



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección
Técnica CientíficaDecenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

2019-I01-013369

INFORME N° 00308-2019-OEFA/DEAM-STEC

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

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

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

ASUNTO : Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Arasi, de Aruntani S.A.C., ubicada en el departamento Puno - 2019

CUE : 2019-02-0006

CÓDIGO DE ACCIÓN : 0018-3-2019-401, 0005-6-2019-401 y 0001-10-2019-412

REFERENCIA : Planefa 2019

FECHA : Lima, 28 de noviembre 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 Arasi (en adelante, UM Arasi) son presentados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Información general respecto a la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distrito Ocuwiri, provincia Lampa, departamento Puno
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Área de influencia de la UM Arasi de Aruntani S.A.C., en las microcuencas Luchusani, Azufrini y Chacapalca
c.	Problemática identificada	Afectación de los cuerpos de agua por influencia de las actividades realizadas por la UM Arasi
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019
e.	Tipo de evaluación	Vigilancia ambiental
f.	Periodo de ejecución	Del 31 de marzo al 13 de abril de 2019 / Del 04 al 14 de junio de 2019 / Del 01 al 14 de octubre de 2019

Profesionales que aportaron a este documento:

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.º	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walter Fajardo Vargas	Ingeniero químico	Gabinete
2	Luis Ángel Ancco Pichuilla	Ingeniero químico	Gabinete
3	Lisveth Madeleine Valenzuela Mendoza	Bióloga con mención en hidrobiología y pesquería	Campo y gabinete
4	Santos Demetrio Ramos Canales	Ingeniero ambiental	Campo y gabinete
5	Carlos Aurelio Quispe Huamán	Licenciado en biología	Gabinete
6	Silvia Soledad Valenzuela Reyna	Bióloga con mención en hidrobiología y pesquería	Gabinete
7	Filio Félix Farfán Amézquita	Biólogo	Campo

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

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

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

Tabla 2.1. Número de puntos y parámetros evaluados

Matriz evaluada	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos*		
		Abril	Junio	Octubre
Agua superficial	T, pH, CE, OD, metales totales, metales disueltos**, sulfatos, cianuro*** (libre, wad y total)	19	17	17
Agua subterránea	T, pH, CE, OD, metales totales, metales disueltos, sulfatos y sólidos suspendidos totales	1	1	1
Agua residual industrial	T, pH, CE, OD, metales totales, metales disueltos**, sulfatos, cianuro*** (libre, wad y total)	3	3	2
Efluentes mineros	T, pH, CE, OD, metales totales, metales disueltos, sulfatos y sólidos suspendidos totales	2	2	No se encontró flujo
Sedimento	Metales totales	15	-	11
Comunidades hidrobiológicas	Macroinvertebrados bentónicos y perifiton	15	-	12

(*) La cantidad de puntos varía por la presencia de puntos secos o sustrato pedregoso

(**) Parámetros evaluados solamente en octubre-2019

(***) Parámetro evaluado en los puntos cercanos al PAD de lixiviación Jessica

(-) No evaluado

Los parámetros que superaron la normativa ambiental en el área de influencia de la UM Arasi de Aruntani S.A.C. en 2019, se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros que superan la normativa ambiental

Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Norma ambiental						
			ECA para agua (2015) ¹			CCME ²			
			Abril	Junio	Octubre	Abril		Octubre	
			ISQG	PEL	ISQG	PEL	ISQG	PEL	
Agua superficial	Afloramiento subterráneo	SW-08	pH, Sulfatos, Al, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Co, Fe, Mn	-	-	-	-
		SW-09	pH, Al, Mn	pH, Al, Mn	pH, Al, Mn	-	-	-	-
	Quebrada Luchusani	E-1	-	pH	pH, Al, Mn	-	-	-	-
		EE-1	pH, Al, Fe, Mn	pH, Al, Mn	pH, Al, Mn	-	-	-	-
		EE-3	pH, Al, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	-	-	-	-
		EE-4	pH, Al, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	-	-	-	-
		E-4	-	Mn	Mn	-	-	-	-
	Río Huarucani	E-5	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	-	-	-	-
	Río Azufrini	EE-11	pH, Al, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	-	-	-	-
	Quebrada sin nombre 2	EW-1	pH, Mn	**	**	-	-	-	-
		SW-26	pH, Al, Co, Mn	pH, Co, Mn	**	-	-	-	-
	Río Pataqueña	E-11	-	pH	As, B	-	-	-	-
	Río Azufrini	E-10	pH, Al, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	-	-	-	-
Río Chacapalca	M-1	pH, Al, Cr, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	-	-	-	-	

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

Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Norma ambiental						
			ECA para agua (2015) ¹			CCME ²			
			Abril	Junio	Octubre	Abril		Octubre	
			ISQG	PEL	ISQG	PEL			
		M-2	pH, Al, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	-	-	-	-
		E-41	pH, Al, Cu, Fe, Mn	*	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	-	-	-	-
		EE-14	pH, Al, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cu, Fe, Mn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	-	-	-	-
		EE-15	pH, Al, Cu, Fe, Mn	pH, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	-	-	-	-
		E-39	pH, Al, Cu, Fe, Mn	pH, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	pH, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn	-	-	-	-
Agua subterránea	Agua subterránea (piezómetro)	PZ-1	pH, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	pH, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	pH, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	-	-	-	-
Agua residual industrial	Afloramiento subterráneo	SW-10	pH, Al, Co, Cu, Fe, Mn	pH, CE, Sulfatos, Al, Co, Cw, Cu, Fe, Mn, Ni, Se	pH, Al, Cw, Co, Cu, Fe, Mn	-	-	-	-
		EE-2	pH, CE, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, Zn	pH, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni	pH, CE, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni	-	-	-	-
	Drenaje	EW-4	pH, Sulfatos, Al, Co, Fe, Mn, Ni	Sulfatos, Mn	**	-	-	-	-
Sedimento	Quebrada Luchusani	SED-EE-1	-	-	-	Cu	-	Cu	-
		SED-EE-3	-	-	-	Cu, As	As	As, Cd, Cu	As, Cd, Cu
		SED-EE-4	-	-	-	Cu, As	As	As, Cd, Cu	As, Cd, Cu
	Río Huarucani	SED-E-5	-	-	-	As	As	As, Cd, Cu	As, Cd, Cu, Cr
	Río Azufrini	SED-EE-11	-	-	-	As, Cd	As	As, Cd, Cu	As, Cd
	Quebrada sin nombre 2	SED-SW-26	-	-	-	As, Cu	As	**	**
	Río Pataqueña	SED-E-11	-	-	-	Pb	Pb	As, Pb	As
	Río Azufrini	SED-E-10	-	-	-	As, Cd	As	As, Cd, Cu	As, Cd
	Río Chacapalca	SED-M-1	-	-	-	As, Cu, Pb	As	*	*
		SED-M-2	-	-	-	As	As	*	*
		SED-E-41	-	-	-	As, Cu, Pb	As	As, Cd, Cu, Pb	As
SED-EE-14		-	-	-	As, Cu, Pb	As	**	**	

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

Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Norma ambiental						
			ECA para agua (2015) ¹			CCME ²			
			Abril	Junio	Octubre	Abril		Octubre	
			ISQG	PEL	ISQG	PEL	ISQG	PEL	
		SED-EE-15	-	-	-	As, Cd, Cu	As	As, Cd, Cu	As, Cd, Cu
		SED-E-39	-	-	-	As	As	As, Cu	As

(1) Agua superficial: Estándares de Calidad Ambiental para agua (Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM).

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

(*) No se colectó la muestra porque el punto no estaba accesible

(**) No se colectó la muestra por falta de flujo de agua

(-) No aplica

3. ANTECEDENTES

Mediante la Resolución de Consejo Directivo N.º 007-2019-OEFA/CD, publicado el 15 de febrero de 2019 en el diario oficial El Peruano, se aprobó el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental correspondiente al año 2019 (en adelante, Planefa 2019) del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante, OEFA), el cual está orientado a ejecutar acciones de evaluación ambiental en las áreas de influencia de las actividades fiscalizables de competencia del OEFA. Asimismo, se ha previsto la realización de evaluaciones ambientales que permitan determinar los factores externos que podrían estar influenciando en los diferentes componentes ambientales, realizando un análisis que permita determinar si existe relación de causalidad entre el estado de los componentes ambientales y los impactos que puedan generar las actividades de los sectores fiscalizados.

En ese sentido, entre los criterios considerados por el OEFA para priorizar la ejecución de las evaluaciones ambientales son: la conflictividad socioambiental, afectación a la calidad de los componentes ambientales, presencia de cuerpos de agua, bofedales, áreas naturales protegidas, número de vertimientos autorizados por la Autoridad Nacional del Agua y compromisos asumidos pendientes por el OEFA. Teniendo en consideración esos criterios, el OEFA consideró de prioridad efectuar una vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM Arasi, perteneciente al titular minero Aruntani S.A.C., en el departamento Puno, dado que en ella se desarrollan actividades que podrían estar generando algún impacto sobre la calidad del agua.

En tal sentido, el 15 de marzo de 2019, se aprobó el Plan de Evaluación Ambiental en el área de influencia de la UM Arasi, mediante informe N.º 0037-2019-OEFA/DEAM-STEC, que detalla las actividades a desarrollar para la vigilancia ambiental y el cronograma de ejecución; estableciéndose tres salidas de campo para la realización de monitoreos ambientales de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas: la primera salida se realizó del 31 de marzo al 13 de abril de 2019 y se evaluaron 25 puntos de agua, 15 puntos de sedimento y 15 comunidades hidrobiológicas (informe N.º 0147-2019-OEFA/DEAM-STEC), la segunda salida se realizó del 04 al 14 de junio y se evaluaron 23 puntos de agua (informe N.º 0202-2019-OEFA/DEAM-STEC); y la tercera salida se realizó del 01 al 14 de octubre y se evaluaron 20 puntos de agua, 11 puntos de sedimento y 12 de comunidades hidrobiológicas.

Asimismo, como parte de las actividades previas a la ejecución de la vigilancia ambiental, se determinaron los puntos de muestreo con la Dirección de Supervisión en Energía y Minas, tal como consta en el acta firmada el 22 de febrero de 2019 (Anexo 9) y se realizó la recopilación y revisión de la información ambiental existente en el área de influencia de la UM Arasi, referida a lo siguiente:

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

3.1. Instrumentos de gestión ambiental

A continuación, se presentan los IGA referidos al desarrollo de las actividades de la UM Arasi aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Instrumentos de gestión ambiental aprobados de la UM Arasi

N.º	Administrado	Título del IGA	Número de resolución	Fecha de aprobación	Organismo que aprobó
1	Aruntani S.A.C.	Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Explotación y Beneficio "Arasi"	R. D. N.º 276-2008-MEM-AAM	4 noviembre de 2008	Ministerio de Energía y Minas
2		Primera modificación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) "Arasi"	R. D. N.º 187-2010-MEM-AAM	25 mayo de 2010	
3		Segunda modificación del Estudio de Impacto Ambiental de Arasi por "Ampliación de Nuevas Áreas y Nuevos Componentes – Tajo Carlos"	R. D. N.º 220-2013-MEM-AAM	25 junio de 2013	
4		Primer Informe Técnico Sustentatorio "Ampliación y Adición de Componentes Auxiliares en la unidad minera Arasi"	R. D. N.º 448-2014-MEM-DGAAM	29 de setiembre de 2014	
5		Segundo Informe Técnico Sustentatorio "Ampliación del Pad de Lixiviación Jessica y Desinstalación y Adición de Componentes Auxiliares en la unidad minera Arasi"	R. D. N.º 594-2014-MEM-DGAAM	2 de diciembre de 2014	
6		Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Arasi para la "Ampliación del Tajo Jessica"	R. D. N.º 218-2015-MEM-DGAAM	22 de mayo de 2015	

3.2. Acciones de la Dirección de Evaluación

La Dirección de Evaluación Ambiental (en adelante, DEAM) del OEFA realizó evaluaciones ambientales en el área de influencia de la UM Arasi de Aruntani S.A.C. en la provincia Lampa, departamento Puno entre 2013 y 2019, conforme a lo que se detalla en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Evaluaciones realizadas por la DEAM

N.º	Administrado	Fecha de monitoreo	Informe
1	Aruntani S.A.C.*	Del 2 al 4 de febrero de 2013	Evaluación ambiental de la calidad de agua y sedimento en los ríos Chacapalca y Ocuwiri de acuerdo a la zona de influencia de la minera Arasi S.A.C. Informe N.º 374-2013-OEFA/DE-SDCA. Esta evaluación abarcó los ríos Pataqueña, Chacapalca y Ocuwiri, y las quebradas Huarucani, Luchusani y Azufrini. Los ríos presentaron valores de pH desde 7,38 a 8,47; mientras, que las quebradas (Huarucani y Luchusani) tuvieron valores de 3,94 y 4,52, respectivamente. En general, los resultados de metales se encuentran en concentraciones bajas o por debajo del límite de detección, a excepción del aluminio (quebrada Huarucani), hierro y manganeso (quebrada Huarucani, Azufrini y el río Chacapalca).
2		Del 10 al 15 de setiembre de 2015	Informe de monitoreo ambiental de la calidad de aire, agua superficial, hidrobiología y sedimentos realizado del 10 al 15 de setiembre de 2015, en el río Chacapalca y afluentes. Informe N.º 258-2015-OEFA/DE-SDCA. Los resultados del monitoreo en los puntos de muestreo de agua superficial en el río Chacapalca, no cumplieron con los ECA para Agua (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM) para los parámetros de pH, arsénico, hierro y manganeso. Asimismo, los resultados de sedimentos, no cumplieron referencialmente ¹ con las normas canadienses para arsénico y mercurio.

¹ Norma Canadiense (REFERENCIAL) Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment (CEQG). Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life – Fresh water. Aquatic Life – Fresh water.

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

N.º	Administrado	Fecha de monitoreo	Informe
3		Del 1 al 10 de marzo de 2016 y del 6 al 24 de junio de 2016	Evaluación ambiental de la cuenca Pucará en el año 2016. Informe N.º 100-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI. Se realizaron dos monitoreos en 2016, abarcó los ríos Pataqueña, Azufrini, Chacapalca, Chaquilla, Antaymarca, Llallimayo, Macarimayo, Ayaviri, Santa Rosa y Pucará y las quebradas Luchusani, Huarucani, Azufrini y Joillone. El pH y la presencia de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc; así como, la presencia de arsénico y cobre en el sedimento, que superaron los estándares de comparación (ECA para Agua y CEQG en sedimentos), estarían asociados a la actividad minera (principalmente a los componentes mineros y efluentes) desarrollada en la zona. También, los resultados obtenidos de la evaluación hidrobiológica muestran una disminución en cuanto a la riqueza y diversidad de especies, teniendo calidad de agua pésima y mala, según el índice biológico (ABI) evaluado, que también estarían relacionados a actividad antropogénica cercana (minería).
4		Del 31 de enero al 17 de febrero de 2017	Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad minera Arasi. Informe N.º 054-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME. El aporte de los afloramientos subterráneos están alterando la calidad del agua de la quebrada Luchusani, y se evidencia con el incremento de las concentraciones de cianuro, aluminio, hierro y manganeso, en el punto EE-1 (aguas abajo de la descarga de dichos afloramientos), los mismos que superan los ECA para agua categoría 3, con respecto al punto E-1, ubicado aguas arriba. Asimismo, las altas concentraciones de metales se deben a la interacción del material de desmonte con el agua de precipitación (proceso de lixiviación). Parte del mismo entra en contacto con las aguas subterráneas mediante el mecanismo de infiltración, reflejada en el incremento de las concentraciones de metales a través del tiempo en el piezómetro (PZ-1).
5		Del 31 de enero al 17 de febrero de 2017	Informe complementario al informe N.º 054-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME. Informe N.º 077-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME. Los afloramientos subterráneos provenientes del Botadero N° 3 y ubicados al pie de este, alcanzan a la quebrada sin nombre 2(EW-1 y SW-26) y alteran su calidad. Esta afectación se evidencia de la comparación entre los puntos ubicados aguas arriba (EW-1) y aguas abajo (SW-26) de la quebrada sin nombre 2, observándose un incremento de las concentraciones de metales (aluminio, cobalto, cobre, níquel y hierro) en el punto SW-26, las que incumplen lo establecido en el ECA para agua categoría 3.
6		Del 31 de marzo al 13 de abril de 2019 (Anexo 10)	Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Arasi, de Aruntani S.A.C., ubicada en el departamento de Puno – época de avenida. Informe N.º 0147-2019-OEFA/DEAM-STEC. El aporte de los afloramientos subterráneos está alterando la calidad del agua de la quebrada Luchusani y se evidencia con el incremento de las concentraciones de aluminio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y sulfatos en comparación con el punto E-1, ubicado aguas arriba de los componentes. Por otro lado, al comparar los resultados de la presente evaluación con los resultados del 2017 se observa una disminución en la concentración de aluminio y manganeso. La presencia de aluminio, cobalto, cobre, hierro y manganeso en el sedimento de esta quebrada estaría influyendo en la calidad del agua por encontrarse en un medio ácido. Por otro lado, al comparar los resultados de la presente evaluación con los resultados del 2017 se observa una disminución en las concentraciones de aluminio, cadmio, cobalto, cobre y manganeso.
7		Del 04 al 14 de junio de 2019 (Anexo 10)	Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Arasi, de Aruntani S.A.C., ubicada en el departamento de Puno – época de transición de la época de avenida a estiaje. Informe N.º 0202-2019-OEFA/DEAM-STEC. La quebrada Luchusani en el punto EE-1 registró el incremento del aluminio, cianuro wad y manganeso en junio (2019) en comparación con lo registrado en abril (2019) y febrero (2017). Asimismo, se resalta el pH ácido y el progresivo incremento de la concentración de cobre, arsénico, hierro, manganeso, cadmio, cobalto y níquel en el agua subterránea del punto PZ-1 (piezómetro) a lo largo de los años (2011-2019), a excepción del aluminio, de esta manera se evidencia la alteración del agua subterránea por el botadero Jessica; sin embargo, ya no se registraron parámetros que incumplieron los ECA para agua 2015 (categoría 3) en febrero (2017) y abril (2019) tales como sulfatos y cadmio, respectivamente.

3.3. Resoluciones de autorización de vertimientos por la ANA

La empresa Aruntani S.A.C. cuenta con las autorizaciones para el vertimiento de aguas residuales industriales tratadas que provienen de la planta de destrucción de cianuro, botadero y tajo de la operación minera Jessica, de la acumulación Andrés². Sin embargo, es necesario mencionar que la anterior administración (Arasi S.A.C.), ya contaba con las autorizaciones de vertimiento³ de las aguas residuales industriales tratadas del botadero 1, botadero 3, planta de destrucción de cianuro y aguas residuales domésticas tratadas que provenían del campamento de la operación minera Andrés, de la acumulación Andrés (UM Arasi). Las especificaciones se detallan en la Tabla 3-4.

Tabla 3.3. Puntos de vertimiento autorizados por la ANA para efluentes minero metalúrgicos y domésticos

N.º	Puntos de vertimiento	Coordenadas UTM WGS 84-zona 19L		Descripción
		Este (m)	Norte (m)	
1	EFMJ-01*	305963	8312547	Efluente industrial proveniente de la planta de beneficio Jessica (14,99 L/s). Cuerpo receptor: quebrada Luchusani
2	V-J*	304544	8312233	Efluente industrial proveniente del tajo Jessica y de botadero Jessica (0,48 L/s). Cuerpo receptor: quebrada Luchusani
3	PDC-A**	299782	8313525	Efluente industrial tratado proveniente de la planta de destrucción de cianuro (16,74 L/s). Cuerpo receptor: río Chacapalca
4	V-1**	299977	8312336	Efluente industrial tratado proveniente del botadero 1 (0,25 L/s). Cuerpo receptor: río Chacapalca
5	VBOT-3**	301355	8311721	Efluente industrial tratado proveniente del botadero 3 (0,07 L/s). Cuerpo receptor: río Azufrini
6	TI-01**	300798	8311012	Efluente doméstico tratado proveniente del campamento (0,40 L/s). Cuerpo receptor: río Pataqueña

(*) Aprobado con R. D. N.º 295-2016-ANA-DGCRH

(**) Aprobado con R. D. N.º 011-2014-ANA-DGCRH

3.4. Medidas preventivas

A continuación, se presentan las obligaciones descritas en las medidas preventivas dispuestas por la Dirección de Supervisión en Energía y Minas (en adelante, DSEM) a la UM Arasi de Aruntani S.A.C. (Tabla 3.4)

Tabla 3.4. Medidas preventivas dispuestas por la DSEM a la UM Arasi

Resolución Directoral	Obligación
038-2017-OEFA/DS, de mayo de 2017	Artículo 4º <i>Paralizar de manera inmediata la operación de la poza de mayores eventos hasta que se garantice la impermeabilidad de las pozas a través de las pruebas ordenadas en el Artículo 3º de la R.D N° 028-2017-OEFA-DS.</i>
058-2017-OEFA/DS, de 24 de octubre de 2017	Artículo 1º.- Ordenar a Aruntani S.A.C. en calidad de MEDIDA PREVENTIVA, que cumpla con lo siguiente: <i>Captar y tratar:</i> - <i>El agua del piezómetro PZ-1 y otros afloramientos de la zona baja del botadero Jessica hasta que se cumpla con los ECA para Agua (categoría 3) establecidos en el Decreto Supremo N° 105-2015-MINAM.</i> - <i>Los afloramientos ubicados en la parte baja del botadero N° 3 hasta que se cumpla con los ECA para agua (categoría 3) establecido en el Decreto Supremo N° 105-2015-MINAM.</i>
021-2018- OEFA/DSEM, de 18 de abril de 2018	Artículo 1º.- Ordenar a Aruntani S.A.C. como acciones complementarias a las medidas preventivas en el artículo 1º de la R.D N° 058-2017-OEFA/DS:

² Aprobada por la ANA, mediante Resolución Directoral N.º 295-2016-ANA-DGCRH

³ Aprobada por la ANA, mediante Resolución Directoral N.º 011-2014-ANA-DGCRH

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

Resolución Directoral	Obligación
	<p>(1) <i>Modificar la planta de tratamiento de aguas acidas de la zona Jessica, como máximo hasta el 30 de abril de 2018, para el tratamiento integral y permanente del agua proveniente del piezómetro PZ-1 y otros afloramientos ubicados en la parte baja del botadero Jessica, cuya descarga debe cumplir con los ECA de calidad para agua establecidos en el Decreto Supremo N° 105-2015-MINAM. Paralelamente se debe continuar con la captación y tratamiento de las mencionadas aguas en la planta de tratamiento de aguas ácidas de la zona Jessica, de acuerdo a lo ordenado a través de la R.D N° 058-2017-OEFA/DS.</i></p> <p>(2) <i>Instalar el sistema de conducción de los afloramientos ubicados en la parte baja del botadero N° 3 hacia la planta de tratamiento de aguas ácidas de la zona Andrés, como máximo hasta el 30 de abril de 2018, para el tratamiento integral y permanente de las mencionadas aguas en la planta de tratamiento de aguas ácidas de la zona Andrés, cuya descarga debe cumplir con los ECA para Agua 2015.</i></p>
054-2018-OEFA/DS, de 04 de octubre de 2018	<p>Artículo 1°: Variar la acción complementaria en el Artículo 1° de la Resolución Directoral N° 033-2018-OEFA/DESEM del 27 de mayo de 2018 en los siguientes términos:</p> <p><i>Ejecutar el cierre final del botadero Jessica, priorizando la captación y tratamiento de los afloramientos correspondientes a los puntos de muestreo ESP-1, ESP-2, ESP-3 y ESP-4, ubicados en la parte baja del botadero, entre otros que pudieran aflorar, a fin de cumplir con los ECA para Agua establecido en el D.S. N° 015-2015-MINM, hasta que el cuerpo hídrico de la quebrada Luchusani alcance su estado natural según los valores obtenidos en la Línea Base del Estudio de Impacto Ambiental, aprobado con Resolución Directoral N° 276-2008-MEM-AAM del 4 de noviembre de 2008 y que las actividades de cierre final del referido botadero garanticen la estabilidad geoquímica.</i></p>
061-2018-OEFA/DS, de 20 de noviembre de 2018	<p>Artículo 1°: Variar a solicitud de parte el Artículo 5° de la Resolución Directoral N° 038-2017-OEFA/DESEM del 30 de mayo de 2017 (...):</p> <p><i>Artículo 5°.- Para acreditar el cumplimiento de lo ordenado, Aruntani S.A.C. deberá monitorear trimestralmente los resultados de los ensayos físico-químicos del afloramiento tratado del botadero N° 1, agua de la quebrada Luchusani y del río Chacapalca. Dichos ensayos deberán ser realizados por un laboratorio acreditado por la autoridad competente.</i></p> <p><i>Adicionalmente, deberá reportar trimestralmente el traslado de los afloramientos del botadero N° 1 para su tratamiento, con el detalle del volumen de agua trasladada, tipo y cantidad de vehículos, así como número de viajes.</i></p> <p>Artículo 2°: Variar de oficio los artículos 2° y 3° de la Resolución Directoral N° 038-2017-OEFA/DESEM.</p> <p><i>Artículo 2°.- Ordenar como MEDIDA PREVENTIVA a Aruntani S.A.C., recircular el agua de la poza de subdrenaje N° 3, a fin de evitar la descarga hacia la quebrada Luchusani.</i></p> <p><i>Artículo 3°.- Ordenar como MEDIDA PREVENTIVA a Aruntani S.A.C., captar y tratar de manera inmediata los afloramientos del Botadero N°1 previo a su descarga, de tal forma que se asegure el cumplimiento de los ECA para Agua (categoría 3) establecidos en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM (...).</i></p>

4. OBJETIVO

Realizar la vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Arasi de Aruntani S.A.C., a través de monitoreos de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas.

5. ÁREA DE ESTUDIO

La UM Arasi se ubica en la parte alta de la cuenca hidrográfica Pucará (código N.º 018⁴), que pertenece a la vertiente del lago Titicaca. Se encuentra en la región sureste del Perú, en el distrito Ocuwiri de la provincia Lampa, departamento Puno. El área de estudio comprende el área de influencia de la unidad en mención; específicamente, las quebradas Luchusani, Azufrini, Huarucani y Joillone, así como los ríos Azufrini, Pataqueña y Chacapalca, pertenecientes a las microcuencas Luchusani, Azufrini y Chacapalca, en las provincias Azángaro, Lampa y Melgar en el departamento Puno (Anexo 1).

⁴ Las unidades hidrográficas en la gestión de los recursos hídricos del Perú, mayo 2011. Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri).

6. METODOLOGÍA

En esta sección se proporciona la información de la metodología aplicada en la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM Arasi.

6.1. Protocolos de monitoreo

Los protocolos de monitoreo nacionales e internacionales; así como, las guías que se utilizaron para la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM Arasi se describen en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Protocolos de monitoreo utilizados para el monitoreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

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.º 010-2016-ANA	2016
Agua subterránea	<i>National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data</i>	<i>A.1 Preparations for water sampling</i>	Estados Unidos	<i>U.S. Geological Survey (USGS)</i>	No aplica	2015
Agua residual industrial y efluentes mineros	Protocolo de monitoreo de calidad de agua sub sector – minería	Sección 2.0. Estaciones de muestreo	Perú	Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del MINEM	Resolución Directoral N.º 004-94-EM/DGAA	1994
Medición de caudal: agua superficial	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.º 010-2016-ANA	2016
	Manual de hidrometría	Todo el manual	Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)	No aplica	2016
Sedimento	Manual de métodos de muestreo y preservación de muestras de las sustancias prioritarias para las matrices prioritarias del PRONAME	Sección 3, 4,6	México	Instituto Nacional de Ecología y cambio climático (INECC-CCA)	No aplica	2010
	Manual técnico, Métodos para colección, almacenamiento y manipulación de sedimento para análisis químicos y toxicológicos*	Capítulo 4	Estados Unidos	Agencia para la Protección Ambiental (EPA)	No aplica	2001
	Procedimiento de operación estándar–	Capítulo 11			No aplica	2003

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

Matriz	Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
	muestreo de sedimento**					
Comunidades hidrobiológicas	Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: bentos (macroinvertebrados) en aguas continentales del Perú	Sección 3, 4, 5 y 6	Perú	MINAM y Universidad Nacional Mayor de San Marcos	No aplica	2014

(*) Agencia de protección ambiental EPA: Technical Manual, Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses. Recuperado de <https://clu-in.org/download/contaminantfocus/sediments/methods-for-collection-epa-manual.pdf>

(**) Environmental Protection Agency (EPA). Standard Operating Procedure-SOP #2016, Sediment Sampling. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/r8-src_eh-02.pdf.

6.2. Ubicación de los puntos

La ubicación de los puntos de monitoreo ambiental de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas se presentan en la Tablas 6.2, 6.3 y 6.4, respectivamente. Respecto a los 25 puntos de agua establecidos (19 puntos de agua superficial, 1 punto de agua subterránea, 2 efluentes mineros y 3 de agua residual industrial), se evaluaron todos en abril, 23 en junio (17 puntos de agua superficial, 1 punto de agua subterránea, 2 efluentes mineros y 3 de agua residual industrial) y 20 en octubre (17 puntos de agua superficial, 1 punto de agua subterránea y 2 de agua residual industrial), tal como se observa en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Puntos de monitoreo de agua de la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM Arasi en 2019

N.º	Cuerpo de agua o cuerpo receptor	Matriz	Código	Mes de evaluación			Coordenadas UTM WGS 84-zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este	Norte		
1	Quebrada Luchusani	Agua superficial	E-1	x	x	x	306704	8312634	4812	Quebrada Luchusani (naciente) aguas arriba de un bofedal
2	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	SW-08	x	x	x	306416	8312724	4828	Poza N°1 del subdrenaje del pad Jessica
3	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	SW-09	x	x	x	306189	8312914	4802	Poza N°2 del subdrenaje del pad Jessica
4	Quebrada Luchusani	Agua superficial	EE-1	x	x	x	305633	8312284	4757	Confluencia de la quebrada Luchusani y el agua de las pozas de subdrenaje N.º1 y N.º2
5	Quebrada Huarucani	Agua superficial	E-4	x	x	x	303524	8311327	4589	Quebrada Huarucani, 100 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Luchusani
6	Quebrada Luchusani	Agua superficial	EE-3	x	x	x	304600	8312241	4666	Quebrada Luchusani, aguas arriba de la descarga proveniente del botadero Jessica
7	Quebrada Luchusani	Agua superficial	EE-4	x	x	x	304390	8312140	4663	Quebrada Luchusani, aguas abajo

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

N.º	Cuerpo de agua o cuerpo receptor	Matriz	Código	Mes de evaluación			Coordenadas UTM WGS 84-zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este	Norte		
										de la descarga proveniente del botadero Jessica
8	Quebrada sin nombre 2	Agua superficial	EW-1	x	-	-	301496	8312011	4538	Quebrada sin nombre, 2 ubicada al sureste del botadero N°3
9	Quebrada sin nombre 2	Agua superficial	SW-26	x	x	-	301365	8311688	4487	Quebrada sin nombre 2, al lado del vertimiento VBOT-3
10	Quebrada Luchusani	Agua superficial	EE-11	x	x	x	301412	8311672	4492	Río Azufrini, aguas arriba del vertimiento VBOT-3
11	Río Huarucani	Agua superficial	E-5	x	x	x	303417	8311397	4585	Río Huarucani, 200 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas Luchusani y Huarucani
12	Río Azufrini	Agua superficial	E-10	x	x	x	300570	8311660	4450	Río Azufrini, 85 m aguas arriba de la confluencia con el río Pataqueña
13	Río Pataqueña	Agua superficial	E-11	x	x	x	300952	8310155	4475	Río Pataqueña, 100 m al suroeste del campamento Arasi
14	Río Chacapalca	Agua superficial	M-1	x	x	x	300007	8312250	4449	Río Chacapalca, 190 m aguas arriba del vertimiento V-1
15	Río Chacapalca	Agua superficial	M-2	x	x	x	299956	8312452	4448	Río Chacapalca, 150 m aguas debajo del vertimiento V-1
16	Río Chacapalca	Agua superficial	E-41	x	NA	x	299929	8312879	4427	Río Chacapalca, 100 m aguas abajo del afloramiento subterráneo ubicado debajo del botadero N°1, antes de la zona del embalse
17	Río Chacapalca	Agua superficial	EE-14	x	x	x	299882	8313002	4433	Río Chacapalca, ubicado en el embalse.
18	Río Chacapalca	Agua superficial	EE-15	x	x	x	299712	8313740	4408	Río Chacapalca, agua abajo del

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

N.º	Cuerpo de agua o cuerpo receptor	Matriz	Código	Mes de evaluación			Coordenadas UTM WGS 84-zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este	Norte		
										vertimiento PDC-A
19	Río Chacapalca	Agua superficial	E-39	x	x	x	299125	8315421	4381	Río Chacapalca, a 450 m de la confluencia de la Quebrada Joillone y el río Chacapalca
20	Agua subterránea (piezómetro)	Agua subterránea	PZ-1	x	x	x	304598	8312301	4687	Piezómetro ubicado al pie del botadero Jessica
21	Quebrada Luchusani	Efluente minero	V-J	x	x	-	304568	8312227	4664	Vertimiento de la zona del botadero Jessica
22	Río Chacapalca	Efluente minero	V-1	x	x	-	299980	8312342	4450	Vertimiento de la zona del botadero Andrés
23	Quebrada Luchusani	Agua residual industrial	EE-2	x	x	x	304571	8312235	4668	Tubería que capta las surgencias de agua provenientes de la zona donde se ubica el botadero Jessica
24	Quebrada Luchusani	Agua residual industrial	SW-10	x	x	x	306046	8312623	4784	Poza N°3 del subdrenaje de la poza de mayores eventos del pad Jessica
25	Quebrada Sin nombre 2	Agua residual industrial	EW-4	x	x	-	301573	8312520	4601	Flujo de agua (drenaje) con dirección norte-sur, proveniente de la zona intermedia entre el tajo Valle y el botadero N°3

(-) Puntos no evaluados por encontrarse sin flujo
(NA) Punto no accesible

Respecto a los 15 puntos de sedimento establecidos, se evaluaron todos en abril y 11 en octubre (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Puntos de monitoreo de sedimento de la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM Arasi en 2019

N.º	Código	Mes de evaluación		Coordenadas UTM WGS 84-zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Abril	Octubre	Este	Norte		
1	SED-EE-1	x	x	305633	8312284	4757	Confluencia de la quebrada Luchusani y el agua de las pozas de subdrenaje N.º1 y N.º2
2	SED-E-4	x	x	303524	8311327	4589	Quebrada Huarucani, 100 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Luchusani

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

N.º	Código	Mes de evaluación		Coordenadas UTM WGS 84-zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Abril	Octubre	Este	Norte		
3	SED-EE-3	x	x	304600	8312241	4666	Quebrada Luchusani, aguas arriba de la descarga proveniente del botadero Jessica
4	SED-EE-4	x	x	304390	8312140	4663	Quebrada Luchusani, aguas abajo de la descarga proveniente del botadero Jessica
5	SED-SW-26	x	-	301365	8311688	4487	Quebrada sin nombre 2, al lado del vertimiento VBOT-3
6	SED-EE-11	x	x	301412	8311672	4492	Río Azufrini, aguas arriba del vertimiento VBOT-3
7	SED-E-5	x	x	303417	8311397	4585	Río Huarucani, 200 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas Luchusani y Huarucani
8	SED-E-10	x	x	300570	8311660	4450	Río Azufrini, 85 m aguas arriba de la confluencia con el río Pataqueña
9	SED-E-11	x	x	300952	8310155	4475	Río Pataqueña, 100 m al suroeste del campamento Arasi
10	SED-M-1	x	NA	300007	8312250	4449	Río Chacapalca, 190 m aguas arriba del vertimiento V-1
11	SED-M-2	x	NA	299956	8312452	4448	Río Chacapalca, 150 m aguas debajo del vertimiento V-1
12	SED-E-41	x	x	299929	8312879	4427	Río Chacapalca, 100 m aguas abajo del afloramiento subterráneo ubicado debajo del botadero N.º1, antes de la zona del embalse
13	SED-EE-14	x	NA	299882	8313002	4433	Río Chacapalca, ubicado en el embalse.
14	SED-EE-15	x	x	299712	8313740	4408	Río Chacapalca, agua abajo del vertimiento PDC-A
15	SED-E-39	x	x	299125	8315421	4381	Río Chacapalca, a 450 m de la confluencia de la Quebrada Joillone y el río Chacapalca

(-) Puntos no evaluados por encontrarse sin flujo
(NA) Punto no accesible

Respecto a los 15 puntos de comunidades hidrobiológicas establecidos, se evaluaron todos en abril y 12 en octubre (Tabla 6.4).

Tabla 6.4. Puntos de monitoreo de comunidades hidrobiológicas de la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM Arasi en 2019

N.º	Comunidades hidrobiológicas	Abril	Octubre	Coordenadas UTM WGS 84-zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
				Este	Norte		
1	HB-E-1	x	x	306704	8312634	4812	Quebrada Luchusani (naciente) aguas arriba de un bofedal
2	HB-EE-1	x	x	305633	8312284	4757	Confluencia de la quebrada Luchusani y el agua de las pozas de subdrenaje N.º1 y N.º2
3	HB-E-4	x	x	303524	8311327	4589	Quebrada Huarucani, 100 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Luchusani
4	HB-EE-3	x	x	304600	8312241	4666	Quebrada Luchusani, aguas arriba de la descarga proveniente del botadero Jessica

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

N.º	Comunidades hidrobiológicas	Abril	Octubre	Coordenadas UTM WGS 84-zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
				Este	Norte		
5	HB-EE-4	x	x	304390	8312140	4663	Quebrada Luchusani, aguas abajo de la descarga proveniente del botadero Jessica
6	HB-EW-1	x	-	301496	8312011	4538	Quebrada sin nombre, 2 ubicada al sureste del botadero N°3
7	HB-SW-26	x	-	301365	8311688	4487	Quebrada sin nombre 2, al lado del vertimiento VBOT-3
8	HB-EE-11	x	x	301412	8311672	4492	Río Azufrini, aguas arriba del vertimiento VBOT-3
9	HB-E-5	x	x	303417	8311397	4585	Río Huarucani, 200 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas Luchusani y Huarucani
10	HB-E-10	x	x	300570	8311660	4450	Río Azufrini, 85 m aguas arriba de la confluencia con el río Pataqueña
11	HB-E-11	x	x	300952	8310155	4475	Río Pataqueña, 100 m al suroeste del campamento Arasi
12	HB-M-2	x	NA	299956	8312452	4448	Río Chacapalca, 150 m aguas debajo del vertimiento V-1
13	HB-E-41	x	x	299929	8312879	4427	Río Chacapalca, 100 m aguas abajo del afloramiento subterráneo ubicado debajo del botadero N°1, antes de la zona del embalse
14	HB-EE-15	x	x	299712	8313740	4408	Río Chacapalca, agua abajo del vertimiento PDC-A
15	HB-E-39	x	x	299125	8315421	4381	Río Chacapalca, a 450 m de la confluencia de la Quebrada Joillone y el río Chacapalca

(-) Puntos no evaluados por encontrarse sin flujo

(NA) Punto no accesible

6.3. Equipos y materiales utilizados, y metodologías de análisis

Los equipos y materiales utilizados en la ejecución de la vigilancia ambiental de la UM Arasi se presentan en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Equipos y materiales utilizados en el monitoreo de la vigilancia ambiental

Matriz	Parámetro	Equipo	Marca	Modelo
Agua superficial, agua subterránea, agua residual industrial y efluentes	pH, OD, CE y T	Equipo multiparámetro	HACH	HQ40d
Agua subterránea	Profundidad	Sonda para nivel piezométrico	Solinst	122
Comunidades hidrobiológicas	Macroinvertebrados bentónicos	Red Surber	Bioservice	-
Agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas	-	Cámara fotográfica digital	Canon	POWERSHOT D30BL
	Coordenadas UTM	Equipo de georreferenciación satelital (GPS)	Garmin	MONTANA 680

(-) No corresponde

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

La Tabla 6.6 presenta los parámetros, métodos de ensayo y técnicas empleadas en el análisis de agua y sedimento, a través de un laboratorio acreditado por el Inacal, y en el análisis de las comunidades hidrobiológicas, a través de los profesionales de la DEAM.

