



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

2019-I01-018642

INFORME N° 00335-2019-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 Tucari, de Aruntani S.A.C., ubicada en el departamento de Moquegua – 2019
CUE	:	2019-02-0016
CÓDIGO DE ACCIÓN	:	0018-3-2019-401, 0005-6-2019-401 y 0001-10-2019-412
REFERENCIA	:	Planefa 2019
FECHA	:	Lima, 13 de diciembre 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 Tucari (en adelante, UM Tucari) son presentados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Información general respecto a la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Área de influencia de la Unidad Minera Tucari de Aruntani S.A.C.
c.	Problemática identificada	Afectación de los cuerpos de agua en el área de influencia de la unidad minera Tucari
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 1 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	Campo y gabinete
6	Silvia Soledad Valenzuela Reyna	Bióloga con mención en Hidrobiología y Pesquería	Gabinete

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 Tucari 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, sulfatos, cianuro libre***, cianuro wad*** y cianuro total***, metales totales y disueltos**	44	31	31
Agua subterránea	T°, pH, CE, OD, metales totales, sulfatos, metales disueltos	3	3	2
Sedimento	Metales totales	20	-	18
Comunidades hidrobiológicas	Macroinvertebrados bentónicos y perifiton	21	-	21

(*) La cantidad de puntos varía por la ausencia de flujo (**) Parámetros evaluados solamente en octubre de 2019

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

(-) No corresponde

Los parámetros que superaron o se encontraron fuera del rango de la normativa ambiental en el área de influencia de la UM Tucari de Aruntani S.A.C. en 2019, se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros que superaron o se encontraron fuera del rango de la normativa ambiental

Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Norma ambiental						
			ECA para agua (2008) ¹			CCME ²			
			Abr-2019	Jun-2019	Oct-2019	Abr-2019		Oct-2019	
			ISQG	PEL	ISQG	PEL			
Agua superficial	Quebrada Apostoloni	TU-12	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	-	-	-	-
		TU-11	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, cianuro wad, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	-	-	-	-
		TU-34	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-
		TU-04	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-
	Quebrada Margaritani	TU-20	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-
		TU-22	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-
		TU-25	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-
		TU-26	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-
		TU-27	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-



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 (2008) ¹			CCME ²			
			Abr-2019	Jun-2019	Oct-2019	Abr-2019		Oct-2019	
						ISQG	PEL	ISQG	PEL
Río Margaritani	TU-28	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-	
	AG-18	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-	
Río Queullirijahuiri	AG-17	pH, sulfatos, Al, As, Co, Fe y Mn	pH, sulfatos, Al, Co, Fe y Mn	pH, sulfatos, Al, Co, Fe y Mn	-	-	-	-	
	AG-19	pH, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-	
	AG-07	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-	
Quebrada sin nombre 2	TU-24	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-	
Río Titire	AG-09	Sulfatos	CE, sulfatos, As, B y Mn	CE, sulfatos, B y Mn	-	-	-	-	
	AG-11	pH, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe y Mn	pH, CE, sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe y Mn	pH, CE, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li y Mn	-	-	-	-	
	RTiti-1	pH, CE, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe y Mn	pH, CE, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe y Mn	CE, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li y Mn	-	-	-	-	
Río Aruntaya	AG-10	pH, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-	
	AG-06	pH, Fe y Mn	pH, Fe y Mn	pH, Fe y Mn	-	-	-	-	
	AG-08	pH, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-	
Río Coralaque	RCora	pH, Al, As, B, Cu, Fe y Mn	Al, B, Cu, Fe y Mn	CE, Al, As, B, Fe y Mn	-	-	-	-	
Quebrada Apostoloni	P-5	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, cianuro wad, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	-	-	-	-	
	P-7	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, cianuro wad, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	-	-	-	-	
Río Vizcachas	RVizc	Ninguno	Ninguno	As	-	-	-	-	
Afloramiento subterráneo	MT-57	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	-	-	-	-	



