7 y - ESP-SED-3).

La Tabla 7.11, muestra las concentraciones de arsénico, cobre, plomo y mercurio que superaron referencialmente los valores ISQG o PEL de la guía canadiense (CEQG). Los demás parámetros evaluados en las quebradas de la zona 2 no excedieron dicha norma (Anexo 3).

Tabla 7.9. Resultados de metales totales para calidad de sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG o PEL de la CEQG-SQG

Monito			Parámetros			
Cuerpo de agua	Código	Fecha	Arsénico total (mg/kg)	Cobre total (mg/kg)	Plomo total (mg/kg)	Mercurio total (mg/kg)
Quebrada Sayapampa	SED-QSay-01	01/05/2019	< 17,5	4,2	< 10	<0,10
Quebrada sin nombre2	SED-03	30/04/2019	< 17,5	< 4,0	< 10	0,15
Quebrada Sayapampa	SED-P2	30/04/2019	< 17,5	< 4,0	< 10	0,18
Quebrada sin nombre3	SED-05	01/05/2019	265,8	140,3	37	4,07
Quebrada sin nombre3	SED-QS/N-01	30/04/2019	129,1	147,8	28	2,26
Quebrada Sayapampa	SED-PC-2	30/04/2019	< 17,5	< 4,0	< 10	0,19
Quebrada Sayapampa	SED-QSaya-4	30/04/2019	< 17,5	10,9	< 10	0,2
Quebrada sin nombre5	SED-06	02/05/2019	44,4	56,5	27	3,92
Quebrada Sayapampa	SED-P5	29/04/2019	37,5	24,4	14	0,54
Quebrada sin nombre6	SED-T6	29/04/2019	67,9	9,4	< 10	0,14
Quebrada Sayapampa	SED-QSay-03	29/04/2019	38,6	19,1	< 10	0,25
Quebrada La Ramada	SED-T4	29/04/2019	36,6	31,9	12	0,61
	SED-CHI-21	29/04/2019	28,8	52,9	< 10	0,57
Río Chichiricucho	ESP-SED-7	28/04/2019	34,9	34,8	11	0,67
	ESP-SED-3	28/04/2019	17,9	21,2	< 10	0,27
CEOG	CEQG-SQG		5,9	35,7	35,7	0,17
0LQ0-3Q0		PEL	17	197	197	0,486
			: Resultados que superaron los valores ISQG de la CEQG			
			: Resultados que superaron los valores ISQG y PEL de la CEQG			

7.3. Comunidades hidrobiológicas y caracterización hidroquímica

7.3.1. Zona 1: Microcuenca La Ramada

7.3.1.1.Comunidades Hidrobiológicas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de las comunidades hidrobiológicas en la quebrada Ramada y sus tributarios. Se tomaron un total de 7 puntos de monitoreo, 4 en la quebrada Ramada (HB-QLRam-01, HB-QLRam-03, HB-CHI-20 y HB-T4), 1 en la quebrada sin nombre1 (HB-QS/N-04), 1 en la quebrada Cullmullacha (HB-T2), y 1 en la quebrada Quishuara (HB-T3).

A. Perifiton

• Composición, riqueza y abundancia de especies

La comunidad de perifiton (microalgas y microorganismos) estuvo representada por un total de 59 especies, las cuales están agrupadas en 26 familias, 18 órdenes, 7 clases, y 6 phyla, según su categoría taxonómica. Se destacaron las microalgas pertenecientes a los phyla Bacillariophyta con 49 especies, Cyanobacteria con 5 especies, Chlorophyta con 2 especies; y Charophyta con 1 especie, mientras que los microorganismos pertenecientes a los phyla Cercozoa y Nematoda presentaron una especie cada una (Anexo 3).

El punto de monitoreo con mayor número de especies fue HB-QS/N-04 (quebrada sin nombre1) con 23 especies, mientras que los puntos de monitoreo con menor número de especies fueron HB-QLRam-01 y HB-T4, en la quebrada La Ramada con 11 especies. El phylum Bacillariophyta fue el de mayor riqueza de especies en cada punto presentando su mayor riqueza de especies en HB-QS/N-04 con 20 especies. Por otro lado, el phylum Cyanobacteria presentó su mayor riqueza de especies en el punto de monitoreo HB-T2 (quebrada Cullmullacha) y HB-QLRam-03 (quebrada La Ramada) con 3 especies cada una (Figura 7.2a).

La densidad total (abundancia total) del perifiton fue de 105590 organismos/cm². El punto de monitoreo con mayor densidad fue HB-QS/N-04 (quebrada sin nombre1) con 31980 organismos/cm², mientras que el punto de monitoreo con menor densidad fue HB-T3 (quebrada Quishuara) con 9510 organismos/cm². Como ya se indicó, el phylum Bacillariophyta se colectó en todos los puntos de monitoreo, siendo el de mayor densidad en todos los puntos de monitoreo, seguido del phylum Cyanobacteria, colectado en 3 puntos de monitoreo (Figura 7.2b).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥ 40,0%) y abundancia relativa (> 3,3%) fueron: *Nitzschia palea*, *Gomphonem*a sp., *Reimeria sinuata*, *Fragilaria capuccina* y *Ulnaria ulna* pertenecientes al phylum Bacillariophyta.

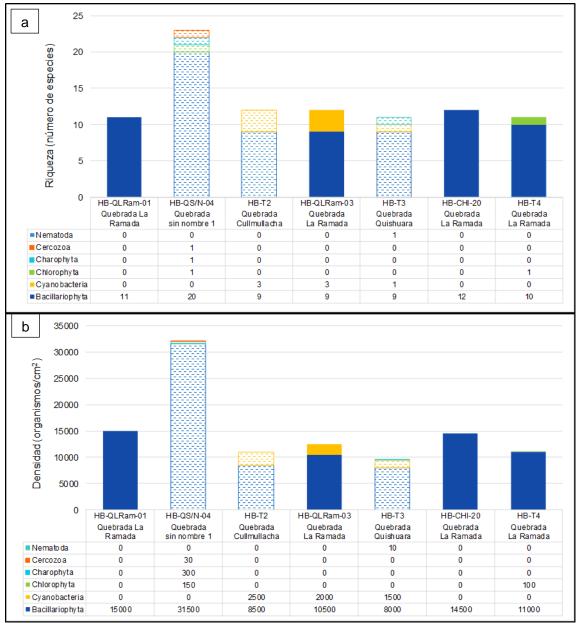


Figura 7.2. (a) Riqueza o número de especies y (b) densidad o abundancia de la comunidad de perifiton según el phylum en la microcuenca La Ramada. Los colores sólidos representan el cauce principal y los colores trama representan los tributarios

Diversidad alfa

De acuerdo a la Tabla 7.12, el índice de diversidad de Hill N1, el mayor valor de especies efectivas se presenta en el punto de monitoreo HB-QS/N-04 (quebrada sin nombre1), mientras que el menor valor se presentó en el punto de monitoreo HB-T3 (quebrada Quishuara), resultados que también se corroboran con la densidad y abundancia en estos puntos. El índice de dominancia de Simpson registró menor valor (0,0830) en la quebrada sin nombre1 (HB-QS/N-04) y mayor valor (0,1415) en la quebrada La Ramada (HB-CHI-20). El índice de equidad de Pielou registró menor valor (0,8798) en la quebrada sin nombre 1 (HB-QS/N-04) y mayor valor (0,9508) en la quebrada La Ramada (HB-QLRam-01). Asimismo, se observa que los puntos de mayor diversidad, estuvieron relacionados a una reducida dominancia de unas pocas especies, como por ejemplo en HB-QS/N-04 (quebrada sin nombre1).

Tabla 7.10. Diversidad alfa de perifiton por punto de monitoreo en la microcuenca La Ramada

Punto de monitoreo	Cuerpo de agua	N1	D	J'
HB-QLRam-01	Quebrada La Ramada	9,776	0,1133	0,9508
HB-QS/N-04	Quebrada sin nombre1	15,78	0,0830	0,8798
HB-T2	Quebrada Cullmullacha	10,24	0,1116	0,9363
HB-QLRam-03	Quebrada La Ramada	9,304	0,1392	0,8976
HB-T3	Quebrada Quishuara	8,964	0,1244	0,9146
HB-CHI-20	Quebrada La Ramada	9,128	0,1415	0,8899
HB-T4	Quebrada La Ramada	9,178	0,1218	0,9245

Donde: N1: Índices de diversidad de Hill; D: Dominancia de Simpson, J': Índice de equidad de Pielou

: Valores mayores de índices de diversidad alfa : Valores menores de índices de diversidad alfa

Diversidad beta

En la Figura 7.3 se presenta el dendrograma de similitud calculado mediante el índice de Bray Curtis, el cual permitió observar que ninguno de los puntos de monitoreo muestra un porcentaje de similitud mayor al 50 %; sin embargo, los puntos HB-T2 (quebrada Cullmullacha) y HB-QLRam-03 (quebrada La Ramada) presentaron más del 40 % de porcentaje de similitud, es decir, que estos puntos de monitoreo están más relacionados en cuanto a las especies de perifiton registradas.

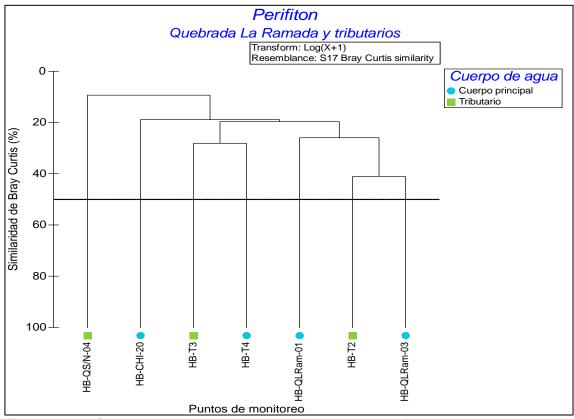


Figura 7.3. Análisis de diversidad beta de la comunidad de perifiton en la microcuenca La Ramada

B. Macroinvertebrados bentónicos

Composición, riqueza y abundancia de especies

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 21 especies, 12 familias, 6 órdenes, 3 clases y 2 phyla, según su categoría taxonómica. Se destacaron los órdenes Diptera con 9 especies, Ephemeroptera con 5 especies, Coleoptera con 3 especies, Trichoptera con 2 especies, y los órdenes Lumbriculida y Trombidiformes con 1 especie. (Anexo 3).

El punto de monitoreo con mayor número de especies fue HB-T2 (quebrada Cumullacha) con 11 especies, mientras que el punto de monitoreo con menor número de especies fue HB-T4 (quebrada La Ramada) con 4 especies. Los órdenes Diptera y Ephemeroptera se colectaron en todos los puntos de monitoreo, siendo el de mayor riqueza de especies en cada punto, el orden Ephemeroptera, y presentando su mayor riqueza de especies en los puntos HB-T2 (quebrada Cumullacha), HB-T3 (quebrada La Ramada) y HB-CHI-20 (quebrada La Ramada) con 4 especies en cada uno (Figura 7.4a).

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 573 organismos/0,27m². El punto de monitoreo con mayor densidad fue HB-QLRam-01 (quebrada La Ramada) con 151 organismos/0,27m², mientras que el punto de monitoreo con menor densidad fue HB-T4 (quebrada La Ramada) con 22 organismos/0,27m². El orden Ephemeroptera fue el de mayor abundancia en todos los puntos de monitoreo, presentando la mayor abundancia en la quebrada La Ramada en los puntos HB-QLRam-01 y HB-QLRam-03 con 148 y 142 organismos/0,27m² respectivamente (Figura 7.4b).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥ 50,0%) y abundancia relativa (> 4,0%) fueron: *Andesiops* sp., *Baetodes* sp., y *Meridialaris* sp. perteneciente al orden Ephemeroptera.

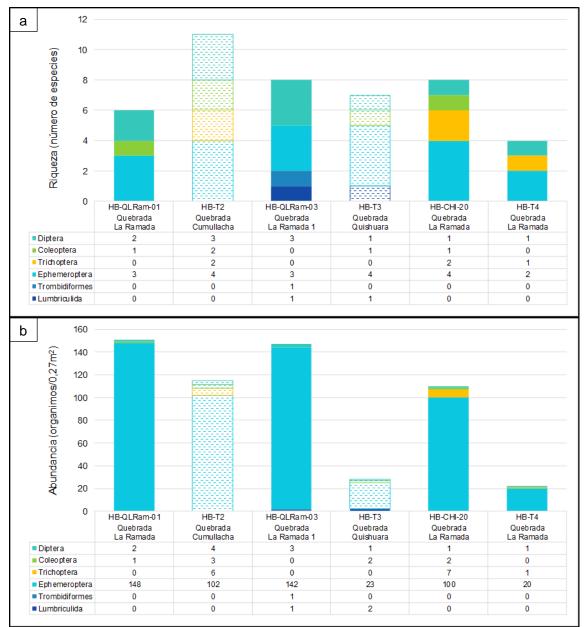


Figura 7.4. (a) Riqueza o número de especies y (b) densidad o abundancia de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos según el phylum en la microcuenca La Ramada. Los colores sólidos representan el cauce principal y los colores trama representan los tributarios

Diversidad alfa

De acuerdo a la Tabla 7.13, el índice de diversidad de Hill N1, el mayor valor de especies efectivas se presenta en el punto de monitoreo HB-T2 (quebrada Cullmullacha), mientras que el menor valor se presentó en el punto de monitoreo HB-QLRam-01 (quebrada La Ramada), resultados que también se corroboran con la densidad y abundancia en estos puntos. El índice de dominancia de Simpson presentó menor valor (0,2730) en la quebrada Quishuara (HB-T3) y mayor valor (0,4992) en la quebrada La Ramada (HB-QLRam-03). El índice de equidad de Pielou presentó menor valor 0,4171 en la quebrada La Ramada (HB-QLRam-03) y mayor valor (0,8206) en la quebrada Quishuara (HB-T3).