Tabla 6.6. Parámetros, métodos y técnicas empleadas en el análisis de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

Matriz	Parámetro	Método	Técnica Empleada
Agua superficial	Metales totales por ICP-MS (incluido Hg)	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994) (VAL)	<i>Espect ICP-MS</i>
	Metales disueltos por ICP-MS (incluido Hg)		
	Sulfato(s)	PE-2090 Rev.8 2017	<i>Cromatog Iónica</i>
	Cianuro Libre	EPA METHOD 9016, Rev. 0, 2010	<i>Free Cyanide in Water, Soils and Soild Wastes by Microdiffsion</i>
	Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN-C, 22nd Ed. 2012	<i>Cyanate: Colorimetric Method</i>
	Cianuro WAD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN I,E, 23 rd Ed. 2017	<i>Cyanide. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method</i>
Agua subterránea	Metales totales por ICP-MS (incluido Hg)	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	<i>Espect ICP-MS</i>
	Metales disueltos por ICP-MS (incluido Hg)		
	Sulfato(s)	PE-2090 Rev.8 2017	<i>Cromatog Iónica</i>
	Sólidos totales suspendidos	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	<i>Gravimetría</i>
Efluente minero	Metales totales por ICP-MS (incluido Hg)	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	<i>Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente</i>
	Metales disueltos por ICP-MS (incluido Hg)		
	Sulfato(s)	EPA METHOD 30.1 Rev. 1, 1997 (validado). 2015	<i>Determination of Inorganic Anions in Driking Water by Ion Chromatography</i>
	Sólidos totales suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012	<i>Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C</i>
Agua residual industrial	Metales totales por ICP-MS (incluido Hg)	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	<i>Espect ICP-MS</i>
	Metales disueltos por ICP-MS (incluido Hg)		
	Sulfato(s)	PE-2090 Rev.8 2017	<i>Cromatog Iónica</i>
	Cianuro Libre	EPA METHOD 9016, Rev. 0, 2010	<i>Free Cyanide in Water, Soils and Soild Wastes by Microdiffsion</i>
	Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN-C, 22nd Ed. 2012	<i>Cyanate: Colorimetric Method</i>
	Cianuro WAD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN I,E, 23 rd Ed. 2017	<i>Cyanide. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method</i>
Sedimentos	Mercurio total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	<i>Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)</i>
	Metales por ICP OES	EPA Method 3050 B / EPA Method 6010 D, Rev. 5 July. 2018	<i>Acid Digestion of Sediments, Sludges and soils / Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry</i>
Comunidades hidrobiológicas	Perifiton	SMEWW 10300C, 10300E. EPA 841-B-99-002	Periphyton. Sample Analysis. Sedgwick-Rafter Counts. Inverted Microscope Method Counts
	Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10500 C.1, 2. 23rd. Ed. 2017	Benthic Macroinvertebrates, Sample Processing and Analysis

Fuente: Informe de Ensayo N.º 66806/2019 ALS Perú S.A.C., Informe de Ensayo N.º SAA-19/01039 AGQ Perú S.A.C., Informe de Ensayo N.º A-19-088826 AGQ Perú S.A.C., Informe de Ensayo N.º SAA-19/01040 AGQ Perú S.A.C., Informe de Ensayo N.º SAA-19/01069 AGQ Perú S.A.C., Informe de Ensayo N.º 66810/2019 ALS Perú S.A.C., Informe de Ensayo N.º 38136/2019 ALS Perú S.A.C., Informe de Ensayo N.º MB 062-2019-OEFA/DEAM, Informe de Ensayo N.º PE 031-2019-OEFA/DEAM

6.4. Procesamiento de datos

6.4.1. Agua y sedimento

Los resultados obtenidos, tanto en campo como los analíticos de laboratorio, pasaron por filtros de calidad que aseguraron la inexistencia de datos erróneos; de esta manera, fueron incorporados a un sistema de control de datos. Luego, 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.

6.4.2. Comunidades hidrobiológicas

La evaluación de las comunidades hidrobiológicas consistió en la caracterización de las estructuras comunitarias del perifiton (microalgas y microorganismos) y macroinvertebrados bentónicos, la cual incluyó la composición, riqueza, densidad de especies por taxones mayores, diversidad y calidad biológica en base a los macroinvertebrados bentónicos.

La evaluación de la riqueza y la densidad de perifiton y macroinvertebrados bentónicos, se desarrolló sobre la base de la categoría taxonómica «phyllum» y «orden» respectivamente. Es necesario indicar que, la densidad de macroinvertebrados bentónicos se analizó con base en la densidad total obtenida en un muestreo compuesto por 3 réplicas teniendo en cuenta los hábitats más dominantes, representándose los resultados en individuos/0,27 m². Para esto, se sistematizó los nombres y abundancia de cada especie y posteriormente se realizó las representaciones mediante gráficas acumuladas y se calculó los siguientes índices por componente minero y por toda el área de estudio:

a) Por componente minero

Para cada componente minero se determinó la calidad biológica a través del ABI (*Andean Biotic Index*) en base a la presencia de los macroinvertebrados bentónicos.

a.1 Calidad biológica

Tradicionalmente, el estado de conservación o calidad de los ecosistemas acuáticos se ha establecido mediante el análisis de la calidad del agua basado en los parámetros fisicoquímicos; sin embargo, en la actualidad se ha complementado con el método biológico mediante el uso de comunidades biológicas (Custodio *et al.*, 2017), debido a que los parámetros fisicoquímicos proporcionan información parcial y puntual; mientras que, el control biológico proporciona una visión integrada y extendida en el tiempo sobre la calidad y estado de conservación de los ambientes acuáticos, es decir, refleja las condiciones existentes tiempo atrás del muestreo (Castro y Casatti, 1997). Por ello, se determinó la calidad del agua en base a la presencia de las especies que interactúan siguiendo procesos naturales y funcionales de la comunidad (Velásquez y Vega, 2004).

Roldán (1999) define un organismo indicador cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat. A continuación, se detalla el índice ecológico que se empleó para el análisis, sobre la base de la evaluación del estado de las comunidades hidrobiológicas.

❖ Índice biótico andino (ABI)

La calidad biológica del agua se estimó a través del índice biótico *Andean Biotic Index* (ABI, por sus siglas en inglés) (Ríos-Touma *et al.*, 2014), el cual fue desarrollado para evaluar la calidad de agua de ríos alto andinos ubicados a más de 2000 m s. n. m. Este índice estima la calidad del agua atribuyendo a cada familia taxonómica presente en una muestra un valor de intolerancia (0-10) como se observa en la Tabla 6.7.

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

Tabla 6.7. Puntuación por familia de macroinvertebrados bentónicos de acuerdo con el ABI

Taxa	Puntaje	Taxa	Puntaje	Taxa	Puntaje
Helicopsychidae	10	Libellulidae	6	Baetidae	4
Calamoceratidae	10	Coenagrionidae	6	Belostomatidae	4
Odontoceridae	10	Hyalellidae	6	Dixidae	4
Anomalopsychidae	10	Turbellaria	5	Dolichopodidae	4
Leptophlebiidae	10	Ptilodactylidae	5	Stratiomyidae	4
Oligoneuridae	10	Lampyridae	5	Empididae	4
Polythoridae	10	Psephenidae	5	Hirudinea	3
Perlidae	10	Scirtidae	5	Physidae	3
Gripopterygidae	10	Elmidae	5	Hydrobiidae	3
Blepharoceridae	10	Dryopidae	5	Limnaeidae	3
Athericidae	10	Hydraenidae	5	Planorbidae	3
Leptoceridae	8	Simuliidae	5	Sphaeriidae	3
Polycentropodidae	8	Tipulidae	5	Ostracoda	3
Hydroptilidae	6	Veliidae	5	Staphylinidae	3
Xiphocentronidae	8	Gerridae	5	Gyrinidae	3
Hydrobiosidae	8	Corixidae	5	Dytiscidae	3
Gomphidae	8	Notonectidae	5	Hydrophilidae	3
Calopterygidae	8	Hydropsychidae	5	Psychodidae	3
Philopotamidae	8	Naucoridae	5	Chironomidae	2
Glossosomatidae	7	Pyrilidae	4	Culicidae	2
Leptohiphidae	7	Tabanidae	4	Muscidae	2
Limnephilidae	7	Limoniidae	4	Ephydriidae	2
Ancylidae	6	Ceratopogonidae	4	Oligochaeta	1
Aeshnidae	6	Hydracarina	4	Syrphidae	1

 Fuente: Acosta *et al.* (2009)

Luego, los valores de intolerancia hallados por todas las familias presentes en la muestra fueron sumados y se obtuvo un valor final que fue comparado con las puntuaciones de la Tabla 6.8.

Tabla 6.8. 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: Ríos-Touma *et al.* (2014)

a.2 Sensibilidad biológica

Adicionalmente, para estimar el grado de perturbación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, se recategorizan 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 3 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 2).

b) Por toda el área de estudio

b.1 Análisis multivariado

Los análisis multivariados se realizaron con la finalidad de determinar la relación entre las variables ambientales (parámetros de campo y metales en agua) y la abundancia de las comunidades hidrobiológicas; así como, determinar las asociaciones o cambios en la composición específica de los taxones de las comunidades hidrobiológicas y estos son: i) el ensamble de las microalgas del perifiton y ii) el ensamble de macroinvertebrados bentónicos.

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

Para ello, se consideró cada mes evaluado en el área de estudio, presentando para abril un total de 15 puntos y para octubre 12 puntos.

Los puntos de muestreo estuvieron distribuidos en 4 zonas, como se detalla a continuación:

Tabla 6.9. Conformación de los grupos en base a los puntos de muestreo y actividades mineras para los análisis multivariados

Zona	Punto de muestreo	Cuerpo de agua	Descripción	Grupo
Componente 1 – PAD Jessica	HB-E-1	Río Luchusani	Antes de operaciones	Cuerpo principal
	HB-EE-1	Río Luchusani	Posterior a las operaciones	Cuerpo principal
Componente 2 - botadero Jessica	HB-E-4	Q. Huarucani	Tributario	Tributario
	HB-EE-3	Río Luchusani	Aguas abajo de las operaciones	Cuerpo principal
	HB-EE-4	Río Luchusani	Aguas abajo de las operaciones	Cuerpo principal
	HB-E-5	Río Huarucani	Aguas abajo de las operaciones	Cuerpo principal
Componente 3 – botadero N°3	HB-EW-1	Q. sin nombre 2	Tributario	Tributario
	HB-SW-26	Q. sin nombre 2	Tributario	Tributario
	HB-EE-11	Río Azufrini	Antes de operaciones	Cuerpo principal
	HB-E-10	Río Azufrini	Posterior a las operaciones	Cuerpo principal
	HB-E-11	Río Pataqueña	Tributario	Tributario
Componente 4 – botadero N°1	HB-M-2	Río Chacapalca	Posterior a las operaciones	Cuerpo principal
	HB-E-41	Río Chacapalca	Posterior a las operaciones	Cuerpo principal
	HB-EE-15	Río Chacapalca	Aguas abajo de las operaciones	Cuerpo principal
	HB-E-39	Río Chacapalca	Aguas abajo de las operaciones	Cuerpo principal

(*): Puntos de muestro en tributarios de los ríos Huarucani y Azufrini

b.2 Análisis de componentes principales (PCA)

Previamente al análisis se realizó una selección de los metales totales y parámetros fisicoquímicos cumpliendo las siguientes etapas: (i) retirar los parámetros que no fueron medidos en todos los puntos de muestreo, (ii) retirar los parámetros que tuvieron todos los valores por debajo del límite de cuantificación (LCC), (iii) retirar los parámetros con más del 30 % de los valores por debajo del LCC, (iv) retirar los parámetros con coeficiente de variación menor al 30 % y (v) retirar los parámetros que no presenten una relación importante con las comunidades hidrobiológicas evaluadas, según el especialista.

Para el análisis de componentes principales (PCA) se tomaron en cuenta todos los puntos de agua superficial evaluados en ambos meses, considerando 15 puntos de muestreo para abril y 12 puntos para octubre, también se consideraron los parámetros tomados en la evaluación ambiental correspondientes a la matriz agua (pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sulfatos y metales totales). Para facilitar el análisis de estos parámetros se emplearon las siguientes abreviaciones, detalladas entre corchetes (Tabla 6.10).

Tabla 6.10. Abreviaciones de los parámetros en agua superficial empleados en el análisis de componentes principales (PCA)

Tipo	Parámetros
Agua superficial	
En campo (<i>in situ</i>)	pH, oxígeno disuelto (mg/L) [OD] y conductividad eléctrica (µS/cm) [Cond]
Fisicoquímicos y metales totales (mg/L)	Sulfatos [SO4-2] Aluminio [Al], arsénico [As], bario [Ba], bismuto [Bi], boro [B], cadmio [Cd], calcio [Ca], cobalto [Co], cobre [Cu], cromo [Cr], estroncio [Sr], fósforo [P], hierro [Fe], litio [Li], magnesio [Mg], manganeso [Mn], níquel [Ni], plomo [Pb], potasio [K], silicio [Si], sodio [Na], titanio [Ti], uranio [U], vanadio [V] y zinc [Zn].

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA), sobre las variables ambientales de los componentes de agua superficial, para encontrar patrones en el agrupamiento. También se realizó una correlación de Spearman para identificar aquellas variables que presentaron una longitud de vector igual o mayor a 0,5. Previamente, las variables ambientales fueron normalizadas y luego ordenadas en una matriz de similaridad basada en

la distancia euclidiana. Cabe resaltar que, se mantuvo el valor máximo del LCC para el análisis estadístico.

b.3 Análisis de Correspondencia canónica (ACC)

Con la finalidad de evaluar la influencia de las variables ambientales de los componentes agua superficial, sobre las comunidades de microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos, se empleó el análisis de correspondencia canónica (ACC). La data de variables ambientales fue previamente normalizada y fueron consideradas las especies más representativas de cada comunidad, siendo seleccionadas por su densidad o sensibilidad y tolerancia. Para el procedimiento del ACC se usó el programa estadístico Past (Hammer *et al.*, 2001).

6.5. Criterios de evaluación

6.5.1. Agua

Los cuerpos de agua superficiales se clasificaron dentro de la categoría 3 de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (en adelante, ECA para agua) establecido en el Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM (Tabla 6.11), según lo coordinado con la Dirección de Supervisión (Anexo 9).

Tabla 6.11. Categoría de comparación empleada para calidad de agua

Cuerpo de agua	Categoría de comparación	Normativa de comparación
Quebrada Luchusani	Categoría 3	Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM
Quebrada Huarucani		
Río Huarucani		
Río Azufrini		
Quebrada sin nombre 2		
Río Pataqueña		
Río Chacapalca	Categoría 3 (referencialmente)	Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM
Afloramiento subterráneo		
Agua subterránea (piezómetro)		

Asimismo, los resultados obtenidos de los puntos de muestreo de agua subterránea (piezómetro) y afloramientos subterráneos fueron comparados de forma referencial con la normativa mencionada (Tabla 6.11), cuyos valores se presentan en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12. Estándares de comparación para agua superficial de la categoría 3

Parámetro	Unidad	ECA para agua	
		Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM	
		Categoría 3	
		D1: Riego de cultivo de tallo alto y bajo	D2: Bebida de animales
FISICO-QUÍMICOS			
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Temperatura	°C	Δ3	Δ3
Oxígeno disuelto	mg/L	≥4	≥5
Conductividad	μS/cm	2500	5000
Bicarbonatos	mg/L	518	---
Cloruros	mg/L	500	---
Cianuro wad	mg/L	0,1	0,1
Sulfatos	mg/L	1000	1000
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	---
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cromo total	mg/L	0,1	1

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

Parámetro	Unidad	ECA para agua	
		Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM	
		Categoría 3	
		D1: Riego de cultivo de tallo alto y bajo	D2: Bebida de animales
Hierro	mg/L	5	---
Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	--	250
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Níquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Zinc	mg/L	2	24

--: Valores no contemplados en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

Respecto a, los efluentes mineros registrados, fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles aprobado mediante Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM (Tabla 6.13).

Tabla 6.13. Límites Máximos Permisibles para efluente mineros

Parámetro	Unidad	LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas Decreto Supremo N.º 010 -2010-MINAM
		Límite en cualquier momento
FISICO-QUÍMICOS		
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6 – 9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50
Cianuro total	mg/L	1
INORGÁNICOS		
Arsénico (As)	mg/L	0,1
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05
Cobre (Cu)	mg/L	0,5
Hierro disuelto (Fe)	mg/L	2
Plomo (Pb)	mg/L	0,2
Mercurio (Hg)	mg/L	0,002
Zinc (Zn)	mg/L	1,5

6.5.2. Sedimento

Debido a que no se cuenta con legislación nacional sobre estándares de calidad para sedimento, la comparación de los resultados de concentración de metales totales se realizó de manera referencial utilizando los valores de la Guía de calidad ambiental para sedimento en cuerpos de agua dulce de Canadá (*Canadian Environmental Quality Guidelines - Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater*)⁵, según lo coordinado con la Dirección de Supervisión en Energía y Minas (Anexo 9), denominada en adelante norma canadiense; que define dos valores límites:

- *Interim Sediment Quality Guidelines-ISQG* (valores guía provisional de calidad de sedimento): representa el nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos en los cuerpos de agua dulce (Tabla 6.14).
- *Probable Effect Level-PEL* (nivel de efecto probable): representa el nivel de concentración química por encima del cual usualmente o siempre está asociado a efectos biológicos adversos en los cuerpos de agua dulce (Tabla 6.14).

⁵ *Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment. Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life – Fresh water* (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos en cuerpos de agua dulce). Disponible en: http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/. Consultado el 19 de enero de 2017.

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

Tabla 6.14. Valores de comparación para la calidad de sedimento de aguas continentales

Normativa	Parámetro	Unidad	Valor ISQG	Valor PEL
<i>Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life</i>	Arsénico	mg/kg MS	5,9	17
	Cadmio	mg/kg MS	0,6	3,5
	Cobre	mg/kg MS	35,7	197
	Cromo	mg/kg MS	37,3	90
	Mercurio	mg/kg MS	0,17	0,486
	Plomo	mg/kg MS	35	91,3
	Zinc	mg/kg MS	123	315

Fuente: Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME, por sus siglas en inglés)

PEL: Nivel de efecto probable.

ISQG: Nivel por debajo del cual no se espera efectos biológicos adversos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con la finalidad de mejorar la interpretación y el análisis de los resultados de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas, de octubre 2019, el estudio se dividió en 2 zonas correspondientes a las microcuencas Huarucani y Chacapalca, las cuales se detallan a continuación:

- Zona 1 - Microcuenca Huarucani: conformada por las quebradas Luchusani (E-1, EE-1, EE-3 y EE-4) y Huarucani (E-4), el río Huarucani (E-5), agua subterránea (piezómetro PZ-1), afloramientos subterráneos (SW-08, SW-09, SW-10 y EE-2) y el efluente minero V-J. Asimismo, en esta zona se encuentran el PAD de lixiviación y botadero Jessica.
- Zona 2 - Microcuenca Chacapalca: conformada por las quebradas sin nombre 2 (EW-4, EW-1 y SW-26), los ríos Azufrini (EE-11 y E-10), Pataqueña (E-11) y Chacapalca (M-1, M-2, E-41, EE-14, EE-15 y E-39), y el efluente minero V-1. En esta zona se encuentran los botaderos N.º 1 y 3.

Cabe señalar que, los resultados de agua y sedimento de abril 2019 y los de agua de junio 2019, se detallan en los informes N.º 0147-2019-OEFA/DEAM-STEC y N.º 0202-2019-OEFA/DEAM-STEC respectivamente. Respecto a las comunidades hidrobiológicas, en el presente informe se detallan los resultados de abril y octubre 2019.

Los resultados de los parámetros evaluados en la vigilancia ambiental, realizada en octubre (2019), se muestran en el Anexo 8. A continuación, se presentan solamente los resultados de los parámetros que superaron los ECA para agua 2015, categoría 3 (Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM) para los cuerpos de agua superficial; siendo referencial la comparación para los afloramientos subterráneos y agua subterránea (piezómetro). Los efluentes minero metalúrgicos fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM).

Asimismo, en el Anexo 8 se presenta los resultados de las comunidades hidrobiológicas y de sedimento, los cuales fueron comparados de manera referencial con los valores de la guía de calidad ambiental para sedimento en cuerpos de agua dulce de Canadá (*Canadian Environmental Quality Guidelines - Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater* en adelante norma canadiense. A continuación, se presentan los resultados de los parámetros que superaron la norma mencionada.

7.1. Zona 1 – Microcuenca Huarucani

7.1.1. PAD Jessica

Los afloramientos evaluados presentaron pH ácido y concentraciones de aluminio, manganeso (SW-08, SW-09 y SW-10); cobalto, hierro (SW-08, SW-10), cobre y cianuro wad (SW-10) que superaron referencialmente los ECA para agua 2015, categoría 3 (Figuras 7.2A, 7.6A, 7.4C, 7.6G, 7.4B, 7.6I y 7.2D respectivamente) y a la fecha de la evaluación se encontraron colectadas en pozas impermeabilizadas con geomembrana; sin

embargo, se observó filtraciones de aguas ácidas por debajo de la geomembrana de la poza de subdrenaje N.º 3 (SW-10) cuyo flujo llega a la quebrada Luchusani (Figura 7.1).

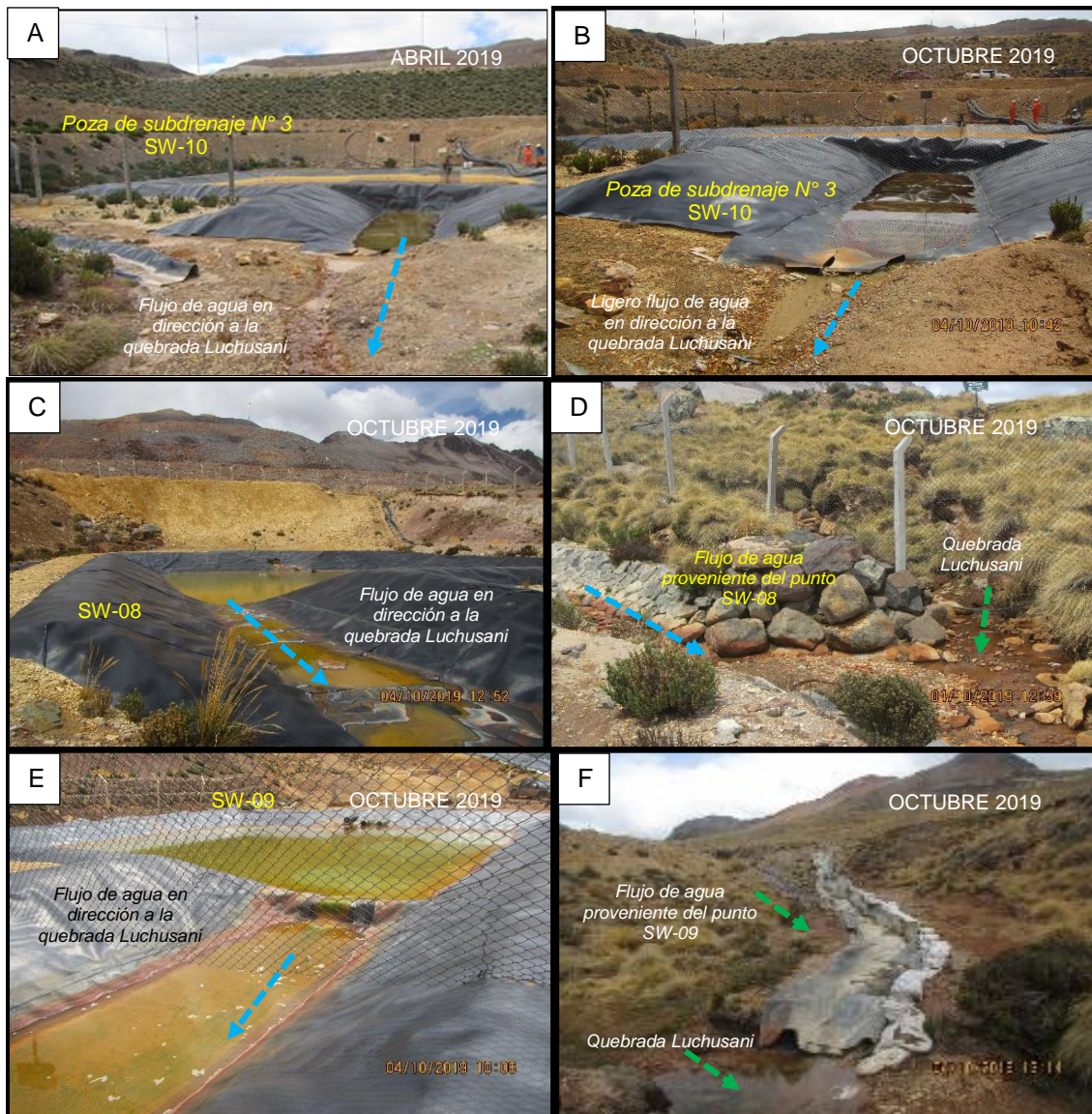


Figura 7.1. Flujo de agua proveniente de los afloramientos no captados del punto SW-10 en A) abril 2019 y B) octubre 2019; y en octubre 2019, flujo de agua de C) SW-08 y E) SW-09 y su llegada a la D) y F) quebrada Luchusani respectivamente

Los afloramientos mencionados afectan la quebrada Luchusani, debido a que el pH ácido se encontró por debajo del rango y las concentraciones de aluminio y manganeso superaron los ECA para agua 2015, categoría 3, en ambos puntos (EE-1 y E-1) en octubre 2019. Estos parámetros, así como, la conductividad eléctrica y las concentraciones de sulfatos y cianuro wad, se incrementaron aguas abajo (EE-1) de los afloramientos parcialmente captados provenientes del PAD Jessica (SW-08, SW-09 y SW-10), en comparación con el punto E-1, ubicado aguas arriba (Figuras 7.2A, 7.4A, 7.4C, 7.2B, 7.2C y 7.4D respectivamente). Las actividades mineras operativas, inoperativas o abandonadas, pueden generar flujos de aguas ácidas debido a la oxidación de minerales ricos en sulfuros, el más común de ellos es la pirita (FeS_2), producto de la exposición de estos minerales al agua, oxígeno y bacterias (Simate & Ndlovu, 2014). Estas aguas con pH ácidos pueden disolver parcialmente los metales presentes en las rocas, incrementando las concentraciones de metales tóxicos y produciendo un impacto perjudicial sobre la vida acuática y los ecosistemas (Simate *et al.*, 2014).

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

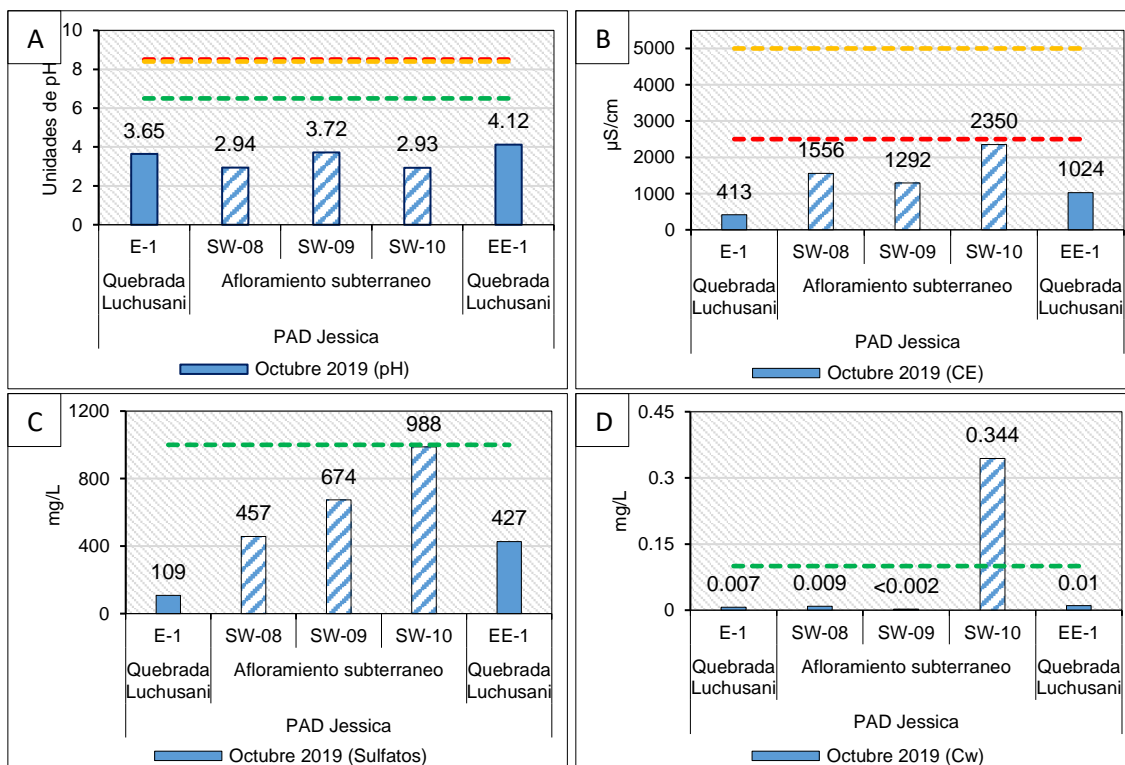


Figura 7.2. Valor de A) pH y B) conductividad eléctrica, y concentración de C) sulfatos y D) cianuro wad – Cw en la quebrada Luchusani y afloramientos captados. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

Al comparar los resultados de las evaluaciones realizadas con la data histórica, se observa que, las concentraciones de aluminio, hierro, manganeso (Figuras 7.4), entre otros (Anexo 8) fueron mayores en el punto EE-1 en comparación con E-1; mientras que, el pH disminuyó (excepto en octubre 2019). La variación del pH en el punto E-1, correspondería a una variación estacional, ya que el administrado⁶ también reportó características ácidas en este punto en meses próximos a octubre (Figura 7.3).

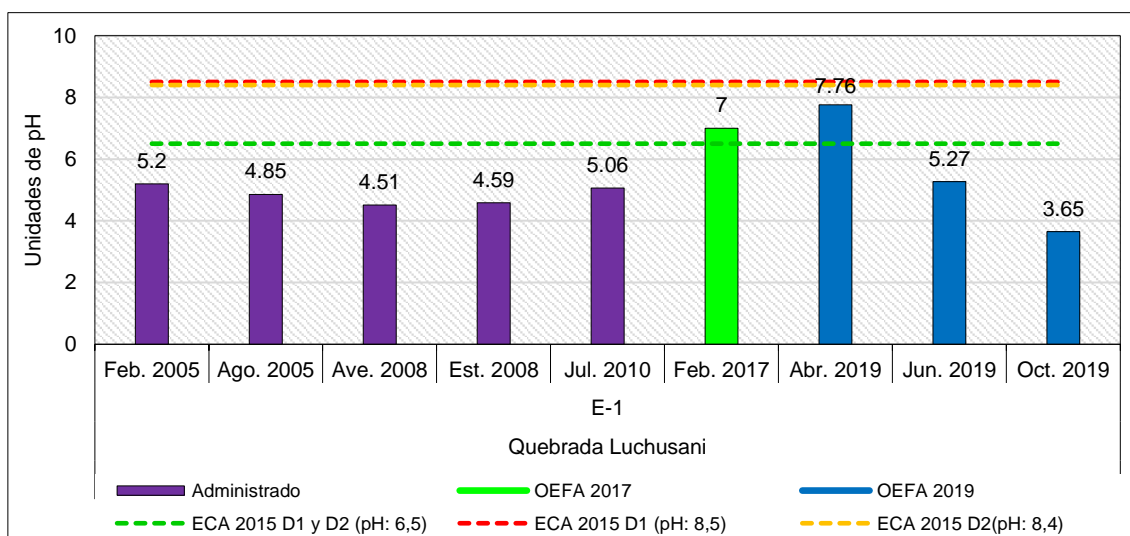


Figura 7.3. Comportamiento de los parámetros de campo y sulfatos en la quebrada Luchusani y afloramientos captados. Ave: avenida, Est: estiaje

⁶ Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Explotación y Beneficio Arasi. Modificación del estudio de impacto ambiental de Arasi por ampliación de nuevas áreas. Segunda modificación del EIA del proyecto de explotación y beneficio Arasi.



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

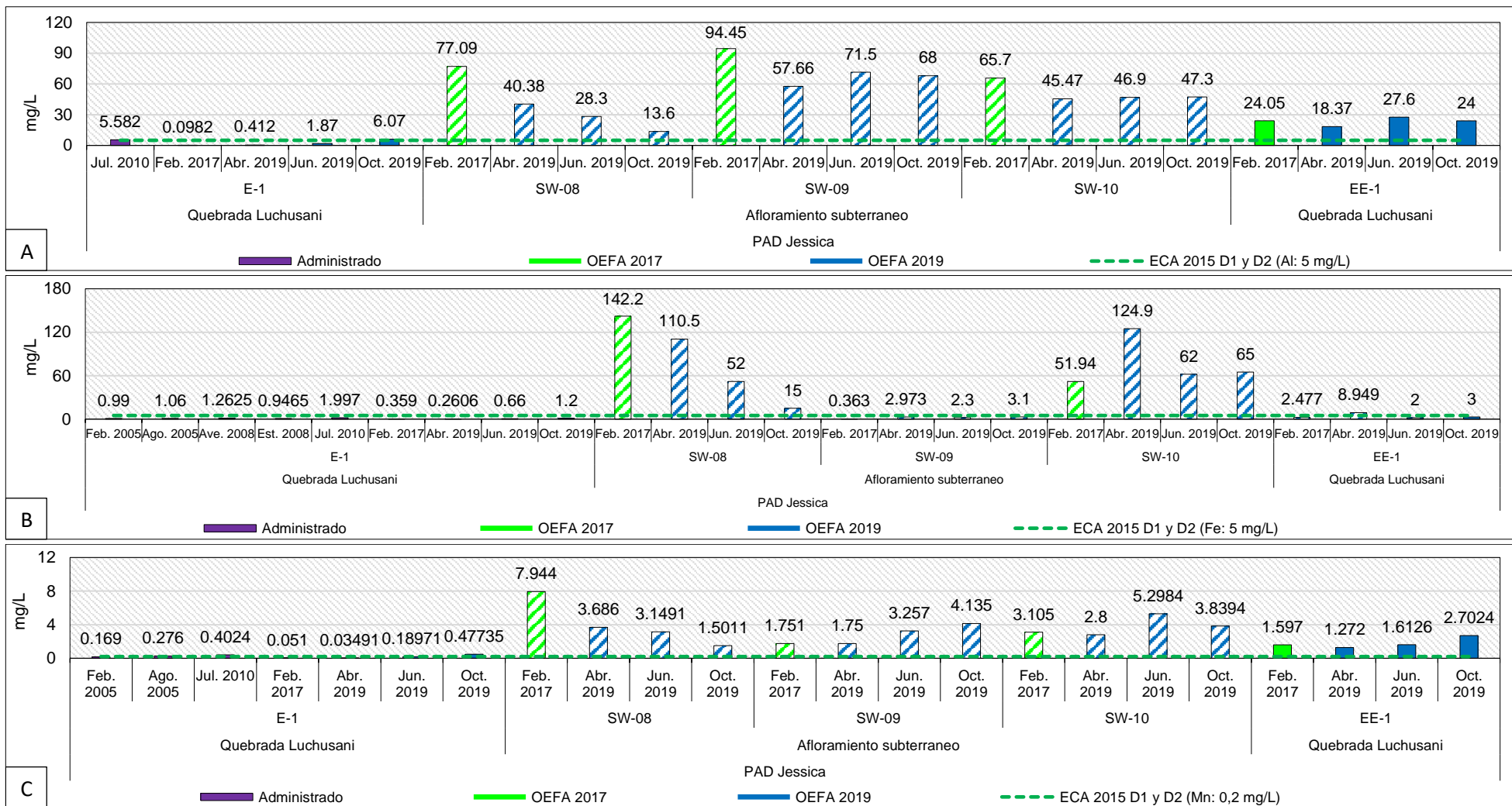


Figura 7.4. Comparación de concentración de A) aluminio, B) hierro y C) manganeso en la quebrada Luchusani y en los afloramientos captados (2019) con lo reportado en la data histórica (2005, 2010 y 2017)

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

Asimismo, en el punto EE-1 se observa la disminución de parámetros que superaron los ECA para agua 2015, de 4 en febrero 2017 a 3 en octubre 2019 (Figura 7.5). Además, el pH, aluminio y hierro presentaron un comportamiento variable en este punto en las evaluaciones realizadas entre 2017 y 2019, mientras que, el manganeso se incrementó en octubre 2019 (Figuras 7.3 y 7.4).