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 (2008) ¹			CCME ²			
			Abr-2019	Jun-2019	Oct-2019	Abr-2019		Oct-2019	
						ISQG	PEL	ISQG	PEL
		MT-57A	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Mg, Ni, Pb y Zn	*	*	-	-	-	-
		MT-55	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	*	*	-	-	-	-
		MT-BO3	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	-	-	-	-
		MT-BO2	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	-	-	-	-
		MT-BO14	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	*	-	-	-	-
		MT-60	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	*	*	-	-	-	-
		MT-46	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-	-	-	-
		TU-19B	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	-	-	-	-
		MT-BO13	pH, CE, sulfatos, Al, As, Be, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Hg y Zn	*	*	-	-	-	-
		ARI-1	pH, CE, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	*	-	-	-	-
		TU-PS02	pH, CE, sulfatos, Al, As, Be, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	-	-	-	-
	Bofedal	FTU	pH, CE, sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	*	-	-	-	-
		FTU-1	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	*	-	-	-	-
Agua subterránea	Manantial	MT-36	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	pH, CE, sulfatos, Al, Cd Co, Fe, Mn y Ni	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Fe Mn, Ni y Zn	-	-	-	-
		MT-42	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, z'z'y Ni y Zn	pH, CE, sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	*	-	-	-	-
	Manantial	MT-42A	-	-	pH, CE, sulfatos, Al,				

**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 (2008) ¹			CCME ²			
			Abr-2019	Jun-2019	Oct-2019	Abr-2019		Oct-2019	
						ISQG	PEL	ISQG	PEL
					As, Cd, Co, Fe, Mn, Ni y Zn				
	Manantial	MN-01	-	-	pH, CE, sulfatos, Al, As, Co, Fe, Mn, Ni y Zn				
	Río Titire (fuente termal)	PBello	CE, sulfatos, As, B, Li y Mn	CE, sulfatos, As, B, Li y Mn	CE, sulfatos, As, B, Li y Mn	-	-	-	-
Sedimento	Quebrada Margaritani	SED-TU-22	-	-	-	As, Cd, Hg, Pb	As	*	*
	Quebrada sin nombre 2	SED-TU-24	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg, Pb	As, Cd, Pb	*	*
	Quebrada Margaritani	SED-TU-25	-	-	-	As, Cd, Hg, Pb	As	As, Cd, Cu, Hg, Pb	As, Cd, Pb
	Quebrada Margaritani	SED-TU-26	-	-	-	As, Cd, Hg, Pb	As, Cd	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr, Pb
	Quebrada Apostoloni	SED-TU-11	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cr, Pb	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr, Pb
	Quebrada Margaritani	SED-TU-27	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg, Pb	As, Cd, Pb	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr, Pb
	Río Margaritani	SED-TU-28	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg, Pb	As, Pb	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr, Pb
	Río Queullirijahuiri	SED-AG-17	-	-	-	As, Cd, Cr, Hg	As, Cr	As, Cr, Hg	As, Cr
	Río Margaritani	SED-AG-18	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cu, Hg, Pb	As, Cd, Hg, Pb
	Río Queullirijahuiri	SED-AG-19	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Pb	As y Pb	As, Cd, Cu, Cr, Hg y Pb	As, Cd, Cr, Hg y Pb
	Río Titire	SED-AG-09	-	-	-	As	As	As, Cr	As, Cr
	Río Aruntaya	SED-AG-10	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cr	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb
	Río Titire	SED-AG-11	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr, Hg	As, Cr	As, Cd, Cu, Cr, Hg	As, Cd, Cu, Cr
	Río Aruntaya	SED-AG-06	-	-	-	As, Cr	As, Cr	As, Cr	As, Cr
	Río Queullirijahuiri	SED-AG-07	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr, Hg, Pb
	Río Aruntaya	SED-AG-08	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cd, Cr, Hg, Pb
	Río Coralque	SED-RCora	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr	As, Cr	As, Cd, Cu, Cr	As, Cr, Zn
	Río Titire	SED-RTiti-1	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr, Hg	As, Cr	As, Cd, Cu, Cr	As, Cd, Cu, Cr
	Quebrada Apostoloni	SED-P-5	-	-	-	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cr, Hg	As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb	As, Cr, Hg
	Río Vizcachas	SED-RVizc	-	-	-	Ninguno	Ninguno	As, Cr	As, Cr