Tabla 7.11. Diversidad alfa de macroinvertebrados bentónicos por punto de monitoreo

Punto de monitoreo	Cuerpo de agua	N1	D	J'
HB-QLRam-01	Quebrada La Ramada	2,252	0,4951	0,4532
HB-T2	Quebrada Cullmullacha	4,201	0,3237	0,5986
HB-QLRam-03	Quebrada La Ramada	2,381	0,4992	0,4171
HB-T3	Quebrada Quishuara	4,937	0,2730	0,8206
HB-CHI-20	Quebrada La Ramada	3,286	0,4112	0,5722
HB-T4	Quebrada La Ramada	2,602	0,4545	0,6898

Donde: N1: Índices de diversidad de Hill; D: Dominancia de Simpson, J': Índice de equidad de Pielou

: Valores mayores de índices de diversidad alfa : Valores menores de índices de diversidad alfa

Diversidad beta

En la Figura 7.5 se presenta el dendrograma de similitud calculado mediante el índice de Bray Curtis, el cual permitió observar que los puntos de monitoreo HB-QLRam-01 y HB-QLRam-03 en la quebrada La Ramada, muestran un porcentaje de similitud mayor al 70 %; asimismo, los puntos de monitoreo HB-T2 (quebrada Cullmullacha) y HB-CHI-20 (quebrada La Ramada) presentan el mismo porcentaje de similitud; lo que indica que estos puntos de monitoreo están más relacionados en cuanto a las especies de macroinvertebrados bentónicos registrados.

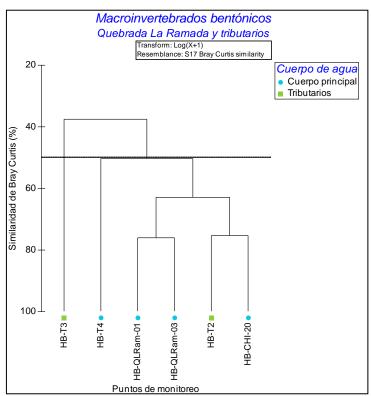


Figura 7.5. Análisis de diversidad beta de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la microcuenca La Ramada

Calidad ecológica

En la Tabla 7.14 se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo al índice ABI. Se observa que en los puntos HB-T2 y HB-CHI-20, presentaron mayores valores de calidad biológica, señalando una buena calidad biológica, mientras que el resto de puntos (HB-QLRam-01, HB-QLRam-03, HB-T3 y HB-T4) presentaron una mala calidad biológica.

Por otro lado, los resultados de calidad hidromorfológica indicaron una buena calidad en la mayoría de los puntos del monitoreo, a excepción de los puntos HB-QLRam-01, con una mala calidad y HB-T4 con una moderada calidad. De acuerdo a estos resultados, la mayoría de los puntos presentaron como mala calidad ecológica, mientras que los puntos HB-T2 y HB-CHI-20 presentaron una buena calidad ecológica (Tabla 7.12).

Tabla 7.12. Calidad ecológica obtenida para la quebrada La Ramada y sus tributarios

Cuerpo de agua	Punto de monitoreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Quebrada La Ramada	HB-QLRam-01	Mala	Mala	Mala
Quebrada Cumullacha	HB-T2	Buena	Buena	Buena
Quebrada La Ramada	HB-QLRam-03	Mala	Buena	Mala
Quebrada Quishuara	HB-T3	Mala	Buena	Mala
Quebrada La Ramada	HB-CHI-20	Buena	Buena	Buena
Quebrada La Ramada	HB-T4	Mala	Moderada	Mala

7.3.1.2. Caracterización hidroquímica

Los estudios especializados de la presente evaluación ambiental fueron dos, la primera es sobre la evaluación de comunidades hidrobiológicas y la segunda es la caracterización hidroquímica.

La caracterización hidroquímica se realizó en base a la información de los puntos de monitoreo de agua superficial, agua subterránea (piezómetros) y efluente industrial efectuados en la vigilancia ambiental.

Para evaluar la confiabilidad y calidad de los análisis químicos, se calculó el balance iónico de cada muestra mediante:

Cationes principales
Metales
Aniones principales
Ca2+, Mg2+, Na+, K+,
Al3+, Fe3+, Mn2+/4+, Cu2+,
HCO3-, SO42-, Cl-, NO3-

La clasificación hidroquímica del agua superficial, agua subterránea (piezómetros) y efluente industrial se realizó mediante el análisis de las concentraciones de iones mayoritarios (Ca²+, Mg²+, Na+ y K+) y aniones (HCO³, SO4²- y Cl⁻), obtenidos a partir de los análisis de laboratorio indicado en el reporte de resultados (Anexo 3) con los cuales se elaboraron diagramas de Stiff y Piper.

A. Agua superficial

Se tomaron 7 puntos de monitoreo, de las cuales 4 puntos fueron en la Quebrada La Ramada (QLRam-01, QLRam-03, CHI-20 y T4), 1 punto en la Quebrada Cullmullacha (T2), 1 punto en la Quebrada Quishuara (T3) y 1 punto en la Quebrada sin nombre1 (QS/N-04).

Luego de ingresar los datos de cada muestra en un diagrama de Piper (Figura 7.6) se observa claramente dos tipos de familias hidroquimicas, de los cuales (CHI-20, QLRam-01, QLRam-03, QS/N-04, T2 y T3) presentan características de agua de tipo bicarbonatadas cálcicas con concentraciones bajas <1 meq/L de HCO³ y <0,5 meq/L de Ca. En cambio, el punto T4 presenta características de agua sulfatada sódica, resaltando la alta concentración de sulfatos, ubicado en la Quebrada La Ramada, a 60 m aguas arriba de la descarga de efluente industrial tratado M1, que se diferencia de los demás puntos, presentando una concentración de 2,25 meq/L de SO₄ y 0,56 meq/L de Na.

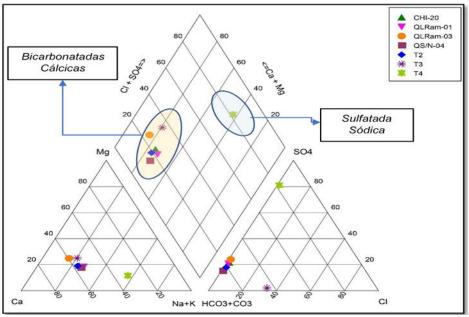


Figura 7.6. Diagrama de Piper en la microcuenca La Ramada

Se ha utilizado la suma de los metales disueltos: plomo, cobre, cadmio, níquel, cobalto y zinc, en el diagrama de Ficklin (Figura 7.7) para la caracterización de las aguas superficiales. En base a estos resultados, se visualiza, que el agua en los puntos de monitoreo de las quebradas La Ramada (QLRam-01, QLRam-03, CHI-20 y T4), Cullmullada (T2), Quishuara (T3) y quebrada Sin Nombre1 (QS/N-04) presentan características cercanas a la neutralidad con bajo contenido de metales. La muestra del punto M1 (efluente industrial) se diferencia por presentar un mayor contenido de metales disueltos como (Ca, Mg, Mn, Na y Si) respecto a los valores obtenidos de los demás puntos de la zona 1.

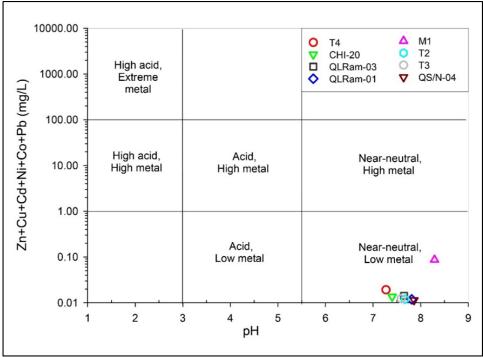


Figura 7.7. Diagrama de Ficklin en la microcuenca La Ramada

Los diagramas de Stiff nos muestran las concentraciones en meq/L para los puntos ubicados en las Quebradas La Ramada (QLRam-01, QLRam-03 y CHI-20), Cullmullacha (T2), Quishuara (T3) y Quebrada sin nombre1 (QS/N-04), las cuales corresponden a la clasificación de aguas bicarbonatadas cálcica; y el punto T4 se caracteriza por ser sulfatada sódica (Figura 7.8).

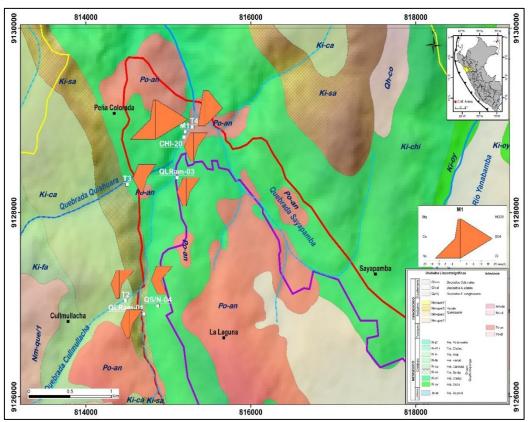


Figura 7.8. Diagramas de Stiff en la microcuenca La Ramada

B. Efluente industrial

Se realizó el monitoreo de un efluente industrial (M1) proveniente de la planta de Destrucción de Cianuro, la cual descarga en la quebrada La Ramada.

Los valores obtenidos en el punto de monitoreo M1 dan como resultado un alto contenido de sulfatos; por tal razón este punto se clasifica como agua sulfatada sódica. En la Figura 7.9 se muestra la facie hidroquimica del efluente industrial M1, el punto presentó una concentración de 18,30 meg/L de $SO_4^=$ y 14,16 meg/L de Ca^+ .

Las características respecto al contenido de metales en el diagrama de Ficklin (figura 7.7), para el punto M1 corresponde un tipo de aguas cerca a neutral con alto contenido de metales disueltos.

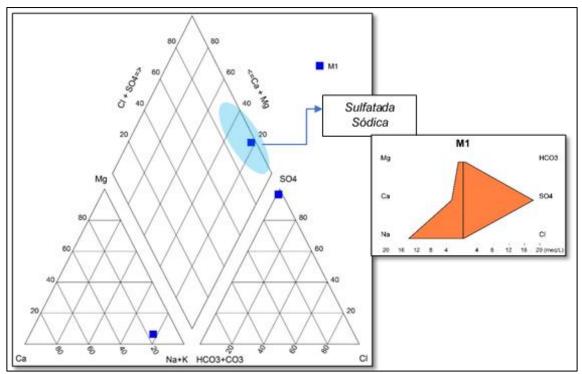


Figura 7.9. Diagramas de Piper y Stiff para el efluente industrial M1.

7.3.2. Zona 2: Microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

7.3.2.1. Comunidades hidrobiológicas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de las comunidades hidrobiológicas en la quebrada Sayapampa y sus tributarios. Se tomaron un total de 13 puntos de monitoreo, 6 en la quebrada Sayapampa (HB-QSay-01, HB-P2, HB-PC-2, HB-QSaya-4, HB-P5 y HB-QSay-03), 3 en el río Chichiricucho (HB-CHI-21, ESP-HB-7 y ESP-HB-3), 1 en la quebrada sin nombre2 (HB-03), 2 en la quebrada sin nombre3 (HB-05 y HB-QS/N-01), y 1 en la quebrada sin nombre6 (HB-T6).. Asimismo, para el análisis se considerará al punto HB-T4 en la quebrada La Ramada por ser tributario a la quebrada Sayapampa.

A. Perifiton

• Composición, riqueza y abundancia de especies

La comunidad de perifiton (microalgas y microorganismos) estuvo representada por un total de 60 especies, las cuales están agrupadas en 28 familias, 20 órdenes, 9 clases, y 7 phyla, según su categoría taxonómica. Se destacaron las microalgas pertenecientes a los phyla Bacillariophyta con 35 especies, Cyanobacteria con 15 especies, Chlorophyta con 5 especies; y Charophyta con 2 especies, mientras que los microorganismos pertenecientes a los phyla Euglenozoa, Cercozoa y Ciliophora presentaron una especie cada una (Anexo 3).

El punto de monitoreo con mayor número de especies fue HB-T6 (quebrada sin nombre6) con 21 especies, mientras que los puntos de monitoreo con menor número de especies fueron HB-QS/N-01 (quebrada sin nombre3); HB-PC-2 y HB-QSaya-4 (quebrada Sayapampa) con 2 especies. Los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria fueron los de mayor riqueza de especies presentes en la mayoría de los puntos de monitoreo; asimismo, ambos phyla presentan su mayor riqueza de especies en el punto HB-T6 (quebrada sin nombre6)

con 21 y 9 especies para los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria respectivamente (Figura 7.10 a).