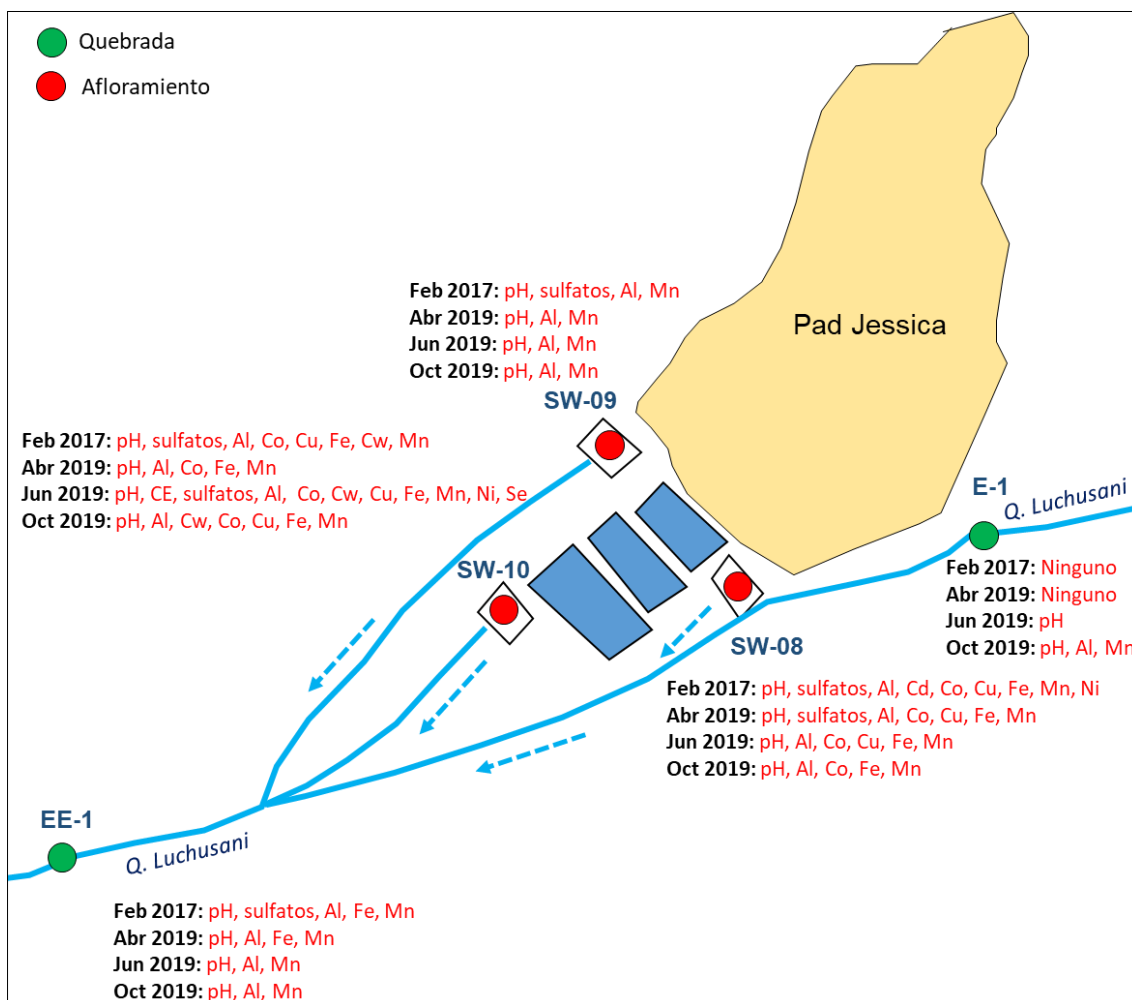


Figura 7.5. Parámetros que superaron los ECA para agua 2015, categoría 3, en la quebrada Luchusani y afloramientos

Respecto al sedimento, la concentración de cadmio y cobre en los puntos evaluados aguas abajo de los afloramientos captados del PAD (SED-EE-1 y SED-EE-3) superaron el nivel ISQG de la normativa canadiense (Figuras 7.6F y 7.6J respectivamente); mientras que, las concentraciones de arsénico, cadmio y cobre (SED-EE-3) a pesar de superar los valores PEL de la norma mencionada, no influyeron en la calidad del agua (Figuras 7.6 D, 7.6F y 7.6J respectivamente).

Además, el sedimento de estos puntos presentó concentraciones de aluminio (11 181 mg/kg y 11 321 mg/kg), hierro (54 128 mg/kg y 70 252 mg/kg) y manganeso (189 mg/kg y 134,1 mg/kg) que estarían influyendo en la calidad del agua debido a que se encuentran en un medio ácido (Figuras 7.6B, 7.7E y 7.7F respectivamente). Cabe resaltar que, los parámetros antes mencionados no cuentan con un estándar en la norma canadiense.

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

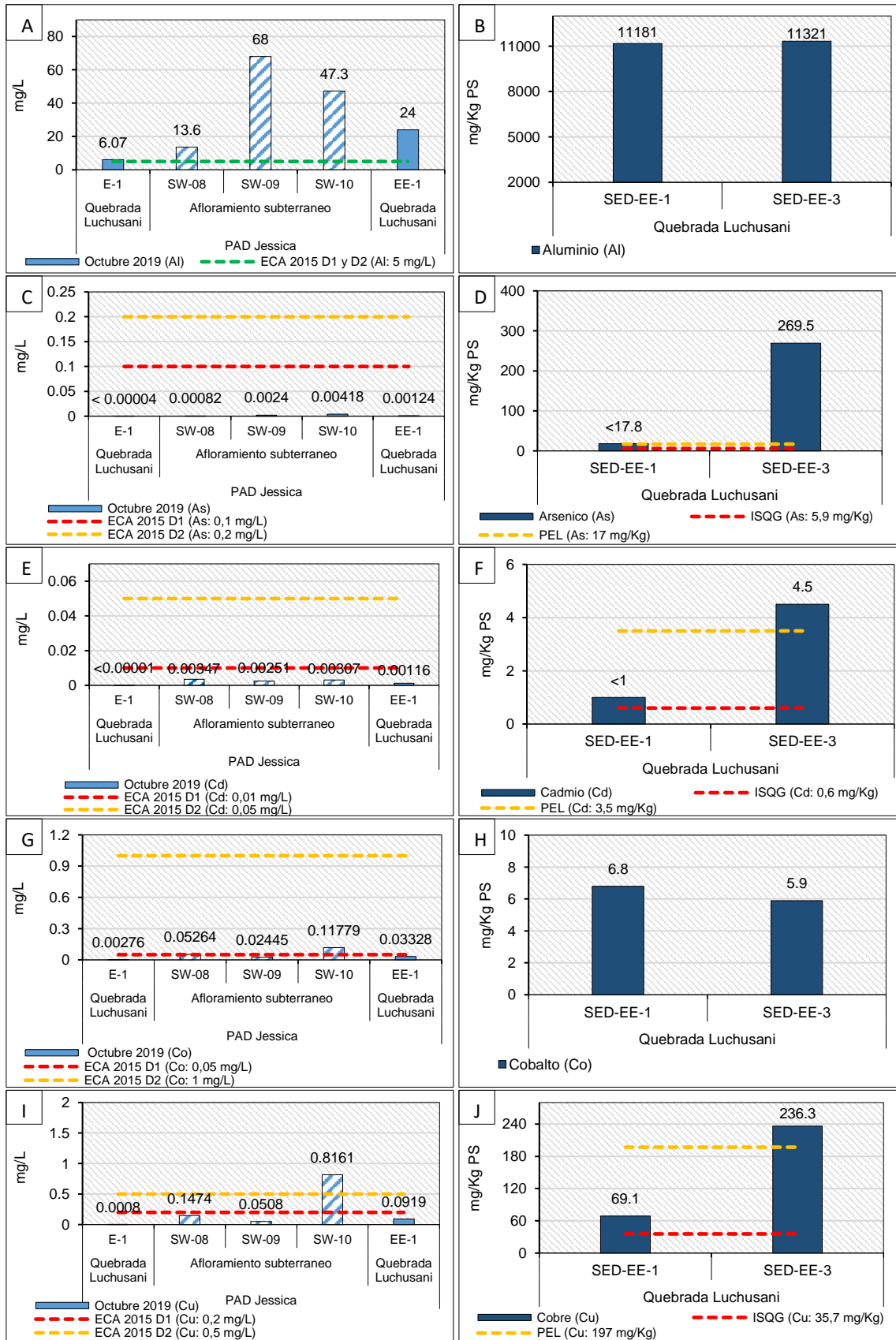


Figura 7.6. Concentración de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto y cobre en agua (A, C, E, G e I respectivamente) y sedimento (B, D, F, H y J respectivamente) en la quebrada Luchusani y afloramientos captados.

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas o flechas representan los afloramientos

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

Al comparar los puntos aguas abajo del PAD Jessica (SED-EE-1 y SED-EE-3), en los meses de abril y octubre 2019, se observó que las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobre y hierro se incrementaron en SED-EE-3, a excepción del manganeso que disminuyó. Asimismo, se observa el incremento en la concentración de cobre, cobalto y hierro en octubre en comparación con abril 2019 (Figura 7.7 y Anexo 8).

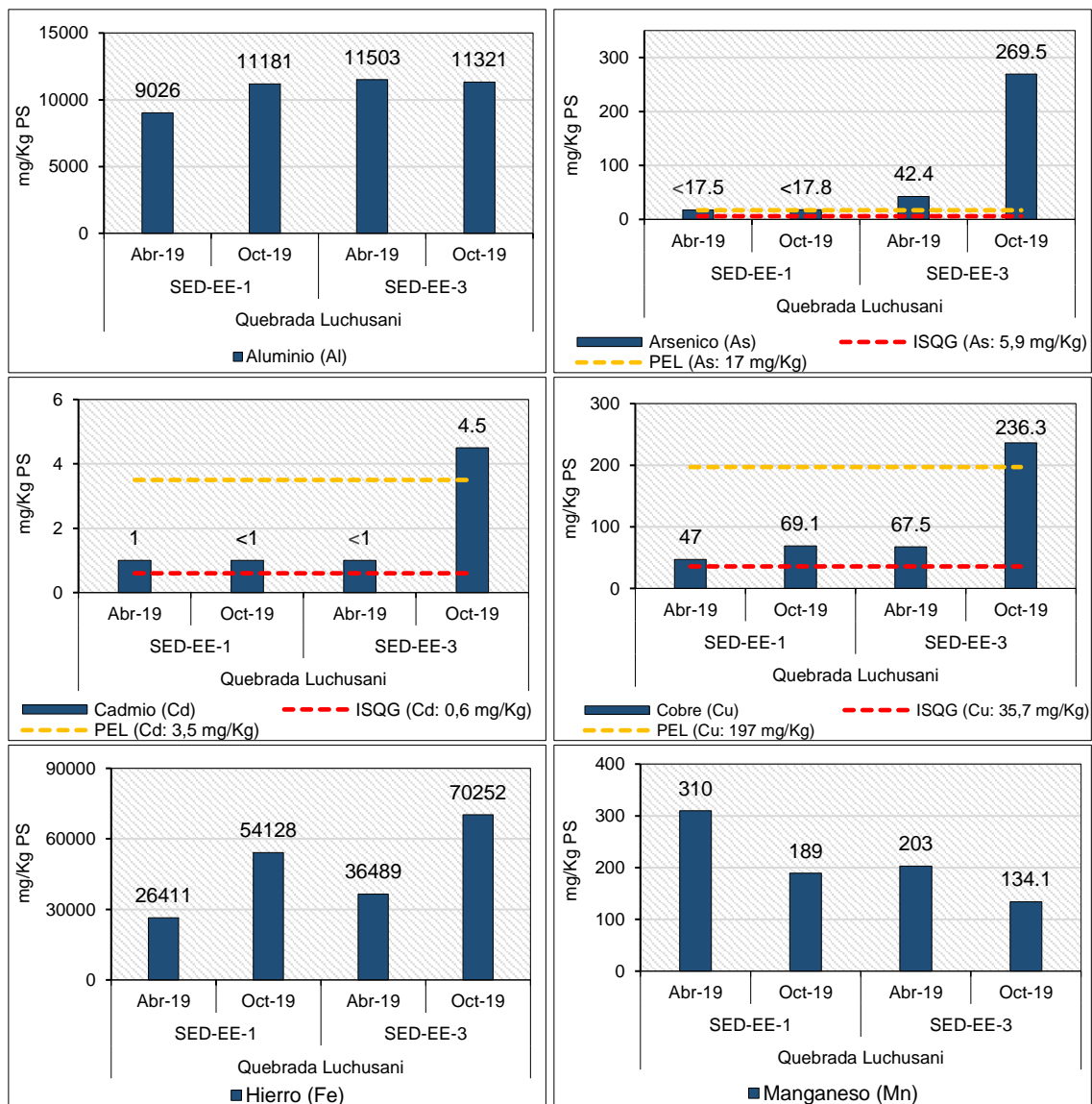


Figura 7.7. Comparación del aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro y manganeso en los puntos SED-EE-1 y SED-EE-3

El pH ácido y las mayores concentraciones de metales registrados en el punto aguas abajo (HB-EE-1) de los afloramientos captados, respecto al punto aguas arriba (HB-E-1), concuerdan con lo reportado por el índice biótico andino (ABI), ya que el punto HB-EE-1 presentó una calidad biológica pésima en abril 2019 y octubre 2019 (Tabla 7.1), explicado por la baja riqueza y densidad registrada, y por la presencia de especies tolerantes y facultativas en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.9), como por ejemplo especies de la familia Chironomidae (Ej. *Podonomus* sp.), las cuales se han descrito como tolerantes a la exposición de metales pesados (Loayza-Muro *et al.*, 2014).

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

Tabla 7.1. Resultados de la calidad biológica

Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Mes	Calidad Biológica (ABI)
Quebrada Luchusani	HB-E-1	Abril	Moderada (34)
		Octubre	Mala (22)
	HB-EE-1	Abril	Pésima (7)
		Octubre	Pésima (5)

Por el contrario, el punto de muestreo HB-E-1, ubicado aguas arriba de los afloramientos provenientes del PAD Jessica, reportó una calidad biológica de moderada en abril 2019 a mala en octubre 2019 (Tabla 7.1), debido principalmente a la disminución del caudal (Figura 7.8); sin embargo, en ambos meses se registro al género *Claudioperla*, perteneciente a la familia Gripopterygidae, que requiere buena calidad de agua para su desarrollo, especialmente con suficiente oxígeno disuelto disponible (Roldán, 1996; Beeckman, 2017), por lo que se le considera como un taxón sensible (Figura 7.9).

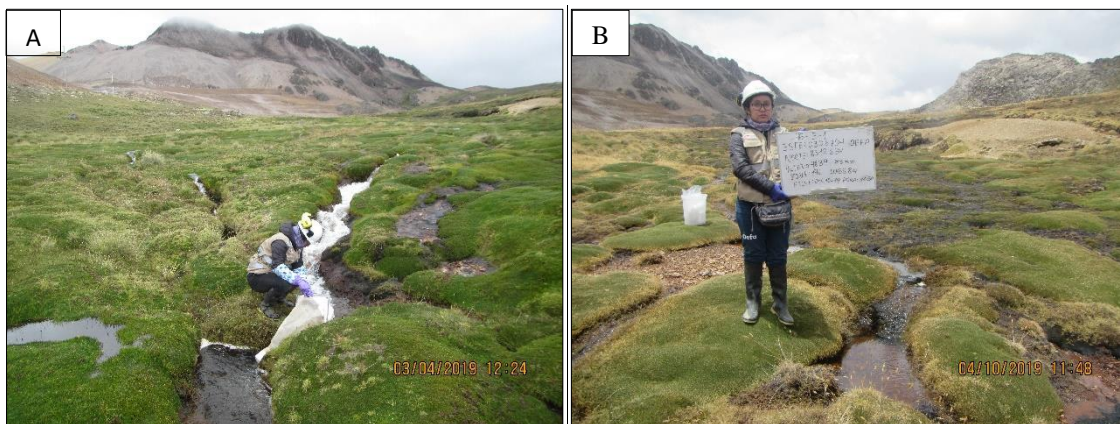


Figura 7.8. Punto de muestreo HB-E-1 en A) abril 2019 y B) octubre 2019, mostrando la disminución del caudal

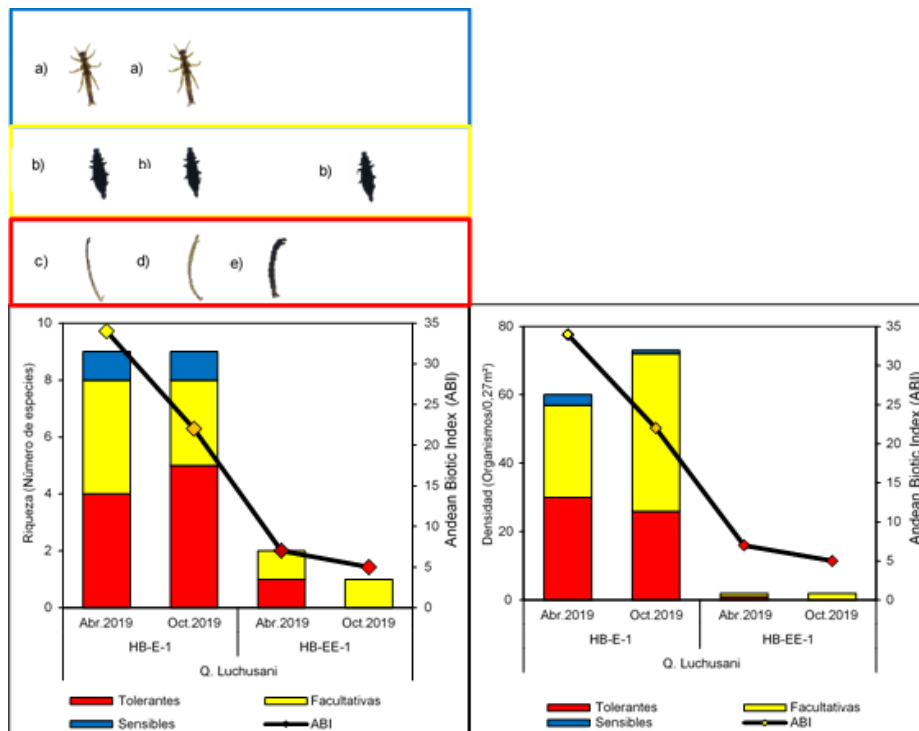


Figura 7.9. Riqueza, densidad y ABI de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrados en la quebrada Luchusani, para las categorías sensibles, facultativas y tolerantes-. Donde: a) *Claudioperla* sp., b) *Austrelmis* sp., c) *Cricotopus* sp., d) *Alotanypus* sp. y e) *Podonomus* sp.

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

Similar comportamiento presentó la comunidad de microalgas en HB-EE-1 (aguas abajo de los afloramientos), donde se registró la disminución de la riqueza y densidad de organismos (Figura 7.10) y la dominancia del taxón *Leptolyngbya* sp., que es una especie tolerante reportada en zonas mineras contaminadas con hierro (Hong *et al.*, 2015).

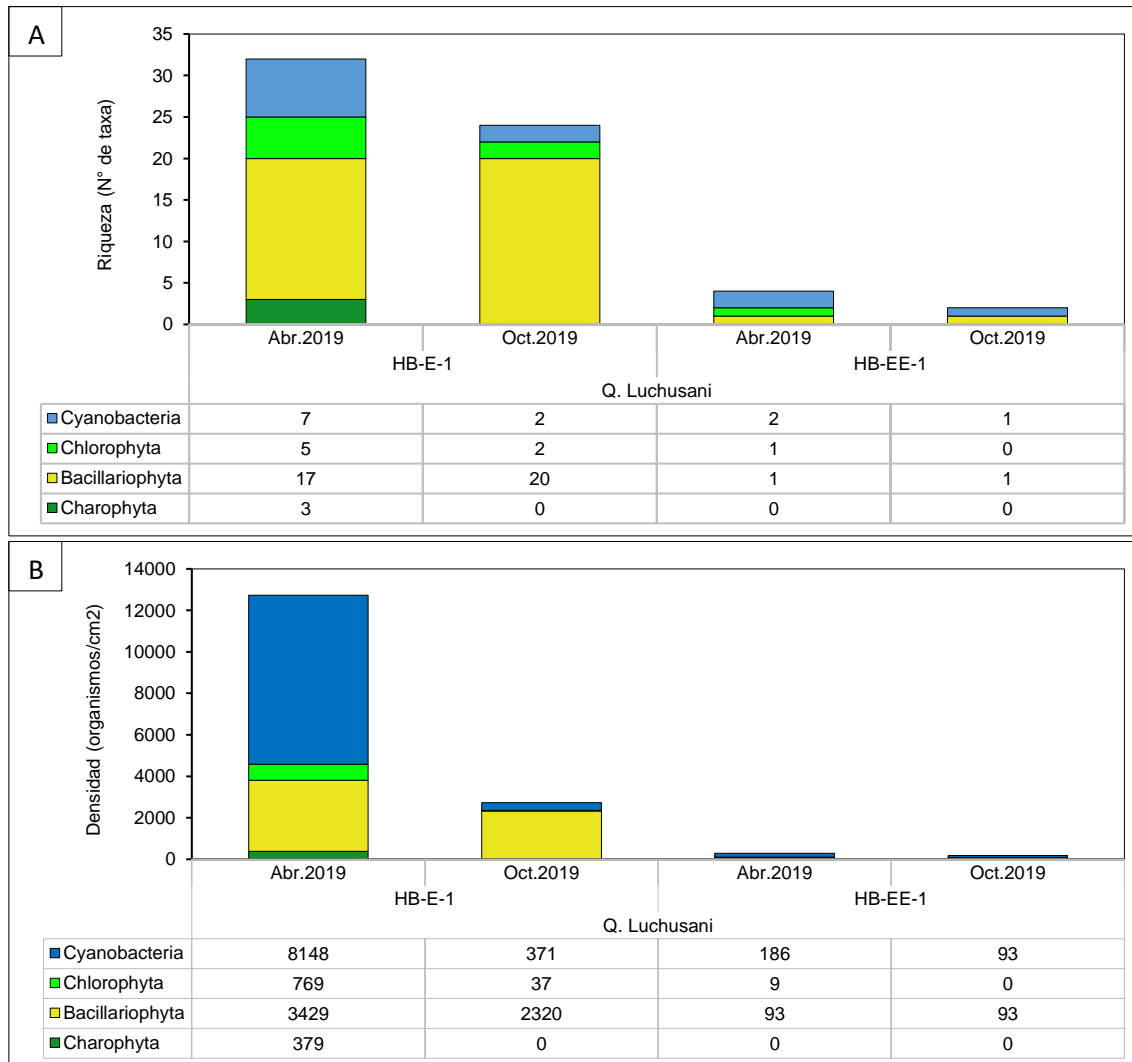


Figura 7.10. A) Riqueza y B) densidad de microalgas por phylum en los puntos de muestreo evaluados en la quebrada Luchusani

Estos resultados son consistentes con lo observado en el análisis de componentes principales (PCA), ya que se registró una asociación directa entre el punto HB-EE-1 y los metales cobre, cobalto, zinc y manganeso (Figuras 7.49 y 7.50); mientras que, el análisis de correspondencia canónica (ACC) identificó una moderada correlación entre este punto y las concentraciones de aluminio, manganeso, fósforo, entre otros, en octubre 2019; estando asociados también a *Achnanthes* (Tabla 7.7), género presente en condiciones eutróficas (Gutowski & Foerster, 2009). Caso similar sucede con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, donde se destaca la asociación entre *Podonomus* y aluminio en abril 2019 (Tabla 7.8 y Figura 7.53).

Por lo tanto, el incremento en la concentración de metales, la variación del pH y la disminución de la riqueza y densidad de las comunidades hidrobiológicas en ambos meses; así como, la ausencia de especies sensibles en el punto HB-EE-1 (aguas abajo del PAD Jessica), confirman la afectación de la quebrada Luchusani por los afloramientos no captados que llegan a esta quebrada.

7.1.2. Botadero Jessica

El afloramiento EE-2 presentó valores de conductividad eléctrica y concentraciones de sulfatos y cromo (Figuras 7.13B, 7.13C y 7.18E respectivamente) que superaron referencialmente los ECA para agua 2015 (categoría 3); asimismo, el afloramiento mencionado y el agua subterránea proveniente del piezómetro (PZ-01) presentaron pH ácido por debajo del rango y concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel (Figuras 7.13A, 7.17A, 7.17C, 7.17E, 7.18A, 7.18C, 7.19A, 7.19C, 7.19E respectivamente) que superaron referencialmente la normativa señalada.

Asimismo, durante la vigilancia ambiental se observó afloramientos de aguas ácidas en la parte baja del botadero Jessica, que fueron parcialmente colectados en pozas impermeabilizadas con geomembrana y que parte de los afloramientos que no fueron captados llegaron a la quebrada Luchusani (Figura 7.11F).



Figura 7.11. Filtración en el suelo de la surgencia del piezómetro (PZ-1) en A) abril 2019 y captado en B) octubre 2019, flujo de agua en dirección a EE-2 en C) junio 2019 y D) octubre 2019, filtración de aguas ácidas en el suelo en E) octubre 2019; y descarga de parte de los afloramientos ácidos (EE-3A), que no fueron captados, a la quebrada Luchusani en F) octubre 2019

Cabe resaltar que, en octubre 2019, el efluente V-J no presentó flujo, mientras que en abril y junio 2019 sí presentó (Figura 7.12 y Anexos 11 y 12).

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

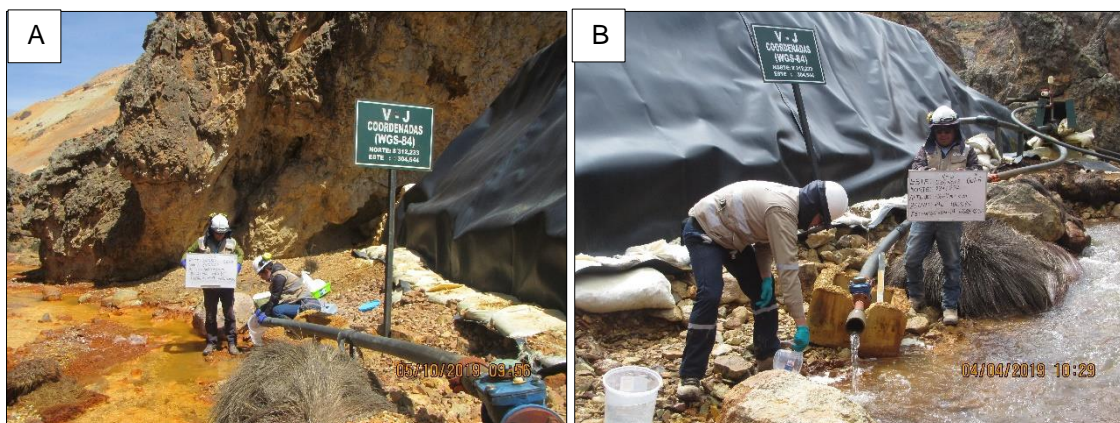


Figura 7.12. Efluente V-J sin flujo en A) octubre 2019 y con flujo en B) abril 2019

Por lo descrito, los afloramientos no captados en esta zona afectan la quebrada Luchusani, debido a que aguas abajo (EE-4) del afloramiento EE-2 y del piezómetro PZ-1, las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel se incrementaron y superaron los ECA para agua 2015 (categoría 3) en ambos puntos (EE-3 y EE-4), a excepción de los sulfatos que se incrementaron y superaron la norma mencionada solo en el punto EE-4 (Figuras 7.17A, 7.17C, 7.17E, 7.18A, 7.18C, 7.19A, 7.19C, 7.19E respectivamente); mientras que, el pH disminuyó ligeramente de 3,49 a 3,23 unidades (Figura 7.13A).

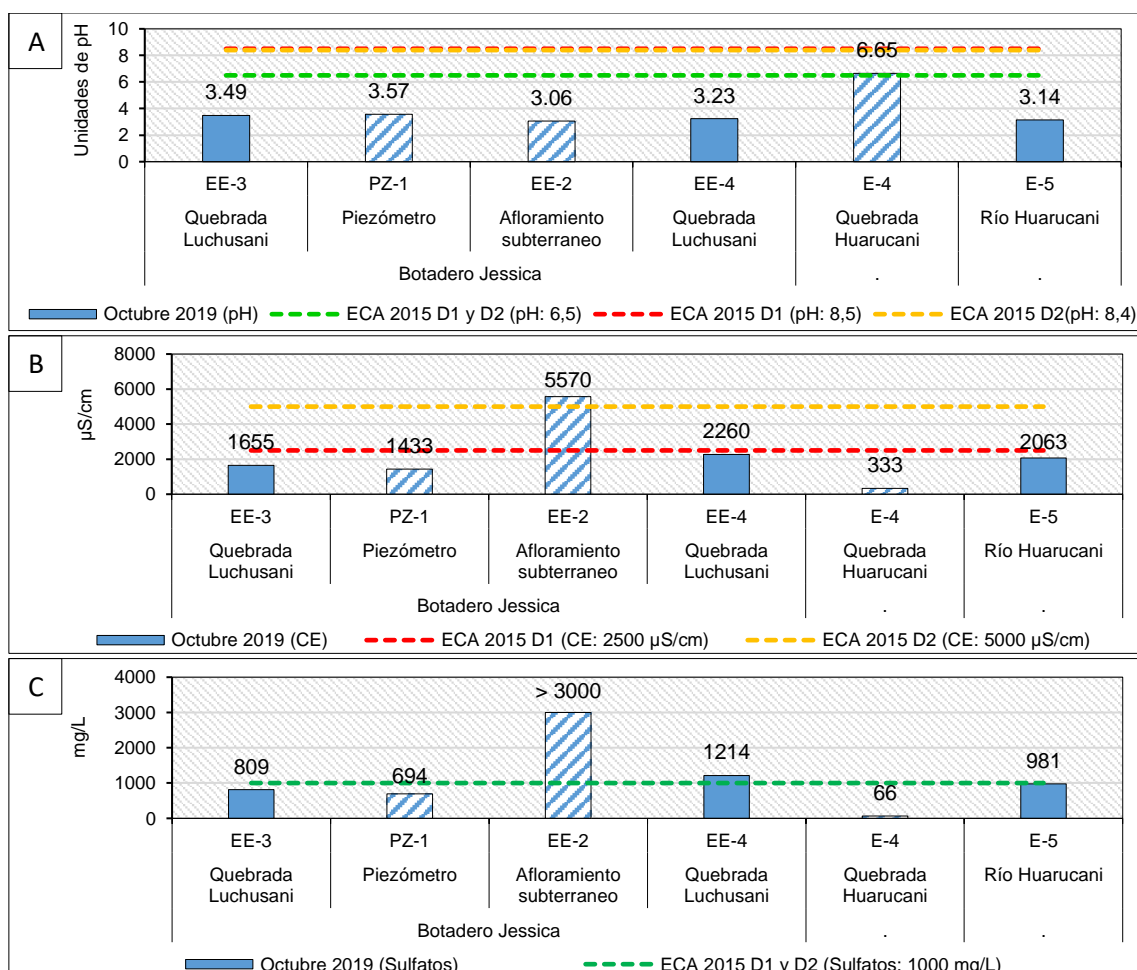


Figura 7.13. Valor de A) pH y B) conductividad eléctrica, y concentración de C) sulfatos en la quebrada Luchusani y tributarios

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

Asimismo, en el río Huarucani (E-5), formado por la confluencia de la quebrada Luchusani con la quebrada Huarucani, las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, hierro, manganeso y níquel disminuyeron en comparación con el punto EE-4, ubicado aguas arriba (quebrada Luchusani); sin embargo, continúan superando los ECA para agua 2015, categoría 3 (Figuras 7.17A, 7.17C, 7.17E, 7.18A, 7.11E, 7.19A, 7.19C, 7.19E respectivamente); a excepción de la concentración del cobre que aumentó ligeramente (Figura 7.18C). Los valores de pH también disminuyeron y se encontraron por debajo del rango de la norma mencionada (Figura 7.13A).

En la quebrada Huarucani (E-4), el pH se encontró cercano a la neutralidad (Figura 7.13A), con concentración de oxígeno disuelto de 6,02 mg/L (Anexo 4) y todos los metales evaluados fueron menores a los ECA para agua 2015 (Figuras 7.17, 7.18 y 7.19) a excepción del manganeso que superó en abril 2019 y octubre 2019 (Figura 7.19C y Anexo 8). Respecto al sedimento, las concentraciones de metales no superaron referencialmente los valores ISQG de la norma canadiense (Figuras 7.17, 7.18 y 7.19).

Al comparar los resultados de la presente evaluación con la data histórica, la quebrada Luchusani (EE-3) se caracterizó por ser ácida; sin embargo, aguas abajo (EE-4) de la poza de captación, que colecta los afloramientos (EE-2) y la surgencia afectada (PZ-1); así como, el efluente minero proveniente del botadero Jessica (V-J) se registraron características aún más ácidas en febrero 2017, junio 2019 y octubre 2019; mientras que, la conductividad y sulfatos se incrementaron, pero luego del aporte de la quebrada Huarucani (E-4) se observa un ligero incremento del pH y disminución de sulfatos y conductividad eléctrica en los meses evaluados, a excepción del pH en el octubre 2019 (Figura 7.14).

Asimismo, se resalta el progresivo incremento de las concentraciones de cobre (Figura 7.15B) y hierro (Figura 7.15C), manganeso, cadmio, cobalto y níquel (Anexo 8) en el agua subterránea del punto PZ-1 (piezómetro), desde 2011 hasta 2019, a excepción del aluminio que presentó un comportamiento variable (Figura 7.15A). De esta manera se evidencia la alteración del agua subterránea por el botadero Jessica.

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

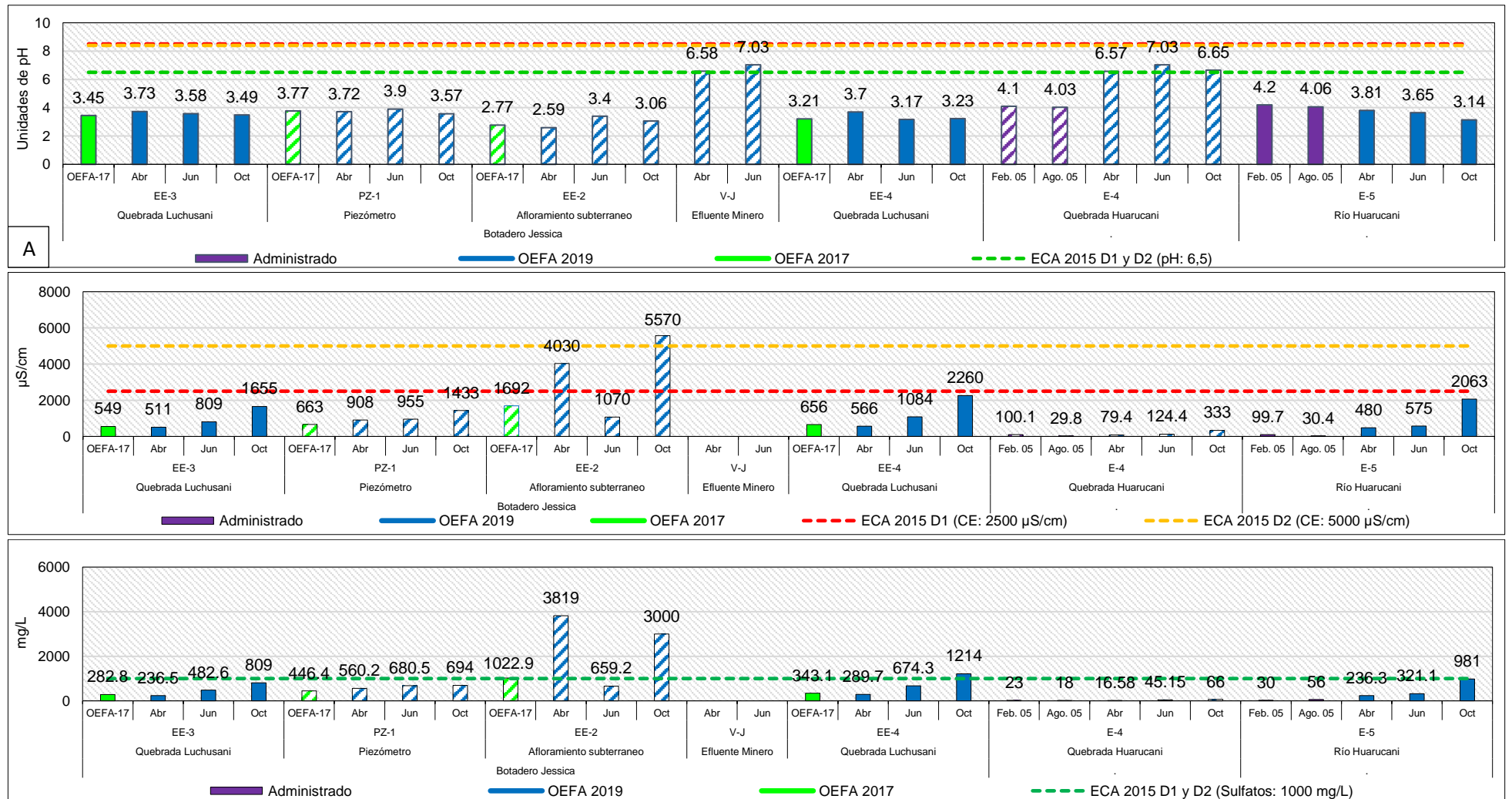


Figura 7.14. Comparación de valor de A) pH y B) conductividad eléctrica, y concentración de C) sulfatos en la quebrada Luchusani y tributarios (2019) con lo reportado en la data histórica (2017, 2008, 2010 y 2005)

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

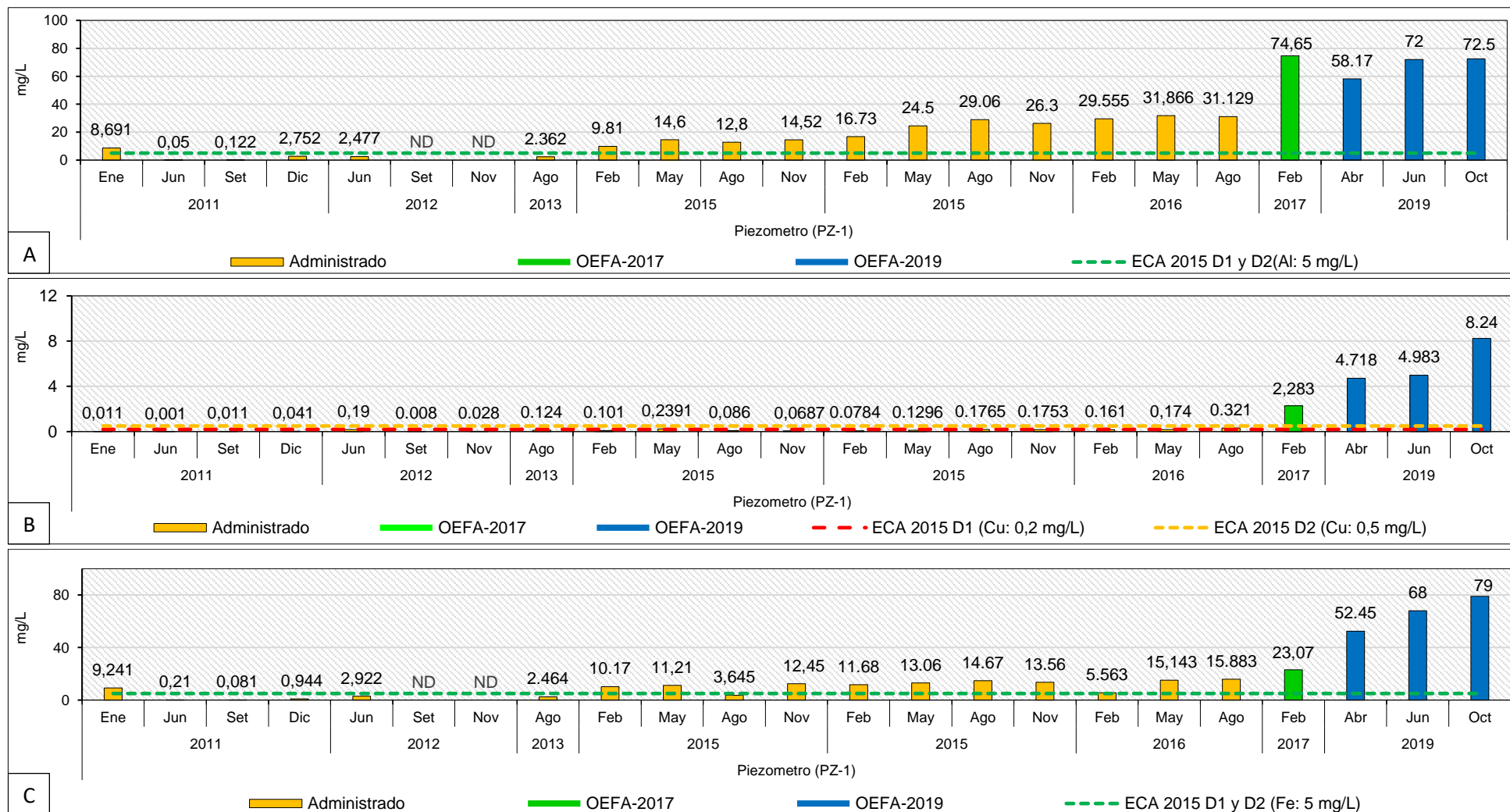


Figura 7.15. Concentración histórica de A) aluminio, B) cobre y C) hierro en el agua subterránea (PZ-1)

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

Asimismo, en el punto EE-4 se observa el aumento de parámetros (que se encuentran por debajo del rango o superan los ECA para agua 2015) de 8 en febrero 2017 a 10 en octubre 2019; además, en el río Huarucani (E-5), luego del aporte de la quebrada Huarucani también se registró un aumento del número de parámetros de 7 en abril 2017 a 9 en octubre 2019 (Figura 7.16).