(1) Agua superficial: Estándares de Calidad Ambiental para agua (Decreto Supremo N.º 002-2008-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 por falta de flujo de agua o accesibilidad al sedimento

(-) 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



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

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 Tucari, perteneciente al titular minero Aruntani S.A.C., en el departamento Moquegua, 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 Tucari, mediante informe N.º 0064-2019-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 43 puntos de agua, 20 puntos de sedimento y 21 comunidades hidrobiológicas (Informe N.º 0182-2019-OEFA/DEAM-STEC), la segunda salida se realizó del 04 al 14 de junio y se evaluaron 34 puntos de agua (Informe N.º 0212-2019-OEFA/DEAM-STEC); y la tercera salida se realizó del 01 al 14 de octubre y se evaluaron 33 puntos de agua, 18 puntos de sedimento y 21 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 Ambiental en Energía y Minas, tal como consta en el acta firmada el 18 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 Tucari, referida a lo siguiente:

3.1. Instrumentos de Gestión Ambiental

A continuación, se presentan los instrumentos de gestión ambiental (en adelante, IGA) referidos al desarrollo de las actividades de la UM Tucari aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (Tabla 3.1).

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

N.º	Administrado	Título del IGA	Número de Resolución	Fecha de aprobación	Organismo que aprobó
1	Aruntani S.A.C.	Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera «Florenxia-Tucari»	Resolución Directoral N.º 286-2016-MEM-DGAAM	27 de setiembre de 2016	Ministerio de Energía y Minas
2		Tercera Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera «Florenxia-Tucari»	Resolución Directoral N.º 382-2015-MEM-DGAAM	1 de octubre de 2015	
3		Modificación del Estudio de Impacto Ampliación de Operaciones por Ampliación de Pad 3 y botadero de desmonte del proyecto Tucari.	Resolución Directoral N.º 501-2014-MEM-DGAAM	02 de octubre de 2014	
4		Informe Técnico Sustentatorio para la implementación de nueva poza de volatilización en la unidad minera Tucari.	Resolución Directoral N.º 006-2014-MEM-AAM	06 de enero de 2014	

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

N.º	Administrado	Título del IGA	Número de Resolución	Fecha de aprobación	Organismo que aprobó
5		Primera Actualización del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Florencia-Tucari.	Resolución Directoral N.º 008-2014-MEM-MGAAM	8 de enero de 2014	
6		Segunda Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Florencia-Tucari.	Resolución Directoral N.º 414-2012-MEM/AAM	14 de diciembre de 2012	
7		Modificación del Plan de Cierre de minas de la unidad minera Florencia-Tucari.	Resolución Directoral N.º 136-2012-MEM/AAM	02 de mayo de 2012	
8		Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto «Ampliación de Operaciones Proyecto Tucari».	Resolución Directoral N.º 391-2010-MEM-AAM	25 de noviembre de 2010	
9		Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Florencia (Tucari).	Resolución Directoral N.º 188-2009-MEM-AAM	02 de julio de 2009	
10		Modificación del Estudio de Impacto Ambiental «Ampliación de actividades: Pad 3 e instalaciones – Sin incremento de producción UEA Florencia», a desarrollarse en las concesiones mineras «Marlene» y «Mayela» pertenecientes a la UEA Florencia.	Resolución Directoral N.º 233-2008-MEM-AAM	17 de setiembre de 2008	
11		Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto «Tucari» a nivel de mina por nuevo tajo y botadero de desmonte	Resolución Directoral N.º 403-2007-MEM/AAM	13 de diciembre de 2007	
12		Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Beneficio y Campamento del Proyecto Tucari de las concesiones mineras «Melissa», «Marlene», y «Mayela».	Resolución Directoral N.º 320-2004-EM/AAM	23 de junio de 2004	
13		Estudio de Impacto Ambiental del «Proyecto Tucari».	Resolución Directoral N.º 171-2003-EM/DGAA	04 de abril de 2003	