La densidad total (abundancia total) del perifiton fue de 134395 organismos/cm². El punto de monitoreo con mayor densidad fue HB-T6 (quebrada sin nombre6) con 50100 organismos/cm², mientras que el punto de monitoreo con menor densidad fue HB-QS/N-01 (quebrada sin nombre3) con 275 organismos/cm². Los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria fueron los de mayor abundancia, y se colectaron en la mayoría de los puntos de monitoreo, asimismo, ambos phyla presentan mayor densidad en el punto HB-T6 (quebrada sin nombre6) con 26000 y 24000 organismos/cm² para los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria respectivamente (Figura 7.10 b).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥ 28,0%) y abundancia relativa (> 4,0%) fueron: *Achnanthidium* sp. 1 perteneciente al phylum Bacillariophyta; y *Aphanothece* sp., *Leptolyngbya* sp. 1, *Pseudanabaena* sp. 1 pertenecientes al phylum Cyanobacteria.



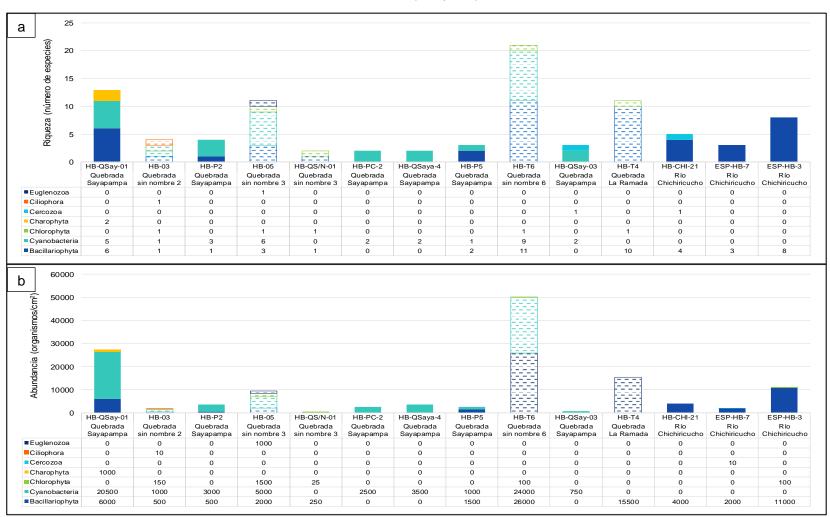


Figura 7.10. (a) Riqueza o número de especies y (b) densidad o abundancia de la comunidad de perifiton según el phylum en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho. Los colores sólidos representan el cauce principal y los colores trama representan los tributarios

• Diversidad alfa

De acuerdo a la Tabla 7.15, el índice de diversidad de Hill N1 presentó el mayor valor de especies efectivas en el punto de monitoreo HB-T6 (quebrada sin nombre6), mientras que el menor valor se presentó en el punto de monitoreo HB-QS/N-01 (quebrada sin nombre3), resultados que también se corroboran con la densidad y abundancia en estos puntos. El índice de dominancia de Simpson presentó el menor valor (0,0893) en la quebrada sin nombre6 (HB-T6) y mayor valor (0,8347) en la quebrada sin nombre3 (HB-QS/N-01). El índice de equidad de Pielou presentó menor valor (0,4395) en la quebrada sin nombre3 (HB-QS/N-01) y mayor valor (0,9851) en el río Chichiricucho (ESP-HB-7).

Tabla 7.13. Diversidad alfa de perifiton por punto de monitoreo en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

Punto de monitoreo	Cuerpo de agua	N1	D	J'
HB-QSay-01	Quebrada Sayapampa	7,588	0,1894	0,7901
HB-03	Quebrada sin nombre2	2,496	0,4618	0,6599
HB-P2	Quebrada Sayapampa	3,586	0,3061	0,9212
HB-05	Quebrada sin nombre3	8,911	0,1247	0,9499
HB-QS/N-01	Quebrada sin nombre3	1,356	0,8347	0,4395
HB-PC-2	Quebrada Sayapampa	1,649	0,6800	0,7219
HB-QSaya-4	Quebrada Sayapampa	1,819	0,5918	0,8631
HB-P5	Quebrada Sayapampa	2,872	0,3600	0,9602
HB-T6	Quebrada sin nombre6	13,97	0,0893	0,8662
HB-QSay-03	Quebrada Sayapampa	1,890	0,5556	0,9183
HB-T4	Quebrada La Ramada	9,178	0,1218	0,9245
HB-CHI-21	Río Chichiricucho	4,099	0,2475	0,8765
ESP-HB-7	Río Chichiricucho	2,951	0,3438	0,9851
ESP-HB-3	Río Chichiricucho	5,297	0,2445	0,8017

Donde: N1: Índices de diversidad de Hill; D: Dominancia de Simpson, J': Índice de equidad de Pielou

: Valores mayores de índices de diversidad alfa : Valores menores de índices de diversidad alfa

· Diversidad beta

En la Figura 7.11, se presenta el dendrograma de similitud calculado mediante el índice de Bray Curtis, el cual permitió observar que los puntos de monitoreo HB-P2 y HB-P5, en la quebrada Sayapampa, presentan más de 50 % de porcentaje de similitud, mientras que los puntos de monitoreo HB-QSaya-4 y HB-QSay-03, en la quebrada Sayapampa, presentan más de 80 % de porcentaje de similitud, es decir, que estos puntos de monitoreo están más relacionados en cuanto a las especies de perifiton registradas.

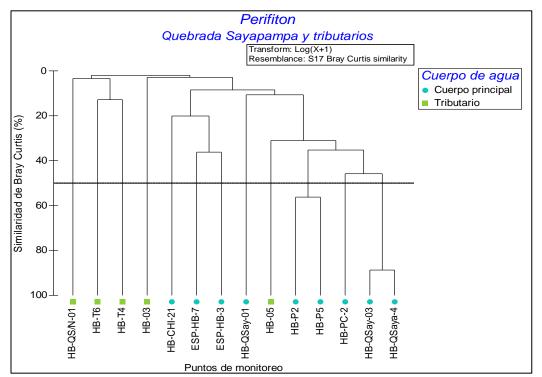


Figura 7.11. Análisis de diversidad beta de la comunidad de perifiton en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

B. Macroinvertebrados bentónicos

Composición, riqueza y abundancia de especies

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 20 especies, 12 familias, 6 órdenes, 2 clases y 2 phyla, según su categoría taxonómica. Se destacaron los órdenes Diptera con 6 especies, Ephemeroptera con 6 especies, Coleoptera con 5 especies, y los órdenes Trichoptera, Odonata y Lumbriculida con 1 especie. (Anexo 3).

El punto de monitoreo con mayor número de especies fue HB-T6 (quebrada sin nombre6) con 15 especies, mientras que en los puntos de monitoreo HB-03 (quebrada sin nombre2), HB-P2 (quebrada Sayapampa), HB-QS/N-01 (quebrada sin nombre3), HB-PC-2 (quebrada Sayapampa), HB-QSaya-4 (quebrada Sayapampa) y HB-CHI-21 (quebrada Chichiricucho) no se colectó ninguna especie. Los órdenes Diptera y Ephemeroptera fueron los que presentaron mayor número de especies, considerando los puntos en donde se encontraron especies. El orden Diptera presentó su mayor riqueza en HB-QSay-01 (quebrada Sayapampa) con 4 especies, mientras que el orden Ephemeroptera presentó su mayor riqueza en HB-T6 (quebrada sin nombre6) con 6 especies (Figura 7.12 a).

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 154 organismos/0,27m². El punto de monitoreo con mayor densidad fue HB-T6 (quebrada sin nombre6) con 110 organismos/0,27 m², mientras que en los puntos de monitoreo HB-03 (quebrada sin nombre2), HB-P2 (quebrada Sayapampa), HB-QS/N-01 (quebrada sin nombre3), HB-PC-2 (quebrada Sayapampa), HB-QSaya-4 (quebrada Sayapampa) y HB-CHI-21 (quebrada Chichiricucho) no se colectó ningún organismo. El orden Ephemeroptera fue el de mayor abundancia en los puntos que registran organismos, presentando la mayor abundancia en la quebrada sin nombre6 HB-T6 con 83 organismos/0,27 m² (Figura 7.12 b).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥25,0 %) y abundancia relativa (>25,0 %) fueron: *Baetodes* sp., y *Camelobaetidius sp.* pertenecientes al orden Ephemeroptera.

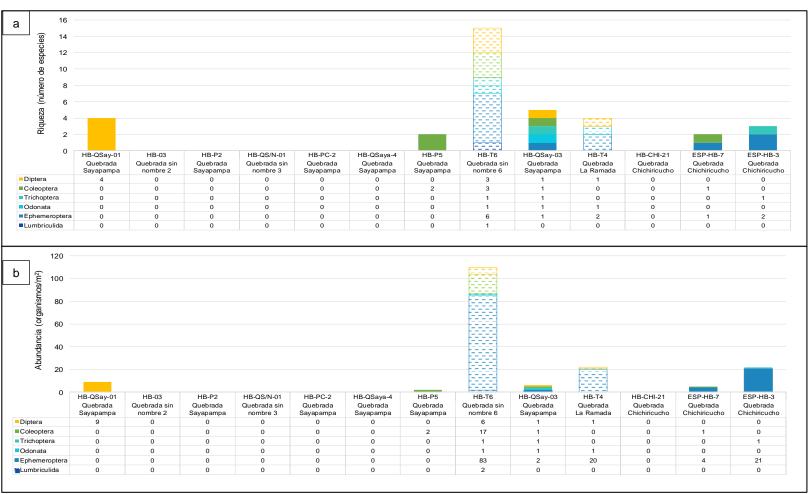


Figura 7.12. (a) Riqueza o número de especies y (b) densidad o abundancia de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos según el phylum en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho. Los colores sólidos representan el cauce principal y los colores trama representan los tributarios

• Diversidad alfa

De acuerdo a la Tabla 7.16, el índice de diversidad de Hill N1, el mayor valor de especies efectivas se presenta en los puntos de monitoreo HB-T6 (quebrada sin nombre6), mientras que los menores valores se presentaron en los puntos HB-03 (quebrada sin nombre2), HB-P2 (quebrada Sayapampa), HB-QS/N-01 (quebrada sin nombre3), HB-PC-2 (quebrada Sayapampa), HB-QSaya-4 (quebrada Sayapampa) y HB-CHI-21 (quebrada Chichiricucho), resultados que también se corroboran con la densidad y abundancia en estos puntos. El índice de dominancia de Simpson presentó su mayor valor (0,4545) en la quebrada La Ramada (HB-T4) y su menor valor (0) en los puntos HB-03, HB-P2, HB-QS/N-01, HB-PC-2, HB-QSaya-4 y HB-CHI-21. El índice de equidad de Pielou presentó su mayor valor (0,9697) en HB-QSay-03 (Quebrada Sayapampa) y su menor valor (0) en los puntos HB-03, HB-P2, HB-QS/N-01, HB-PC-2, HB-QSaya-4 y HB-CHI-21.

Tabla 7.14. Diversidad alfa de macroinvertebrados bentónicos por punto de monitoreo en la

microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

microcuerica Sayaparripa-Chichincucho				
Punto de monitoreo	Cuerpo de agua	N1	D	J'
HB-QSay-01	Quebrada Sayapampa	3,155	0,3827	0,8289
HB-03	Quebrada sin nombre2	0	0	0
HB-P2	Quebrada Sayapampa	0	0	0
HB-QS/N-01	Quebrada sin nombre3	0	0	0
HB-PC-2	Quebrada Sayapampa	0	0	0
HB-QSaya-4	Quebrada Sayapampa	0	0	0
HB-P5	Quebrada Sayapampa	2	0,5	1
HB-T6	Quebrada sin nombre6	5,550	0,2749	0,6328
HB-QSay-03	Quebrada Sayapampa	4,762	0,2222	0,9697
HB-T4	Quebrada La Ramada	2,602	0,4545	0,6898
HB-CHI-21	Río Chichiricucho	0	0	0
ESP-HB-7	Río Chichiricucho	1,649	0,68	0,7219
ESP-HB-3	Río Chichiricucho	2,209	0,5083	0,7214

Donde: N1: Índices de diversidad de Hill; D: Dominancia de Simpson, J': Índice de equidad de Pielou

: Valores mayores de índices de diversidad alfa : Valores menores de índices de diversidad alfa

Diversidad beta

En la Figura 7.13 se presenta el dendrograma de similitud calculado mediante el índice de Bray Curtis, el cual permitió observar que ninguno de los puntos de monitoreo muestra un porcentaje de similitud mayor al 50 %; sin embargo, los puntos ESP-HB-3 y ESP-HB-7 en el río Chichiricucho presentan poco más de 40 % de porcentaje de similitud, es decir, que estos puntos de monitoreo están más relacionados en cuanto a las especies de macroinvertebrados bentónicos registradas.