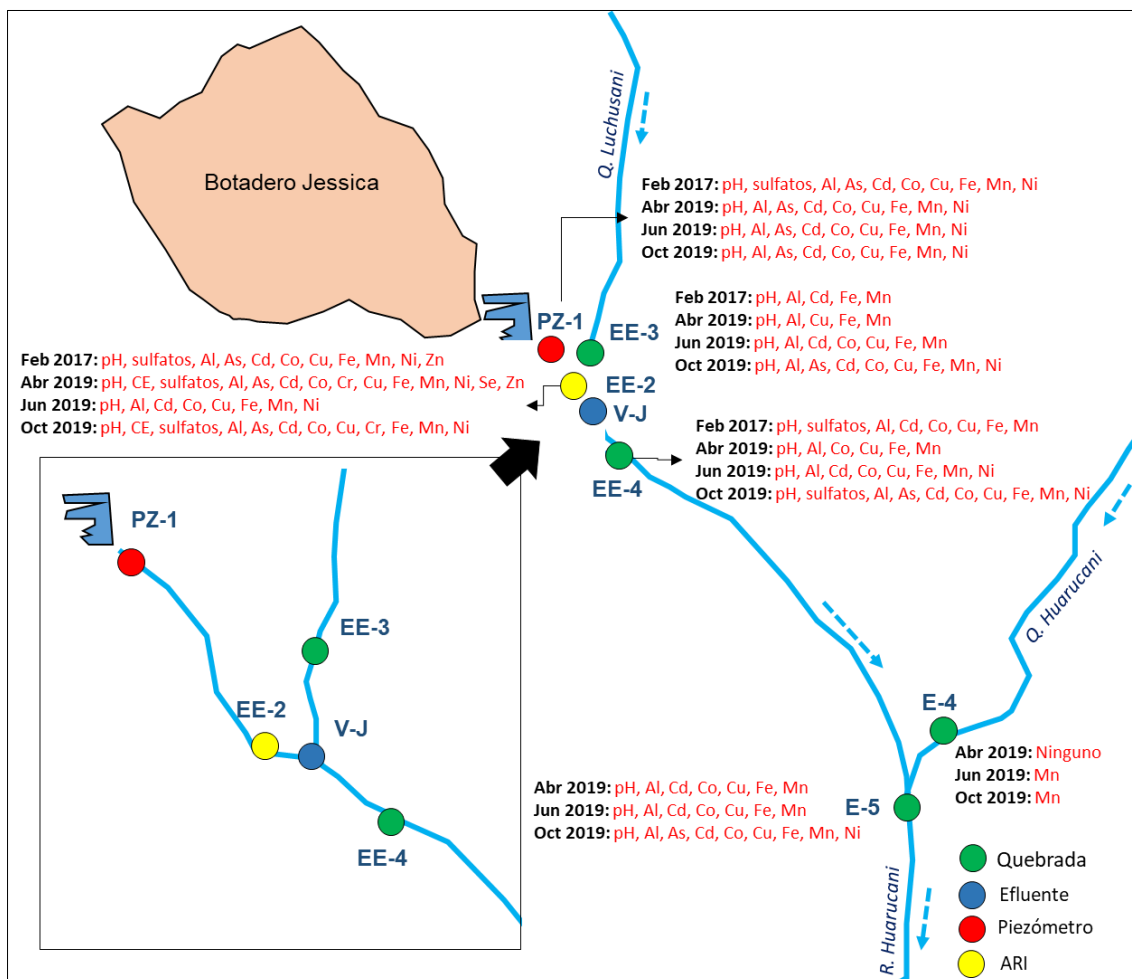


Figura 7.16. Parámetros que superaron los ECA para agua 2015, categoría 3, en las quebradas Luchusani, Huarucani y río Huarucani, afloramientos y agua subterránea

Respecto al sedimento, en octubre 2019, las concentraciones de arsénico y cadmio se incrementaron aguas abajo del botadero Jessica, excepto el cobre. Cabe indicar que, las concentraciones de arsénico, cadmio y cobre superaron el nivel PEL de la norma canadiense en los puntos evaluados aguas arriba (SED-EE-3) y aguas abajo (SED-EE-4) de este botadero (Figuras 7.17D, 7.17F y 7.18D respectivamente). Asimismo, presentaron disminución de aluminio (de 11321mg/kg a 10 347 mg/kg), manganeso (de 134,1 mg/kg a 123,7 mg/kg) e incremento del hierro (de 70252 mg/kg a 94144 mg/kg). Estos metales influyen en la calidad del agua debido a que se encuentran en un medio ácido (Figuras 7.17B, 7.19D y 7.19B). Los metales registrados en el sedimento del punto SED-EE-4, en octubre 2019, fueron mayores a lo registrado en abril 2019, a excepción de manganeso y aluminio (Figura 7.20). En la evaluación de la DEAM (informe N.º 054-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME) se ha reportado la presencia de arsénico en agua (afloramientos subterráneos) asociado principalmente a sólidos en suspensión, evidenciado la mayor parte del arsénico se encuentra en suspensión. Esto explicaría la razón de las elevadas concentraciones de arsénico en los sedimentos de la quebrada Luchusani, aguas abajo del tajo y botadero Jessica, en comparación a los puntos aguas arriba de estos componentes mineros.

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

Por otra parte, se observa el incremento de las concentraciones de arsénico, cadmio, hierro y manganeso en el punto SED-E-5 (Figuras 7.20B, 7.20C, 7.20E y 7.20F respectivamente); a excepción del aluminio y cobre (Figuras 7.20A y 7.20D respectivamente) en comparación con el punto SED-EE-4. La concentración de arsénico, cadmio y cobre superaron el valor PEL (ambos puntos) y el cromo el valor ISQG (solo en el punto SED-E-5) de la norma canadiense. Los metales registrados en el sedimento del punto SED-E-5 en octubre 2019 fueron mayores a lo registrado en abril 2019 a excepción del aluminio y manganeso (Figuras 7.20A y 7.20F respectivamente).

En resumen, el botadero Jessica está compuesto por material de desmonte con abundancia de metales como arsénico, bario y hierro, y en menor proporción de molibdeno, estaño, cromo, fósforo, boro y plomo. Así también, este material es generador de acidez, lo cual permite la liberación de metales, esto corroborado con la prueba de Tessier, la que indica que metales como el níquel, manganeso, cobalto, cobre y zinc se encuentran biodisponibles; de igual forma, la prueba de lixiviación indica que metales como: aluminio, hierro, bario, cobre y zinc, tienen mayor tendencia a lixivarse que otros elementos⁷.

⁷

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

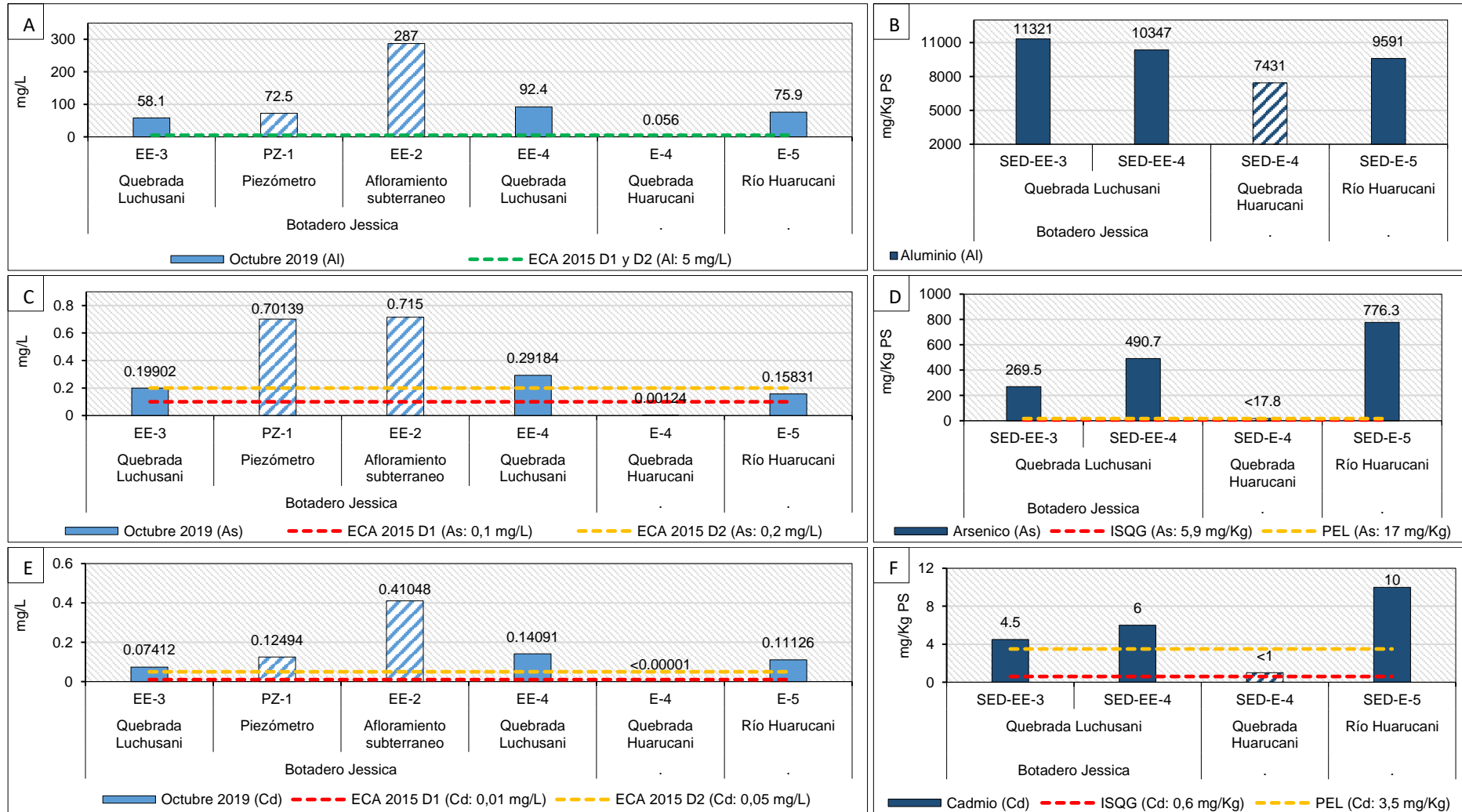


Figura 7.17. Concentración de aluminio, arsénico y cadmio en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en la quebrada Luchusani y tributarios. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas o flechas representan los tributarios.

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

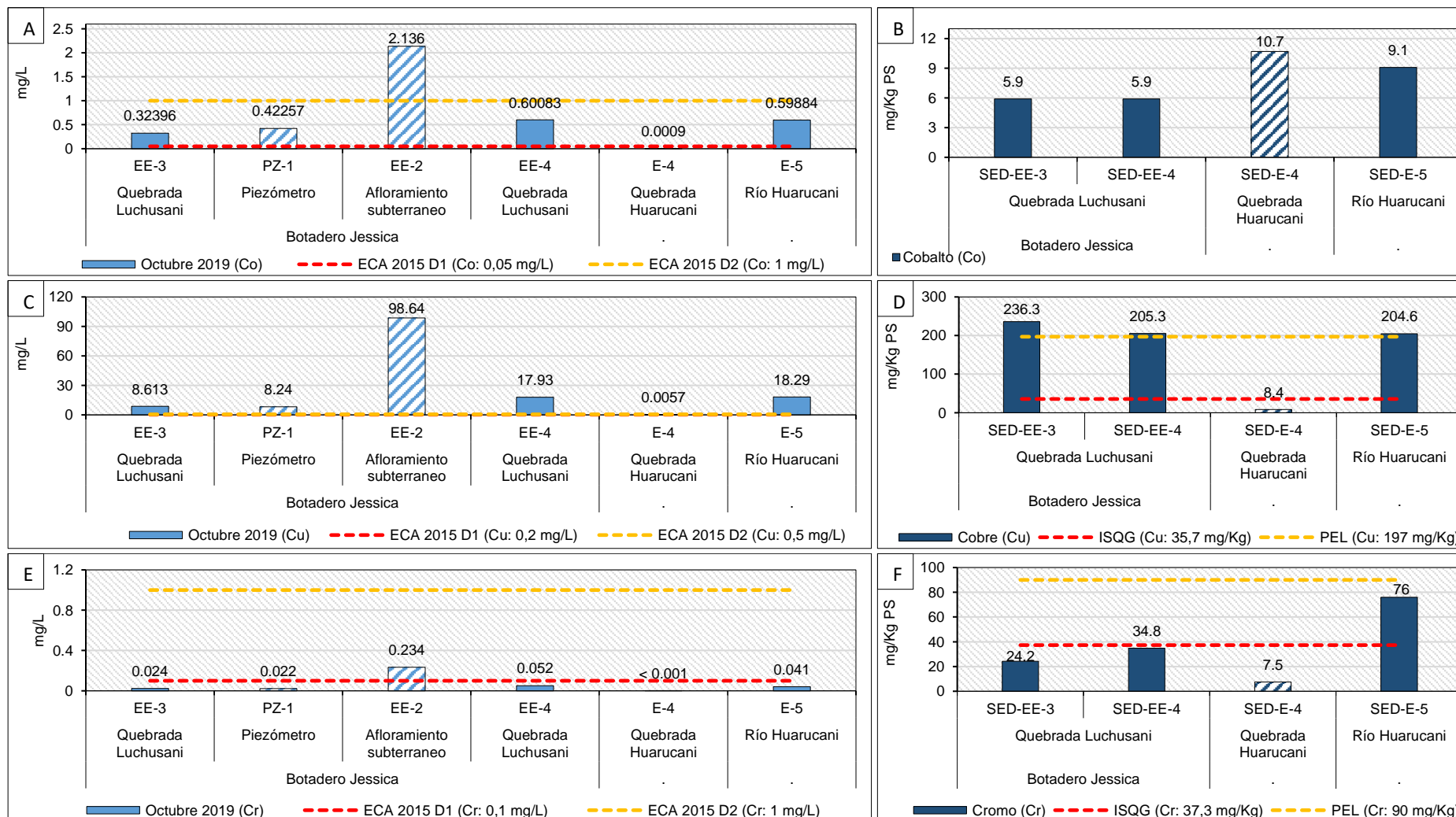


Figura 7.18. Concentración de cobalto, cobre y cromo en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en la quebrada Luchusani y tributarios. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas o flechas representan los tributarios.

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

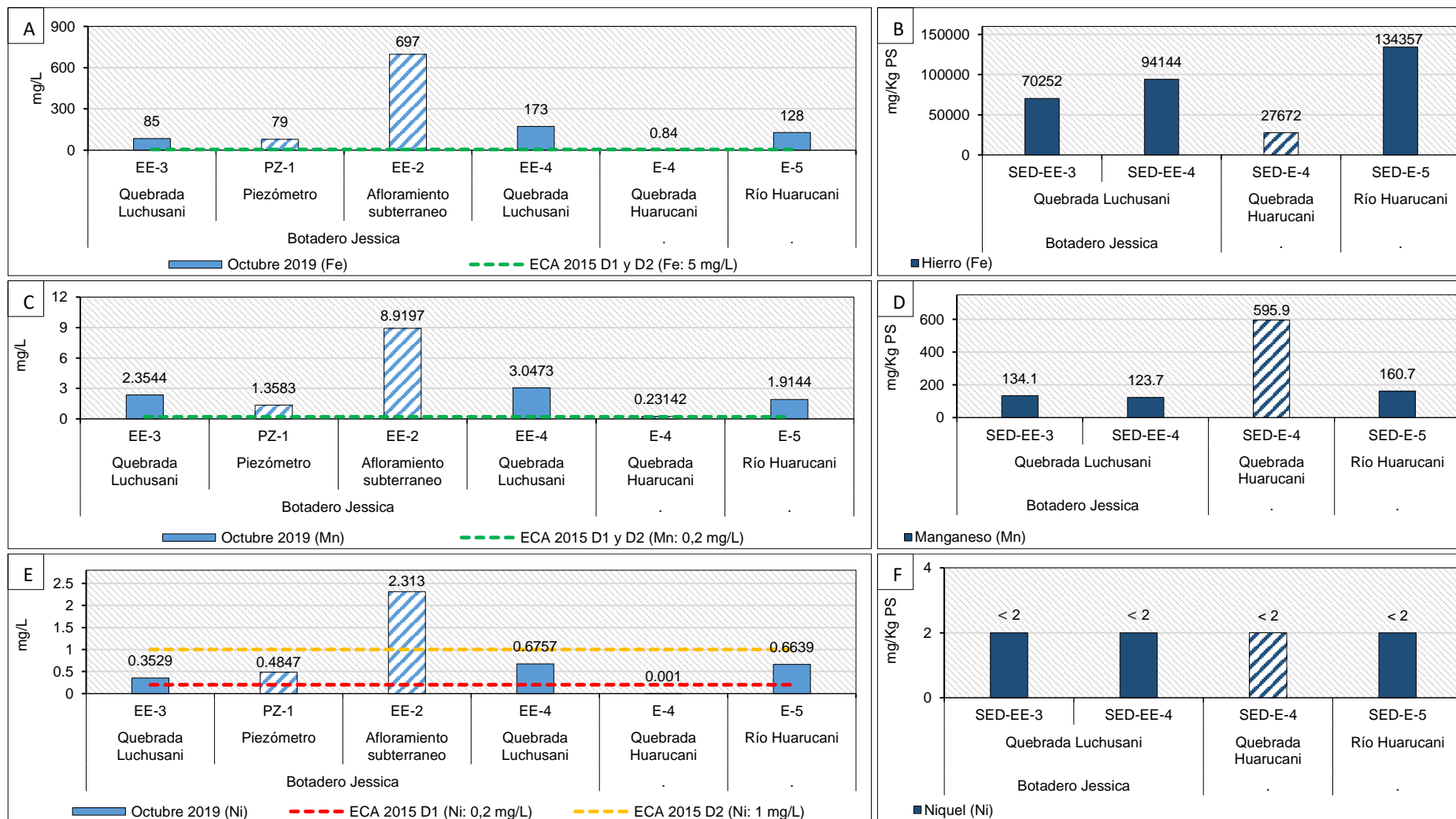


Figura 7.19. Concentración de hierro, manganeso y níquel en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en la quebrada Luchusani y tributarios. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas o flechas representan los tributarios.

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

Al comparar el punto aguas abajo (SED-EE-4) de los afloramientos mencionados con el punto aguas arriba (SED-EE-3), en abril y octubre 2019, se observó que las concentraciones de arsénico, cadmio, y hierro se incrementaron aguas abajo a excepción del aluminio, cobre y manganeso que disminuyeron (Figura 7.20). Asimismo, debido al aporte de la quebrada Huarucani (E-4) se observa el incremento en la concentración de arsénico, cadmio, cobalto, cromo, hierro, manganeso a excepción del aluminio y cobre en octubre del punto SED-E-5 (Figura 7.20 y Anexo 8). Asimismo, las concentraciones de arsénico, cadmio y hierro en octubre 2019 fueron mayores a lo registrado en abril de 2019, mientras que, el aluminio, cobre y manganeso disminuyeron (Figura 7.20).

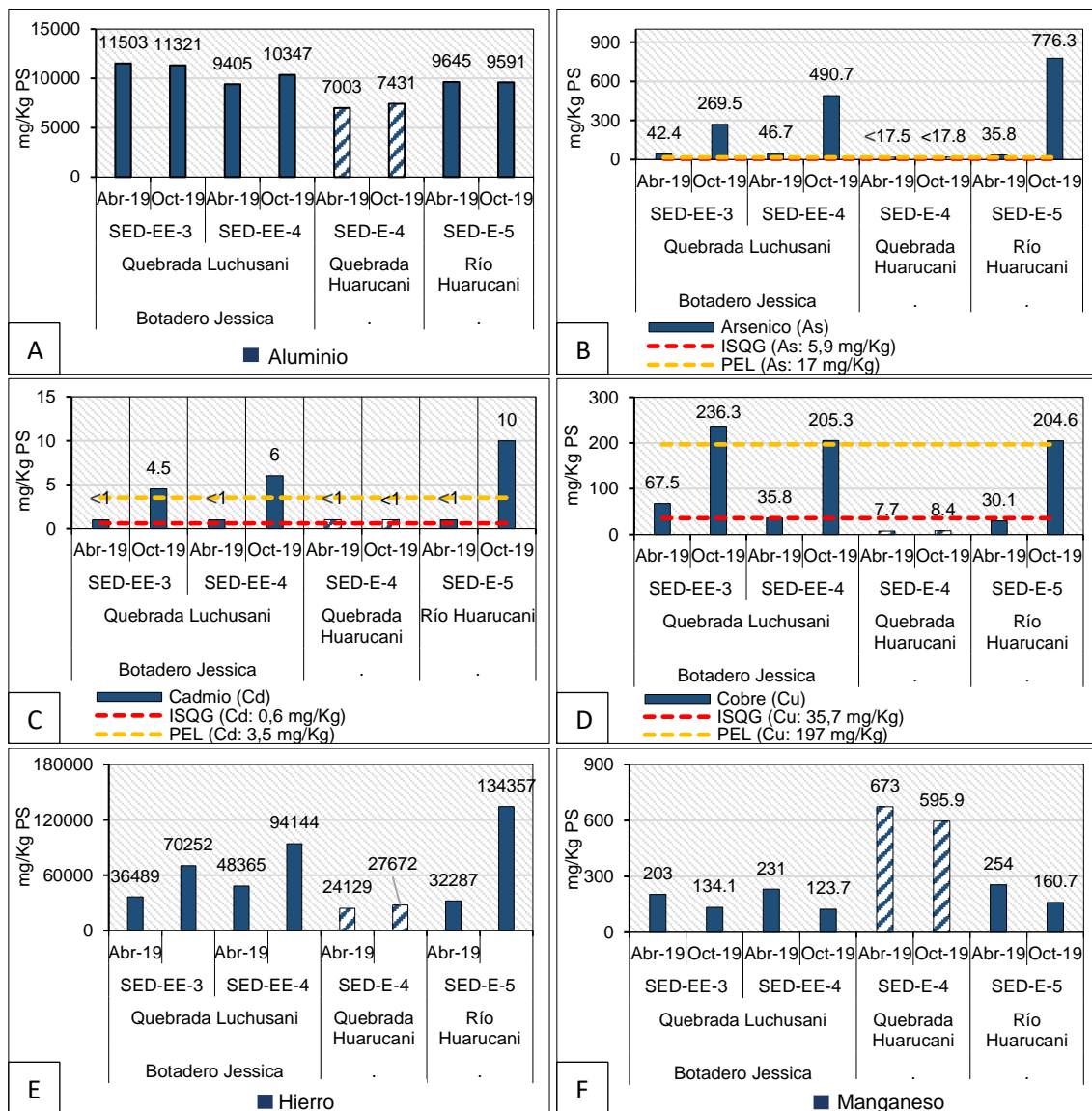


Figura 7.20. Concentración histórica de A) aluminio, B) arsénico, C) cadmio, D) cobre, E) hierro y F) manganeso en sedimento de las quebradas Luchusani y Huarucani y río Huarucani. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan el tributario.

Según el índice biótico andino (ABI), la quebrada Luchusani (HB-EE-4), aguas abajo del botadero Jessica y en el río Huarucani (HB-E-5), ubicado aguas abajo de la confluencia con la quebrada Huarucani, presentaron una calidad biológica que disminuyó de mala en abril 2019 a pésima en octubre 2019 (Tabla 7.2), siendo reportadas para octubre solamente taxones tolerantes y facultativos (Figura 7.22), como los géneros *Podonomus* y *Parochlus*, pertenecientes a la familia Chironomidae, la cual presenta tolerancia a la exposición de metales pesados (Loayza-Muro *et al.*, 2014).

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

Tabla 7.2. Resultados de la calidad biológica

Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Mes	Calidad Biológica (ABI)
Quebrada Luchusani	HB-EE-3	Abril	Pésima (7)
		Octubre	*
	HB-EE-4	Abril	Mala (23)
		Octubre	Pésima (6)
Quebrada Huarucani	HB-E-4	Abril	Moderada (36)
		Octubre	Buena(69)
Río Huarucani	HB-E-5	Abril	Mala (23)
		Octubre	Pésima (7)

* No se reportó ninguna especie

De manera similar, el punto de muestreo HB-EE-3, ubicado aguas arriba del botadero Jessica, reportó calidad biológica pésima en abril 2019, explicada por la baja riqueza y densidad registrada (Tabla 7.2 y Figura 7.22); así como, la dominancia del género *Cricotopus*, perteneciente a la familia Chironomidae, la cual en estudios en la cordillera Blanca (Ancash), ha sido considerado como taxón metal-tolerante (Burgues, 2015; Loayza-Muro, 2014). Por otro lado, en octubre 2019 no fue reportada ninguna especie en la evaluación de este punto, lo que podría estar asociado a la disminución del caudal en este mes (Figura 7.21).



Figura 7.21. Quebrada Luchusani (HB-EE-3) en A) abril 2019 y B) octubre 2019

Por el contrario, la quebrada Huarucani (HB-E-4) presentó una calidad biológica que varió de moderada a buena entre abril y octubre 2019 (Tabla 7.2); además, registró mayor densidad de especies de las familias Baetidae (Ej. *Andesiops* sp.), Leptophlebiidae (Ej. *Meridialaris* sp.), Gripopterygidae (Ej. *Claudioperla* sp.) y Elmidae (Ej. *Austrelmis* sp.). Según Loayza-Muro *et al.* (2014) en la cordillera Blanca (Perú); la familia Baetidae ha sido descrita como un taxón sensible, de igual forma la familia Leptophlebiidae es considerada como altamente sensible a algún tipo de contaminación (Junqueira & Campos, 1998); mientras que, la familia Gripopterygidae requiere buena calidad de agua para su desarrollo, especialmente con suficiente oxígeno disuelto disponible (Roldán, 1996; Beeckman, 2017) y especies de la familia Elmidae, son utilizados en estudios de bioindicadores ambientales debido a su baja tolerancia a la contaminación orgánica (Ellenrieder, 2007).

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

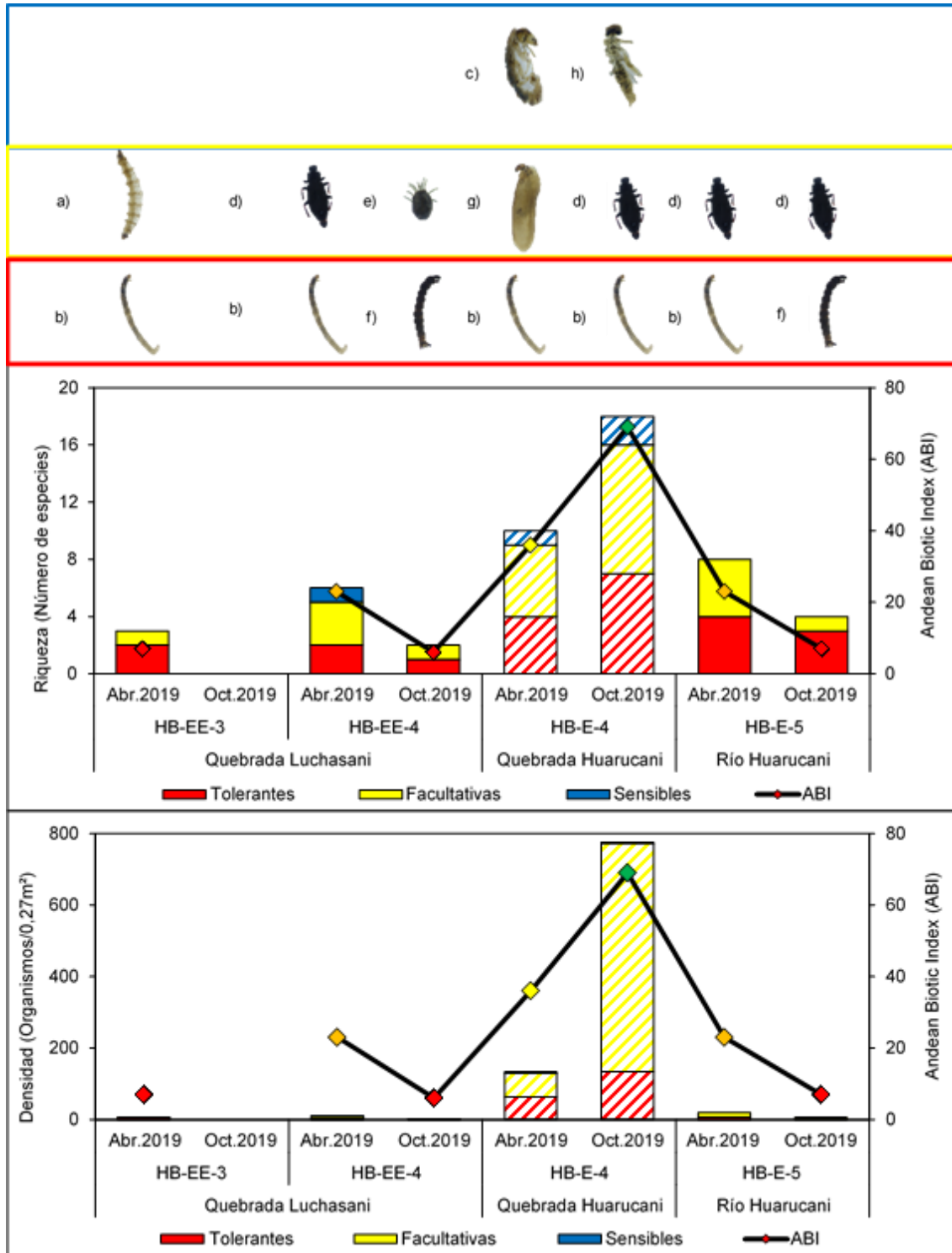


Figura 7.22. Riqueza, densidad e índice biótico andino (ABI) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos descritos en el componente botadero Jessica, para las categorías sensibles, facultativas y tolerantes. Donde: a) *Tabanus* sp., b) *Cricotopus* sp., c) *Cailloma* sp., d) *Austrelmis* sp., e) Limnesiidae, f) *Podonomus* sp., g) *Metrichia* sp. y h) *Meridialaris* sp.

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

La comunidad de microalgas presentó un comportamiento similar a los macroinvertebrados bentónicos en los puntos HB-EE-3 y HB-EE-4, ubicados aguas arriba y aguas abajo del botadero Jessica respectivamente, ya que presentaron mayor riqueza y densidad de

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

organismos en abril 2019 (Figura 7.23); registrándose en estos puntos la dominancia del género *Pseudanabaena* y de la especie *Fragilaria capuccina*, donde esta última ha sido descrita como tolerante a metales (Ferreira *et al.*, 2009); mientras que, especies del género *Pseudanabaena* se encuentran asociadas a condiciones eutróficas (Mateo *et al.*, 2015), mientras que Pomfret (1974).y Bray (2007) indican que *Pseudanabaena* tiene la capacidad de tolerar ambientes afectados por drenajes de mina.

Asimismo, el río Huarucani (HB-E-5), reportó una diversidad de especies similar a los puntos antes mencionados, siendo representativos los taxones *Leptolyngbya* sp. y *Pinnularia subcapitata*. Se ha descrito que la especie *Pinnularia subcapitata* ha sido reportada en ambientes contaminados en drenajes ácidos de mina (Urrea-Clos y Sabater, 2003); mientras que, *Leptolyngbya*, ha sido reportada en zonas contaminadas con hierro (Hong *et al.*, 2015).

Por el contrario, la comunidad de microalgas en la quebrada Huarucani (HB-E-4) presentó mayor riqueza y densidad de organismos en comparación al resto de puntos evaluados en esta zona (Figura 7.23), presentando en su composición la dominancia de la especie sensible *Hannaea arcus*, presente en ambientes de buena condición (Prygiel & Coste, 2000).

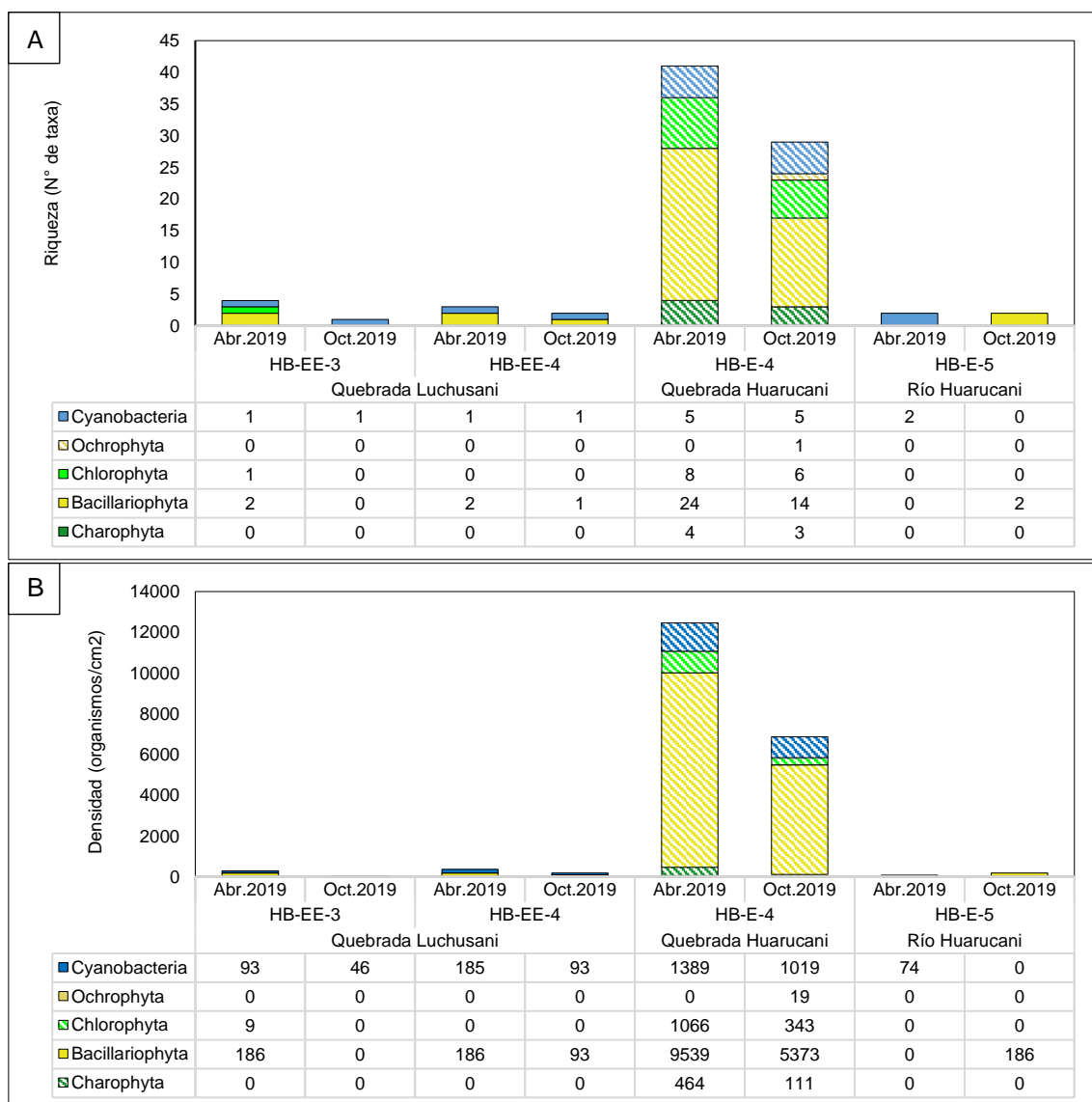


Figura 7.23. A) Riqueza y B) densidad de microalgas por phylum en los puntos de muestreo evaluados en las quebradas Luchusani y Huarucani, y río Huarucani. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

Estos resultados son consistentes con lo observado en el análisis de componentes principales (PCA), ya que se registró una asociación directa entre los puntos HB-EE-3, HB-EE-4 y HB-E-5 y los parámetros conductividad eléctrica, cobre, cobalto, zinc y aluminio (Figuras 7.49 y 7.50); mientras que, el análisis de correspondencia canónica (ACC) identificó una asociación directa entre el potasio total y la especie *Pinnularia subcapitata* en el punto HB-E-5 en octubre 2019 (Tabla 7.7), especies del género *Pinnularia* han sido reportados en sistemas ácidos de mina (DeNicola, 2000; Hill *et al.*, 2000; Verb & Vis, 2000; Sabater *et al.*, 2003). Caso similar sucede con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del punto HB-E-5, donde se destaca la asociación entre *Podonomus* sp. y metales como zinc, aluminio y cromo en octubre 2019 (Tabla 7.8 y Figura 7.54).

La afectación del agua y sedimento de la quebrada Luchusani por los afloramientos no colectados, se corroboran también con la baja riqueza y densidad de organismos reportada, y la dominancia de especies tolerantes a metales pesados en las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y microalgas en los puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo del botadero Jessica. Cabe mencionar que, el punto aguas arriba de este botadero ya se encuentra afectado por el PAD Jessica.

7.2. Zona 2 – Microcuenca Chacapalca

7.2.1. Botadero N° 3

En octubre 2019 no se observó drenaje proveniente del botadero N° 3 (EW-4) ni flujo de agua en la quebrada sin nombre 2 (EW-1 y SW-26), que tributa al río Azufrini, tal como se observa en la Figura 7.24.