3.2. Acciones realizadas en el marco de la función evaluadora

La Dirección de Evaluación Ambiental (en adelante, DEAM) del OEFA realizó evaluaciones ambientales en el área de influencia de la UM Tucari de Aruntani S.A.C. en la provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua entre 2015 y 2019, conforme a lo que se detalla en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Evaluaciones realizadas por la DEAM

N.º	Fecha de monitoreo	Informe
1	15 al 31 de agosto de 2017	Informe N.º 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME correspondiente a la «Evaluación Ambiental en el área de influencia de la unidad minera Tucari» de Aruntani S.A.C, aprobado el 12 de diciembre del 2017. De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos de agua, descripción geológica y estructural del basamento del depósito de desmonte y zonas aledañas; caracterización geoquímica de los componentes mineros (pruebas SPLP, metales totales, ABA, Tessier y análisis mineralógico), y el modelo de resistividad 3D de la tomografía geoelectrica, la calidad del agua de las quebradas Margaritani y sus tributarios quebradas sin nombre 1 y 2, además de la quebrada Apostoloni, es alterada por el aporte de los afloramientos (17) de agua con presencia de lixiviados y efluentes (02) provenientes del depósito de desmonte Norte, así como del material de desmonte (ampliación del depósito de desmonte). Debido a que los puntos aguas abajo de los aportes de los afloramientos las concentraciones de metales se incrementaron en relación a los puntos ubicados aguas arriba.
2	Del 31 de marzo al 13 de abril de 2019	Informe N.º 0182-2019-OEFA/DEAM-STEC correspondiente a la «Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Tucari, de Aruntani S.A.C., ubicada en el departamento de Moquegua – época de avenida». Los afloramientos TU-19B, MT-46 y MT-60, provenientes del pie del depósito de desmonte norte, y el flujo (TU-24) que se forma por el aporte de los afloramientos MT-BO14, MT-BO2 y MT-BO3, afectaron la calidad del agua