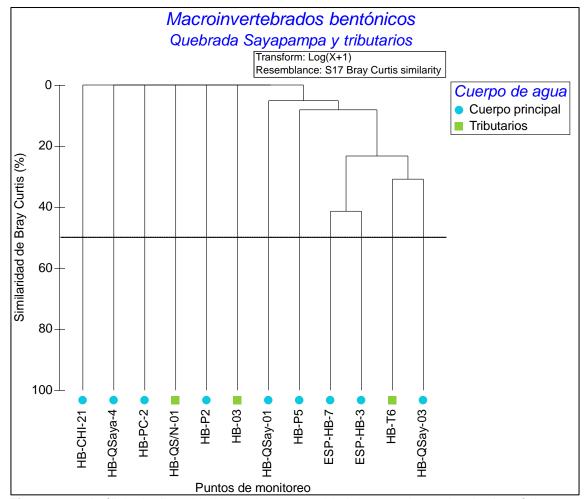


Figura 7.13. Análisis de diversidad beta de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

Calidad ecológica

En la Tabla 7.17, se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo al índice ABI. Se observa que en solo el punto HB-T6 presenta calidad buena y los puntos HB-QSay-03, HB-T4 y ESP-HB-3 presentan calidad mala, mientras que el resto de puntos presenta una calidad biológica pésima.

Por otro lado, los resultados de calidad hidromorfológica indicaron una mala calidad en 2 de los puntos de monitoreo, 7 puntos con moderada calidad, 3 puntos con buena calidad y 1 punto con excelente calidad; además, la calidad biológica y ecológica fueron iguales (Tabla 7.17).

Tabla 7.15. Calidad ecológica obtenida en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

Cuerpo de agua	Punto de monitoreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Quebrada Sayapampa	HB-QSay-01	Pésima	Moderada	Pésima
Quebrada sin nombre2	HB-03	Pésima	Mala	Pésima
Quebrada Sayapampa	HB-P2	Pésima	Mala	Pésima
Quebrada sin nombre3	HB-QS/N-01	Pésima	Moderada	Pésima
Quebrada Sayapampa	HB-PC-2	Pésima	Moderada	Pésima
Quebrada Sayapampa	HB-QSaya-4	Pésima	Moderada	Pésima
Quebrada Sayapampa	HB-P5	Pésima	Moderada	Pésima
Quebrada sin nombre6	HB-T6	Buena	Excelente	Buena

Cuerpo de agua	Punto de monitoreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Quebrada Sayapampa	HB-QSay-03	Mala	Buena	Mala
Quebrada La Ramada	HB-T4	Mala	Moderada	Mala
Quebrada Chichiricucho	HB-CHI-21	Pésima	Buena	Pésima
Quebrada Chichiricucho	ESP-HB-7	Pésima	Buena	Pésima
Quebrada Chichiricucho	ESP-HB-3	Mala	Moderada	Mala

7.3.2.2. Caracterización hidroquímica

A. Agua superficial

Se tomaron 16 puntos de monitoreo de agua superficial, de las cuales 6 puntos se ubicaron en la quebrada Sayapampa (QSay-01, P2, PC-2, QSaya4, P5 y QSay-03), 4 puntos en las quebradas tributarias sin nombre3 y sin nombre5 margen izquierda (AS-05, QS/N-01 y AS-06), 2 puntos en las quebradas tributarias sin nombre4 y sin nombre6 de la margen derecha (QS/N-02 y T-6), 1 punto en la quebrada La Ramada (T4) y 3 puntos en el río Chichiricucho (CHI-21, ESP-AS-7 y ESP-AS-3).

En el diagrama de Piper (Figura 7.14) se observa dos tipos de familia hidroquimica; la primera del tipo sulfatadas sódica con concentraciones de 2,16 a 12.39 meq/L de $SO_4^=$ y 0,43 a 9.33 meq/L de Na^+ en los puntos CHI-21, ESP-AS-3, P5, QSay-03, QSaya-4 y AS-06; y la segunda del tipo sulfatada cálcica con concentraciones de 0,03 a 11.33 meq/L de $SO_4^=$ y 0,03 a 1,71 meq/L de Ca^+ en los puntos ESP-AS-7, PC-2, AS-05 y QS/N-01. Así mismo, los puntos P2 y QSay-01 presentan concentraciones de magnesio clasificándolas como sulfatadas cálcico magnésicas.

El otro tipo de facie corresponde a los puntos QS/N-02, T6 y AS-03, las cuales son bicarbonatadas cálcicas, presentando una concentración menor a 1,0 meq/L de HCO₃ y 1,17 meg/L de Ca⁺.

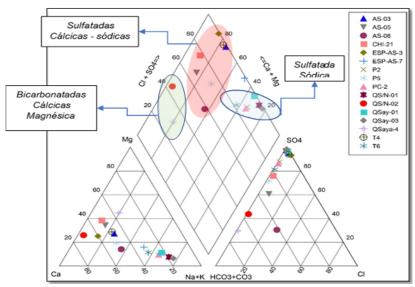


Figura 7.14. Diagrama de Piper para agua superficial en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

Se ha utilizado la suma de los metales disueltos: plomo, cobre, cadmio, níquel, cobalto y zinc, en un diagrama de Ficklin (Figura 7.15) para la caracterización de las aguas superficiales. En base a estos resultados, se visualiza, que el agua en los puntos de monitoreo de las quebradas sin nombre3 y sin nombre5 margen izquierda (AS-05, QS/N-01 y AS-06), presenta características ácidas con alto contenido de metales; asimismo, el punto



PC-2 que pertenece a la quebrada Sayapampa se caracteriza por su bajo contenido de metales y con un pH ácido. Los puntos en las quebradas Sayapampa (QSay-01, P2 y P5), La Ramada (T4), sin nombre4 y sin nombre6 margen derecha (QS/N-02 y T-6) y el río Chinchirucho (CHI-21, ESP-AS-7 y ESP-AS-3) presentan características cercanas a la neutralidad con baio contenido de metales. Sin embargo, los puntos M7, QSay-03 y QSaya-04 se diferencian por presentar un mayor contenido de metales disueltos respecto a las muestras de los demás puntos de la zona 2.

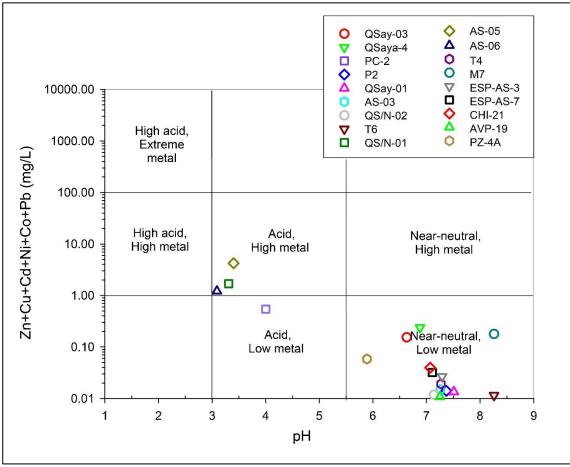


Figura 7.15. Diagrama de Ficklin para agua superficial en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho de agua subterránea y el efluente industrial

B. Agua subterránea

Se evaluaron 2 puntos de monitoreo de agua subterránea en los piezómetros (AVP-19 y PZ.4A); los cuales según el diagrama de Piper corresponden a una clasificación de aguas bicarbonatadas cálcicas sódicas (Figura 7.16).

El piezómetro AVP-19 presentó una concentración de 1,88 meg/L de HCO₃ y 1,58 meg/L de Ca, el piezómetro PZ-4A presentó una concentración de 0,36 meg/L de HCO3 y 0,20 meg/L de Ca, siendo estos las mayores concentraciones de los puntos monitoreados.

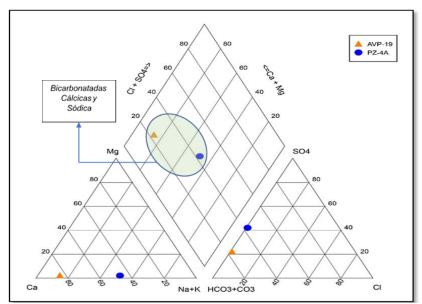


Figura 7.16. Diagramas de Piper para piezómetros AVP-19 y PZ-4A en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho

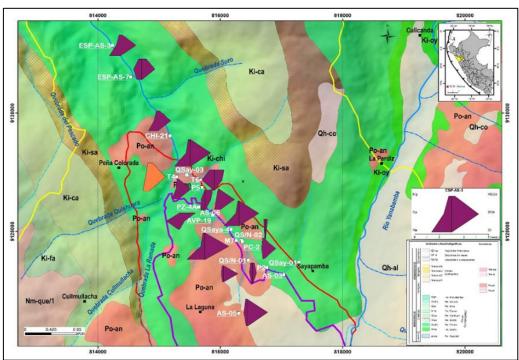


Figura 7.17. Diagramas de Stiff para agua superficial en la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho.

C. Efluente industrial

Se evaluó un punto de efluente industrial (M7) proveniente de la planta de tratamiento del desaguado del tajo Calaorco y tajo Norte, cuyo aporte es a la quebrada Sayapampa. El efluente industrial se caracteriza por su alto contenido de sulfatos y se clasifica como agua sulfatada sódica.

En la Figura 7.18 se muestra la facie del efluente industrial M7 presentando una concentración de 17,65 meg/L de SO₄= y 13,04 meg/L de Na⁺.

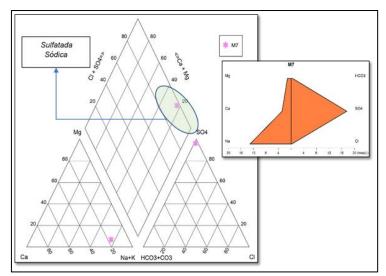


Figura 7.18. Diagramas de Piper y Stiff para el efluente industrial (M7)

8. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo principal realizar la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM La Arena, para lo cual se evaluó la calidad de agua, la calidad de sedimento; y el estado de las comunidades hidrobiológicas de perifiton y macroinvertebrados bentónicos. Para el análisis e interpretación de los datos, el área fue dividida en 2 zonas de estudio a lo largo de las quebradas La Ramada, Cullmullacha, Quishuara, Sayapampa, tributarios y río Chichiricucho, tal como se indicó en el capítulo de resultados (Figura 8.1).

El estudio de la calidad de aguas y posterior análisis hidroquímico de los puntos de monitoreo fue desarrollado con el objetivo de establecer una caracterización en el ámbito de estudio de la UM La Arena.

Los resultados obtenidos fueron comparados con la data de estudios previos realizados por el OEFA en el año 2018¹¹, así como los resultados de la ANA¹², los resultados de línea base de los instrumentos de gestión ambiental¹³ y sus reportes trimestrales emitidos por el administrado de los puntos de monitoreo cuyas ubicaciones coinciden.

A continuación, se detalla el análisis de los componentes agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas.

8.1. Zona 1: Microcuenca La Ramada

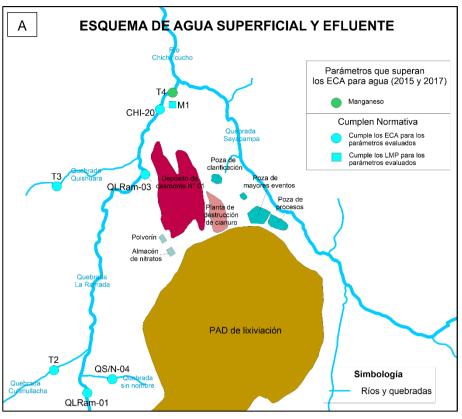
En las Figura 8.1 se presenta los esquemas con la distribución de puntos de monitoreo de aqua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la microcuenca La Ramada.

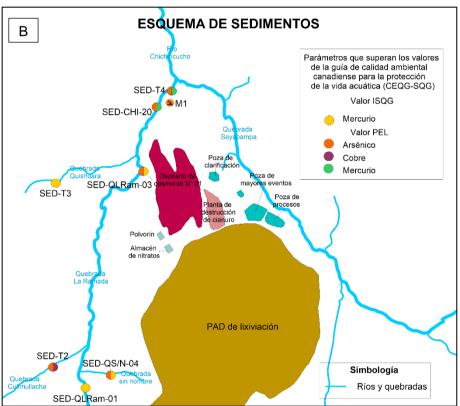
Informe de Supervisión N.º 689-2018-OEFA/DSEM-CMIN, aprobado el 28 de diciembre de 2018.

Informe técnico N.º 038-2014-ANA-AAA.M-SDGCRH, Informe técnico N.º 007-2015-ANA-AAA.M-SDGCRH, Informe técnico N.º 054-2016-ANA-AAA.M-SDGCRH e Informe técnico N.º 016-2018-ANA-AAA-VI M-ALA.C-CANC, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua - ANA

Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 255-2017-SENACE/DCA

Por defecto subdirección según corresponda





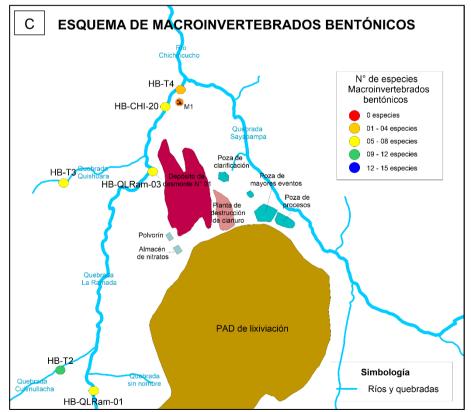
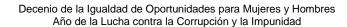


Figura 8.1. Esquema de la Microcuenca La Ramada: (A) parámetros que incumplieron los ECA para agua categoría 3 (2015 y 2017), (B) parámetros que superaron los valores ISQG o PEL del estándar canadiense para sedimentos y (C) número de especies de macroinvertebrados bentónicos



En las Figuras 8.2, 8.3(a), 8.4(a), 8.5(a) y 8.6(a) se muestran el comportamiento del pH (cercano a la neutralidad), y las concentraciones de sulfatos, manganeso, arsénico, cobre y mercurio en la quebrada La Ramada (QLRam-01, QLRam-03 y CHI-20) y sus tributarios (QS/N-04, T2 y T3), en las cuales se observa que las concentraciones de estos parámetros son similares en la quebrada La Ramada, lo que indica que sus tributarios quebrada sin nombre1 (QS/N-04), quebrada Cullmullacha (T2) y la quebrada Quishuara (T3) no estarían influyendo en su calidad; además, estos tributarios presentaron menor concentración de metales respecto a la quebrada La Ramada. Sin embargo, luego del aporte del efluente M1 proveniente de la planta de destrucción de cianuro estos parámetros a excepción del pH se incrementaron, pero no superaron los ECA para agua categoría 3.