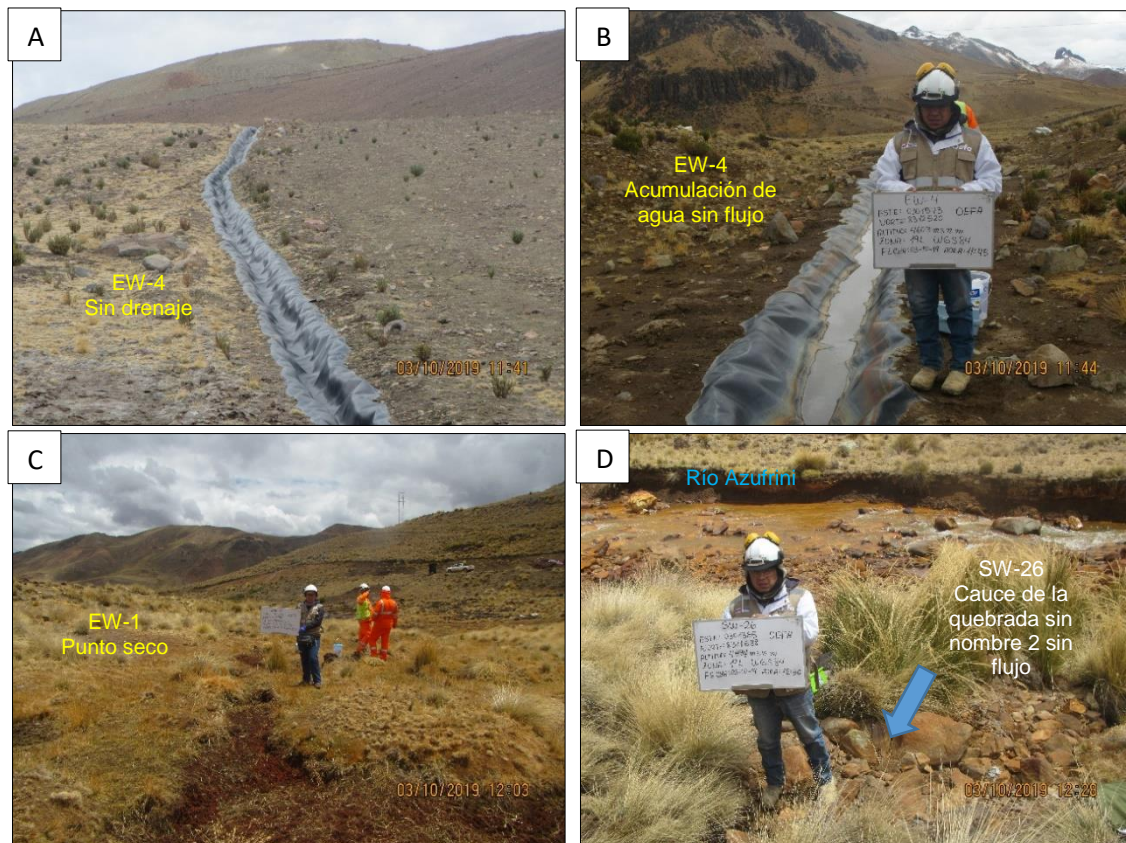


Figura 7.24. A) Punto EW-4 sin drenaje proveniente del botadero N° 3, B) acumulación de agua en la geomembrana que transporta el drenaje EW-4, C) punto aguas arriba (EW-1) del drenaje seco y D) punto aguas abajo (SW-26) del drenaje sin caudal antes de la descarga hacia el río Azufrini

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

En la quebrada sin nombre 2, en los meses que tuvo agua, las concentraciones de aluminio, cobalto, cadmio, cobre, hierro, manganeso y níquel fueron superiores en el punto aguas abajo (SW-26) del drenaje captado (EW-4), respecto al punto aguas arriba (EW-1), en febrero 2017 y abril 2019. Mientras que, en junio 2019 se observó disminución de la concentración de aluminio, cobalto, cadmio, cobre y níquel (Anexos 8, 11 y 12), debido al aporte de filtraciones que no eran captadas.

En el drenaje proveniente del botadero N.º 3 (EW-4), el aluminio (Figura 7.27A), cadmio, cobalto, cobre (Figura 7.27C), hierro (Figura 7.27E), manganeso y níquel registraron menores concentraciones en junio 2019 en comparación con febrero 2017 y abril 2019, a excepción del arsénico (Anexo 8) y en octubre 2019 no se observó drenaje (EW-4), tal como se observa en la Figura 7.24. En el río Azufrini (EE-11 y E-10), el pH se encontró por debajo del rango y el aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel superaron los ECA para agua 2015 en ambos puntos. Estas concentraciones se mantuvieron similares tanto aguas abajo como aguas arriba de la quebrada sin nombre 2 que en octubre se encontró sin flujo (Figuras 7.25A, 7.29A, 7.29E, 7.30A, 7.30C, 7.30E, 7.31A y 7.31C respectivamente).

La unión del río Azufrini (E-10) con el río Pataqueña (E-11) forman el río Chacapalca (M-1), donde el río Pataqueña diluye las concentraciones de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro y manganeso del río Azufrini, pero aún siguen superando los ECA para agua 2015 (categoría 3), a excepción del pH que aumenta (de 3,43 a 4,63 unidades de pH) y se encuentra debajo del rango de la norma mencionada (Figuras 7.29A, 7.29E, 7.30A, 7.30C, 7.30E y 7.31A respectivamente). El río Pataqueña presentó pH cercano a la neutralidad (Figura 7.25A) y bajas concentraciones de metales que no superaron los ECA para agua 2015 (Figuras 7.29, 7.30 y 7.31), a excepción de arsénico y boro (Figuras 7.29C y Anexo 8).

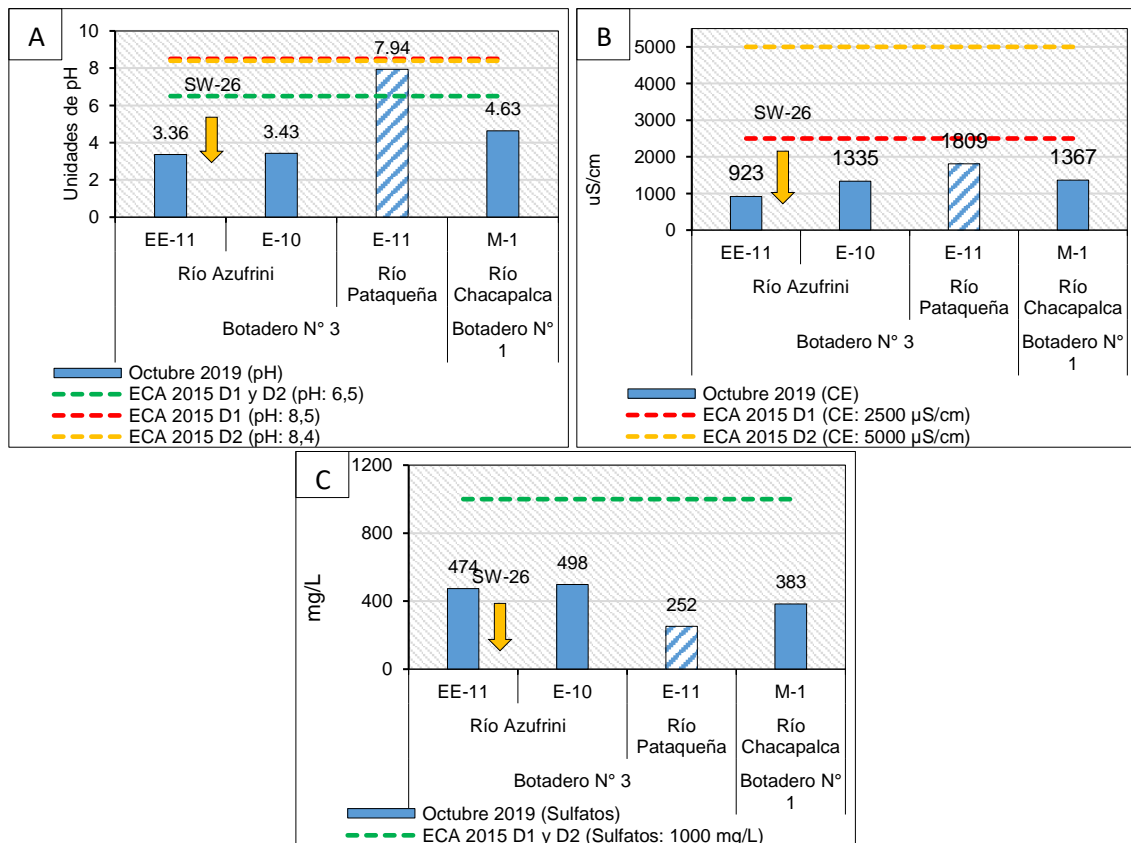


Figura 7.25. Valor de A) pH y B) conductividad eléctrica, y concentración de C) sulfatos en el río Azufrini y tributario. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan el tributario y la flecha el ingreso de la quebrada S/N 2 (SW-26)

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

Cabe resaltar que, en la quebrada sin nombre 2 (SW-26), se registró una disminución en la concentración de aluminio, cobalto, cadmio, cobre y níquel en junio 2019, respecto a lo reportado en abril 2019 y febrero 2017. Asimismo, en el drenaje proveniente del botadero N.º 3 (EW-4), se registraron menores concentraciones de los metales mencionados en junio 2019 en comparación con las evaluaciones anteriores realizadas por el OEFA (Anexos 11 y 12), debido a la implementación de canales impermeabilizados que lo captaban y conducían a una planta de tratamiento (Figura 7.26).

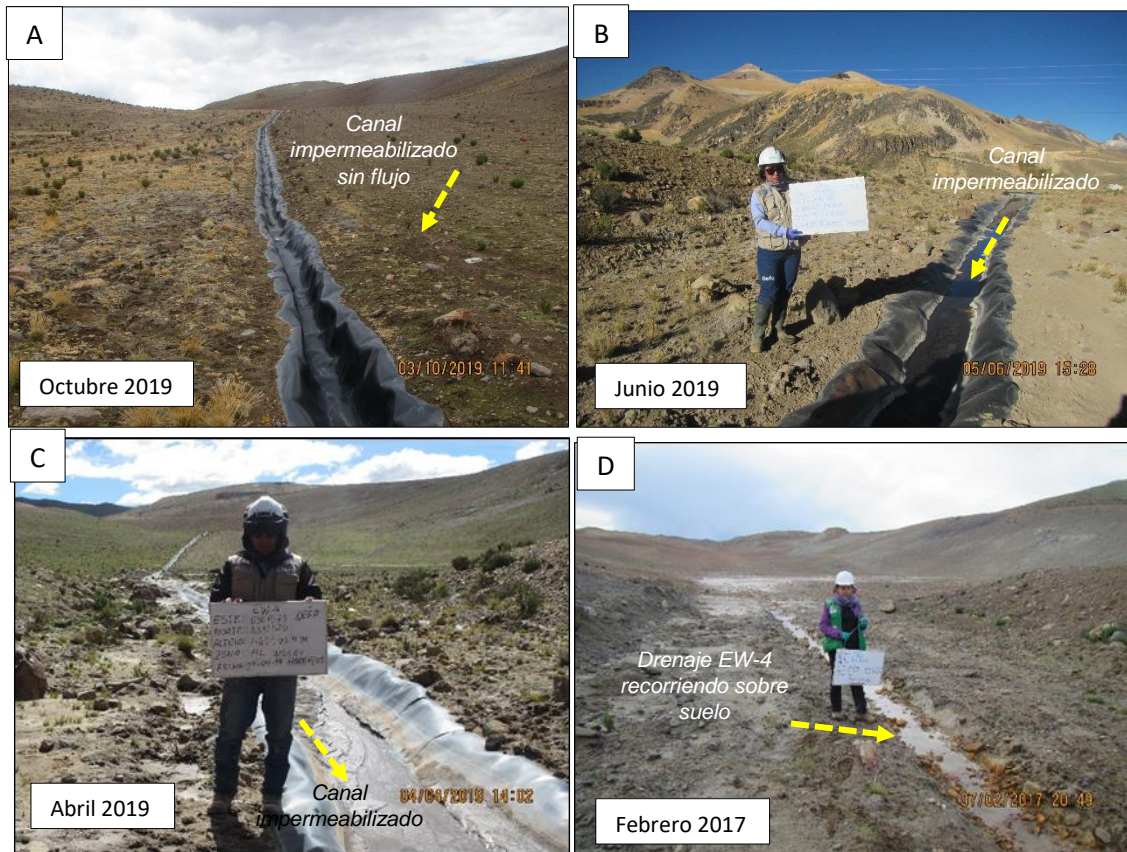


Figura 7.26. Drenaje proveniente del botadero N.º 3 (EW-4) captado en A) octubre, B) junio y C) abril 2019, y no captado en D) febrero 2017
Cabe resaltar que, en octubre 2019 no se registró flujo

Al comparar los resultados de las evaluaciones realizadas, desde febrero 2017 hasta octubre 2019, se observa que en el río Azufrini-Chacapalca las concentraciones de aluminio, cobre y hierro (Figura 7.27), cadmio, cobalto, manganeso y níquel (Anexo 8) disminuyeron aguas abajo (M-1) del aporte de la quebrada sin nombre 2 (SW-26) y del río Pataqueña (E-11), respecto al punto aguas arriba (EE-11) en febrero 2017 y abril, junio y octubre 2019. Asimismo, en los puntos aguas arriba y aguas abajo, las concentraciones de aluminio, cobre y hierro (Figura 7.27), cadmio, cobalto, manganeso y níquel (Anexo 8) fueron mayores en octubre 2019 en comparación a febrero 2017 y abril y junio 2019 en ambos puntos (Figura 7.27 y Anexos 8, 11 y 12).

Por otro lado, a partir del material del botadero N.º 3, la prueba de lixiviación reportada en el informe N.º 054-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME mostró la liberación de bario, cobalto, estroncio, litio, magnesio, manganeso y sodio. Adicionalmente, la prueba estática de balance ácido-base (ABA) demostró que dicho material resultó ser potencial generador de acidez, lo que condiciona los valores de pH bajos en el sistema y que a su vez incrementa la solubilidad de los metales, su movilidad y por lo tanto su toxicidad⁸.

⁸ Informe N.º 054-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME

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

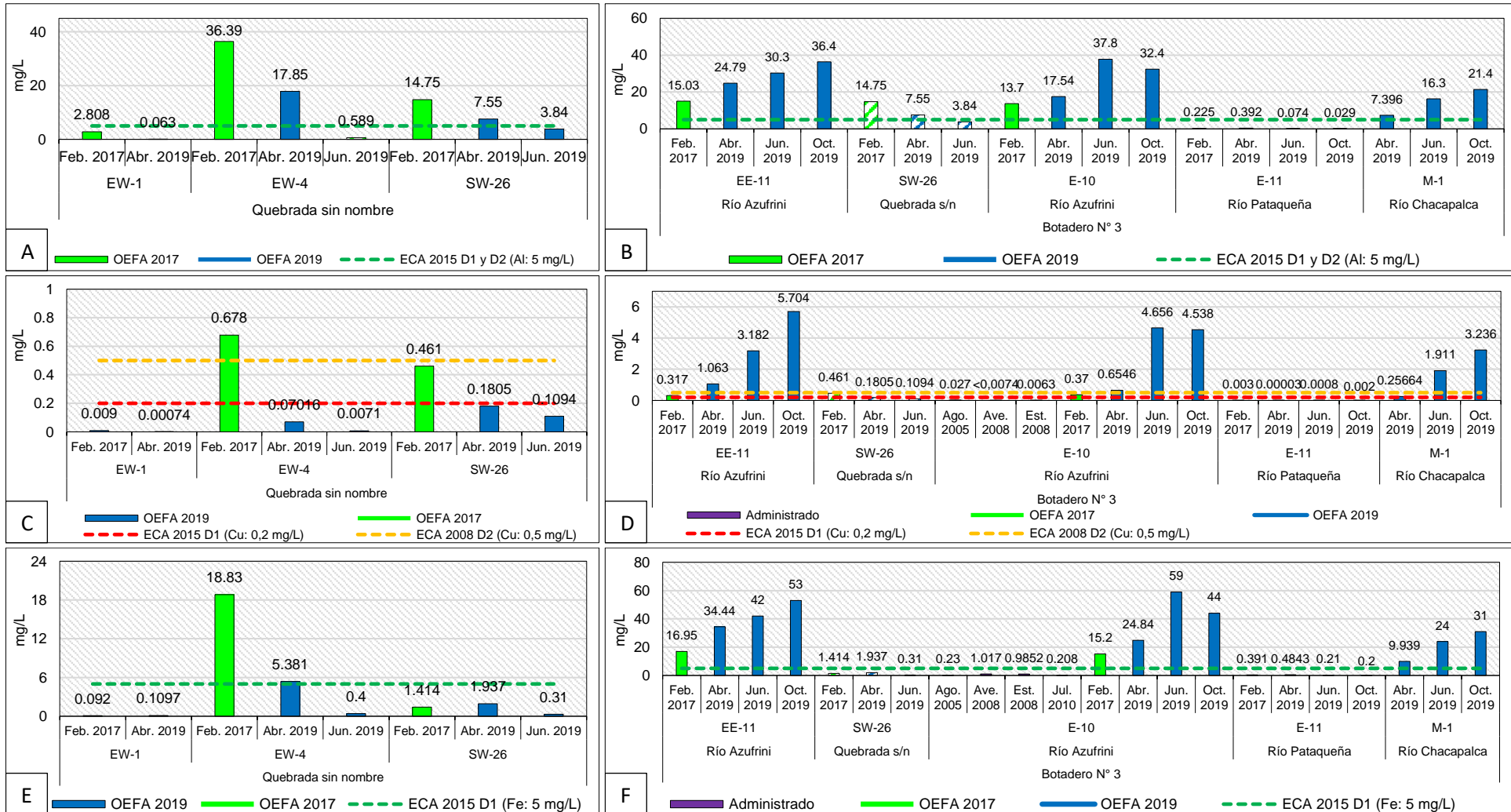


Figura 7.27. Comparación de concentración de aluminio, cobre y hierro en la quebrada sin nombre 2 y drenaje EW-4 (A, C y E), y en el río Azufrini – Chacapalca y tributarios (B, D y F) entre 2019 con lo reportado en la data histórica (2017)

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y SC: sin flujo

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

Asimismo, en la Figura 7.28 se observa el incremento de parámetros (que superaron o se encontraron por debajo del rango de los ECA para agua 2015) de 3 en febrero 2017 a 7 en octubre 2019, en el río Chacapalca (M-1).

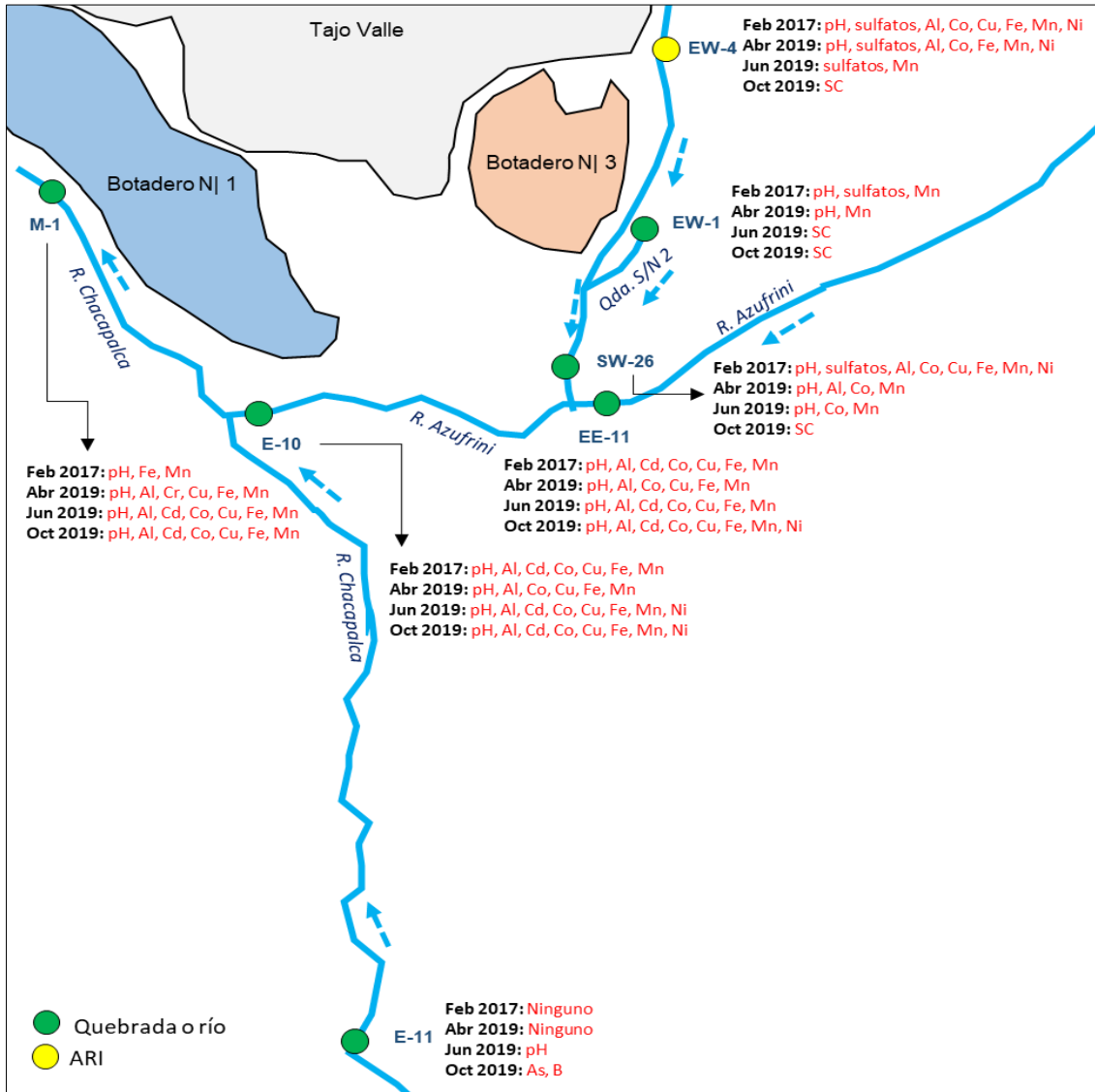


Figura 7.28. Parámetros que superaron los ECA para agua 2015, categoría 3, en el río Azufrini – Chacapalca y tributarios

Respecto al sedimento, la concentración de arsénico, cadmio, cobre, manganeso y plomo disminuyeron en el río Azufrini (SED-E-10), ubicado aguas abajo de la quebrada sin nombre 2 (SW-26), en comparación con el punto SED-EE-11 (Figuras 7.29D, 7.29F, 7.30D, 7.31B y 7.31F respectivamente), a excepción del aluminio, cobalto y hierro (Figuras 7.29B, 7.30B y 7.30F respectivamente). De todos los metales mencionados, solamente el cobre superó de manera referencial el nivel ISQG en el punto SED-EE-11 y SED-E-10, mientras que el arsénico y cadmio superaron referencialmente el nivel PEL de la norma canadiense (Figuras 7.30D, 7.29D y 7.29F respectivamente).

En el sedimento del río Pataqueña (SED-E-11), también se registró mayores concentraciones de aluminio, cobalto, manganeso y plomo que el río Azufrini (SED-E-10). Sin embargo, estos no influyen en la calidad del agua de esta quebrada, debido a que presentó pH cercano a la neutralidad (Figura 7.25A) y bajas concentraciones de aluminio, cobalto, manganeso y plomo que se encontraron por debajo de los ECA para agua 2015. (Figuras 7.29B, 7.30B, 7.31B y 7.31F respectivamente).

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

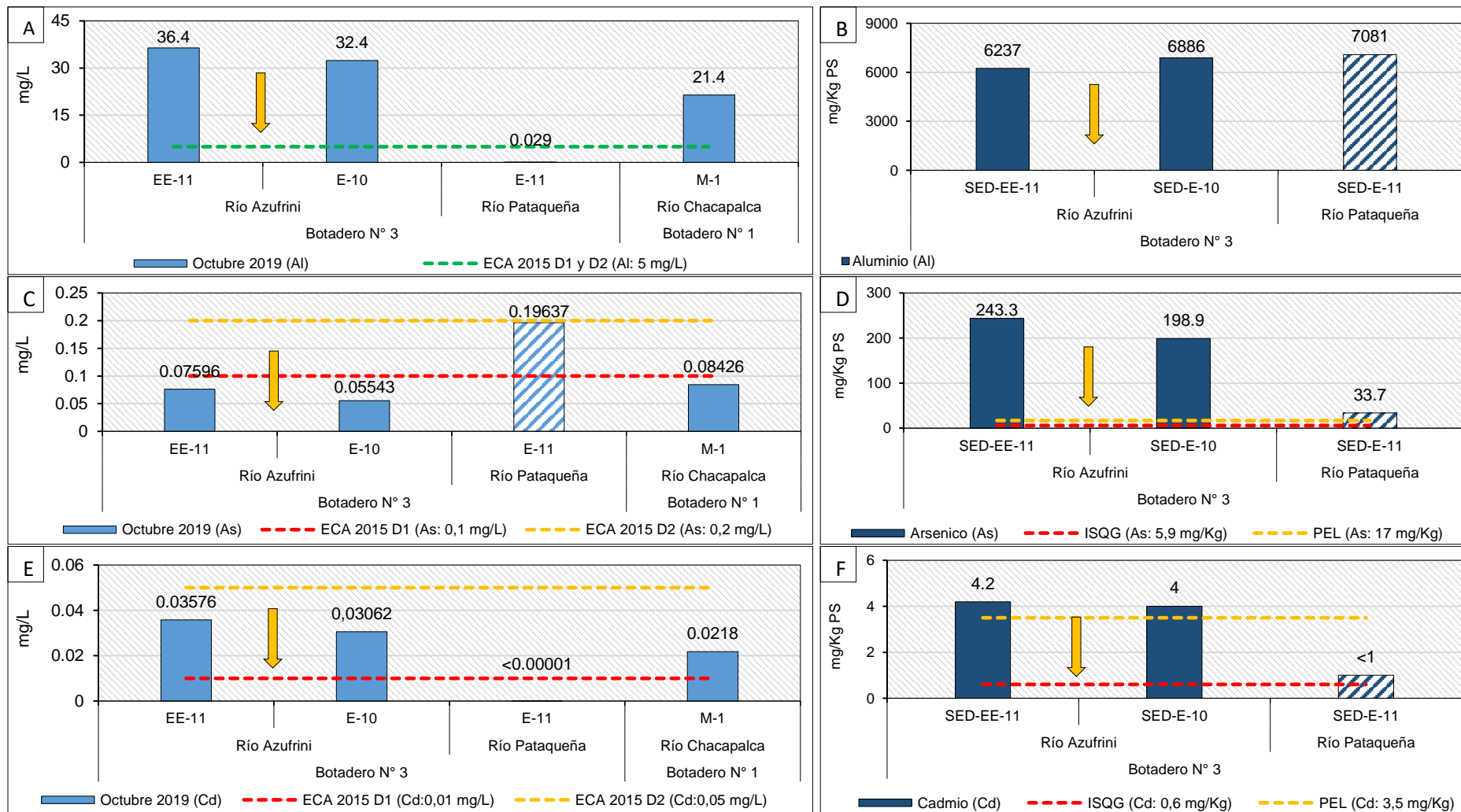


Figura 7.29. Concentración de aluminio, arsénico y cadmio en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el río Azufrini y tributario. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y la flecha el ingreso de la quebrada S/N 2 (SW-26)

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

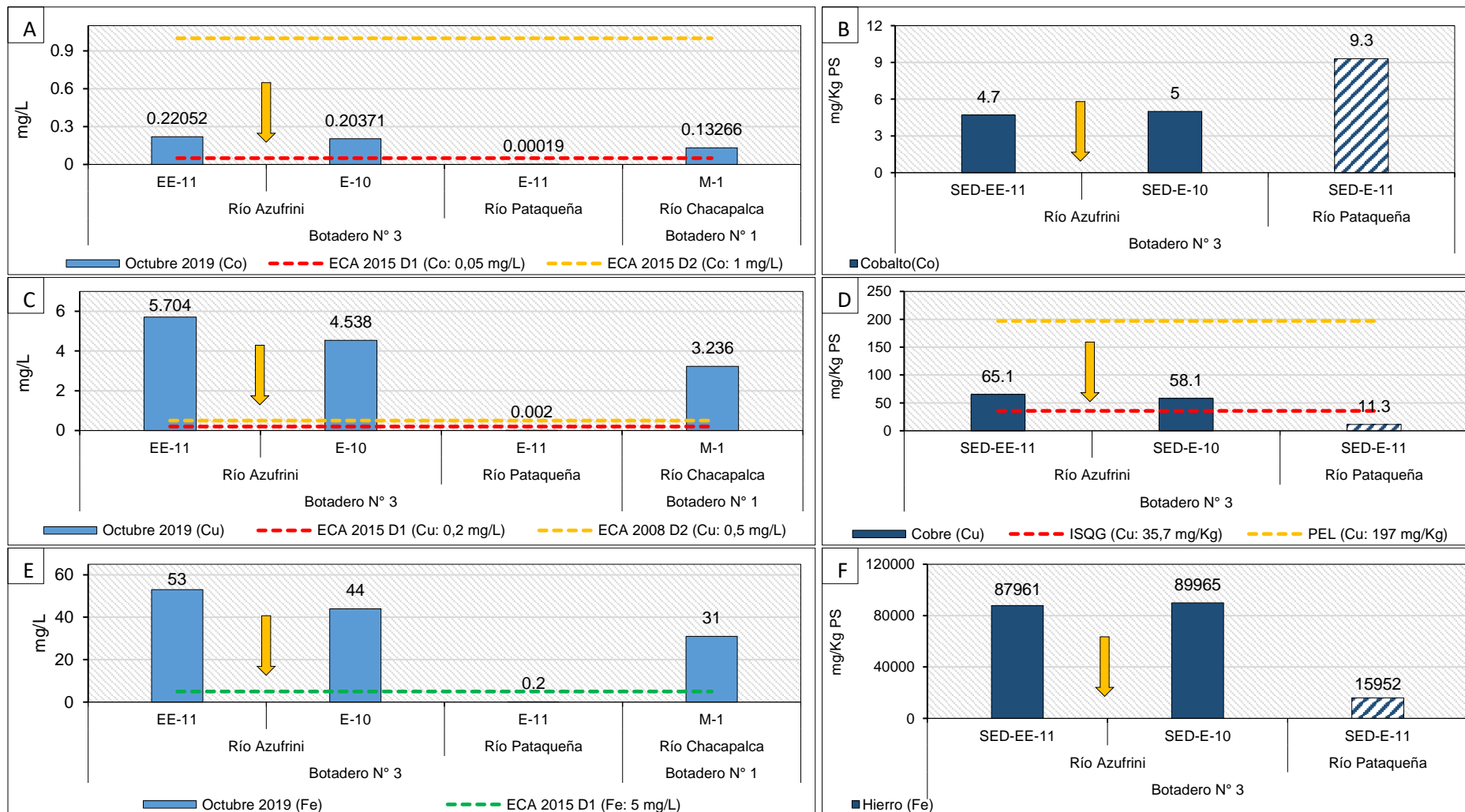


Figura 7.30. Concentración de cobalto, cobre y hierro en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el río Azufrini y tributario. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y la flecha el ingreso de la quebrada S/N 2 (SW-26)

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

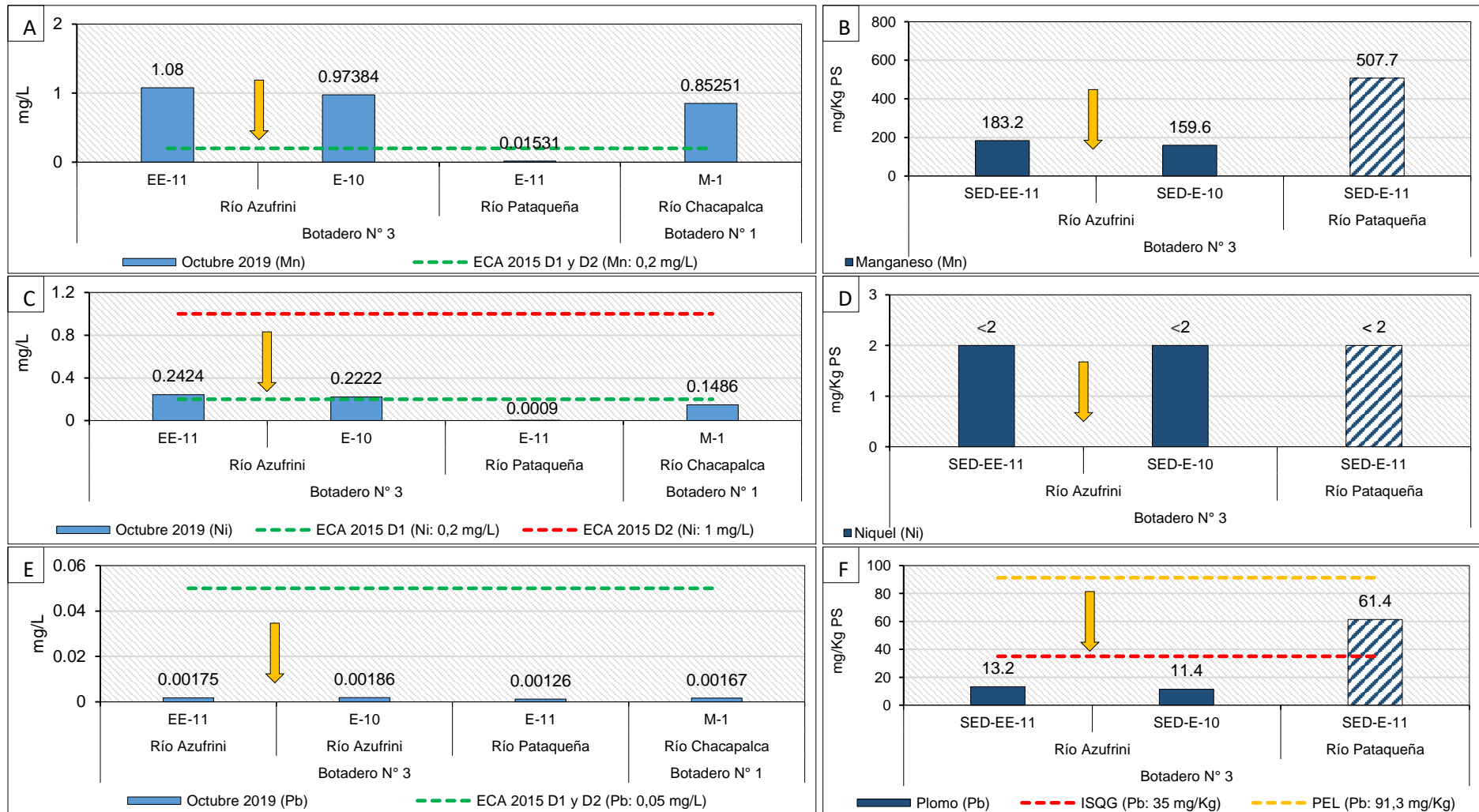


Figura 7.31. Concentración de manganeso, níquel y plomo en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el río Azufrini y tributario. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y la flecha el ingreso de la quebrada S/N 2 (SW-26)

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

Respecto al sedimento, al comparar el punto aguas abajo (SED-E-10) de la quebrada sin nombre 2 con el punto aguas arriba (SED-EE-11) en abril y octubre 2019 se observó que las concentraciones de aluminio y plomo (Figuras 7.32A y 7.32F respectivamente), cobalto y manganeso se incrementaron solo aguas abajo (Anexo 8), a excepción del arsénico, cadmio, cobre y hierro (Figuras 7.32B, 7.32C, 7.32D y 7.32E respectivamente). Asimismo, en octubre 2019 las concentraciones de arsénico y cobre se incrementaron en ambos puntos en comparación con abril 2019 (Figuras 7.32B y 7.32D).

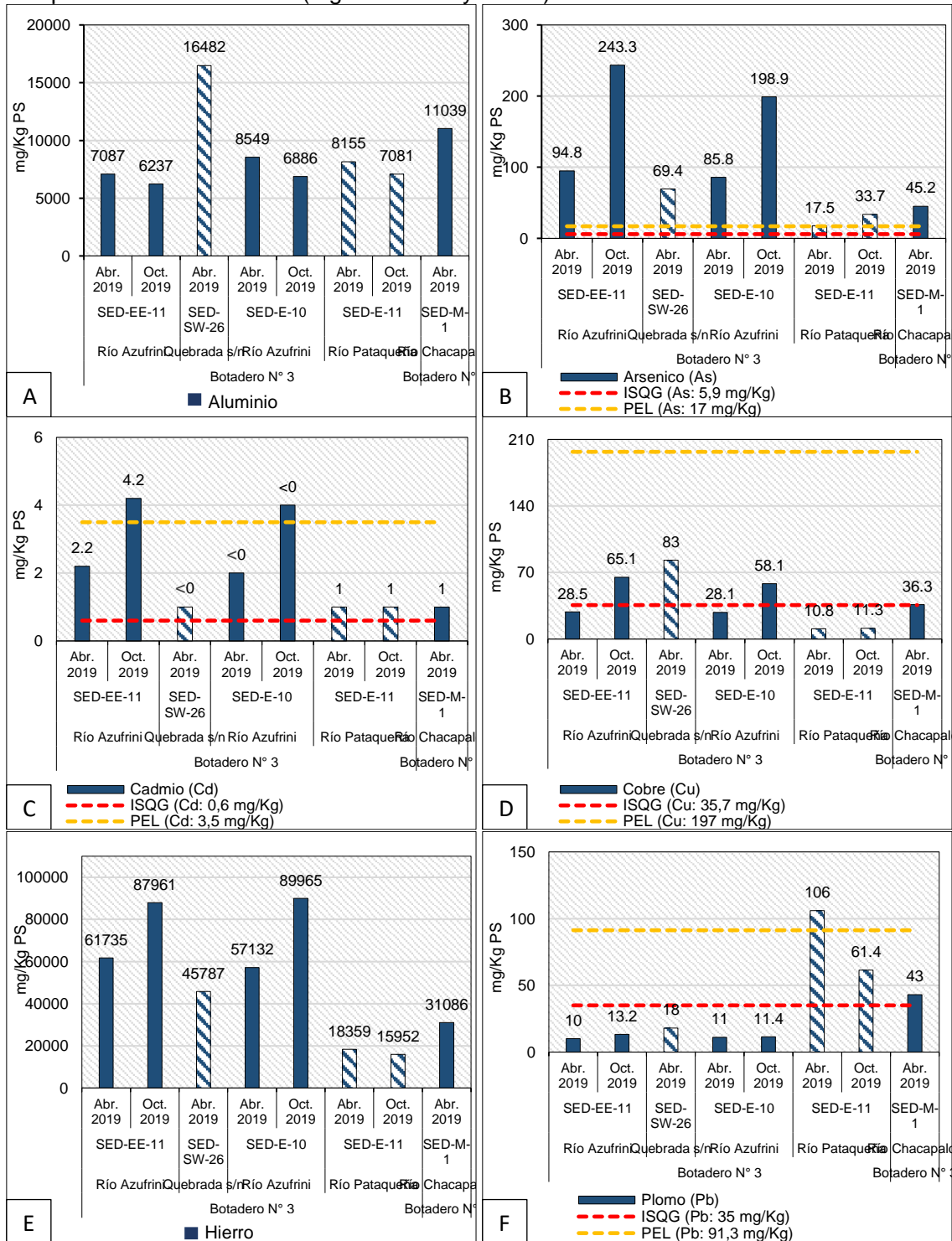


Figura 7.32. Concentración histórica de A) aluminio, B) arsénico, C) cadmio, D) cobre, E) hierro y F) plomo en sedimento de los ríos Azufrini, Pataqueña y Chacapalca. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

Según lo reportado por el índice biótico andino (ABI), el río Azufrini (HB-EE-11), ubicado aguas arriba de la quebrada sin nombre 2, presentó una calidad biológica pésima en abril 2019 (Tabla 7.3), explicado por la baja riqueza y densidad de organismos (3 taxones y 5 organismos/0,27m² respectivamente); así como, por la presencia de taxones tolerantes (Figura 7.35) como *Cricotopus* sp. y *Podonomus* sp., pertenecientes a la familia Chironomidae, considerada como taxón metal-tolerante (Burgues, 2015; Loayza-Muro, 2014). Mientras que, en octubre 2019 no fue reportada ninguna especie a pesar de haber sido realizado un muestreo por triplicado (3 réplicas).