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

N.º	Fecha de monitoreo	Informe
		<p>de la quebrada Margaritani debido a que el pH ácido disminuyó y se incrementaron las concentraciones de metales y sulfatos incumpliendo los ECA para agua 2008, categoría 3, tanto aguas arriba como aguas abajo de los afloramientos.</p> <p>El punto aguas arriba y aguas abajo del PAD de lixiviación N.º 3 por el canal de coronación norte (TU-12 y TU-34) fue ácido y presentó concentración de sulfatos y metales similares, mientras que el punto TU-04 registró disminución de pH e incremento de la concentración de sulfatos y metales totales como aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc en comparación con el punto ubicado aguas arriba (TU-34), debido al aporte del flujo de agua TU-PS02, que colecta los afloramientos MT-BO13 y ARI-1, ubicados en la parte baja del sistema de tratamiento de agua del Tajo Tucari. Asimismo, el punto aguas arriba y aguas abajo del PAD de lixiviación N.º 3 por el canal de coronación sur (MT-36 y P-5) fue ácido y presentó una disminución en las concentraciones de sulfatos, aluminio, cadmio, cobalto, hierro y níquel; mientras que el pH, cobre y manganeso se incrementaron aguas abajo del PAD con presencia de coloración rojiza.</p> <p>Además, el río Margaritani influye en la calidad del agua de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Vizcachas y Coralaque debido a que las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre hierro, manganeso, níquel y zinc disminuyeron progresivamente durante su recorrido, y luego de recibir el aporte de la fuente termal Puente Bello (PBello) estos parámetros se incrementaron. Además, al recibir el aporte del río Vizcachas, los metales aluminio, arsénico, boro, cobre, hierro y manganeso disminuyeron; sin embargo, continuaron incumpliendo con los ECA para agua 2008, categoría 3, a excepción del cadmio y cobalto que también disminuyeron pero cumplen con los ECA. Cabe resaltar, que los parámetros mencionados en los puntos de los ríos Queullirijahuiri (AG-17), Aruntaya (AG-06), Titire (AG-09) y Vizcachas (RVizc) presentaron menores concentraciones antes de su confluencia con los tributarios afectados. Además, la afectación de estos ríos se evidenció por la coloración rojiza o crema de sus aguas.</p>
3	Del 04 al 14 de junio de 2019	<p>Informe N.º 0212-2019-OEFA/DEAM-STEC correspondiente a la «Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Tucari, de Aruntani S.A.C., ubicada en el departamento de Moquegua – época de transición de la época de avenida a estiaje». Los afloramientos TU-19B y MT-46, provenientes del pie del depósito de desmonte norte, y el flujo TU-24, afectaron la calidad del agua de la quebrada Margaritani debido a que pH ácido disminuyó y se incrementaron las concentraciones de metales y sulfatos incumpliendo los ECA para agua 2008 (categoría 3). Cabe resaltar que la disminución de la concentración de metales en el punto TU-22 se debe al aporte de los manantiales MT-44, MT-45, MT-46 y MT-47, provenientes de ambas márgenes de la quebrada Margaritani.</p> <p>Asimismo, el río Margaritani influye en la calidad del agua de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Vizcachas y Coralaque debido a que las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc disminuyeron progresivamente durante su recorrido, y luego de recibir el aporte de la fuente termal Puente Bello (PBello) estos parámetros se incrementaron. Además, al recibir el aporte del río Vizcachas, los metales aluminio, arsénico, boro, cobre, hierro y manganeso disminuyeron; sin embargo, continuaron incumpliendo con los ECA para agua 2008, categoría 3, a excepción del cadmio, cobalto, níquel, plomo y zinc que también disminuyeron, pero cumplen con la normativa señalada. Cabe resaltar, que los parámetros mencionados en los puntos de los ríos Queullirijahuiri (AG-17), Aruntaya (AG-06), Titire (AG-09) y Vizcachas (RVizc) presentaron menores concentraciones antes de su confluencia con los tributarios afectados. Además, la afectación de estos ríos se evidencia con la coloración rojiza o crema de sus aguas.</p>

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 por la ANA las que se detallan en la Tablas 3.3. Cabe indicar, que solo el PS-02 (Efluente tratado procedente del tajo de la Unidad Minera Tucari) se encontró con flujo de agua en octubre de 2019.

Tabla 3.3. Puntos de vertimiento autorizados por la ANA

N.º	Puntos de vertimiento	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 k		Descripción
		Este (m)	Norte (m)	
1	PM-01*	368743	8167064	Efluente tratado procedente del lavado del mineral estéril depositado en los PADs 01 y 02. (3,98 L/s)
2	PM-02**	371987	8166979	Efluente tratado procedente de la Planta Merrel Crowe. (12,1 L/s)
3	PS-01**	373259	8168503	Efluente tratado procedente del botadero Norte. (0,06 L/s)



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

N.º	Puntos de vertimiento	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 k		Descripción
		Este (m)	Norte (m)	
4	PS-02**	371538	8 167187	Efluente tratado procedente del tajo de la Unidad Minera Tucari. (0,18 L/s)

(*) Aprobado con Resolución Directoral N.º 020-2014-ANA-DGCRH

(**) Aprobado con Resolución Directoral N.º 203-2016-ANA-DGCRH (Autorización de aguas residuales industriales)