En cuanto a la caracterización hidroquímica, todos los puntos (QLRam-01, QS/N-04, T2, QLRam-03, T3 y CHI-20) ubicados aguas arriba del efluente M1 fueron de tipo aguas bicarbonatadas cálcicas, las cuales podrían generalizarse como aguas de baja mineralización, lo que evidencia el mínimo contacto con las litologías locales conformado principalmente por areniscas cuarzosas de las formaciones Chimú y Carhuaz, además de las calizas marrones de la formación Santa (Figura 8.8); sin embargo, luego del aporte del efluente (M1), la facie hidroquímica de la quebrada La Ramada cambio a sulfata sódica.

En las Figuras 8.3(b), 8.4(b), 8.5(b) y 8.6(b) se evidencia que las concentraciones de arsénico, cobre y mercurio en el sedimento de la quebrada La Ramada (SED-QLRam-01, SED-QLRam-03 y SED-CHI-20) se incrementaron; mientras que el manganeso disminuyó, debido al aporte de sus tributarios (SED-QS/N-04, SED-T2 y SED-T3); caso contrario, sucede luego del aporte del efluente M1. A pesar de que algunos de estos metales superaron los valores ISQG o PEL de la CEQG no estarían influyendo en la calidad del agua debido a que estos metales o metaloides en el agua no superaron los ECA para agua categoría 3 (2015 y 2017).

Con respecto a las comunidades hidrobiológicas, en la quebrada La Ramada (HB-QLRam-01, HB-QLRam-03 y HB-CHI-20) y sus tributarios (HB-T2, HB-T3 y HB-QS/N-04), ubicados aguas arriba del efluente M1, los valores de los parámetros comunitarios (diversidad, riqueza y abundancia) de perifiton y macroinvertebrados bentónicos fueron similares en estos puntos a excepción de la quebrada Cullmullacha (HB-T2) que presentó mayores valores, predominando en todos los puntos mencionados las especies facultativas como *Andesiops* sp. y *Baetodes* sp., que son efemerópteros de aguas oxigenadas con flujo rápido y continuo (Domínguez & Fernández, 2019) (Figura 8.7 y 8.1C). Cabe resaltar, que las quebradas tributarias Cullmullacha (HB-T2) y Quishuara (HB-T3) estarían aportando especies sensibles en La quebrada La Ramada, tal como *Atopsyche* sp. (Figura 8.7 y 8.1C).

Por otro lado, en la quebrada La Ramada (HB-T4), aguas abajo del efluente M1, disminuyeron los valores de los parámetros comunitarios de perifiton y de macroinvertebrados bentónicos, con respecto al punto ubicado aguas arriba (HB-CHI-20) (Figura 8.1C). Además, al comparar los resultados de macroinvertebrados bentónicos con los resultados de línea base¹³ (setiembre de 2012) en el punto HB-T4, se observa una disminución de especies de 16 especies (2012) a 4 especies (2019), donde aún predominan las especies facultativas.

Todos los parámetros evaluados en el efluente M1 proveniente de la planta de destrucción de cianuro de tipo sulfatada sódica cumplieron con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (2010)

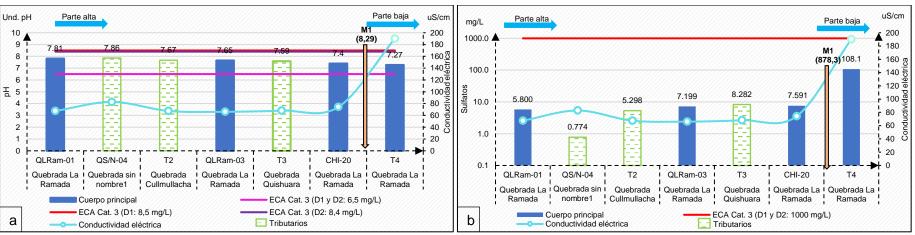


Figura 8.2. Resultados de pH y sulfatos de agua superficial de la microcuenca La Ramada, a) pH y b) sulfatos

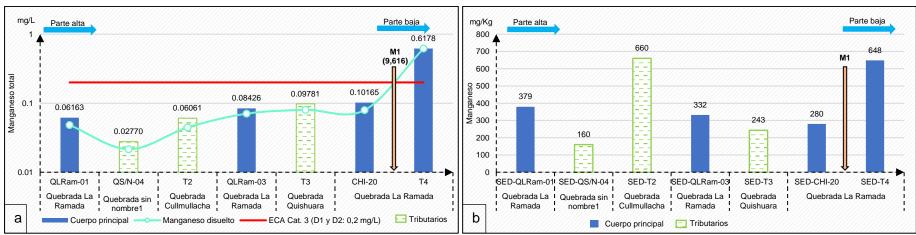


Figura 8.3. Resultados de manganeso en a) aqua superficial y b) sedimento de la microcuenca La Ramada

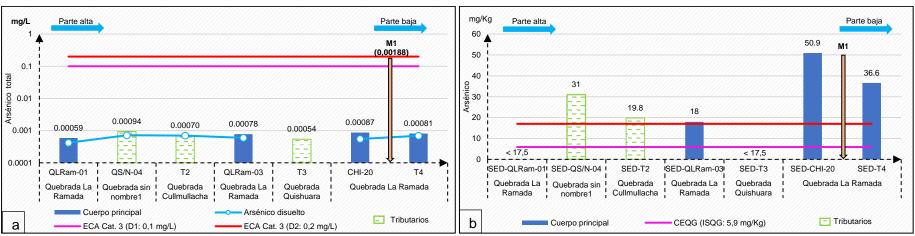


Figura 8.4. Resultados de arsénico en a) agua superficial y b) sedimento de la microcuenca La Ramada

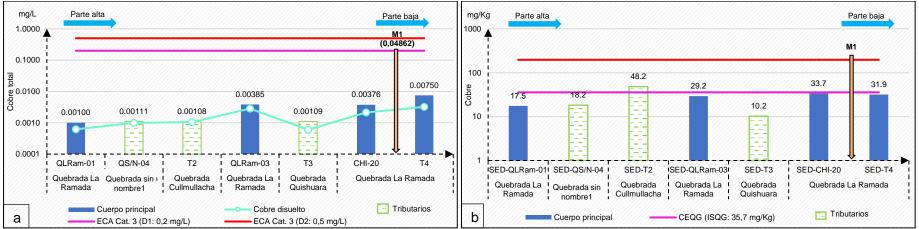


Figura 8.5. Resultados de cobre de a) agua superficial y b) sedimento de la microcuenca La Ramada

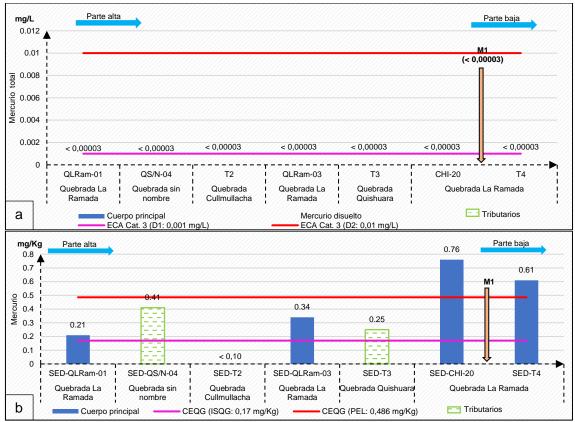


Figura 8.6. Resultados de mercurio en a) agua superficial y b) sedimento de la microcuenca La Ramada

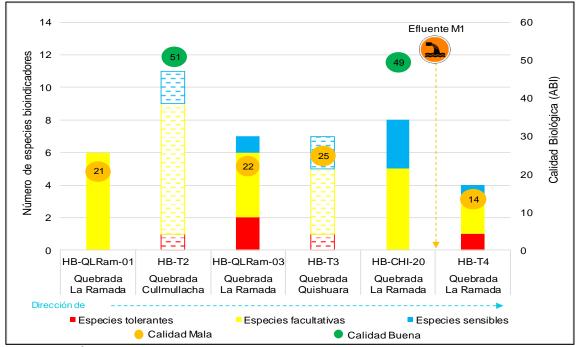


Figura 8.7. Índice Biótico Andino (ABI) en la microcuenca La Ramada. Los colores sólidos representan el cauce principal y los trama los tributarios



Figura 8.8. Esquema de la microcuenca La Ramada mostrando los diagramas de Stif

En la Figura 8.9 (a), 8.9 (b), 8.9 (c) 8.10 (a) y 8.10 (b) se muestran la comparación del pH, cloruros, sodio, sulfatos, manganeso y sodio del punto T4 (2019) comparados con los reportes trimestrales (2017-2018) del administrado, de las cuales se evidencia que el pH fue similar; mientras que la concentraciones de cloruros, sodio, sulfatos y manganeso se incrementaron con respecto a lo reportado en sus reporte.



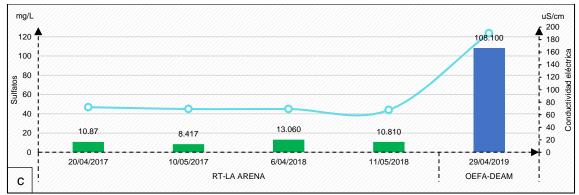


Figura 8.9. Comparación de los resultados de OEFA (2019) con los reportes trimestrales (RT) en el punto T4 a) pH, b) cloruros y c) sulfatos

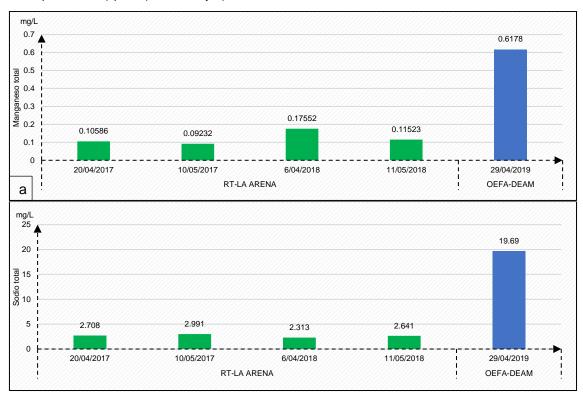


Figura 8.10. Comparación de los resultados de OEFA (2019) con los reportes trimestrales (RT) en el punto T4 a) manganeso y b) sodio

8.2.Zona 2: Microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

En las Figura 8.11 se presenta los esquemas con la distribución de puntos de monitoreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la microcuenca Sayapampa.

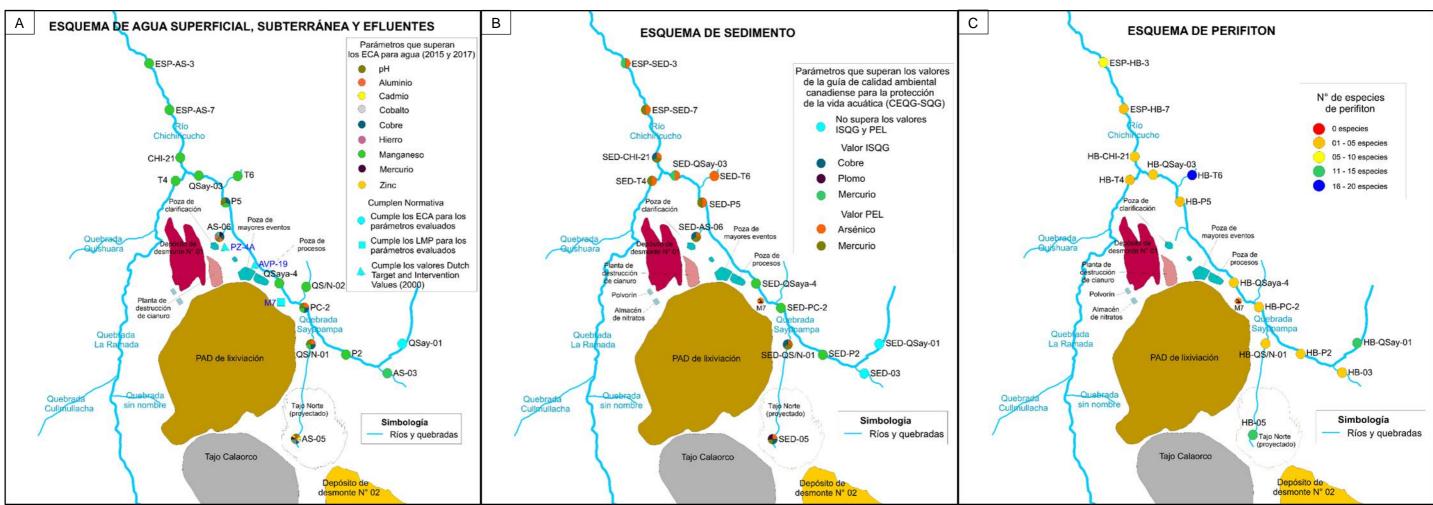
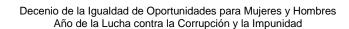


Figura 8.11. Esquema de la Microcuenca Sayapampa-Chichiricucho: (A) parámetros que incumplieron los ECA para agua categoría 3 (2015 y 2017), (B) parámetros que superaron los valores ISQG o PEL del estándar canadiense para sedimentos y (C) número de especies de perifiton



La quebrada sin nombre3 (AS-05 y QS/N-01) se encuentra emplazada en un depósito cuaternario, constituido por gravas en una matriz areno arcillosa y material anguloso proveniente de roca circundante; asimismo, los resultados de la prueba de Generación Neta de Acidez (NAG) indican un riesgo de generación de drenaje ácido para dicha litología¹⁴, mientras que, las pruebas de SPLP indicaron que las concentraciones de cobre y hierro se encontraron por encima de los LMP¹⁵.