Tabla 7.3. Resultados de la calidad biológica

Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Mes	Calidad biológica (ABI)
Río Azufrini	HB-EE-11	Abril	Pésima (3)
		Octubre	*
Quebrada sin nombre 2	HB-SW-26	Abril	Mala (16)
Río Azufrini	HB-E-10	Abril	Mala (25)
		Octubre	Pésima (10)
Río Pataqueña	HB-E-11	Abril	Buena (72)
		Octubre	Buena (72)

* No se reportó ninguna especie

Por otro lado, la quebrada sin nombre 2 (HB-SW-26) en abril 2019 registró una calidad biológica mala (Tabla 7.3), y dominancia de especies tolerantes (Figura 7.35), mientras que en octubre 2019 se encontró sin flujo (Figura 7.33).

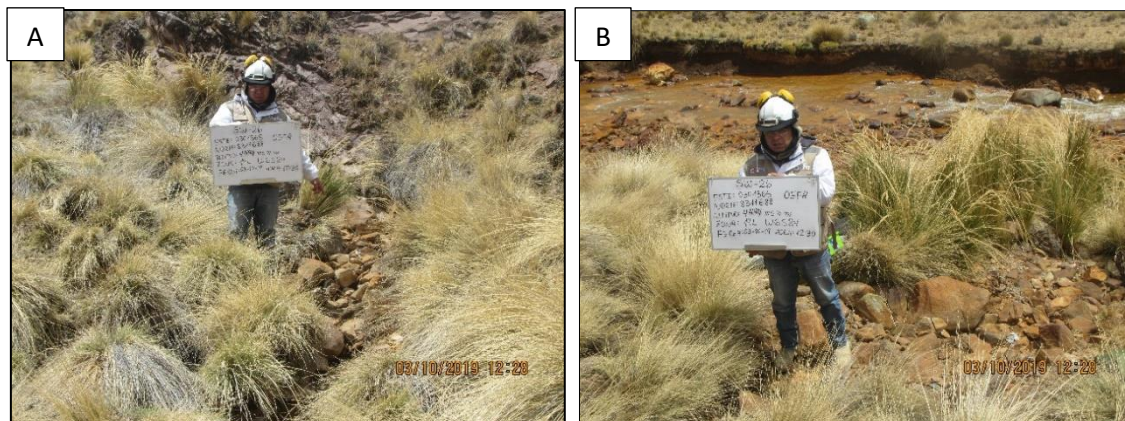


Figura 7.33. Quebrada sin nombre 2 (HB-SW-26), A) sin flujo antes de la llegada al B) río Azufrini

Por otro lado, el río Azufrini (HB-E-10), aguas abajo de la quebrada sin nombre 2 (HB-SW-26), registró la mayor riqueza y densidad de organismos en abril 2019, con 7 taxones y 12 organismos/0,27m², en comparación de octubre 2019 que registró 3 taxones y 6 organismos/0,27m², y una calidad biológica que disminuyó de mala (abril) a pésima (octubre) explicada por la baja diversidad y por el predominio de taxones tolerantes y facultativos (Tabla 7.3 y Figura 7.35). Cabe mencionar que, la disminución de la diversidad para octubre se debería a la estacionalidad por la disminución del caudal y por condiciones no favorables para el desarrollo de esta comunidad (Figura 7.34).

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

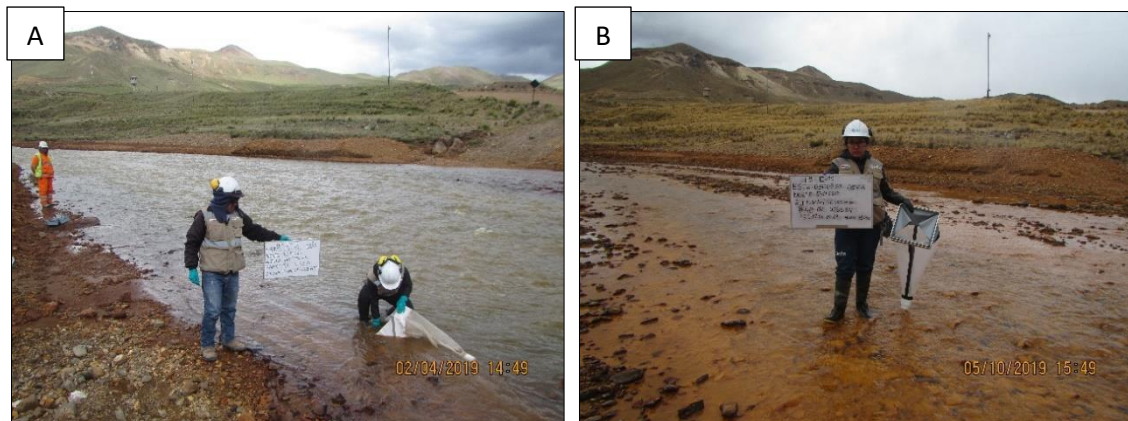


Figura 7.34. Río Azufrini (HB-E-10) con mayor caudal en A) abril 2019 que en B) octubre 2019

Por el contrario, el río Pataqueña (HB-E-11) presentó una calidad biológica buena en ambos meses evaluados (Tabla 7.3), explicado por la mayor riqueza y densidad registrada para este punto en ambas temporadas (Figura 7.35), además, por presentar en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, especies de las familias Leptophlebiidae (Ej. *Meridialaris* sp.), Gripopterygidae (Ej. *Claudioperla* sp.) y Elmidae (Ej. *Austrelmis* sp.). Según Junqueira & Campos (1998), Leptophlebiidae, es considerada como altamente sensible a algún tipo de contaminación, mientras que la familia Gripopterygidae requiere buena calidad de agua para su desarrollo (Roldán, 1996; Beeckman, 2017). Por otro lado, especies de la familia Elmidae (Ej. *Austrelmis* sp.), son utilizados en estudios de bioindicadores ambientales debido a su baja tolerancia a la contaminación orgánica (Ellenrieder, 2007).

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

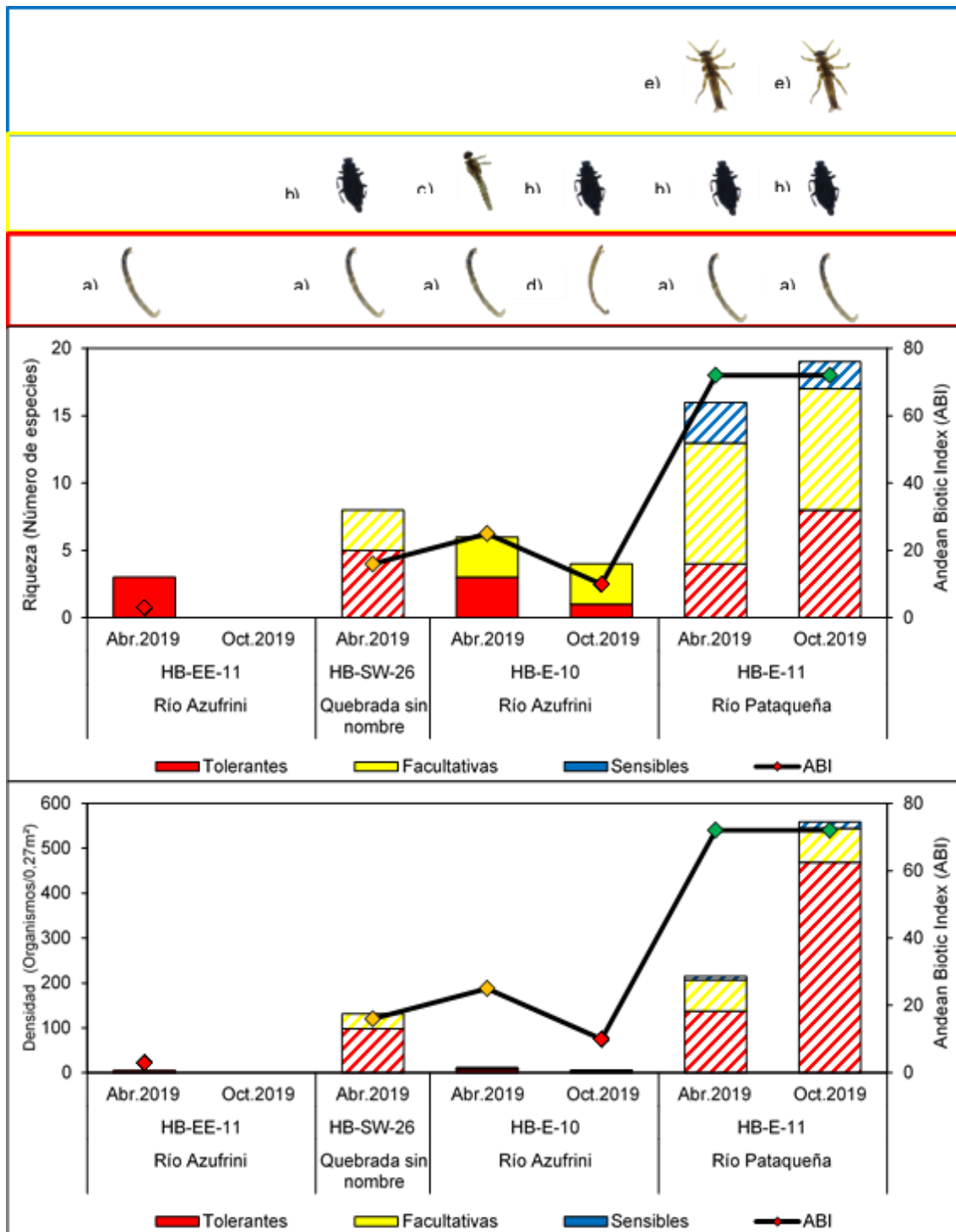


Figura 7.35. Riqueza, densidad e índice biótico andino (ABI) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos descritos en el componente botadero N°3, para las categorías sensibles, facultativas y tolerantes. Donde: a) *Cricotopus* sp., b) *Austrelmis* sp., c) *Andesiops* sp., d) *Alotanypus* sp. y e) *Claudioperla* sp.

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

De forma similar, la comunidad de microalgas en el punto HB-E-10, ubicado aguas abajo de la quebrada sin nombre 2 (SW-26), no presentó diferencias en la composición y estructura de microalgas, reportándose para octubre 2019 la dominancia de *Fragilaria capuccina*, *Achanthidium* sp. y *Leptolyngbya* sp., que son taxones tolerantes a metales (Ferreira *et al.* 2009; Nakanish *et al.*, 2004; Stevenson & Bahls, 1999; Hong *et al.*, 2015). Sin embargo, en

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

el punto HB-EE-11, ubicado aguas arriba de la quebrada sin nombre 2 (SW-26), se registró una disminución de la riqueza y densidad de microalgas en octubre, explicado por la estacionalidad y disminución del caudal (Figura 7.36).

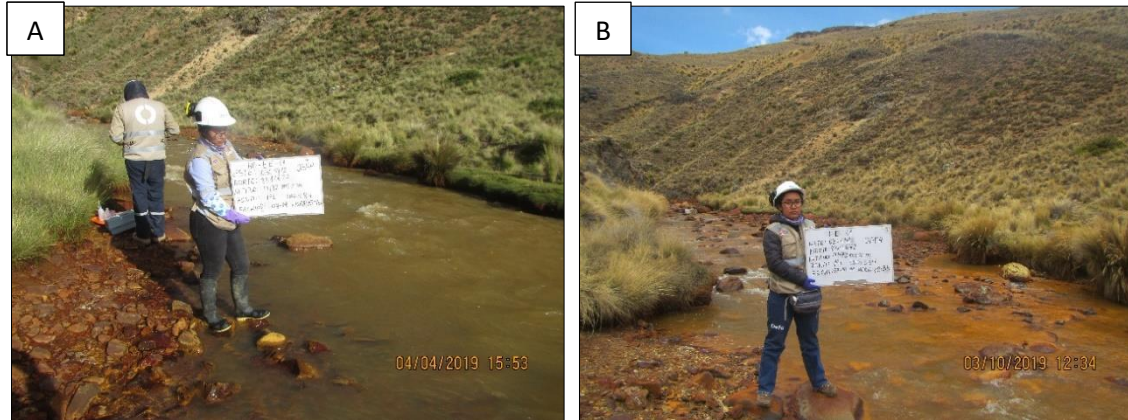


Figura 7.36. Río Azufrini (HB-EE-11) con mayor caudal en A) abril 2019 que en B) octubre 2019

La quebrada sin nombre 2, aguas arriba (HB-EW-1) y aguas abajo (HB-SW-26) del drenaje parcialmente captado EW-4, solamente fue evaluada en abril 2019 y la mayor riqueza y densidad fue registrada en el punto de muestreo HB-EW-1 con 31 taxones y 13 214 organismos/cm², con respecto al punto HB-SW-26 que registró 16 taxones y 6411 organismos/cm² (Figura 7.37). Cabe resaltar que, el punto HB-SW-26 registró la dominancia de la especie *Eunotia exigua* reportada en ambientes contaminados por metales (Urrea-Clos y Sabataer, 2003).

Por otro lado, el río Pataqueña (HB-E-11), que al unirse con el río Azufrini forma el río Chacapalca, registró la mayor riqueza y densidad de organismos en ambos meses, presentando 28 taxones y 11 670 organismos/cm² en octubre 2019, con respecto a abril 2019, donde se registró 6 taxones y 780 organismos/cm² (Figura 7.37), destacando la densidad del phylum Bacillariophyta.

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

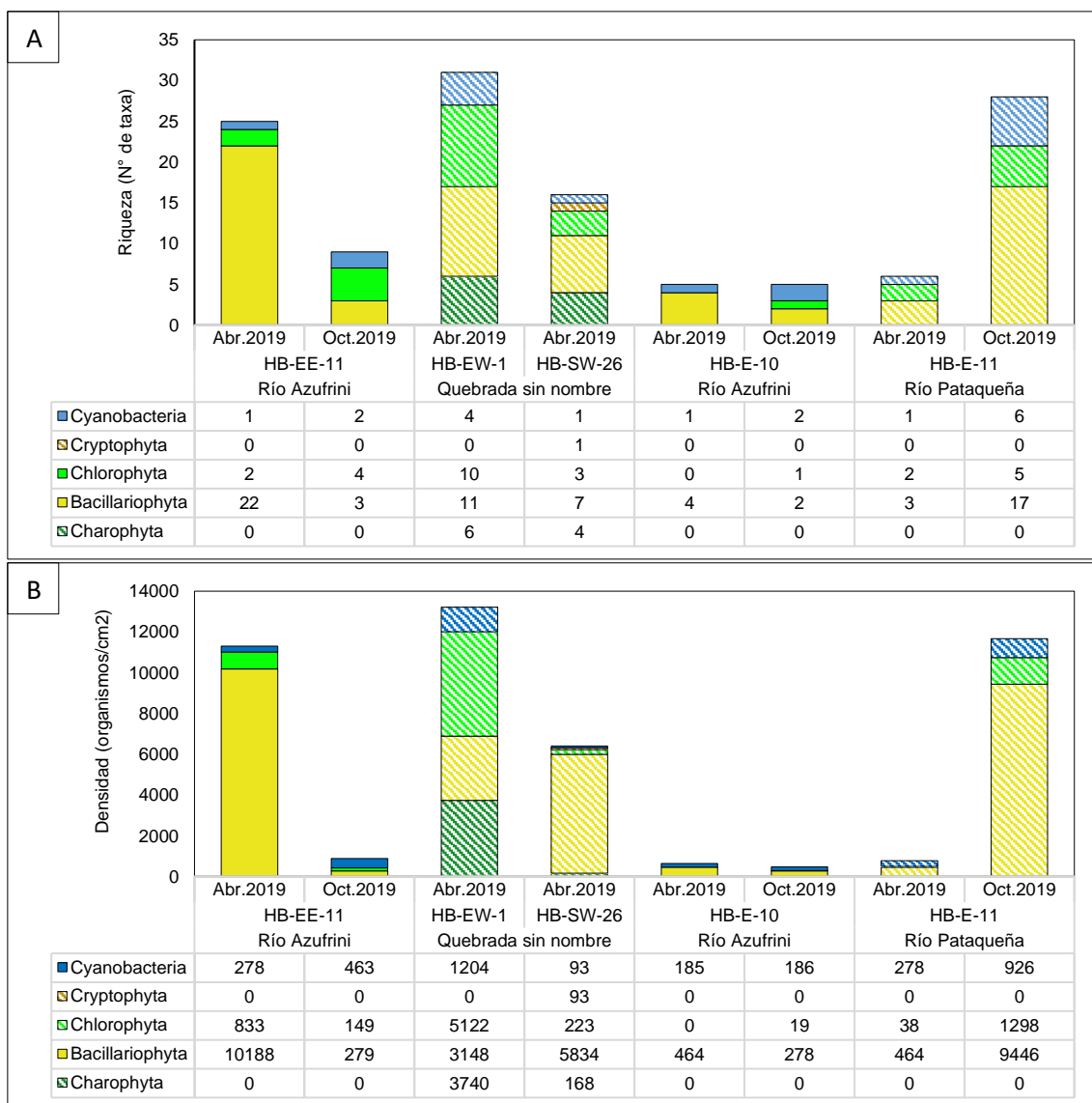


Figura 7.37. A) Riqueza y B) densidad de microalgas por phylum en los puntos de muestreo evaluados en los ríos Azufrini y Pataqueña y aportante. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios.

Estos resultados son consistentes con lo registrado en el análisis de componentes principales (PCA) ya que se registró una asociación directa entre los puntos HB-EE-11 y HB-E-10 y los parámetros conductividad eléctrica, cobre, cobalto, zinc y aluminio; mientras que, los puntos ubicados en la quebrada sin nombre 2 (EW-1 y SW-26) presentaron asociación directa con los metales calcio y magnesio (Figuras 7.49 y 7.50). Por lo demás, el análisis de correspondencia canónica (ACC) identificó una asociación directa en abril 2019 entre la especie *Gomphonema mexicanum* y concentraciones de hierro, arsénico y boro en los puntos HB-EE-11 y HB-E-10 (Tabla 7.7). Algunas especies del género *Gomphonema* han sido descritos como tolerantes a metales (Wu, 2017); mientras que, en octubre 2019 se observó una correlación directa entre la especie tolerante *Achnantheidium* sp.1 y las concentraciones de magnesio y manganeso en los puntos HB-EE-11 y HB-E-10 (Tabla 7.7). Caso similar sucede con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del punto HB-EE-11, donde se destaca la asociación entre *Podonomus* sp. y aluminio en abril (Tabla 7.8 y Figura 7.53).

En ese sentido, en abril 2019, se corrobora la afectación de la quebrada sin nombre 2 por las concentraciones altas de metales registradas en el drenaje ácido parcialmente captado

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

(EW-4) proveniente del botadero N.º 3, afectando el desarrollo de la comunidad de microalgas, ya que aguas abajo se registró la disminución de la diversidad y la dominancia de taxones tolerantes a metales como *Eunotia* sp. Asimismo, esta quebrada al confluir con el río Azufrini influyó en las comunidades hidrobiológicas evaluadas en abril, ya que se evidenció una disminución de la riqueza y densidad de organismos, presentando en su composición la dominancia de especies tolerantes y facultativas. Por otro lado, en octubre 2019, no se evidenció influencia de estos drenajes en la calidad del río Azufrini, debido a que la quebrada sin nombre 2 se encontró sin flujo.

7.2.2. Botadero N.º 1

El río Chacapalca (M-1, M2, E-41 y EE-14 (embalse), EE-15 y E-39), presentó características ácidas manteniendo sus valores similares hasta el embalse, de 4,63 a 4,68 unidades de pH; sin embargo, aguas abajo de esta infraestructura el pH se incrementó ligeramente hasta 5,42 unidades de pH, encontrándose por debajo del rango de los ECA para agua 2015 (Figura 7.38).

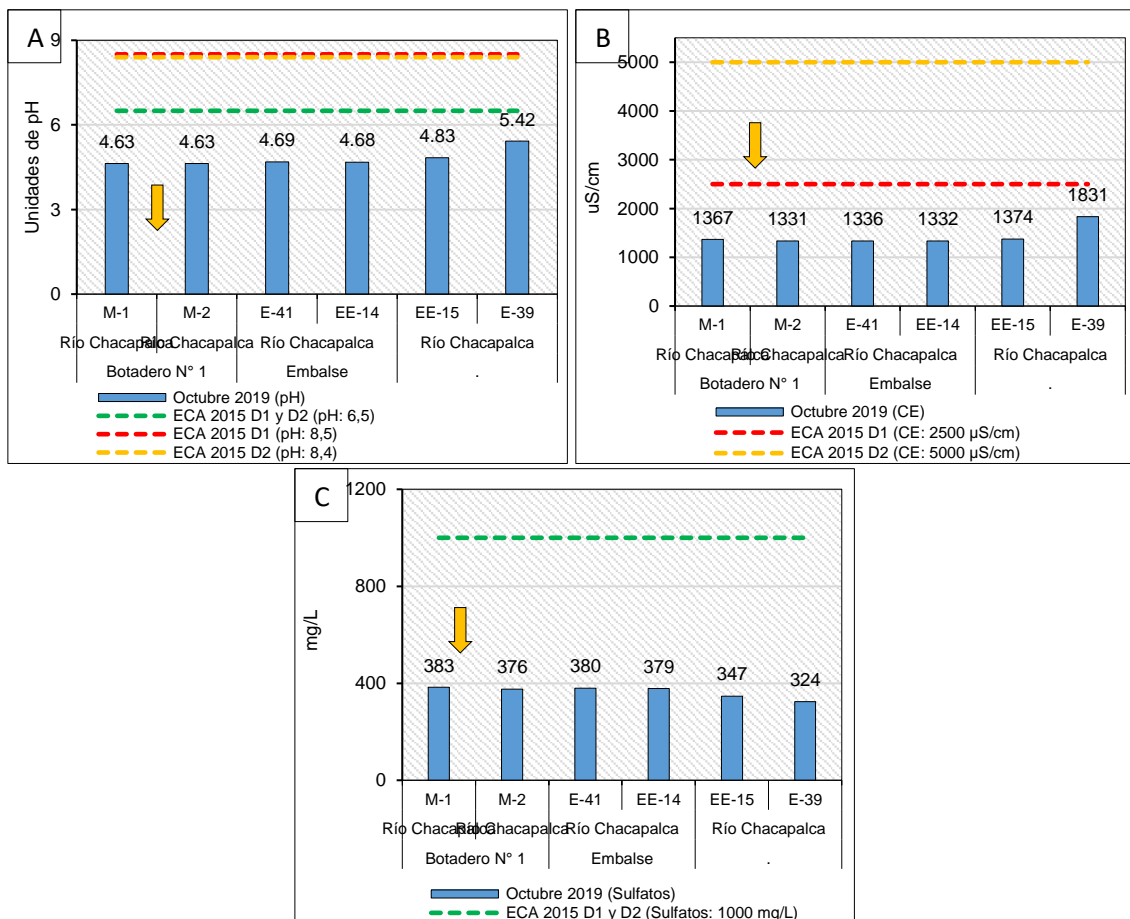


Figura 7.38. Valor de A) pH y B) conductividad eléctrica, y concentración de C) sulfatos en el río Chacapalca

Similar comportamiento presentó el aluminio, cadmio, cobalto, cobre y hierro hasta el embalse (Figuras 7.42A, 7.42E, 7.43A, 7.43C y 7.43E respectivamente), pero aguas abajo disminuyeron ligeramente, a excepción del arsénico y manganeso (Figuras 7.42C y 7.44C respectivamente) y boro (Anexo 8). A pesar de este comportamiento, los metales mencionados aún siguen superando los ECA para agua 2015, categoría 3. Cabe indicar que, en octubre 2019, el punto V-1 se encontró sin flujo de agua (Figura 7.39).

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

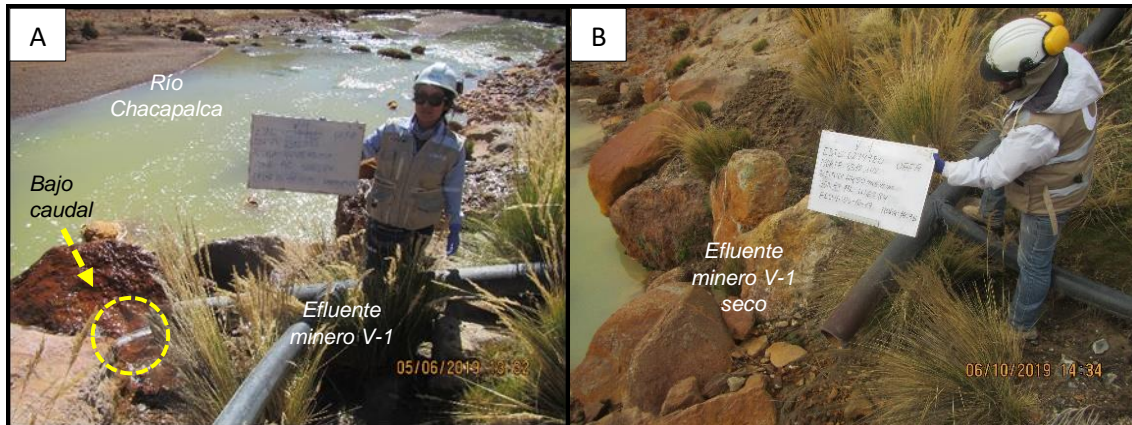


Figura 7.39 Efluente minero V-1, A) descargando al río Chacapalca en junio 2019 y B) seco en octubre 2019

Los colores sólidos representan el cauce principal, la flecha representa el efluente minero V-1

Asimismo, las concentraciones de arsénico, cobre y hierro fueron mayores a lo registrado en febrero 2017, abril y junio 2019 en todos los puntos evaluados en el río Chacapalca (Figura 7.40).

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

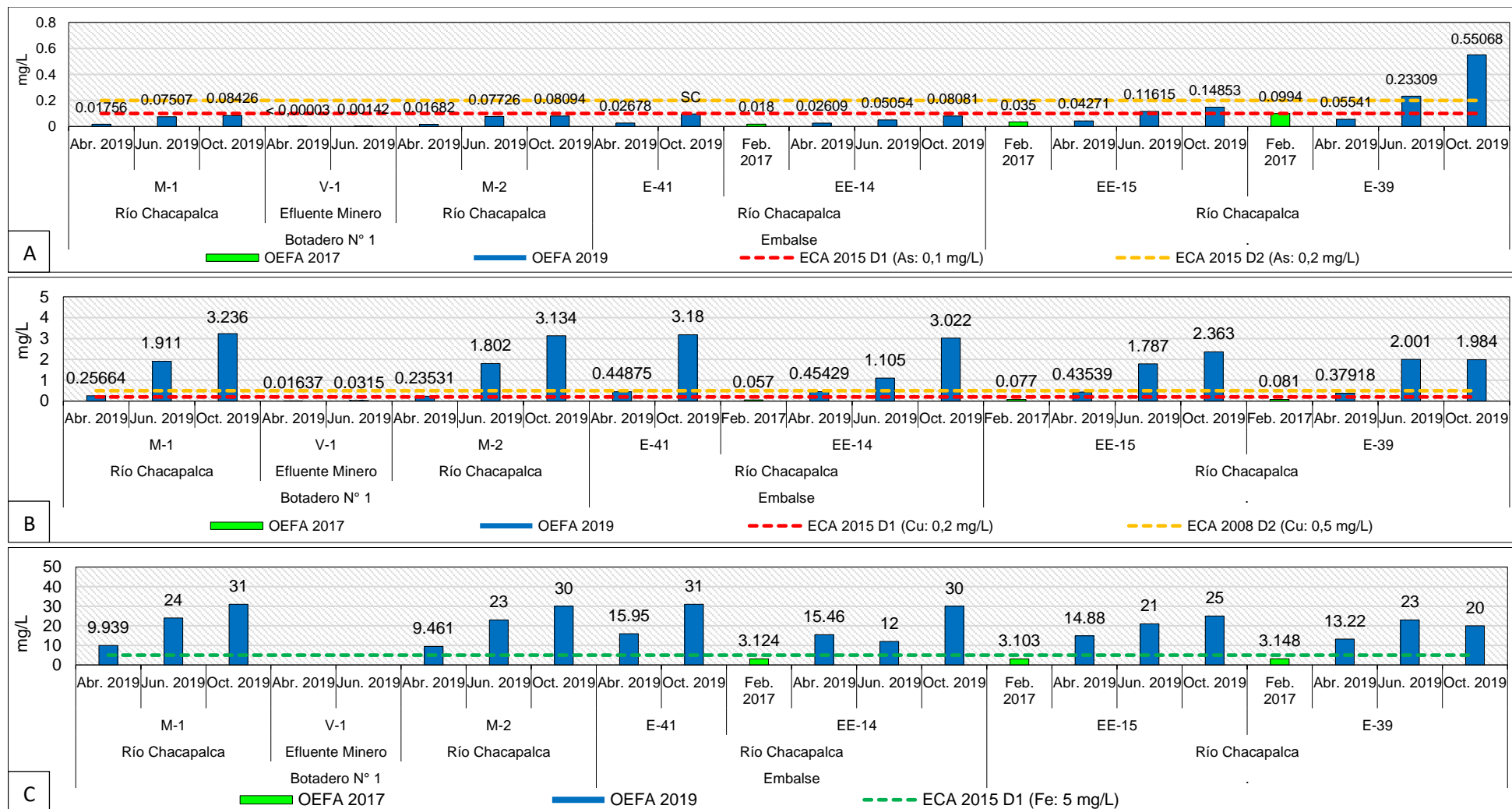


Figura 7.40. Comparación de concentración de A) arsénico, B) cobre y C) hierro en el río Chacapalca (2019) con lo reportado en la data histórica (2017)
Los colores sólidos representan el cauce principal

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

Asimismo, en el punto E-39, se observa el incremento de parámetros (que superaron o se encontraron por debajo del rango de los ECA para agua 2015) de 4 en febrero 2017 a 9 en octubre 2019 (Figura 7.41).

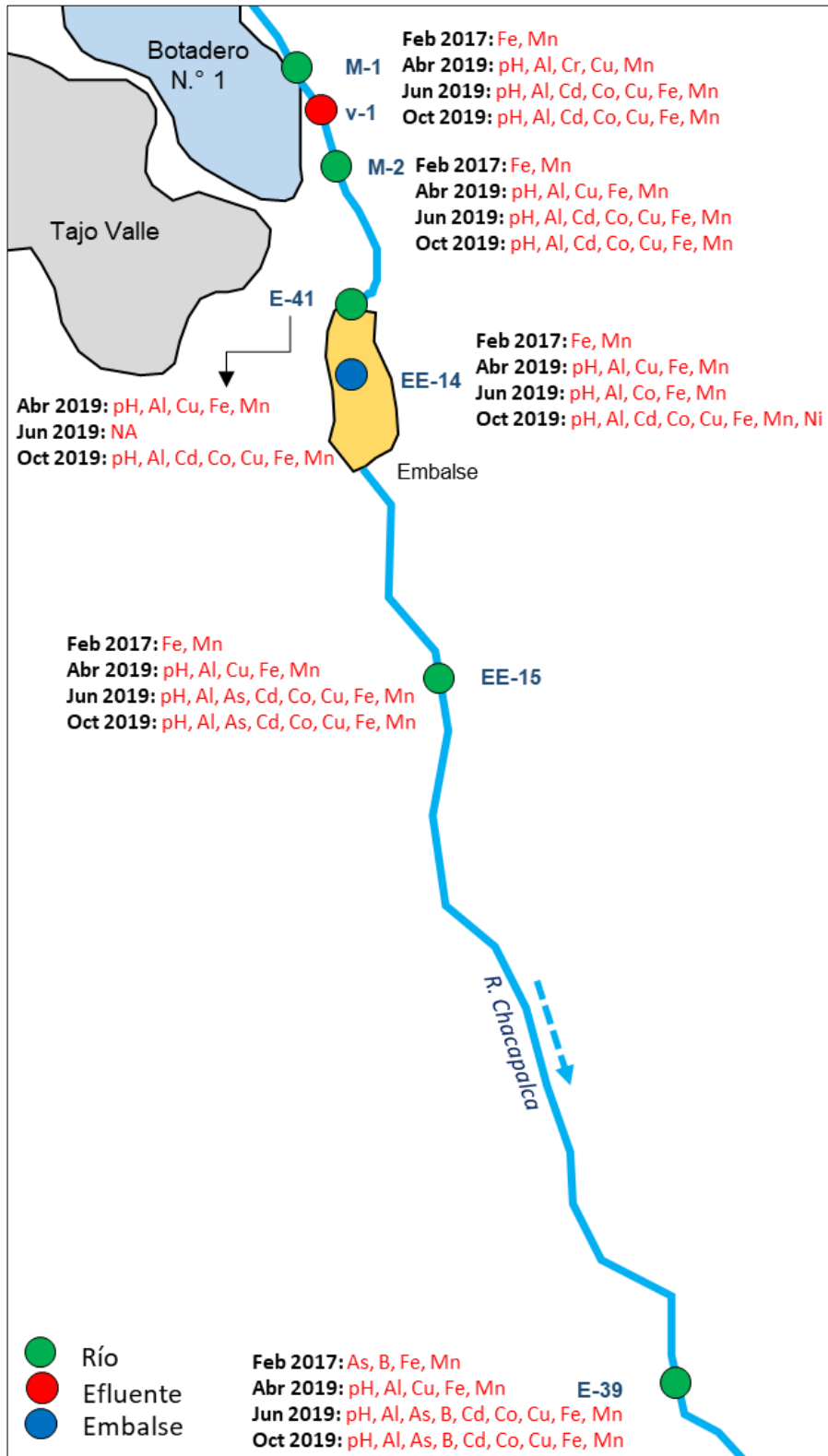


Figura 7.41. Parámetros que superaron o se encontraron por debajo del rango de los ECA para agua 2015, categoría 3, en el río Chacapalca



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

Respecto al sedimento, las concentraciones de hierro y plomo disminuyeron en el río Chacapalca (SED-EE-15 y SED-E-39), aguas abajo del embalse, en comparación con el punto SED-E-41, ubicado aguas arriba (Figuras 7.43F y 7.44D respectivamente), a excepción del arsénico, cadmio, cobalto, cobre y manganeso que presentaron las mayores concentraciones en el punto SED-EE-15 (Figuras 7.42D, 7.42F, 7.43B, 7.43D y 7.44B respectivamente). De todos los metales mencionados, el cadmio y cobre superaron referencialmente el nivel ISQG (SED-E-39 y SED-E-41 respectivamente), mientras que el arsénico (todos los puntos), cobre y cadmio (SED-EE-15) superaron referencialmente el nivel PEL de la norma canadiense, influyendo en la calidad del agua del río Chacapalca debido a que estos metales se movilizan en medios ácidos.

Cabe indicar que, en el informe N.º 054-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME, los ensayos estáticos de balance ácido-base evidenciaron la generación de acidez del material del botadero N° 1, siendo el principal mecanismo de transporte el medio acuoso, por medio de la infiltración y las escorrentías generadas por la interacción de la precipitación pluvial propia de la zona con el material del botadero, generando el arrastre de metales hacia la parte baja, los cuales se evidencian en los resultados de la caracterización de las muestras tomadas en puntos cercanos a los flujos o escorrentías de agua⁹.