3.4. Medidas preventivas

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

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

Resolución Directoral	Obligación
R.D. N.º 054-2017-OEFA/DS, del 22 setiembre de 2017	Captar el efluente del depósito de desmonte y las aguas de afloramiento para que reciban un tratamiento, en un plazo no mayor a treinta (30) días hábiles contando desde la notificación de la presente resolución ¹ .
	Implementar medidas de mantenimiento, control y optimización respecto a los sistemas de tratamiento de aguas del depósito de desmonte y aguas del tajo, de forma que el efluente cumpla con los valores establecidos en el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM. En un plazo no mayor a cuarenta y cinco (45) días hábiles contados desde la notificación de la presente resolución ² .
	Remediar: <ul style="list-style-type: none"> El suelo por donde ha discurrido el agua ácida de la poza tipo serpiente correspondiente al sistema de tratamiento de aguas del depósito de desmonte) y el agua ácida de la poza de decantación N.º 2 (correspondiente al sistema de tratamiento de aguas del tajo); El suelo aledaño a los afloramientos encontrados en la zona baja del depósito de desmonte por donde discurre el agua ácida que aflora desde dicho depósito hacia la quebrada Margaritani y Apostoloni, <p>La remediación deberá efectuarse teniendo en consideración los resultados de los muestreos previos y posteriores a la implementación de la medida. En un plazo no mayor a treinta (30) días hábiles contados desde la notificación de la presente resolución³.</p>
R.D. N.º 026-2018-OEFA/DSEM, de 26 de abril de 2018	Iniciar el cierre final del depósito de desmonte. El mismo que debe priorizar el tratamiento de los efluentes correspondientes a los puntos de muestreo ESP-1 y ESP-3, a fin de cumplir con los Límites Máximos Permisibles previo a su vertimiento. Plazo de cumplimiento: inmediato desde la notificación de la presente resolución ⁴ .
	Iniciar el cierre final del Tajo, el mismo que debe priorizar el tratamiento de los efluentes ESP-7, ESP-12, ESP-27, PS-02 y PM-02, a fin de cumplir con los Límites Máximos Permisibles previo a su vertimiento. Plazo de cumplimiento: inmediato desde la notificación de la presente resolución ⁵ .
	Remediar el suelo por donde ha discurrido el agua ácida proveniente del depósito de desmonte y del tajo, así como el lecho de la quebrada Apostoloni y del río Margaritani por donde discurrió dicha agua. La remediación se efectuará como parte de las actividades de cierre ordenadas en el párrafo precedente, debiendo remitir un cronograma de acciones que tenga en consideración los resultados de los muestreos previos y posteriores a la implementación de la medida.

¹ La Resolución fue notificada a Aruntani el 25 de setiembre de 2017, en consecuencia, el plazo para el cumplimiento de la medida preventiva venció el 08 de noviembre de 2017

² La Resolución fue notificada a Aruntani el 25 de setiembre de 2017, en consecuencia, el plazo para el cumplimiento de la medida preventiva venció el 27 de noviembre de 2017

³ La Resolución fue notificada a Aruntani el 25 de setiembre de 2017, en consecuencia, el plazo para el cumplimiento de la medida preventiva venció el 06 de noviembre de 2017

⁴ La Resolución fue notificada a Aruntani el 27 de abril de 2018.

⁵ La Resolución fue notificada a Aruntani el 27 de abril de 2018

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

Resolución Directoral	Obligación
	Plazo de cumplimiento: cinco (5) días hábiles contados a partir de la notificación para que presente un cronograma para la remediación que considere los muestreos previos y posteriores. Cuarenta y cinco (45) días hábiles para la remediación desde la notificación de la presente resolución ⁶ .
R.D. N.º 052-2018-OEFA/DSEM	Captar las ocho (8) acumulaciones de agua ácida y otras adicionales que pudieran generarse posteriormente en el interior del Tajo, para conducir las hacia el sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo, a fin de tratar y garantizar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles aprobados mediante Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM previo a su vertimiento. Plazo de cumplimiento: inmediato desde la notificación de la presente resolución. Durante un plazo no mayor a quince (15) días hábiles.