Según Nordstrom y Alpers (1999), «describen el proceso de oxidación de la pirita como principal responsable de la formación de aguas ácidas y, afirman que estas reacciones geoquímicas se aceleran en áreas mineras debido a que el aire entra en contacto con mayor facilidad con los sulfuros a través de las labores de acceso y la porosidad creada en las pilas de estériles y residuos, unidos a ello el cambio de composición química y el incremento de la superficie de contacto de las partículas. También afirman que los procesos físicos, químicos y biológicos tienen gran influencia en la generación, movilidad y atenuación de la contaminación ácida de las aguas, y los factores que más afectan a la generación ácida son el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la distribución de la pirita». Así mismo, Skousen et al. (2002) y Ziemkiewics et al. (2000), indican a «partir del pH y el contenido de oxígeno y metales pesados hacen una clasificación de los drenajes de mina y lo agrupan en 5 tipos»; de las cuales la quebrada sin nombre3 se encuentra clasificando de tipo 1 (con pH < 4,5 y altas concentraciones de hierro, aluminio, manganeso, zinc, cobre, níquel, plomo, y otros metales).

Las aguas de la quebrada sin nombre3 (AS-05 y QS/N-01) fueron de tipo sulfatada cálcica, donde el pH ácido y las concentraciones de aluminio, cobre, hierro, cadmio, cobalto, zinc y manganeso que superan los ECA para agua (2015 y 2017) en el punto AS-05 disminuyeron sus concentraciones en el punto QS/N-01, antes de su confluencia con la quebrada Sayapampa (Figura 8.13, 8.15a, 8.16a, 8.17a, 8.18a), donde superaron la normativa mencionada solo el aluminio, cobre y manganeso (Figura 8.15b, 8.16b y 8.18b) comportamiento presentó las concentraciones de arsénico, mercurio, cobre y plomo en el sedimento, donde el arsénico y el mercurio superaron el valor PEL de la norma canadiense (CEQG-SQG) en ambos puntos. Este sedimento también presentó concentraciones de hierro (32261 mg/Kg y 35532 mg/Kg), manganeso (43 mg/Kg y 108 mg/Kg) y aluminio (2718 mg/Kg y 8036 mg/Kg) tal como se observa en las figuras 8.13, 8.14, 8.15 (a y b), 8.16 (a y b), 8.17 (a y b), 8.18 (a y b) y anexo 3.

El punto HB-AS-05 registró mayor abundancia y riqueza de microalgas del phylum Cyanobacteria, tales como *Pseudanabaena* sp. y *Leptolyngbya* sp.; donde según Pomfret (1974) y Bray (2007), *Pseudanabaena* tiene la capacidad de tolerar ambientes afectados por los drenajes de mina; y según Hong *et al.* (2015) la especie *Leptolyngbya* tiene la capacidad de tolerar ambientes con metales pesados; mientras que en el punto HB-QS/N-01 se registró la *Achnanthdium* cf. *exilis*, la que también es capaz de tolerar ambientes ácidos con concentraciones de metales (Ponader y Potapova, 2007).

Cabe mencionar, que las aguas de la quebrada sin nombre3 (AS-05) se forma por el aporte de varios afloramientos ubicados en la parte baja del tajo Calaorco, dicho flujo podría deberse al afloramiento de los flujos subterráneos que se encuentran en la zona, en dirección nornoreste respecto al Tajo Calaorco, según las isopiezas indicadas en la III MEIA (Apéndice G: Hidrogeología). Por otro lado, al comparar los resultados de la presente evaluación en el punto QS/N-01 (2019) con la línea base 2011-2012¹⁶ en la época de avenida (marzo 2012), ubicado en la quebrada sin nombre3 a 900 m aguas abajo del punto

.

Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 255-2017-SENACE/DCA el 15 de setiembre de 2017

Apendice F. Geoquímica parte 1, de la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.° 255-2017-SENACE/DCA el 15 de setiembre de 2017

Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 515-2013-MEM/AAM

AS-05 antes de la confluencia con la quebrada Sayapampa, se observó la disminución de pH (6,64 a 3,31) e incremento de la conductividad eléctrica (97,4 μ S/cm a 439 μ S/cm), tal como se muestra en la Figura 8.12.

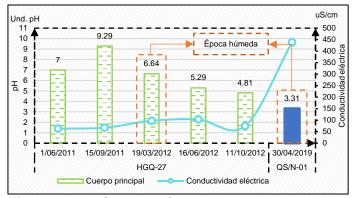


Figura 8.12. Comparación de resultados de pH y conductividad eléctrica de la línea base (2013) con los resultados de OEFA (2019)

La quebrada sin nombre3 (QS/N-01) altera la calidad de la quebrada Sayapampa, debido a que el pH varió de 7,37 a 4,0 unidades, y las concentraciones de sulfatos, cloruros, aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc en agua aumentaron en el punto PC-2 en comparación con el puntos P2; además, estas características también influyeron en la comunidad de perifiton donde la riqueza varió de 4 a 2 especies y la abundancia varió de 3500 a 2500 organismos/cm² en los puntos HB-P2 y HB-PC-2 respectivamente (Figura 8.11C); sin embargo, ambos puntos presentaron facies sulfatadas cálcicas.

El efluente M7, proveniente de la descarga de la planta de tratamiento del desaguado del tajo Calaorco ubicado a 150 m aproximadamente del PAD de lixiviación, cumplió con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (2010); sin embargo, registró concentraciones de sulfatos (847 mg/L) y sodio (300 mg/L) con aquas de tipo sulfatada sódica (Figura 8.21).

La quebrada sin nombre5 (AS-06) cercano al PAD de Lixiviación, está caracterizado litológicamente como material residual, que es producto de la meteorización mediante la descomposición de los minerales formadores del basamento rocoso, en este caso, principalmente del pórfido andesítico y/o diorítico, conformado usualmente por arcillas limosas o limos arcillosos¹7, dichas características generarían drenaje ácido. Asimismo, el punto AS-06 podría deberse a los flujos subterráneos (manantiales) que se encuentran en la zona según las isopiezas, las cuales presentan una dirección de flujo en sentido norte con referencia al PAD de Lixiviación. Este punto, presentó aguas del tipo sulfatada sódica y pH ácido con concentraciones de aluminio, cobre, hierro, manganeso y mercurio que superaron los ECA para agua (2015 y 2017) y concentraciones de sulfatos (103,5 mg/L); por otro lado, el sedimento de este punto presentó concentraciones de arsénico y mercurio que superan los valores PEL de la norma canadiense, tal como se muestran en las figuras 8.13, 8.15 (a), 8.16 (a) 8.17 (a) 8.18 (a), 8.19 (b) y 8.20 (a y b).

La quebrada sin nombre5 (AS-06) influye en la calidad de la quebrada Sayapampa (P5), debido a que el pH varió de 6,88 a 4,52 unidades y las concentraciones de aluminio, cobre y hierro aumentaron en comparación con el punto QSaya-4, ubicado aguas arriba. Sin embargo, las facies hidroquímicas se mantuvieron similares (Tipo sulfatada sódica). Al

33

Apendice O: Estudio de la estabilidad física del PAD, Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Fase 1 y Fase 2 de la unidad minera La Arena, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 025-2016-MEM/AAM



comparar con la línea base 2012-2016¹⁸ se observa que los resultados de la presente evaluación (2019) se encuentra dentro del rango de valores o concentraciones reportados en la línea base (Figura 8.22 y 8.23). Similar comportamiento presentó las concentraciones de arsénico y mercurio que se incrementaron hasta superar los valores PEL de la norma canadiense (CEQG-SQG). Sin embargo, los parámetros comunitarios de perifiton presentaron valores similares en ambos puntos (Figuras 8.11C).

Los piezómetros PZ-4A y AVP-19 están definidas como acuíferos sedimentarios por su litología, que corresponden a areniscas fracturadas con pequeñas intercalaciones de lutitas de la formación Chimú, Oyón y Chicama, con una conductividad hidráulica media. condicionada por el grado de fracturación y relleno de fracturas según su III MEIAd19. Asimismo, se evidencia rocas intrusivas; entre ellas dacitas, dioritas y andesitas evidenciando mayor permeabilidad, asociado a los primeros metros donde la roca se muestra con mayor grado de fracturación y meteorizada.

Además, las aquas subterráneas de los piezómetros fueron del tipo bicarbonatada cálcica sódica, donde el agua subterránea del punto PZ-4A presentó pH ligeramente ácido (5,89 unidades) con concentraciones de manganeso y hierro que superaron referencialmente los ECA para agua, categoría 3 (2017) y el agua del punto AVP-19 solo presentó manganeso que superó la norma mencionada. Cabe indicar que la ligera acidez de las aquas subterráneas del piezómetro PZ-4A se debería a la presencia de materiales sulfurados que componen el acuífero, según el III MEIAd. Al comparar con la línea base (2015) se observa solo el incremento de hierro en el agua del PZ-4A; mientras que, en el agua del piezómetro AVP-19 se observa un ligero incremento de calcio, magnesio y manganeso al comparar con los reportes trimestrales 2017-2018 (ambas comparaciones se realizaron en época húmeda), tal como se observa en las Figuras 8.26, 8.27 y 8.28.

Con respecto a los parámetros evaluados en las quebradas tributarias a la quebrada Sayapampa, quebrada sin nombre2 (AS-03), quebrada sin nombre4 (QS/N-02) y quebrada sin nombre6 (T6), no superaron los ECA para agua, a excepción del manganeso en el punto (AS-03), mientras que, solo el arsénico en sedimento en el punto T6 superó el valor PEL de la norma canadiense, además las aguas de estas quebradas que fueron de tipo bicarbonatadas cálcicas por lo que contribuyen a mejorar la calidad de la quebrada Sayapampa.

En el río Chichiricucho se encuentran los puntos CHI-21, ESP-AS-7 y ESP-AS-3, ubicados aquas abajo de las operaciones de la UM La Arena y de la confluencia de las quebradas Sayapampa y La Ramada, de los cuales CHI-21 y ESP-AS-3 fueron sulfatadas sódicas mientras que el ESP-AS-7 fue sulfatada cálcica, Además, los 3 puntos presentaron pH neutros y concentraciones de metales que cumplieron los ECA para agua (2015 y 2017), a excepción del manganeso. Con respecto a los sedimentos de estos puntos, las concentraciones de arsénico, cobre y mercurio disminuyeron sus concentraciones en el punto ESP-SED-3 comparados con el punto SED-CHI-21; de los cuales el arsénico superó los valores PEL de la norma canadiense; sin embargo, estos metales o metaloides no influyeron en la calidad del río Chichiricucho, debido a que en estos puntos (HB-CHI-21, ESP-HB-7 y ESP-HB-3) se observó incremento de los parámetros comunitarios de perifiton y macroinvertebrados bentónicos de aguas arriba a aguas abajo, además se observó la aparición de especies sensibles como Atopsyche sp. aguas abajo. Así mismo, condutividad eléctrica, cloruros, sulfatos y calcio se incrementaron en el punto CHI-21 al comparar con la linea base (2015). Tal como se observa en las Figuras 8.24 y 8.25.

Apéndice D. Consolidado de Monitoreo de Calidad de Agua, Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.Ď. N.º 255-2017-SENACE/DCA el 15 de setiembre de 2017.

Apéndice G: Hidrogeología, Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental detallado del proyecto La Arena, aprobado mediante R.D. N.º 255-2017-SENACE/DCA el 15 de setiembre de 2017.