⁹

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

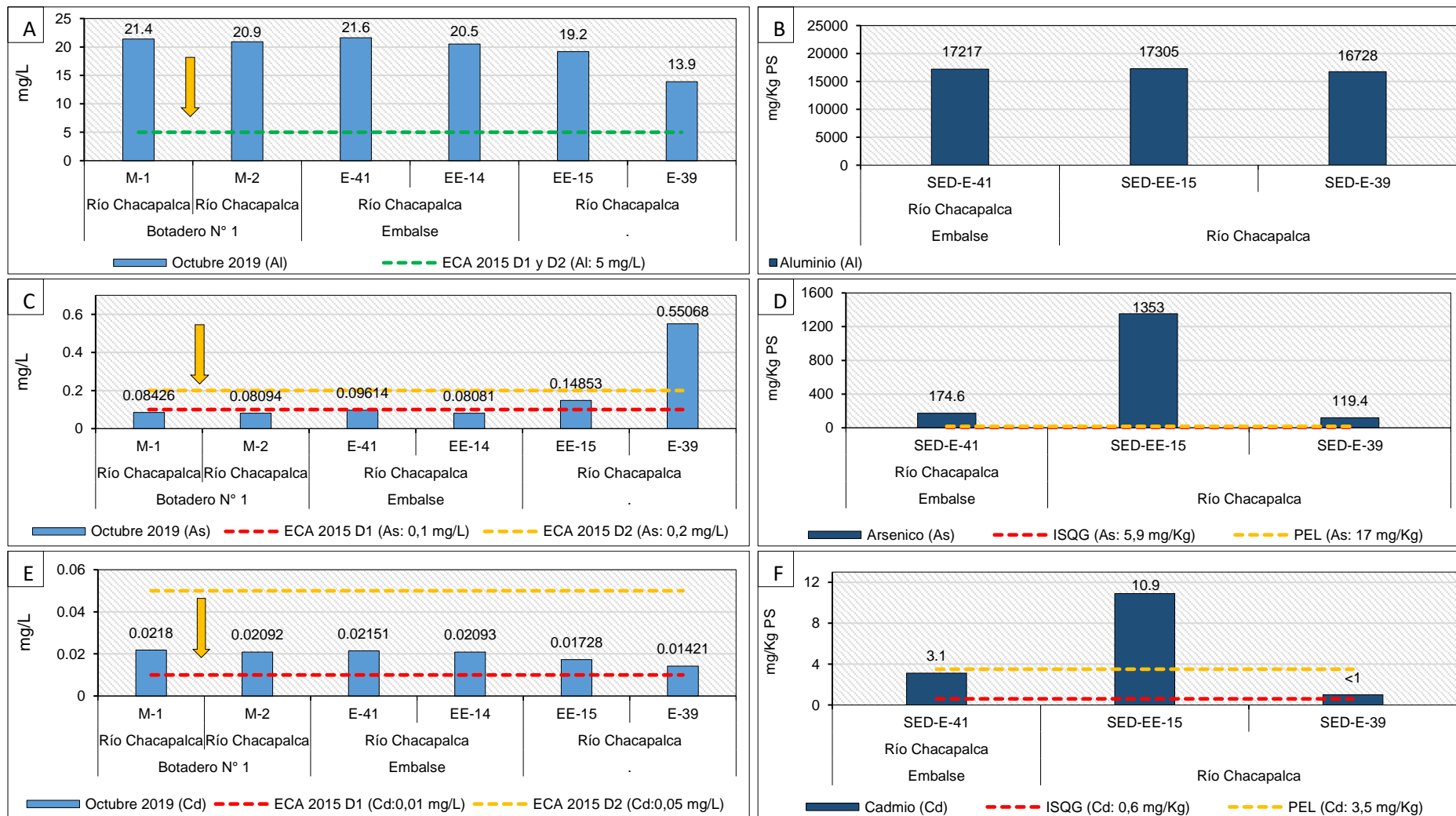


Figura 7.42. Concentración de aluminio, arsénico y cadmio en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el río Chacabamba. Los colores sólidos representan el cauce principal, la flecha representa el efluente minero V-1

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

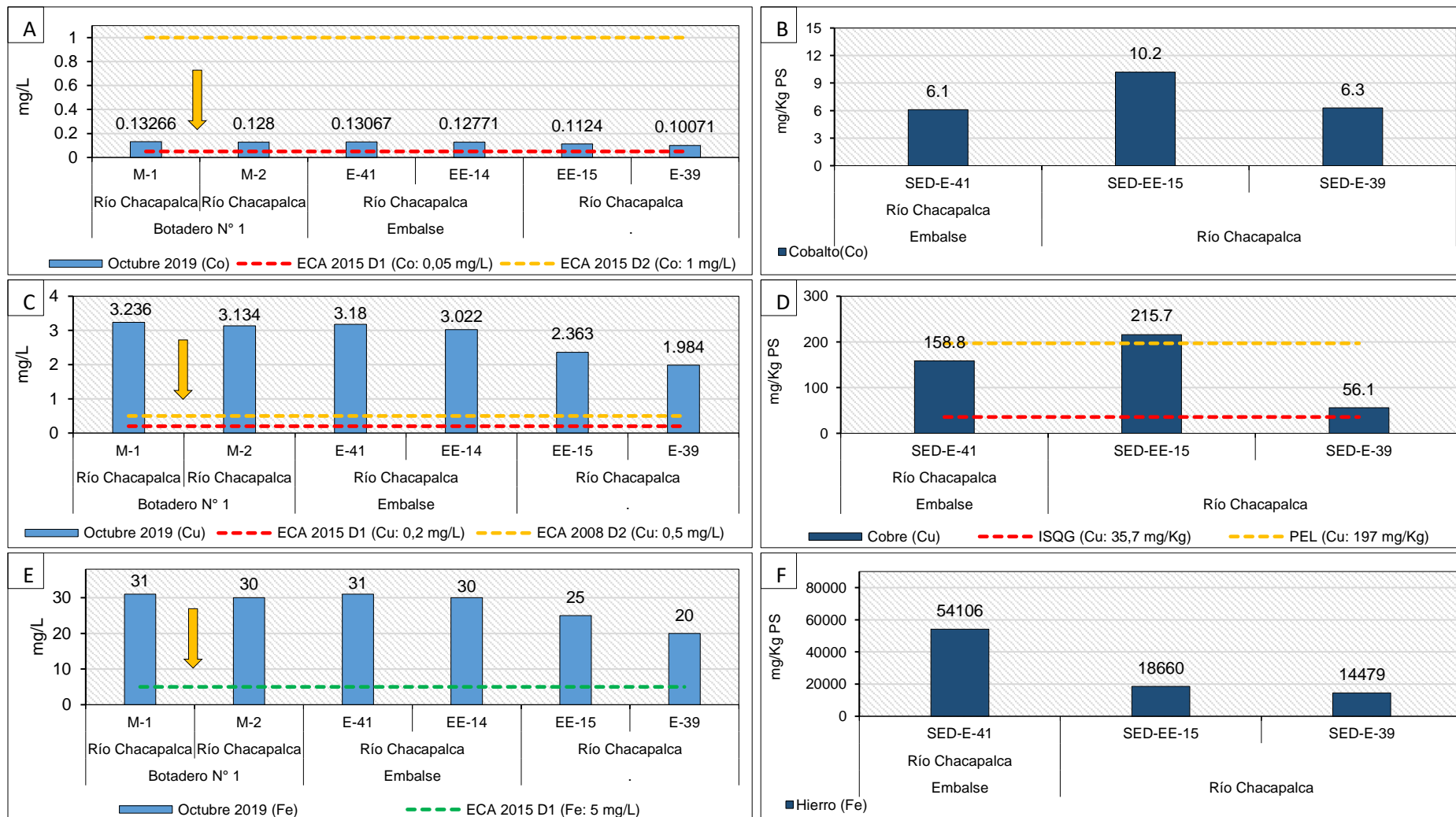


Figura 7.43. Concentración de cobalto, cobre y hierro en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el río Chacabamba. Los colores sólidos representan el cauce principal, la flecha representa el efluente minero V-1

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

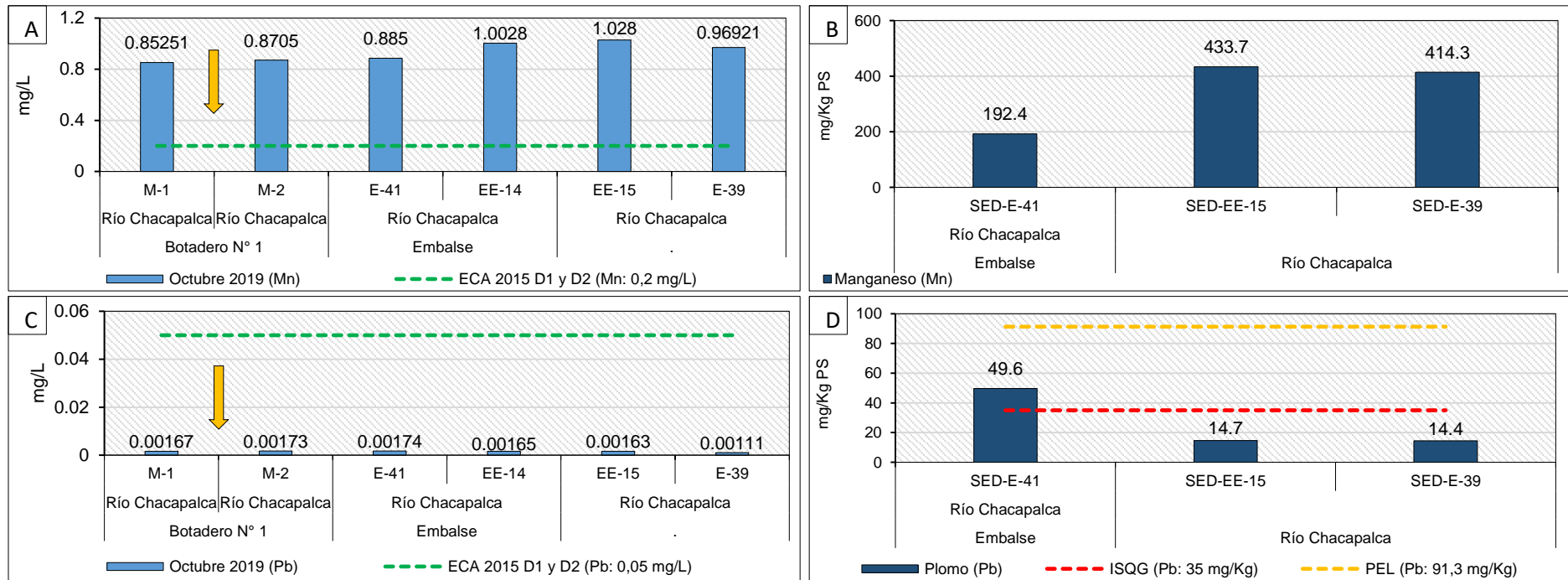


Figura 7.44. Concentración de manganeso y plomo en agua (A y C) y sedimento (B y D) en el río Chacapalca. Los colores sólidos representan el cauce principal, la flecha representa el efluente minero V-1

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

La concentración de aluminio, arsénico, cadmio y cobre fue mayor en octubre 2019 en comparación con lo registrado en abril 2019 (Figura 7.45).

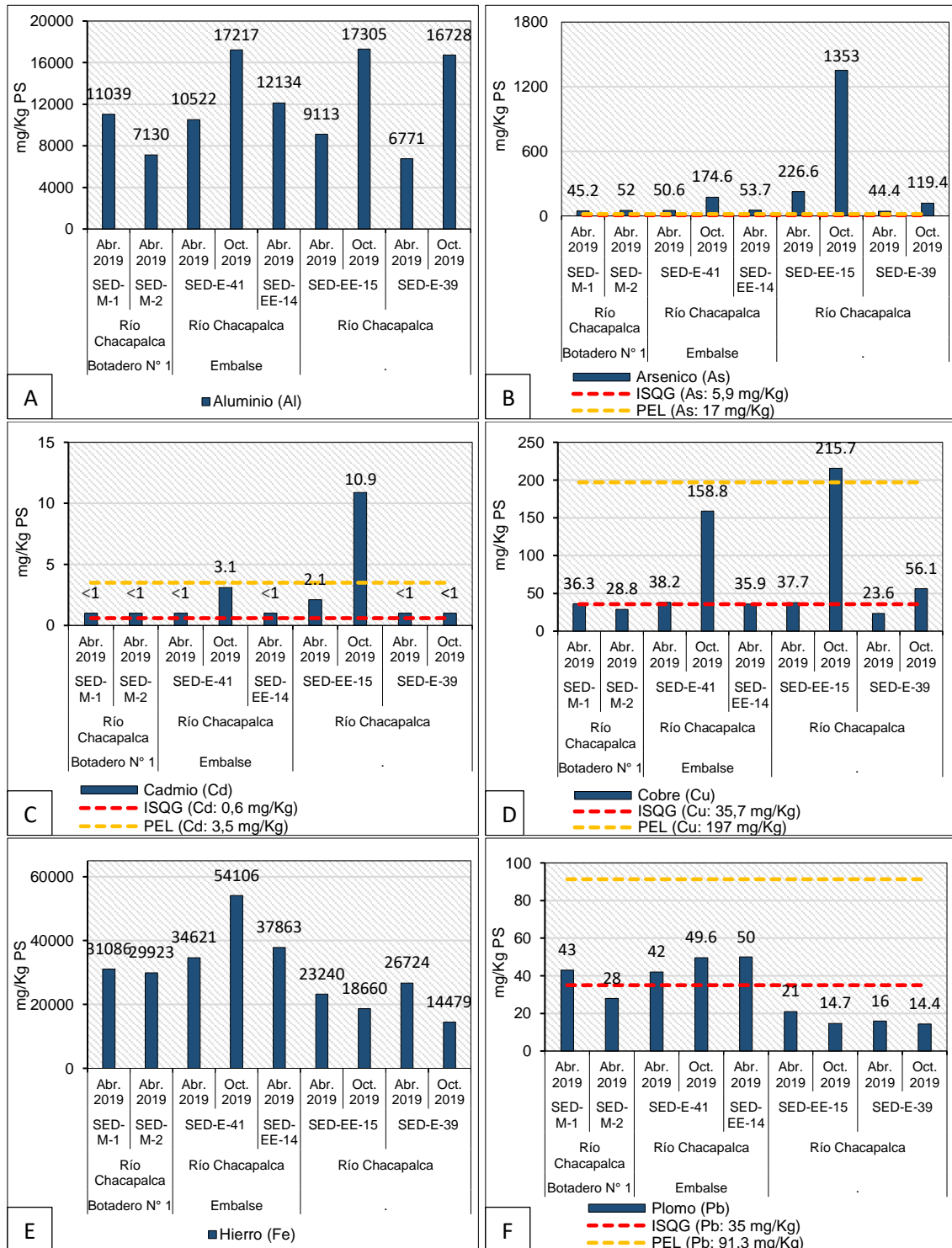


Figura 7.45. Comparación de concentración de A) aluminio, B) arsénico, C) cadmio, D) cobre, E) hierro y F) plomo en sedimento del río Chacabapca, durante abril y octubre 2019. Los colores sólidos representan el cauce principal.

Según lo reportado por el índice biótico andino (ABI), los puntos de muestreo ubicados aguas arriba y aguas abajo del embalse (HB-M-2 y HB-EE-15), presentaron una calidad biológica mala y pésima en abril 2019 (Tabla 7.4), explicado por la dominancia de taxones

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

tolerantes en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.46), como *Cricotopus* sp., perteneciente a la familia Chironomidae, la cual ha sido descrita como tolerante a la exposición de metales pesados (Loayza-Muro *et al.*, 2014). Cabe mencionar que, para octubre 2019, el punto HB-M-2 no fue evaluado por estar inaccesible, mientras que en el punto HB-EE-15 no se reportó ninguna especie, a pesar de haberse realizado un muestreo por triplicado. Asimismo, el punto de muestreo HB-E-39, ubicado aguas abajo del embalse, presentó un estado biológico malo en ambos meses (Tabla 7.4), siendo representativas, especies de la familia Chironomidae (Ej. *Cricotopus* sp.).

Tabla 7.4. Resultados de la calidad biológica

Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Mes	Calidad biológica (ABI)
Río Chacapalca	HB-M-2	Abril	Mala (12)
	HB-E-41	Abril	Mala (23)
		Octubre	Pésima (6)
	HB-EE-15	Abril	Pésima (8)
		Octubre	*
	HB-E-39	Abril	Mala (11)
Octubre		Mala (22)	

* No se reportó ninguna especie

De forma similar, el punto de muestreo HB-E-41 presentó una calidad biológica que varió de mala en abril 2019 a pésima en octubre 2019 (Tabla 7.4). Asimismo, fue reportada una baja riqueza y abundancia de organismos en octubre, conformada solamente por especies tolerantes y facultativas, siendo representativa el género *Cricotopus* (Figura 7.46).

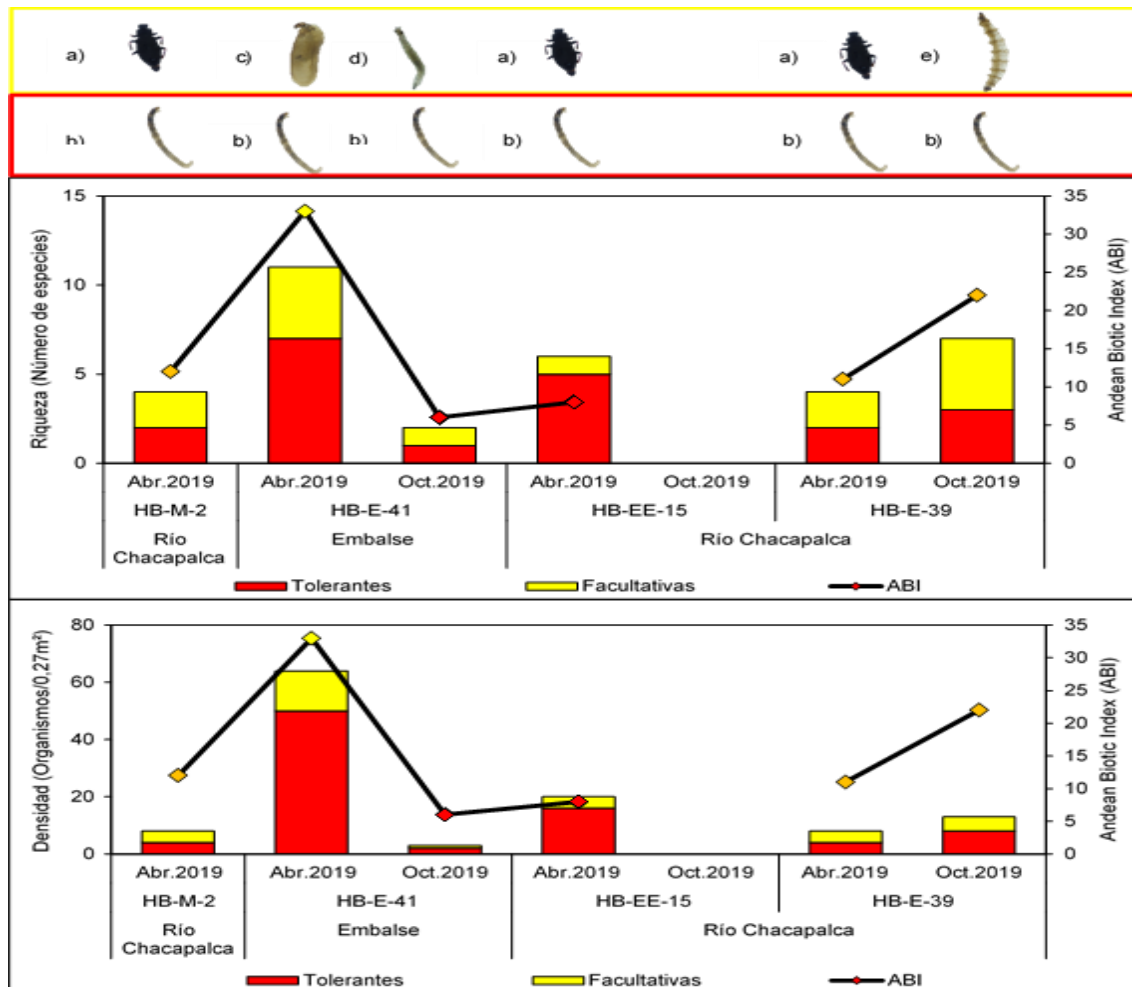


Figura 7.46. Riqueza, densidad e índice biótico andino (ABI) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos descritos en el componente botadero N°1, para las categorías sensibles, facultativas y tolerantes. Donde: a) *Austrelmis* sp., b) *Cricotopus* sp., c) *Metrichia* sp., d) Dolichopodidae y e) *Tabanus* sp.

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

Similar comportamiento presentó la comunidad de microalgas, en el punto HB-E-41, ubicado aguas arriba del embalse, el cual presentó una mayor riqueza y densidad de taxones, con respecto a los puntos HB-EE-15 y HB-E-39, ubicados aguas abajo (Figura 7.47), donde se registró el género *Leptolyngbya*, el cual fue reportado en ambientes contaminados con metales (Hong *et al.*, 2015). Mientras que, el punto HB-M-2 fue influenciado positivamente por el río Pataqueña, ya que después de su confluencia se observa una recuperación de la riqueza y densidad de microalgas.

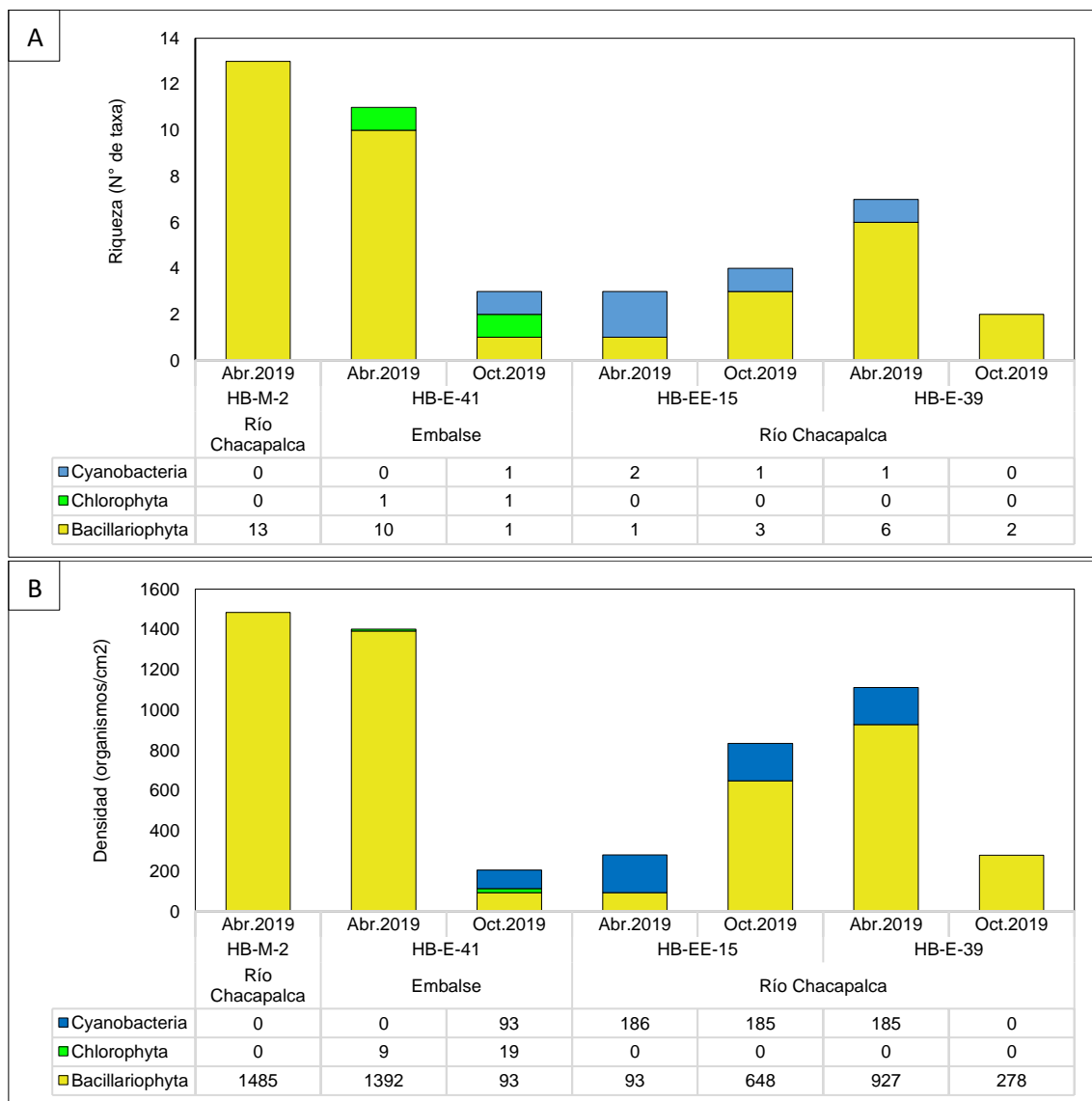


Figura 7.47. A) Riqueza y B) densidad de microalgas por phylum en los puntos de muestreo evaluados en el río Chacapalca

Estos resultados son consistentes con lo registrado en el análisis de componentes principales (PCA), ya que se evidenció una asociación directa entre los puntos HB-EE-15, HB-EE-41, HB-E-39 y HB-M-2 con los metales fósforo, arsénico y hierro en abril 2019; mientras que, en octubre 2019, estos mismos puntos se encontraron asociados a los metales estroncio, sodio y boro (Figuras 7.49 y 7.50). El análisis de correspondencia canónica (ACC) por su parte identificó una asociación directa en abril, entre la especie *Gomphonema mexicanum* y concentraciones de hierro, arsénico y fósforo en los puntos HB-EE-15, HB-EE-41, HB-E-39 y HB-M-2 (Tabla 7.7). Caso similar sucede con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del punto HB-EE-41, donde se destaca la asociación entre *Podonomus* sp. y aluminio en abril; mientras que, para octubre se observa una

asociación entre *Cricotopus* sp. y boro en los puntos HB-EE-15 y HB-E-39 (Tabla 7.8, y Figuras 7.53 y 7.54).

Por lo tanto, la alta concentración de metales y la acidez de los afloramientos provenientes de la parte baja del botadero N°1, así como el embalse, estarían influyendo en la calidad del agua del río Chacapalca, situación que es corroborada por las comunidades hidrobiológicas evaluadas, ya que los puntos ubicados aguas abajo del embalse (HB-EE-15 y HB-E-39) reportan una baja riqueza y densidad de macroinvertebrados bentónicos y microalgas, así como, la dominancia de especies tolerantes. Mientras que, los puntos ubicados aguas arriba del embalse (HB-M-2 y HB-E-41) presentaron una riqueza y densidad mayor, identificando al embalse como un factor que estaría afectando el desarrollo de las comunidades hidrobiológicas aguas abajo, por la alteración de las características hidromorfológicas como el sustrato y los hábitats disponibles para el desarrollo de las comunidades (Figura 7.48).

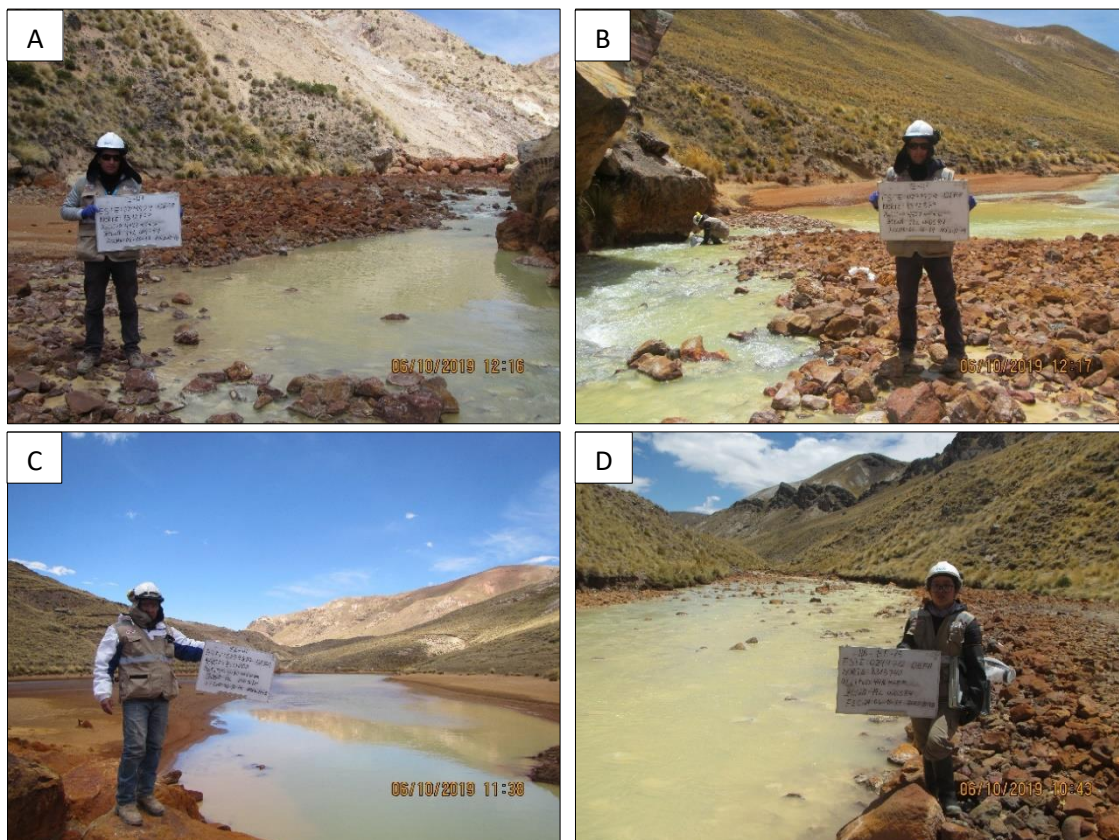


Figura 7.48. Puntos en el río Chacapalca HB-E-41 (A y B) y HB-E-15 (D), aguas arriba y aguas abajo del embalse (C), respectivamente

A continuación, se observa los resultados del análisis multivariado realizado con todos los puntos evaluados en el área de estudio.

7.3.1 Análisis de componentes principales (PCA)

En la Figura 7.49, el PCA realizado para 17 variables del agua superficial para abril 2019, en 18 puntos de muestreo, agrupa en 2 componentes principales a la mayoría de las variables ambientales utilizadas en el análisis, explicando el eje 1 el 48,11 % de la variabilidad (% de la varianza) y el eje 2 el 24,34 %, explicando entre los 2 el 72,45 % de la variabilidad total del sistema.

Para la distribución de los puntos de muestreo se observó un gráfico de PCA bien definido, las asociaciones entre los puntos de muestreo y las variables ambientales se pueden

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

interpretar mediante la magnitud de los coeficientes de correlación indicados en la Tabla 7.5. Se observó que los valores de estroncio total (Sr) ($z=-0,287$), potasio total (K) ($z=-0,255$), sodio total (Na) ($z=-0,176$), boro total (B) ($z=-0,045$) y potencial de hidrógeno (pH) ($z=-0,209$), son los principales factores que explican la variabilidad del eje 1 correlacionado con los puntos de muestreo ubicados aguas arriba del componente PAD Jessica (E-1), en la quebrada Huarucani (E-4) y en la quebrada Pataqueña (E-11); y de manera positiva las variables cobalto total (Co) ($z=0,282$), cadmio total (Cd) ($z=0,293$), cobre total (Cu) ($z=0,301$), hierro total (Fe) ($z=0,303$), zinc total (Zn) ($z=0,318$) y aluminio total (Al) ($z=0,328$), se encuentran relacionados a los puntos ubicados aguas abajo y después de los botaderos Jessica (EE-3, EE-5 y EE-4), botadero N° 3 (E-10 y EE-11) y PAD Jessica (EE-1).

En el eje 2 se observó que los parámetros manganeso total (Mn) ($z=-0,040$), magnesio total (Mg) ($z=-0,23$) y calcio total (Ca) ($z=-0,210$), son los principales factores que explican la variabilidad de este eje, correlacionado con los puntos de muestreo ubicados en los tributarios ubicados en el componente botadero N° 1 (EW-1, EW-4 y SW-26); mientras que, el componente positivo presentó una correlación entre las variables arsénico total (As) ($z=0,364$) y fósforo total (P) ($z=-0,383$) con los puntos de muestreo ubicados en el componente botadero N° 1 (E-39, EE-15, EE-14, E-41, M-1 y M-2).

Tabla 7.5. Análisis de componentes principales (PCA) para las variables consideradas en agua superficial en abril 2019

Análisis de especies y parámetros		Componentes	
		PC 1	PC 2
Parámetros	Manganeso total (Mn)	-0,040	-0,389
	Magnesio total Mg	-0,230	-0,213
	Calcio total (Ca)	-0,297	-0,210
	Conductividad eléctrica (CE)	0,244	-0,072
	Cobalto total (Co)	0,282	-0,086
	Cadmio total (Cd)	0,293	-0,020
	Cobre total (Cu)	0,301	0,020
	Hierro total (Fe)	0,303	0,204
	Zinc total (Zn)	0,318	-0,030
	Aluminio total (Al)	0,328	0,055
	Estroncio total (Sr)	-0,287	0,133
	Potasio total (K)	-0,255	0,247
	Sodio total (Na)	-0,176	0,395
	Potencial de hidrogeno (pH)	-0,209	0,174
	Boro total (B)	-0,045	0,395
	Arsénico total (As)	0,086	0,364
Fosforo total (P)	0,098	0,383	
Varianza explicada	% explicación por componente	48,11	24,34
	% explicación acumulado	48,11	72,45

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

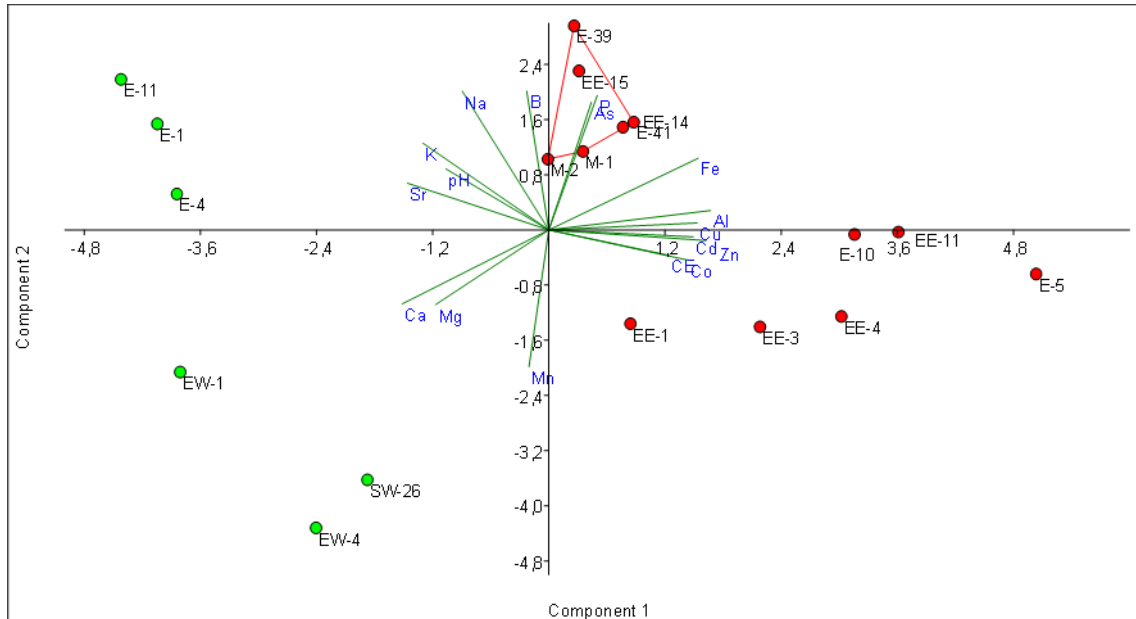


Figura 7.49. Distribución de las variables de agua superficial en abril 2019 en los dos primeros ejes del PCA

Las abreviaturas de las variables ambientales se encuentran en la Tabla 6.10

En Figura 7.50, el PCA realizado para 18 variables del agua superficial para octubre 2019, en 15 puntos de muestreo, agrupa en 2 componentes principales a la mayoría de las variables ambientales utilizadas en el análisis, explicando el eje 1 el 62,68 % de la variabilidad (% de la varianza) y el eje 2 el 17,6 %, explicando entre los dos el 80,28 % de la variabilidad total del sistema.

Para la distribución de los puntos de muestreo se observó un gráfico de PCA bien definido, las asociaciones entre los puntos de muestreo y las variables ambientales se pueden interpretar mediante la magnitud de los coeficientes de correlación indicados en la Tabla 7.6. Se observó que los valores de conductividad eléctrica (CE) ($z=-0,309$), estroncio total (Sr) ($z=-0,002$), boro total (B) ($z=-0,03$) y sodio total (Na) ($z=-0,162$), son los principales factores que explican la variabilidad del eje 1 correlacionado con los puntos de muestreo ubicados aguas abajo del componente botadero N° 1 (E-39, EE-15, EE-14, M-1 y M-2), y de manera positiva las variables aluminio total (Al) ($z=0,097$), hierro total (Fe) ($z=0,155$), sulfato (SO_4^{2-}) ($z=0,917$) y zinc total (Zn) ($z=0,002$) se encuentran relacionados a los puntos ubicados aguas abajo y después de los botaderos Jessica, N° 3 y PAD Jessica (E-10, EE-3, EE-11, EE-5 y EE-4).

En el eje 2 se observó una relación de los puntos de muestreo EE-1 y EE-4 con las variables calcio total (Ca) ($z=-0,273$), potencial de hidrógeno (pH) ($z=-0,159$), potasio total (K) ($z=-0,133$) y bario total (Ba) ($z=-0,001$).

Tabla 7.6. Análisis de componentes principales (PCA) para las variables consideradas en agua superficial en octubre 2019

Análisis de especies y parámetros		Componentes	
		PC 1	PC 2
Parámetros	Conductividad eléctrica (CE)	-0,309	-0,185
	Estroncio total (Sr)	-0,002	0,004
	Boro total (B)	-0,003	0,013
	Sodio total (Na)	-0,162	0,655
	Aluminio total (Al)	0,097	0,089
	Hierro total (Fe)	0,155	0,630
	Sulfatos (SO_4^{2-})	0,917	-0,089
	Zinc total (Zn)	0,002	0,006
Calcio total (Ca)	-0,066	-0,273	

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

Análisis de especies y parámetros		Componentes	
		PC 1	PC 2
	Potencial de hidrogeno (pH)	-0,017	-0,159
	Potasio total (K)	-0,019	-0,133
	Bario total (Ba)	0,000	-0,001
Varianza explicada	% explicación por componente	62,68	17,6
	% explicación acumulado	62,68	80,28

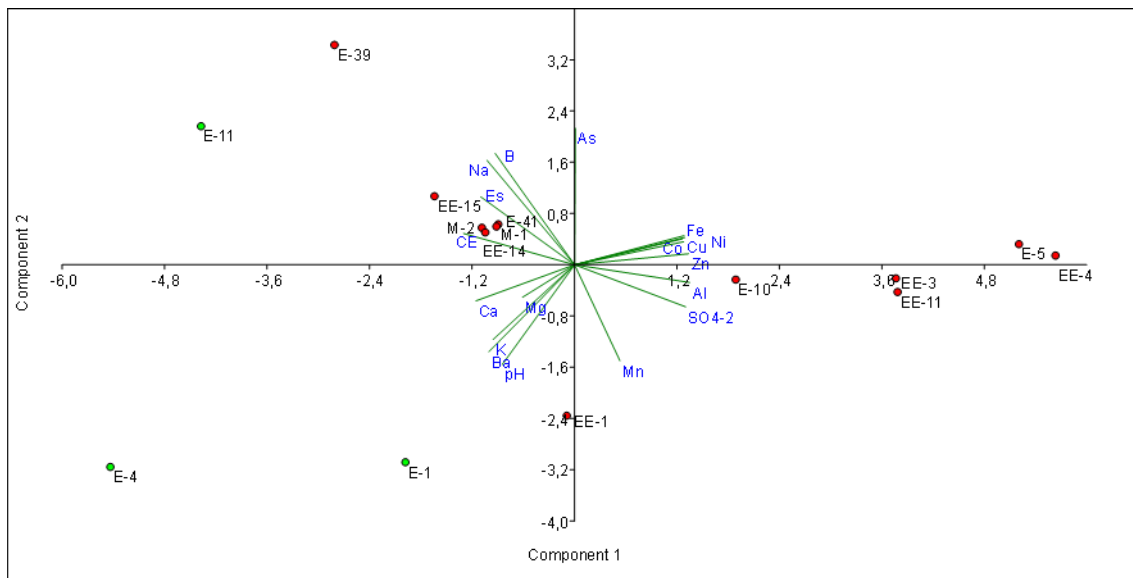


Figura 7.50. Distribución de las variables de agua superficial para octubre en el espacio definido por los dos primeros ejes del PCA

Las abreviaturas de las variables ambientales se encuentran en la Tabla 6.10

7.3.2 Análisis de correspondencia canónica (ACC)

a) Microalgas del perifiton

El análisis de correspondencia canónica (ACC) se realizó para abril 2019 y octubre 2019. En la Tabla 7.7, para abril 2019, el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua (n=20), determinándose que la primera componente (ACC1) explicó el 24,28 % de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 18,07 %. Por lo tanto, los 2 primeros ejes explicaron juntos el 42,35 % de la varianza en la correlación de los parámetros biológicos (principales especies de microalgas) respecto a los parámetros ambientales.