4. OBJETIVO

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

5. ÁREA DE ESTUDIO

La UM Tucari se ubica en el distrito Carumas, provincia Mariscal Nieto, departamento Moquegua. Hidrográficamente, se encuentra en la microcuenca Margaritani, que pertenece a la unidad hidrográfica Coralaque. Asimismo, el área de estudio comprende las zonas de influencia de la unidad minera (Anexo 1).

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 Tucari.

6.1. Protocolos de monitoreo

Los protocolos de monitoreo nacionales e internacionales; así como, las guías que se utilizarán para la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM Tucari 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

⁶ La Resolución fue notificada a Aruntani el 27 de abril de 2018, en consecuencia, el plazo para el cumplimiento de la medida preventiva venció el 03 de julio de 2018

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
Agua subterránea	<i>National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data</i>	A.1 Preparations for water sampling	EE. UU.	U.S. Geological Survey (USGS)	----	2015
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)	----	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	EE. UU.	Agencia para la Protección Ambiental (EPA)	No aplica	2001
	Procedimiento de operación estándar-muestreo de sedimento**	Capítulo 11			No aplica	2003
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 42 puntos de agua establecidos (39 puntos de agua superficial y 3 puntos de agua subterránea), se evaluaron todos en abril, 34 en junio (31 puntos de agua superficial y 3 punto de agua subterránea) y 30 en octubre (28 puntos de agua superficial, 2 punto de agua subterránea), cabe resaltar que en este mes se agregaron 3 puntos nuevos a la vigilancia ambiental (2 puntos de agua subterránea y 1 efluente), tal como se observa en la Tabla 6.2 y en el Anexo 2.

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

N.º	Cuerpo de agua o cuerpo receptor	Matriz	Código	Mes de evaluación			Coordenadas UTM WGS 84-zona 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
1	Quebrada Apostoloni	Agua superficial	TU-12	X	X	X	373819	8166994	5023	Ubicado aproximadamente a 50 m aguas abajo de la confluencia de los manantiales MT-40 y MT-41, en la parte alta de la quebrada Apostoloni norte
2	Quebrada Margaritani	Agua superficial	TU-20	X	X	X	373663	8168359	5005	Ubicado en la parte alta de la quebrada Margaritani,

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 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
										aproximadamente a 100 m aguas abajo de la confluencia del flujo de agua ácida de coloración rojiza (TU-19B) y la quebrada Margaritani
3	Quebrada Margaritani	Agua superficial	TU-22	X	X	X	373049	8168594	4933	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 200 m aguas abajo del punto de vertimiento PS-01 (M-1)
4	Quebrada sin nombre 2	Agua superficial	TU-24	X	X	X	372034	8168156	4835	Ubicado en la quebrada sin nombre 2, aproximadamente a 40 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Margaritani, abajo de la confluencia de los flujos ácidos de coloración rojiza MT-60, MT-BO2, MT-BO3 y MT-BO14
5	Quebrada Margaritani	Agua superficial	TU-25	X	X	X	372032	8168197	4840	Ubicado en la quebrada Margaritani, a 50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada sin nombre 2
6	Quebrada Margaritani	Agua superficial	TU-26	X	X	X	371946	8168163	4832	Ubicado aproximadamente a 50 m aguas abajo de la confluencia de la quebrada Margaritani con la quebrada sin nombre 2
7	Quebrada Apostoloni	Agua superficial	TU-11	X	X	X	370985	8167507	4785	Ubicado en la quebrada Apostoloni aproximadamente a 40 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Margaritani
8	Quebrada Margaritani	Agua superficial	TU-27	X	X	X	371007	8167538	4782	Ubicado en la quebrada Margaritani aproximadamente a 50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Apostoloni
9	Río Margaritani	Agua superficial	TU-28	X	X	X	370928	8167487	4786	Ubicado en el río Margaritani, a 50 m aguas abajo de la confluencia entre la quebrada Apostoloni y Margaritani
10	Río Queullirijahuiri	Agua superficial	AG-17	X	X	X	367820	8168287	4642	Río Queullirijahuiri, 200 m antes de la confluencia con el río Margaritani
11	Río Margaritani	Agua superficial	AG-18	X	X	X	367656	8168237	4638	Río Margaritani, 200 m antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri (MA-13)
12	Río Queullirijahuiri	Agua superficial	AG-19	X	X	X	367527	8168444	4630	Río Queullirijahuiri, 200 m aguas abajo de la confluencia entre los ríos Margaritani y Queullirijahuiri