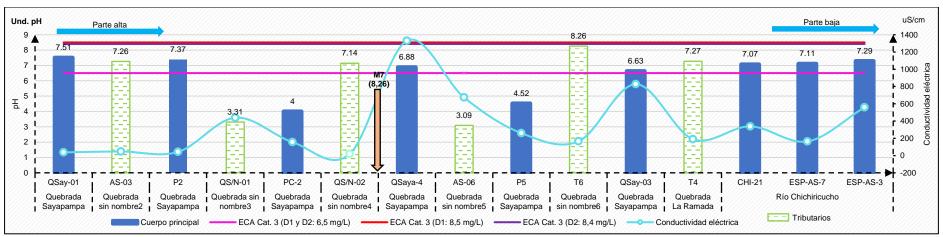


Figura 8.13. Resultados de pH y conductividad eléctrica de la microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

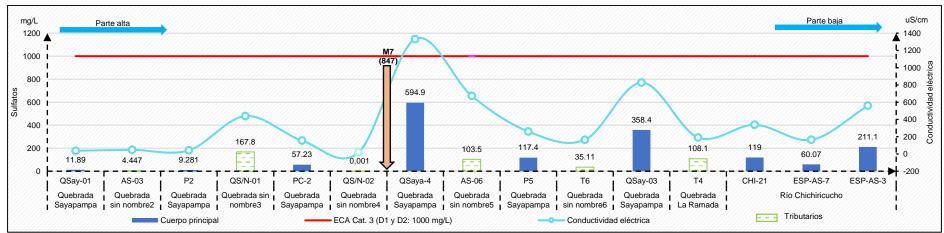


Figura 8.14. Resultados de sulfatos y conductividad eléctrica de la microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

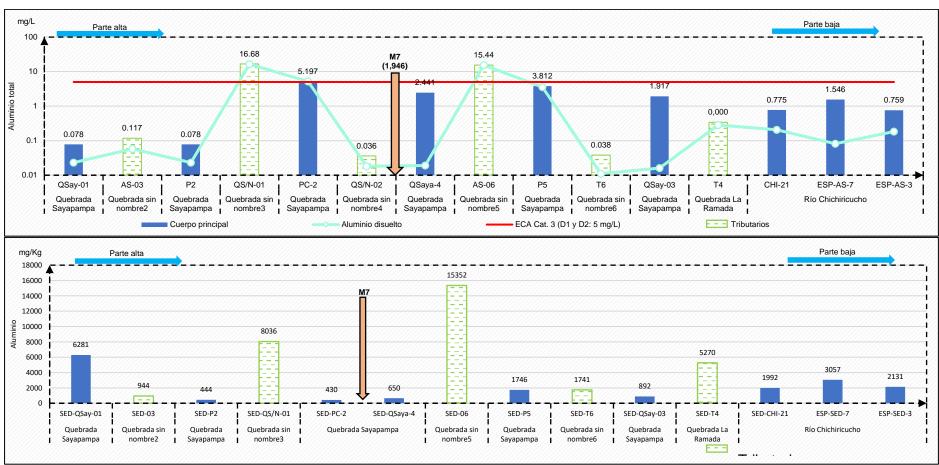


Figura 8.15. Resultados de aluminio de agua superficial y sedimento de la microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

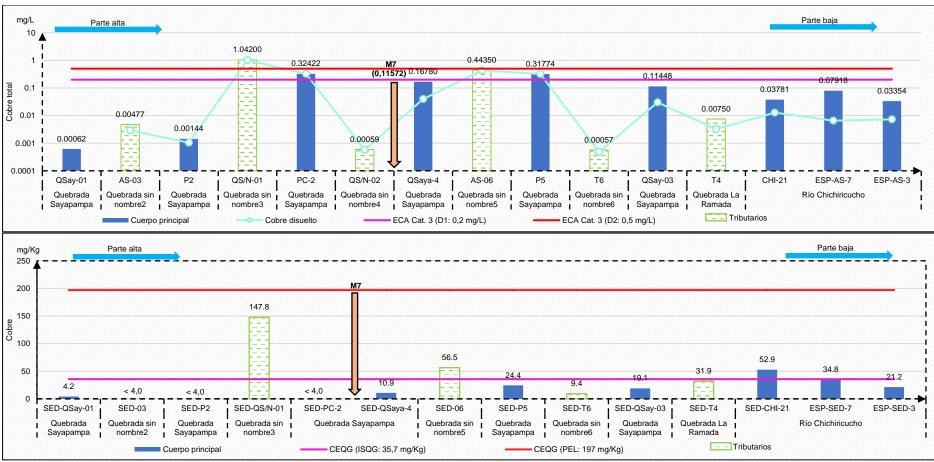


Figura 8.16. Resultados de cobre de agua superficial y sedimentos de la microcuenca Sayapampa – Chichiricucho

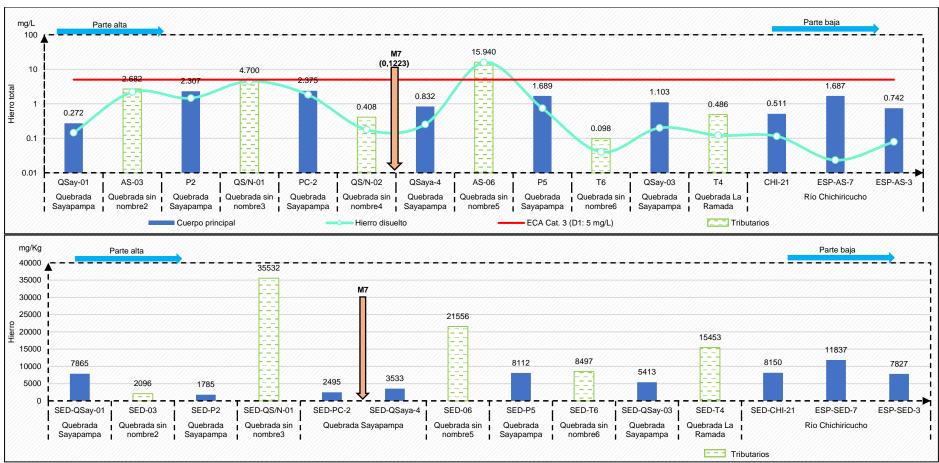


Figura 8.17. Resultados de hierro de agua superficial y sedimento de la microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

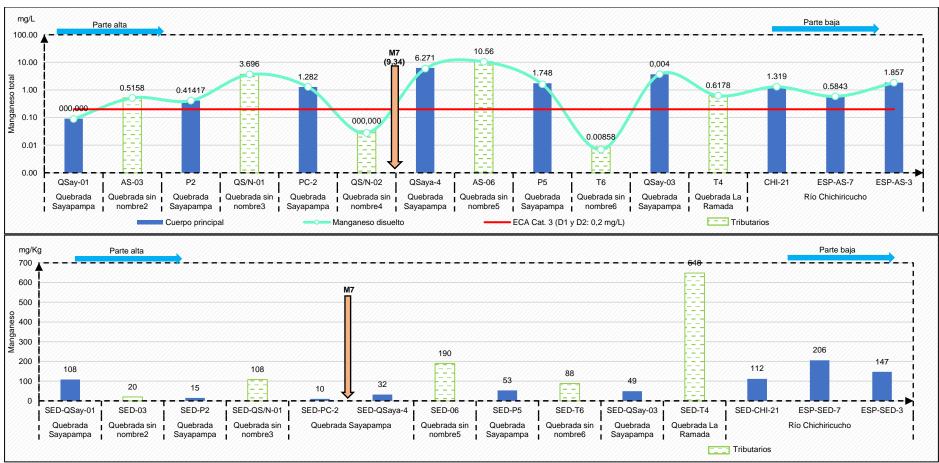


Figura 8.18. Resultados de manganeso de agua superficial y sedimento de la microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

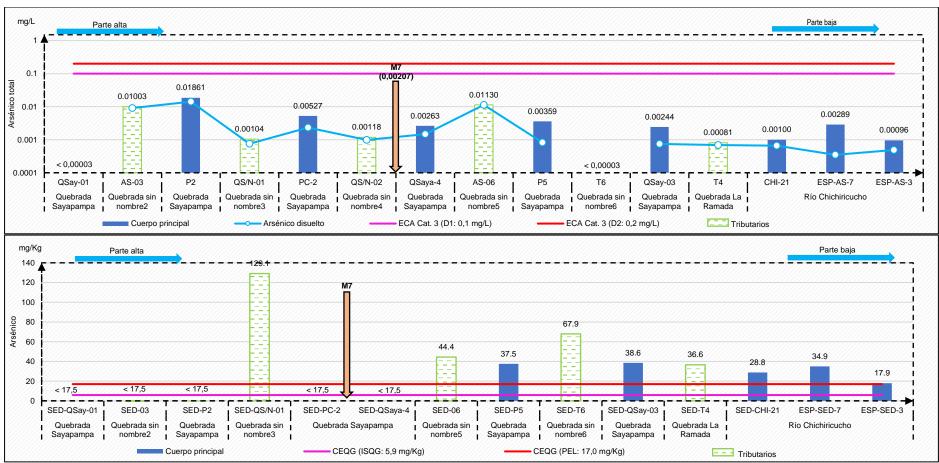


Figura 8.19. Resultados de arsénico de agua superficial y sedimento de la microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

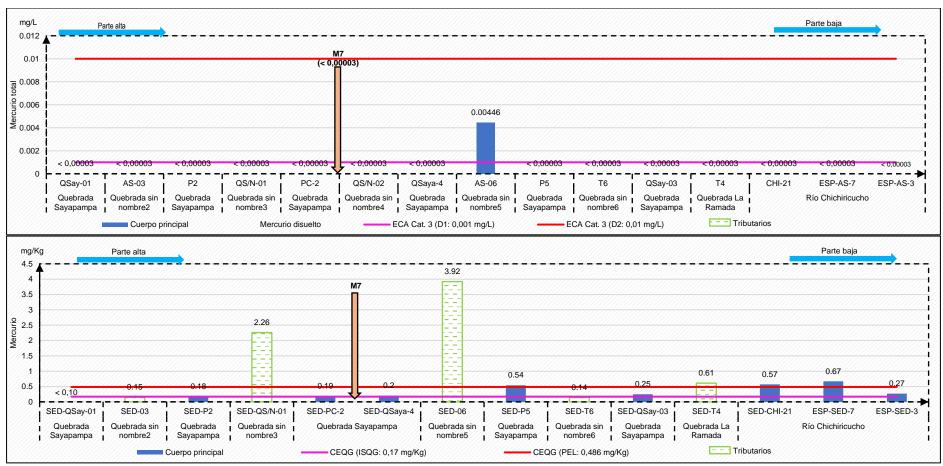


Figura 8.20. Resultados de mercurio de agua superficial y sedimentos de la microcuenca Sayapampa - Chichiricucho



Figura 8.21. Esquema de la microcuenca Sayapampa-Chichiricucho mostrando los diagramas de Stif para la zona

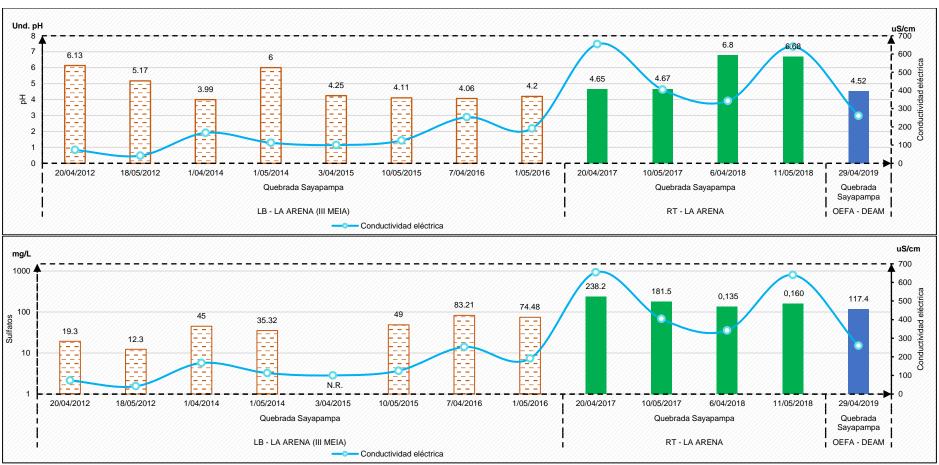


Figura 8.22. Comparación de los resultados de sulfatos (OEFA -2019) con la linea base (LB) y reportes trimestrales (RT) en el punto P5

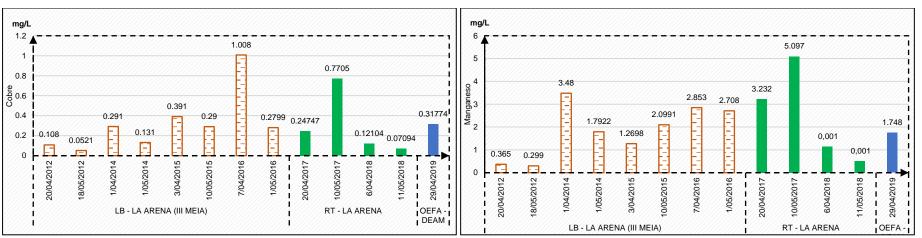


Figura 8.23. Comparación de los resultados de cobre y manganeso (OEFA-2019) con la linea base (LB) y reportes trimestrales (RT) del punto P5

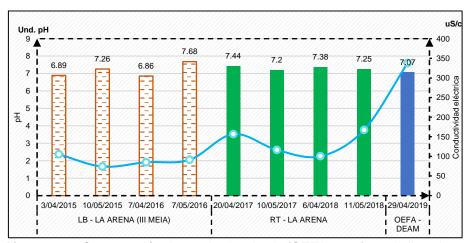


Figura 8.24. Comparación de resultados de pH (OEFA-2019) con la linea base (LB) y reportes trimestrales (RT) del punto CHI-21