En relación al eje 1, en el componente positivo, el punto HB-SW-26 presentó correlación directa con los parámetros calcio total (Ca) (z=0,544) y manganeso total (Mn) (z=0,675), y estuvieron asociadas con las especies *Pinnularia subcapitata* (z=1,387), *Eunotia bilunaris* (z=1,535), *Eunotia exigua* (z=2,515) y *Mougeotia* sp. 4 (z=1,635). También en el componente positivo, los puntos HB-E-11 y HB-EW-1, se encontraron asociados a las especies *Pseudanabaena* sp.2 (z=0,340) y *Actinotaenium globosum* (z=0,361), y a los parámetros magnesio total (Mg) (z=0,65) y sulfatos (SO4²⁻) (z=0,090). En relación al eje 2, en el componente positivo, el punto HB-E-1 se encuentra asociado a las especies *Leptolyngbya* sp.2 (z=1,637), *Achnanthes gracillimum* (z=1,766), *Leptolyngbya* sp.3 (z=1,766) y *Frustulia neomundana* (z=1,518) con el potencial de hidrógeno (pH) (z=0,524). Por otro lado, en el componente negativo, los puntos HB-E-41, HB-M-2, HB-E-5, HB-EE-15, HB-E-10, HB-E-39, HB-EE-11 se encontraron asociados a las especies *Nitzschia gracilis* (z=-0,833), *Gomphonema mexicanum* (z=-0,963), *Encyonema minutum* (z=-0,927), *Kamptomena formosum* (z=-0,833), *Ulnaria ulna* (z=-0,848) y *Fragilaria capuccina* (z=-0,333), también el punto HB-E-4 se encuentra asociado a las especies *Gomphonema parvulum* (z=-0,833) y *Hannaea arcus* (z=-0,545), tal como se observa en la Figura 7.51.

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

En la Tabla 7.7, para octubre 2019, el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua (n=20), determinándose que el primer componente (ACC1) explicó el 25,7 % de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 23,4 %. Por lo tanto, los primeros 2 ejes explicaron el 49,07 % de la varianza en la correlación de los parámetros biológicos (principales especies) respecto a los parámetros ambientales.

En relación al eje 1, en el componente negativo, los puntos de muestreo HB-EE-3, HB-EE-4, HB-EE-1, HB-EE-11 y HB-E-10 y los parámetros aluminio total (Al) (z=-0,051), fósforo total (P) (z=-0,108), magnesio total (Mg) (z=-0,237), manganeso total (Mn) (z=-0,251) y sulfatos (SO₄⁻²) (z=-0,129) presentaron correlación con las especies *Leptolyngbya* sp.2 (z=-1,605), *Pseudanabaena* sp.2 (z=-1,502) y *Achnanthydium* sp.1 (z=-1,604). Por otro lado, en el componente positivo, el punto HB-E-1, presentó correlación con las especies *Frustulia* aff. *saxonica* (z=2,921), *Leptolyngbya* sp.3 (z=2,921) y *Eunotia exigua* (z=3,796), también se observa que el punto HB-E-5, presentó asociación con la especie *Pinnularia subcapitata* (z=5,536) y el potasio total (K) (z=2,272).

En relación al eje 2 en el componente negativo, los puntos HB-E-39, HB-E-11 y HB-EE-15 se encuentran asociados a las especies *Planothidium frequentissimum* (z=-0,973), *Nitzschia gracilis* (z=-0,973), *Encyonema minutum* (z=-0,973), *Reimeria sinuata* (z=-0,973), *Xenococcus* sp. (z=-0,973), *Gomphonema mexicanum* (z=-0,970) y *Ulnaria acus* (z=-0,932) y a los parámetros boro total (B) (z=-0,736), sodio total (Na) (z=-0,729), arsénico total (As) (z=-0,635), estroncio total (Sr) (z=-0,581) y conductividad eléctrica (CE) (z=-0,542). Mientras que, en el componente positivo, el punto HB-E-4 se encuentra asociado a las especies *Nitzschia subacicularis* (z=1,549), *Hannaea arcus* (z=1,549) y *Pseudanabaena catenata* (z=1,549), las cuales se encontraron correlacionadas con los parámetros bario total (Ba) (z=0,166), cobre total (Cu) (z=0,192), cromo total (Cr) (z=0,334), hierro total (Fe) (z=0,286) y potencial de hidrogeno (pH) (z=0,285) (Figura 7.52).

Tabla 7.7. Resultados del análisis de correspondencia canónica (CCA) del ensamble de microalgas en relación a abril 2019 y octubre 2019, basado sobre las variables ambientales (agua superficial) ordenadas en relación a su correlación (*spearman*)

Abril 2019			Octubre 2019		
Variable	CCA 1(24,28%)	CCA 2(18,07%)	Variable	CCA 1(25,7)	CCA 2(23,37)
<i>Leptolyngbya</i> sp.2	-0,817	1,637	<i>Leptolyngbya</i> sp.2	-1,605	0,915
<i>Achnanthydium gracillimum</i>	-0,817	1,766	<i>Achnanthydium</i> sp.1	-1,604	0,962
<i>Leptolyngbya</i> sp.3	-0,817	1,766	<i>Pseudanabaena</i> sp.2	-1,502	1,024
<i>Leptolyngbya</i> sp.4	-0,817	1,766	<i>Frustulia</i> aff. <i>saxonica</i>	2,921	0,595
<i>Frustulia neomundana</i>	-0,734	1,518	<i>Leptolyngbya</i> sp.3	2,921	0,595
<i>Pseudanabaena</i> sp.2	0,340	-0,355	<i>Eunotia exigua</i>	3,796	0,179
<i>Actinotaenium globosum</i>	0,361	-0,234	<i>Pinnularia subcapitata</i>	5,536	-0,647
<i>Gomphonema parvulum</i>	-0,398	-0,833	<i>Planothidium frequentissimum</i>	-0,160	-0,973
<i>Hannaea arcus</i>	-0,445	-0,545	<i>Nitzschia gracilis</i>	-0,160	-0,973
<i>Nitzschia gracilis</i>	-0,398	-0,833	<i>Encyonema minutum</i>	-0,160	-0,973
<i>Gomphonema mexicanum</i>	-0,413	-0,963	<i>Reimeria sinuata</i>	-0,160	-0,973
<i>Encyonema minutum</i>	-0,435	-0,927	<i>Xenococcus</i> sp.	-0,160	-0,973
<i>Kamptonema formosum</i>	-0,398	-0,833	<i>Gomphonema mexicanum</i>	-0,162	-0,970
<i>Ulnaria ulna</i>	-0,402	-0,848	<i>Ulnaria acus</i>	-0,164	-0,932
<i>Ulnaria acus</i>	-0,384	-0,831	<i>Nitzschia subacicularis</i>	-0,014	1,549
<i>Fragilaria capuccina</i>	-0,495	-0,333	<i>Hannaea arcus</i>	-0,014	1,549
<i>Pinnularia subcapitata</i>	1,387	0,044	<i>Pseudanabaena catenata</i>	-0,014	1,549
<i>Eunotia bilunaris</i>	1,535	1,006	HB-EE-3	-1,605	0,915
<i>Mougeotia</i> sp. 4	1,631	0,128	HB-EE-1	-1,604	0,939
<i>Eunotia exigua</i>	2,515	0,540	HB-EE-4	-1,553	0,993
HB-E-1	-0,730	1,498	HB-EE-11	-1,268	0,906
HB-EW-1	0,481	-0,301	HB-E-10	-0,892	0,786
HB-E-11	0,610	-0,284	HB-E-1	2,447	0,504
HB-E-4	-0,363	-0,673	HB-E-5	4,666	-0,234
HB-E-41	-0,424	-0,766	HB-E-39	-0,164	-0,932
HB-M-2	-0,225	-0,278	HB-E-11	-0,142	-0,790
HB-E-5	-0,028	-0,559	HB-EE-15	-0,160	-0,648

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

Abril 2019			Octubre 2019		
HB-EE-15	-0,024	-0,582	HB-E-4	-0,016	1,147
HB-E-10	-0,274	-0,701	Potasio total (K)	0,272	-0,019
HB-E-39	-0,328	-0,819	Boro total (B)	-0,045	-0,736
HB-EE-11	-0,374	-0,845	Sodio total (Na)	-0,146	-0,729
HB-SW-26	2,401	0,522	Arsénico total (As)	-0,129	-0,635
Calcio total (Ca)	0,544	0,317	Estroncio total (Sr)	-0,156	-0,581
Manganeso total (Mn)	0,675	0,342	Conductividad eléctrica (CE)	0,157	-0,542
Hierro total (Fe)	-0,419	-0,574	Bario total (Ba)	0,156	0,166
Arsénico total (As)	-0,160	-0,536	Cobre total (Cu)	0,162	0,192
Níquel total (Ni)	0,021	-0,505	Cobalto total (Co)	0,082	0,221
Fosforo total (P)	-0,364	-0,455	Potencial de hidrógeno (pH)	0,094	0,285
Cobalto total (Co)	0,084	-0,430	Hierro total (Fe)	-0,008	0,286
Boro total (B)	-0,119	-0,397	Cromo total (Cr)	0,040	0,334
Cadmio total (Cd)	-0,160	-0,356	Aluminio total (Al)	-0,051	0,439
Cobre total (Cu)	-0,193	-0,352	Fosforo total (P)	-0,108	0,482
Potencial de hidrógeno (pH)	-0,181	0,524	Manganeso total (Mn)	-0,251	0,579
Sulfatos (SO4-2)	0,090	-0,019	Sulfatos (SO4-2)	-0,129	0,585
Magnesio total (Mg)	0,653	-0,152	Magnesio total (Mg)	-0,237	0,251

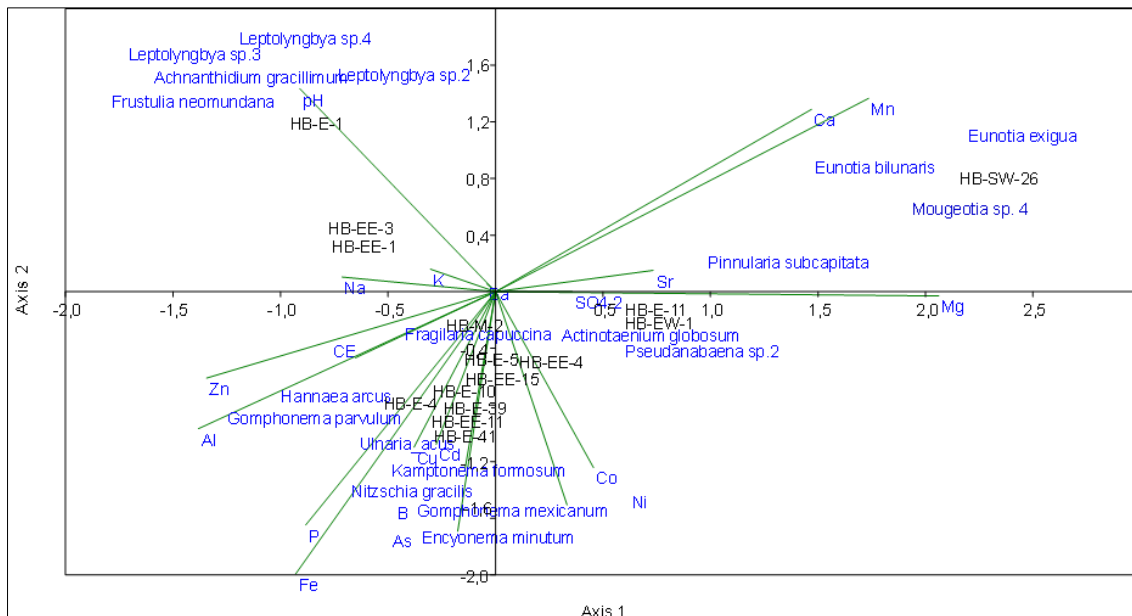


Figura 7.51. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en relación a las variables ambientales (agua superficial) y la comunidad de microalgas en abril 2019

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

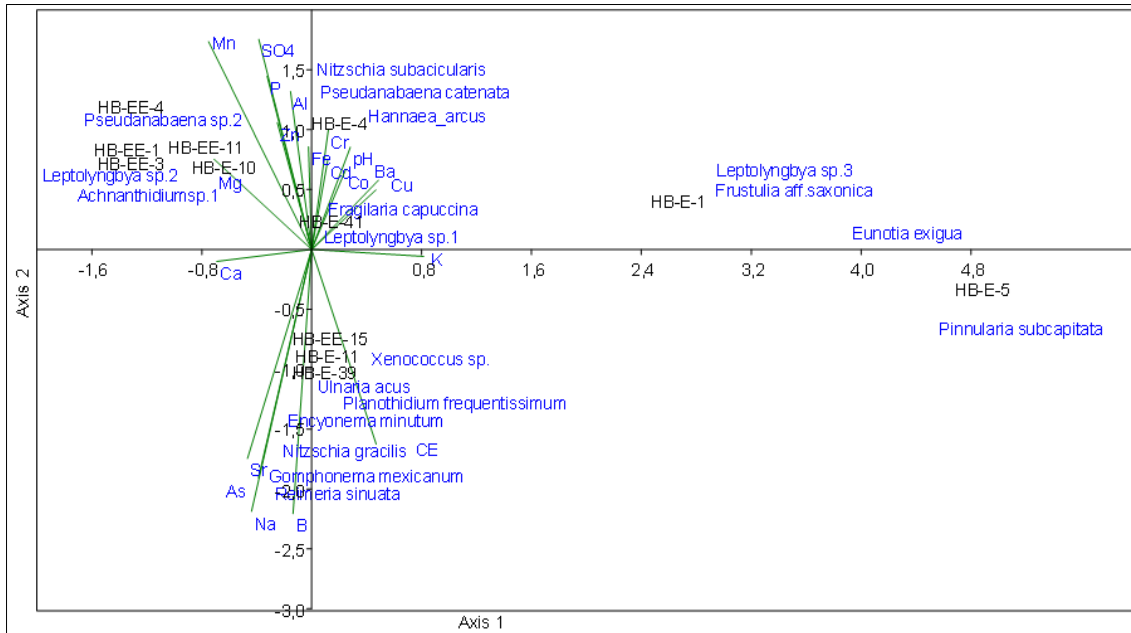


Figura 7.52. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en relación a las variables ambientales (agua superficial) y la comunidad de microalgas en octubre 2019

b) Macroinvertebrados bentónicos

El análisis de correspondencia canónica (ACC) se realizó para abril 2019 y octubre 2019. En la Tabla 7.8, para abril 019, el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua superficial (n=26), determinándose que el primer componente (ACC1) explicó el 28,67 % de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 17,35 %. Por lo tanto, los primeros 2 ejes juntos explicaron el 46,02 % de la varianza en la correlación de los parámetros biológicos (principales especies de macroinvertebrados bentónicos) respecto a los parámetros ambientales.

En relación al eje 1, en el componente negativo, el punto de muestreo HB-E-4 y los parámetros potasio total (K) (z=-0,497), bario total (Ba) (z=-0,372), magnesio total (Mg) (z=-0,307), boro total (B) (z=-0,267) y conductividad eléctrica (CE) (z=-0,392) presentaron correlación con las especies *Metrichia* sp. (z=-2,064) y *Cailloma* sp. (z=-1,465). Por otro lado, en el componente positivo, los puntos HB-EE-11, HB-E-41, HB-EE-3 y HB-EE-1 presentaron correlación directa con el parámetro aluminio total (Al) (z=0,203) y se encontraron asociados con las especies *Alotanypus* sp. (z=1,087), *Gygantodax* sp. (z=1,192), Haplotaxidae n.d. (z=0,854), *Podonomus* sp. (z=0,756). Se observa, también, una correlación entre el punto HB-E-11 y la especie *Meridiliaris* sp. (z=0,164).

En relación al eje 2, en el componente negativo, los puntos HB-EE-4 y HB-EE-5, se encuentran asociados a las especies *Andesiops* sp. (z=-2,337) y *Austrelmis* sp. (z=-1,158) y los parámetros cadmio total (Cd) (z=-0,385), cobre total (Cu) (z=-0,336), arsénico total (As) (z=-0,258), cobalto total (Co) (z=-0,249) y níquel total (Ni) (z=-0,258) (Figura 6-102).

En la Tabla 6-72, para el mes de octubre el ACC agrupó en dos componentes a los parámetros de agua (n=20), determinó que el primer componente (ACC1) explicó el 54,07 % de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 30,98 %. Por lo tanto, los primeros dos ejes juntos explicaron el 85,05 % de la varianza en la correlación de los parámetros biológicos respecto a los parámetros ambientales.

En relación al eje 1, en el componente negativo, en los puntos HB-E-41, HB-E-39 y HB-E-11, los parámetros arsénico total (As) (z=-0,681), sodio total (Na) (z=-0,773) y boro total (B)

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

($z=-0,744$) presentaron correlación con las especies *Tabanus* sp. ($z=-1,768$), *Thienemanniella* sp. ($z=-1,702$), *Haplotaixidae* n.d. ($z=-1,434$), *Metrichia* sp. ($z=-1,290$), *Cricotopus* sp. ($z=-1,174$), *Cailloma* sp. ($z=-0,641$) y *Simulium* sp. ($z=-1,702$).

En relación al eje 2 en el componente positivo, los puntos HB-E-10, HB-E-5 y HB-E-1 se encuentran asociados a las especies *Podonomus* sp, ($z=2,347$), *Alotanypus* sp, ($z=2,973$) y *Parochlus* sp ($z=3,042$) y a los parámetros cadmio total (Cd) ($z=0,466$), cobre total (Cu) ($z=0,459$), aluminio total (Al) ($z=0,458$) y cobalto total (Co) ($z=0,430$). Por otro lado, en el componente negativo, los puntos HB-E-4 y HB-EE-1 se encuentran asociados con las especies *Helobdella* sp. ($z=-0,904$), *Austrelmis* sp. ($z=-0,626$) y *Andesiops* sp. ($z=-0,801$) (Figura 7.53).

Tabla 7.8. Resultados del análisis de correspondencia canónica (CCA) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación a abril 2019 y octubre 2019, basado sobre las variables ambientales (agua superficial) ordenadas en relación a su correlación (*spearman*)

Abril 2019			Octubre 2019		
Variable	CCA 1(28,67%)	CCA 2(17,35%)	Variable	CCA 1(26,78)	CCA 2(18,05)
<i>Metrichia</i> sp.	-2,064	0,627	<i>Tabanus</i> sp.	-1,768	-0,317
<i>Cailloma</i> sp.	-1,465	-0,610	<i>Thienemanniella</i> sp.	-1,702	0,223
<i>Alotanypus</i> sp.	1,087	1,359	<i>Simulium</i> sp.	-1,702	0,223
<i>Gygartodax</i> sp.	1,192	0,738	<i>Haplotaixidae</i>	-1,434	0,614
<i>Haplotaixidae</i> n.d	0,854	0,864	<i>Metrichia</i> sp.	-1,290	-0,042
<i>Podonomus</i> sp.	0,756	2,213	<i>Cricotopus</i> sp.	-1,174	0,090
<i>Meridialaris</i> sp.	0,164	0,111	<i>Claudioperla</i> sp.	-0,354	-0,116
<i>Andesiops</i> sp.	-0,592	-2,337	<i>Cailloma</i> sp.	-0,641	-0,304
<i>Austrelmis</i> sp.	0,010	-1,158	<i>Austrelmis</i> sp.1	0,845	-0,626
Potasio total (K)	-0,497	-0,011	<i>Helobdella</i> sp.	0,708	-0,904
Conductividad eléctrica	-0,392	0,133	<i>Andesiops</i> sp.	0,361	-0,801
Bario total (Ba)	-0,372	0,070	<i>Tanytarsus</i> sp.	0,288	-0,764
Magnesio total (Mg)	-0,307	-0,019	<i>Podonomus</i> sp.	0,496	2,347
Boro total (B)	-0,267	-0,181	<i>Alotanypus</i> sp.	1,225	2,973
Berilio total (Be)	0,478	0,226	<i>Parochlus</i> sp.	1,210	3,042
Aluminio total (Al)	0,203	0,115	HB-E-41	-1,174	0,090
Hierro total (Fe)	0,034	-0,138	HB-E-11	-0,979	0,060
Cadmio total (Cd)	-0,204	-0,385	HB-E-39	-0,973	0,136
Cobre total (Cu)	-0,183	-0,336	HB-EE-1	0,845	-0,626
Arsénico total (As)	-0,126	-0,258	HB-E-4	0,543	-0,385
Cobalto total (Co)	0,067	-0,249	HB-E-10	0,949	0,528
Níquel total (Ni)	0,082	-0,222	HB-E-5	0,548	0,848
HB-E-4	-1,042	0,009	HB-E-1	0,773	1,584
HB-EE-1	0,974	1,475	Sodio total (Na)	-0,773	-0,536
HB-EE-11	0,353	0,492	Boro total (B)	-0,744	-0,402
HB-E-41	0,255	0,858	Arsénico total (As)	-0,681	-0,014
HB-EE-3	0,281	0,366	Cobalto total (Co)	0,130	0,430
HB-EE-4	-0,229	-1,157	Aluminio total (Al)	0,371	0,458
HB-E-5	-0,202	-0,733	Cobre total (Cu)	0,102	0,459
HB-E-11	0,151	0,163	Cadmio total (Cd)	0,076	0,466
			Potencial de hidrógeno	0,243	-0,271
			Bario total (Ba)	0,161	-0,172

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

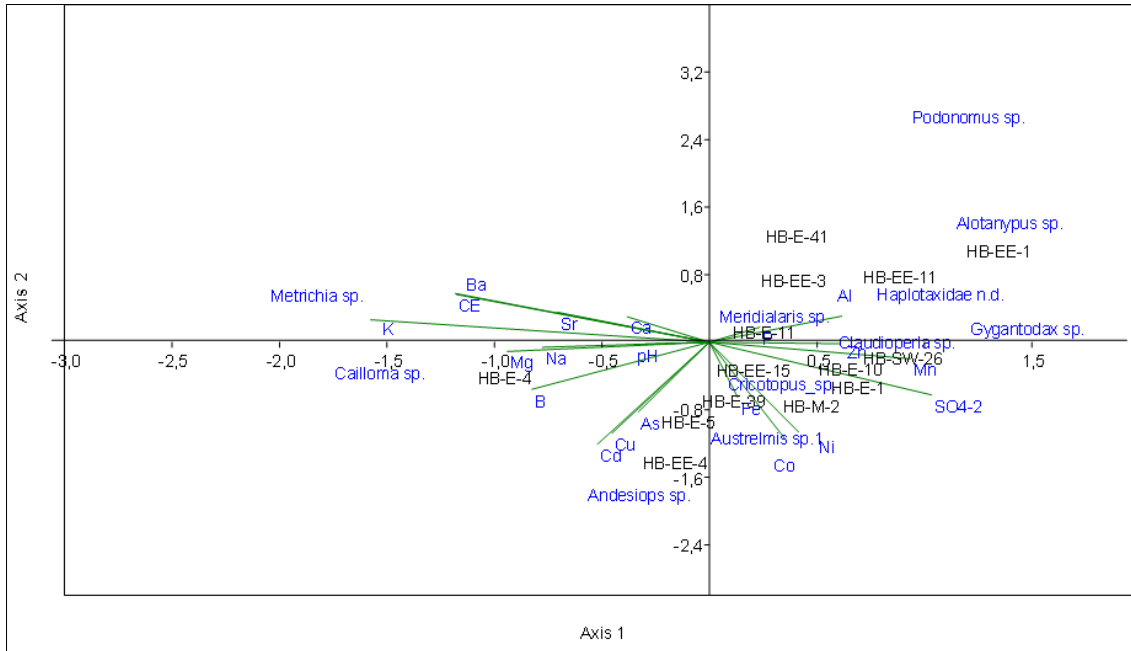


Figura 7.53. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en relación a las variables ambientales (agua superficial) y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en abril 2019

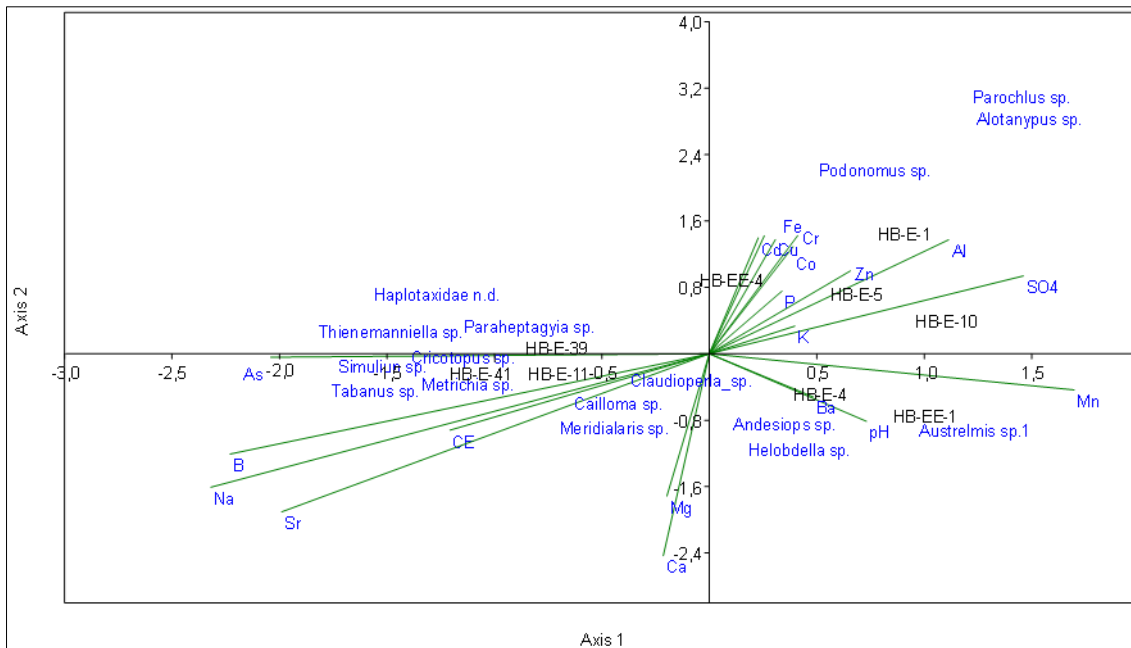


Figura 7.54. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en relación a las variables ambientales (agua superficial) y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en octubre 2019

8. CONCLUSIONES

9. PAD JESSICA

Parte de los afloramientos de aguas ácidas con elevada concentración de metales provenientes del PAD Jessica que no fueron captados afectan la calidad de la quebrada Luchusani, debido a: 1) a que aguas abajo (EE-1) de estos afloramientos se presentó pH ácido y concentraciones de aluminio y manganeso que se incrementaron hasta superar los ECA para agua 2015, categoría 3, respecto al punto (E-1) en abril, junio y octubre 2019; 2) en el

sedimento, las concentraciones de arsénico, cobre y cadmio, a pesar de superar el valor PEL de la norma de referencia canadiense, no influyeron en la calidad del agua; además presentaron valores de aluminio, hierro y manganeso que al estar en un medio ácido influyeron en la calidad de esta quebrada en los meses evaluados; y, 3) a la drástica disminución de la riqueza y densidad de las comunidades hidrobiológicas evaluadas en el punto HB-EE-1 con respecto al punto ubicado aguas arriba (HB-E-1), reportando aguas abajo una dominancia de taxones tolerantes a metales como *Leptolyngbya* sp., *Fragilaria capuccina*, y *Podonomus* sp. y una calidad biológica pésima en los meses evaluados.

Botadero Jessica

Parte de los afloramientos de aguas ácidas con elevada concentración de metales y sulfatos provenientes del botadero Jessica que no son captados afectan la calidad de la quebrada Luchusani, debido: 1) a que aguas abajo (EE-4) de estos afloramientos se presentó pH ácido e incremento de las concentraciones de aluminio, cobre, hierro y manganeso que superaron los ECA para agua 2015, categoría 3, tanto aguas arriba (EE-3) como aguas abajo (EE-4) en abril, junio y octubre 2019; 2) en el sedimento, también se incrementaron las concentraciones de arsénico y cadmio que superaron referencialmente el valor PEL de la norma canadiense; además, presentaron disminución de concentraciones en aluminio, hierro y manganeso y que al estar en un medio ácido también influyeron en la calidad de esta quebrada en abril y octubre; 3) esta afectación se confirma por la baja riqueza y densidad de las comunidades hidrobiológicas evaluadas y presencia de especies tolerantes a metales pesados en las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y microalgas de perifiton, lo que se vió reflejado en la mala calidad biológica. Cabe indicar que, el punto HB-EE-3, ubicado aguas arriba de los afloramientos mencionados, recibe la influencia del PAD Jessica.

En el agua subterránea (PZ-1) se registró pH ácido y concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel que superaron referencialmente los estándares mencionados; además, se resalta el progresivo incremento de las concentraciones de cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel a lo largo de los años (2011-2019).

Botadero N.º 3

Parte de las filtraciones que no fueron captadas en abril y junio 2019, en EW-4, presentaron elevadas concentraciones de metales y sulfatos provenientes del botadero N.º 3 que afectaron la calidad de la quebrada sin nombre 2 debido: 1) a que aguas abajo (SW-26) del drenaje captado (EW-4) presentaron incrementos en la concentración de cobalto que superó los ECA para agua 2015, categoría 3, en el punto SW-26 en los meses evaluados; 2) respecto al sedimento en abril, en el punto SW-26 las concentraciones de cobre y arsénico superaron referencialmente el valor ISQG y PEL de la norma canadiense respectivamente; y, 3) la disminución de la riqueza y densidad de especies aguas abajo de la quebrada sin nombre 2 (HB-SW-26) y predominio de taxones tolerantes a metales como *Eunotia* sp.

El río Azufrini presentó elevadas concentraciones de metales debido: 1) a que luego del aporte de la quebrada sin nombre 2 (SW-26) se presentó pH ácido y concentraciones de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel que superaron los ECA para agua 2015, categoría 3, y disminuyeron aguas abajo en el río Chacapalca (M-1), luego del aporte del río Pataqueña (E-11), respecto al punto aguas arriba (EE-11) en abril, junio y octubre; 2) en el sedimento, también disminuyeron las concentraciones de cobre y arsénico que superaron referencialmente el valor ISQG y PEL de la norma canadiense respectivamente; además presentaron disminución de concentraciones en aluminio, hierro y manganeso y que al estar en un medio ácido también influyeron en la calidad de esta quebrada en abril y octubre; y, 3) asimismo, está afectación alcanza al río Azufrini, ya que



aguas abajo de la confluencia con la quebrada sin nombre 2, la riqueza y densidad de las comunidades hidrobiológicas disminuyó en el punto HB-E-10, el cual presentó taxones tolerantes como *Fragilaria capuccina*, *Achanthidium* sp. y *Pseudanabaena* sp., y *Cricotopus* sp., lo que indica una comunidad definida por especies tolerantes, que influenciaron también en los resultados de la calidad biológica, la que se encontró entre mala y pésima para ambos meses evaluados.

Botadero N° 1

El río Chacapalca presentó aguas ácidas con elevada concentración de metales provenientes del botadero N° 1 que afectan la calidad de sus aguas, debido: 1) a que aguas abajo (M-2) del efluente minero (V-1) se presentó pH ácido y concentraciones de aluminio, cobre, hierro y manganeso que superaron los ECA para agua 2015, categoría 3, tanto aguas arriba (M-1) como aguas abajo en abril y junio 2019, similar comportamiento se presentó en el embalse (E-41 y EE-14) y luego disminuyó ligeramente aguas abajo en los puntos (EE-15 y E-39), a pesar de este comportamiento los metales mencionados aún siguen superando la normativa mencionada en abril, junio y octubre; 2) en el sedimento disminuyeron las concentraciones de arsénico y cobre que superaron referencialmente el valor ISQG y PEL de la norma canadiense respectivamente; y, 3) a que los puntos HB-EE-15 y HB-E-39, ubicados aguas abajo del embalse, reportaron una baja riqueza y densidad de macroinvertebrados bentónicos y microalgas de perifiton, y la dominancia de especies tolerantes como *Pseudanabena* sp., *Leptolyngbya* sp. y *Cricotopus* sp. Por lo registrado, el embalse es un factor que está afectando el desarrollo de las comunidades hidrobiológicas, aguas abajo, por la alteración de las características hidromorfológicas del río Chacapalca.

10. RECOMENDACIÓN

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

11. BIBLIOGRAFÍA

Agua y Sedimentos

- ANA-A. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos*. Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Lima-Perú.
- ANA-B. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental*. Resolución Jefatural N.° 004-2017-MINAM, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Lima-Perú.
- ANA-C. (2018). *Clasificación de los Cuerpos de Aguas Continentales Superficiales*. Resolución Jefatural N.° 056-2018-ANA, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Lima-Perú.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life for Fresh Water (CEQG-SQG) - Summary tables, update 2002*. Quebec: Canada. Dicha guía fue actualizada en el 2014, según la siguiente web: <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html?lang=en>.
- Favas, P., Sarkar, S., Rakshi, D., Venkatachalam, P., Prasad, M. (2016). *Acid Mine Drainages from Abandoned Mines: Hydrochemistry, Environmental Impact, Resource Recovery, and Prevention of Pollution*. En M. Prasad, K. Shih (Eds.), *Environmental Materials and Waste* (pp. 413-462). London: Elsevier Inc.



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

- Simate, G. S., & Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1785-1803.
- U.S. Geological Survey. (2013). Water properties: Dissolved oxygen. Recuperado de <http://ga.water.usgs.gov/edu/dissolvedoxygen.html>.

Comunidades hidrobiológicas

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 035-64.
- Anderson, M. J., Gorley, R. N. & Clarke, K. R. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: guide to Software and Statistical Methods, 1st edition. Plymouth, UK: University of Auckland and PRIMER-E. 214 pp.
- Beeckman, E. (2017). Ecological impact assessment of gold mining in a river basin in Cajamarca (Peru) base on macroinvertebrate community traits (Master of Science in Bioscience Engineering: Environmental Technology). Ghent University, Ghent, Belgium.
- 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.
- Burgues, G. L. (2015). "Effects of Heavy Metals on Benthic Macroinvertebrates in the Cordillera Blanca, Peru". WWU Masters Thesis Collection. 414.
- Castro, R & L, Casatti (1997). The fish fauna from a small forest stream of the upper Paraná River basin, southeastern Brazil. *Ichthyo. Expl. Freshwaters*, 7, 337-352.
- Custódio, M., Villasante, S., Cremades, J., Calado, R., & Lillebø, A. I. (2017). Unravelling the potential of halophytes for marine integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) a perspective on performance, opportunities and challenges. *Aquaculture Environment Interactions*, 9, 445-460.
- Clarke, K. R. & Gorley, R. N. (2006). Primer v6 Permanova+. Primer-E Ltd., Plymouth, UK.
- DeNicola, D. M. (2000). A review of diatoms found in highly acidic environments. *Hydrobiologia* 433, 111–122.
- Ellenrieder, N. von. (2007). Composition and structure of aquatic insect assemblages of Yungas mountain cloud forest streams in NW Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 66 (3-4a), 57-76.
- Ferreira, E., S. F. P. Almeida, M. L. Nunes, A. T. Luís, F. Borg, M. Hedlund, C. Marques, C. Patinha & P. Teixeira. 2009. Heavy metal pollution downstream the abandoned Coval da Mó mine (Portugal) and associated effects on epilithic diatom communities. *Sci. Tot. Enviro.* 407: 5620–5636.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics Software (Version 3.15) [Software]. Disponible desde: <http://folk.uio.no/ohammer/past/>

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

- 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. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 10788e10799.
- Hill, B. H., Willingham, W. T., Parrish, L. P. & McFarland, B. H. (2000). Periphyton community responses to elevated metal concentrations in a Rocky Mountain stream. *Hydrobiologia*, 428, 161–169.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113, 363-375.
- Junqueira, V. M. & Campos, S. C. M. 1998. Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 10(2):125-135.
- Loayza-Muro, R. A, de Baat, M. L., Palomino, E. J., Kuperus, P., Kraak, H. S., Admiraal, W. & Breeuwer, J. A. J. (2014). Metals and altitude drive genetic diversity of chironomids in Andean streams. *Freshwater Biology*, 59, 56–63.
- Mateo, P., Leganés, F., Perona E., Loza, V. & Fernández-Piñas, F. (2015). Cyanobacteria as bioindicators and bioreporters of environmental analysis in aquatic ecosystems. *Biodivers Conserv.*, 24, 909–948.
- Pielou, E. C. (1975). *Ecological diversity* (No. 574.524018 P5).
- Pomfret, J. (1974). *Aspects of the acid tolerance of algae from the Durham area*, Durham theses, Durham University.
- Prygiel, J. & M. Coste. 2000. *Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées*. NF T 90-354. Agence de l'eau Artois-Picardie, Cemagref Bordeaux, Douai, 134 pp.
- Ríos-Touma, Blanca; Acosta, Raúl; Prat, Narcís. (2014). The Andes families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, Abril, 249-273.
- Roldán, G. 1996. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Fondo Fen. Colciencias. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 217 pp.
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(88): 375-387.
- Sabater, S., Buchaca, T., Cambra, J., Catalan, J., Guasch, H., Ivorra, N., Muñoz, I., Navarro, E., Real, M. & Romani, A. (2003). Structure and function of benthic algal communities in an extremely acid river. *Journal of Phycology* 39, 481–489.
- Stevenson, R. J., & Bahls, L. L. (1999). Periphyton protocols. In M. T. Barbour, J. Gerritsen, & B. D. Snyder (Eds.), *Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish*. EPA 841-B-99-002 (2nd ed., pp. 6.1–6.22). Washington: United States Environmental Protection Agency.
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) - Museo de Historia Natural (MHN) y Ministerio del Ambiente (Minam). 2014. *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados)*



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

y necton (peces) en aguas continentales del Perú. LIMA, PERU. / Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología, Lima: Ministerio del Ambiente. 75 p.

- Urrea-Clos, G and Sabater, S. 2003. Comparative study of algal communities in acid and alkaline waters from Tinto, Odiel and Piedras river basins (SW Spain). *Limnetica*, 28 (2): 261-272 (2009).
- Verb, R. G., & Vis, M. L. (2000). Comparison of benthic diatom assemblages from streams draining abandoned and reclaimed coal mines and nonimpacted sites. *Journal of the North American Benthological Society* 19, 274–288.
- Wu, Y. (2016). Periphyton: functions and application in environmental. *Remediation*, 7–9.

12. ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación de la UM Arasi

Anexo 2: Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo

Anexo 3: Fichas fotográficas

Anexo 4: Datos de campo

Anexo 5: Certificados de calibración de los equipos

Anexo 6: Cadenas de custodia

Anexo 7: Informes de ensayo

Anexo 8: Resultados de la vigilancia ambiental

Anexo 9: Actas de reunión con la Dirección de Supervisión en Energía y Minas (DSEM)

Anexo 10: Actas de Evaluación

Es cuanto informamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente:

[LFAJARDO]

[LANCCO]

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

Atentamente:

[DRAMOS]



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 06475014"



06475014