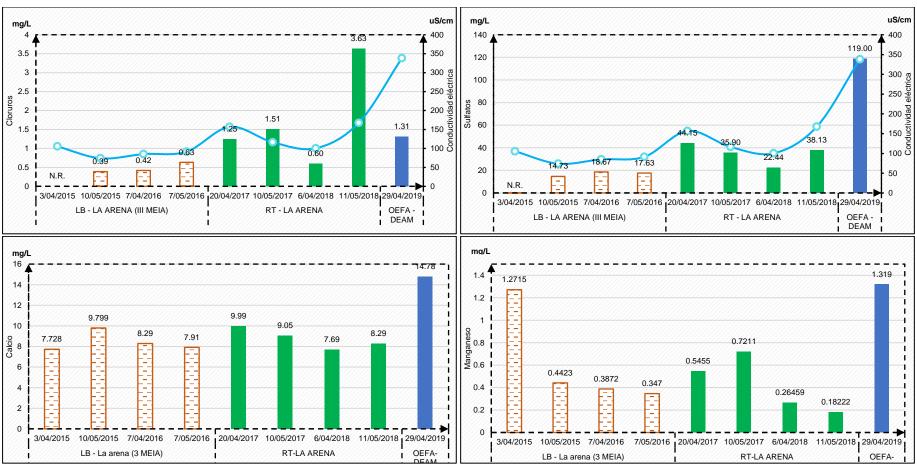


Figura 8.25. Comparación de resultados de OEFA (2019) con la linea base (LB) y reportes trimestrales (RT) del punto CHI-21 a) cloruros, b) sulfatos, c) calcio y d) manganeso

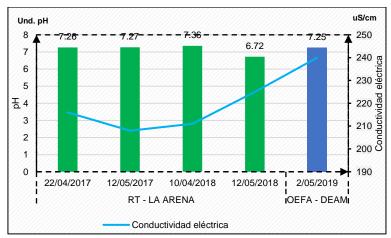


Figura 8.26. Comparación de resultados de pH (OEFA-2019) con los reportes trimestrales (RT) del punto AVP-19

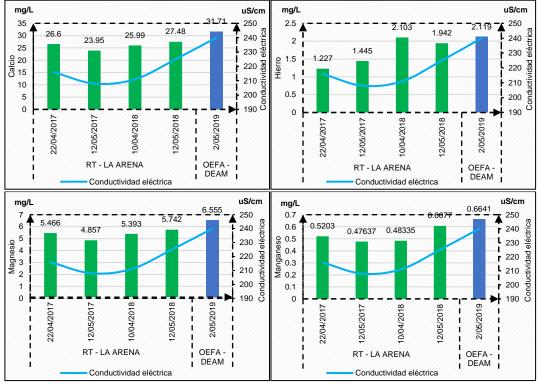


Figura 8.27. Comparación de los resultados de OEFA (2019) con los reportes trimestrales (RT) del punto AVP-19 a) calcio, b) hierro, c) magnesio y d) manganeso

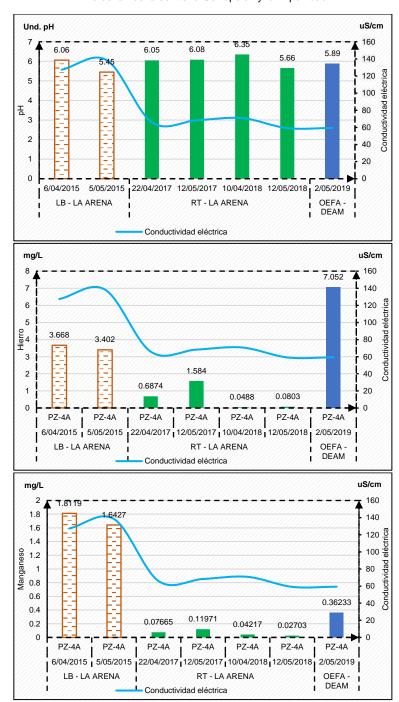


Figura 8.28. Comparación de resultados de OEFA (2019) con la linea base (LB) y reportes trimestrales (RT) del punto PZ-4A a) pH, b) hierro y c) manganeso

9. CONCLUSIONES

9.1.Zona 1: Microcuenca La Ramada

A pesar de que los parámetros evaluados en el efluente (M1) proveniente de la planta de destrucción de cianuro cumplen con los LMP establecidos en el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM, influyen en la calidad del agua de la quebrada La Ramada en el punto T4, debido: 1) al incremento de la conductividad eléctrica y la concentración de cloruros,

sulfatos y metales como aluminio, calcio, cobalto, cobre, manganeso, níquel, sodio, plomo y zinc, donde solo el manganeso superó los ECA para agua, categoría 3 (2015 y 2017); 2) cambio de facie hidroquímica de bicarbonatada cálcica a sulfatada sódica; 3) disminución de la riqueza de perifiton (de 12 a 10 especies) y macroinvertebrados bentónicos (de 8 a 4 especies); así como, la disminución de especies sensibles (de 3 a 1) y facultativas (de 5 a 2), y la aparición de especies tolerantes como *Pentaneura* sp. La influencia del efluente (M1) en la quebrada La Ramada (T4) fue corroborado con el incremento de las concentraciones de cloruros, sodio, sulfatos y manganeso, a diferencia del pH que fue similar en comparación con los reportes timestrales.

9.2.Zona 2: Microcuenca Sayapampa - Chichiricucho

La quebrada sin nombre3 (AS-05 y QS/N-01) se forma por el aporte de varios afloramientos ubicados en la parte baja del tajo Calaorco. Las aguas de esta quebrada fueron ácidas y de tipo sulfatada cálcica, y las concentraciones de aluminio, cobre, hierro, cadmio, cobalto, zinc y manganeso en agua superaron los ECA para agua (2015 y 2017), y las concentraciones de arsénico, mercurio en el sedimento superaron referencialmente los valores ISQG o PEL de la guía canadiense (CEQG), del punto AS-05 disminuyeron en el punto QS/N-01, donde solo el aluminio, cobre y manganeso en agua, y arsénico y mercurio en el sedimento aún siguen superando las normas mencionadas; asimismo, se identificaron especies indicadoras de ambientes alterados como *Leptolyngbya* sp. y *Pseudanabaena* sp. en el punto HB-05; y *Achnanthdium* cf. *exilis* en el HB-QS/N-01. Con respecto a la comparación con la línea base (2013), se observó que el pH disminuyó y la conductividad se incrementó.

La quebrada sin nombre3 altera la calidad de la quebrada Sayapampa, debido 1) a la disminución de pH de 7,37 a 4,0 unidades; 2) Las concentraciones de sulfatos, cloruros, aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc en el agua se incrementaron, donde el aluminio, cobre, manganeso superaron los ECA para agua (2015 y 2017) y 3) la disminución de la riqueza de 4 a 2 especies y la abundancia varió de 3500 a 2500 organismos/cm² de la comunidad de perifiton. Esta alteración se evidenció en el punto PC-2 en comparación con el punto P2 de la quebrada Sayapampa, además ambos puntos presentaron facies sulfatadas cálcicas.

La quebrada sin nombre5 (AS-06) influye en la calidad de la quebrada Sayapampa (P5), debido a que el pH varió de 6,88 a 4,52 unidades, y las concentraciones de aluminio, cobre y hierro en agua; y las concentraciones de arsénico y mercurio en el sedimento, aumentaron en comparación con el punto QSaya-4, ubicado aguas arriba; sin embargo, las facies hidroquímicas (tipo sulfatada sódica) y los parámetros comunitarios de perifiton se mantuvieron similares. Al comparar con la línea base 2012-2016 se observa que los resultados de la presente evaluación (2019) se encuentra dentro del rango de valores o concentraciones reportados en la línea base.

Las aguas subterráneas de los piezómetros (PZ-4A y AVP-19) de tipo bicarbonatada cálcica sódica y con pH ligeramente ácido (5,89 unidades), según el modelo hidrogeológico se clasifica como un acuífero sedimentario de la formación Chimú según su III MEIA. Las concentraciones de manganeso y hierro superaron referencialmente los ECA para agua, categoría 3 (2017), mientras que el agua del punto AVP-19 solo presentó manganeso que superó referencialmente la norma mencionada. Cabe indicar que la ligera acidez de las aguas subterráneas del piezómetro PZ-4A se debería a la presencia de materiales sulfurados que componen el acuífero. Al comparar con la línea base se observa solo el incremento de hierro en el agua del PZ-4A; y un ligero incremento de calcio, magnesio y manganeso en el agua del AVP-19 al comparar con los reportes trimestrales 2017-2018.

El río Chichiricucho (CHI-21, ESP-AS-7 y ESP-AS-3), ubicado aguas abajo de las operaciones de la UM La Arena, presentó pH cercanos a la neutralidad y concentraciones de metales que cumplieron los ECA para agua (2015 y 2017), a excepción del manganeso. A pesar de presentar arsénico (ESP-AS-3) que superó los valores PEL de la norma

Por defecto subdirección según corresponda

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

canadiense se observó incremento de los parámetros comunitarios de perifiton y macroinvertebrados bentónicos a medida que se aleja de la naciente de este río, además se observó la aparición de especies sensibles como *Atopsych*e sp.

10. RECOMENDACIÓN

Remitir una copia del presente informe a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (DSEM).

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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), 35-64.

Bray, J. (2007). The ecology of algal assemblages across a gradient of acid mine drainage stress on the West Coast, South Island, New Zealand. MSc thesis, Univ of Caterbury, New Zealand.

Custodio, E., y Llamas, M.R. (1996). *Hidrología Subterránea*. 2a ed. Barcelona, España: Omega.

Crisci, J. & López, F. (1983). Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica. Secretaría General de la O.E.A., Washington D.C.

Decreto Supremo Nº 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias, Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 6 de junio de 2017.

Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM, Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación, Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 19 de diciembre de 2015.

Domínguez, E. & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. 1era edición. Tucumán, Argentina. Fundación Miguel Lillo.

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.

Hammer, Ø.; Harper, D. & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological statistics Software (Version 3.12) [Software]. Disponible desde http://folk.uio.no/ohammer/past/

Hill, M. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. Ecology, 54(2): 427-432.

Hong, C.; Si, Y.; Xing, Y. & Li, Y. (2015). Illumina MiSeq sequencing investigation on the contrasting soil bacterial community structures in different iron mining areas. Environmental Science and Pollution Research, 22(14): 10788-99.

Jacobsen D. & Encalada A. (1998). The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams in the wet and dry season. Arch. Hydrobiol. 142 (1): 53-70.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. Oikos, 113(2), 363–375.

Magurran, A. (1988). Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.

Magurran A. (1991). *Diversidad Ecológica y su medición*. Barcelona, España: Ediciones Vedra.



Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Lima. Por Samanez, V. I., Rimarachín, C. V., Palma G. C., Arana, M. J., Ortega T. H., Correa, R. V. & Hidalgo, D. M.

Moreno, C.; Barragán, F.; Pineda, E. & Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. Revista Mexicana de Biodiversidad, 82: 1249-1261.

Nordstrom, K. v Alpers, C. 1999. Negative pH, efflorescent mineralogy, and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain superfund site, California. Proc. Natural Academy Science. USA. Vol. 96, 3455-3462.

Peet, R.K. (1974). The measurement of species diversity. Ann. Rev. Ecol. Syst., 5, 285-307.

Pielou, E. C. (1975). Ecological diversity. New York: John Wiley & Sons.

Pomfret, J. (1974). Aspects of the acid tolerance of algae from the Durham area, Durham theses, Durham University.

Ponader K y Potapova M. (2007). Diatoms from the genus Achnanthidium in flowing waters of the Appalachian Mountains (North America): Ecology, distribution and taxonomic notes. Limnologica 37 (2007) 227-241. USA.

Resolución Jefatural N°056-2018-ANA. Aprueban Clasificación de Cuerpos de Aguas Continentales Superficiales, Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú 21 de febrero del 2018.

Resolución Jefatural N°010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 13 de enero de 2016.

Skousen, J., Simmons, J., McDonald, M. y Ziemkiewicz, P. 2002. Acid-base accounting to predict post-mining drainage quality on surface mines. Journal Environmental Quality, 31 (6), 2034-2044.

Sokal, R. & Michener, C. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. University of Kansas Science Bulletin, 38: 1409-1438.

Ziemkiewicz, P., Donovan, J., Frazier, J., Daly, M., Black, C. y Wener, E. 2000. Experimental injection of alkaline lime slurry for in-situ remediation of an acidic surface-mine aquifer. West Virginia University. Morgantown, WV, USA. 26pp

12. **ANEXOS**

Anexo 1: Mapas de puntos de monitoreo por componente

Anexo 2: Reporte de campo N.º RC-023-2019-STEC

Anexo 3: Reporte de resultados N.º RR-016-2019-STEC

Anexo 4: Balance iónico

Anexo 5: Sistematización de IGA y Reporte trimestrales

Por defecto subdirección según corresponda

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]
[CAMAYA]	
Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambi	ental ha dispuesto su aprobación.
Atentamente:	
[FGARCIA]	



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando los dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. Nº 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: 02145490"