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 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
13	Río Titire	Agua superficial	AG-09	X	X	X	355041	8171939	4354	Ubicado en el río Titire, a 120 m aguas arriba de la confluencia con el río Aruntaya
14	Río Aruntaya	Agua superficial	AG-10	X	X	X	354927	8171654	4356	Ubicado en el río Aruntaya, a 100 m antes de la confluencia con el río Titire (M-5)
15	Río Titire	Agua superficial	AG-11	X	X	X	354562	8171708	4357	Ubicado en el río Titire, a 100 m aguas abajo de la confluencia con el río Aruntaya (M-06)
16	Río Aruntaya	Agua superficial	AG-06	X	X	X	361603	8164443	4415	Ubicado en el río Aruntaya, a 30 m aguas arriba del puente con alcantarillas (M-4)
17	Río Queullirijahuiri	Agua superficial	AG-07	X	X	X	361420	8164920	4412	Río Queullirijahuiri, aproximadamente a 200 m aguas arriba de la confluencia con el río Aruntaya
18	Río Aruntaya	Agua superficial	AG-08	X	X	X	361140	8165037	4405	Ubicado en el río Aruntaya, aproximadamente a 100 m aguas abajo de la confluencia con el río Queullirijahuiri
19	Río Coralaque	Agua superficial	RCora	X	X	X	325392	8168704	3641	Ubicado en el río Coralaque km 58 de la carretera a Chojata
20	Río Titire	Agua superficial	RTiti-1	X	X	X	352223	8169928	4343	Río Titire aproximadamente a 500 m aguas abajo de la fuente termal Puente Bello (PBello)
21	Quebrada Apostoloni	Agua superficial	P-5	X	X	X	372091	8166917	4830	Quebrada Apostoloni, aproximadamente a 100 m aguas arriba del punto de vertimiento PM-02
22	Quebrada Apostoloni	Agua superficial	P-7	X	X	X	371175	8167479	4798	Quebrada Apostoloni, aproximadamente a 400 m aguas abajo del punto de vertimiento PS-02
23	Río Vizcachas	Agua superficial	RVizc	X	X	X	349576	8161385	4282	Río Vizcachas, aproximadamente a 10 km aguas arriba de la confluencia con el río Coralaque
24	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-57*	X	X	-	371730	8167511	4841	Flujo de agua ácida de coloración rojiza que aflora al pie del depósito de desmonte, aproximadamente a 20 m del canal de coronación lado norte
25	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-57A*	X	-	-	371722	8167511	4837	Flujo de agua ácida de coloración rojiza que aflora al pie del depósito de desmonte, aproximadamente a 25 m del canal de coronación lado norte
26	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-55*	X	-	-	371661	8167578	4823	Flujo de agua ácida de coloración rojiza que aflora al pie del depósito de

**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 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
										desmante, aproximadamente a 75 m del canal de coronación lado norte
27	Bofedal	Agua superficial	FTU*	X	-	-	371534	8167690	4811	Bofedal ubicado aproximadamente a 200 m al oeste del depósito de desmante (canal lado norte), luego del aporte del flujo de agua ácida de coloración rojiza (MT-55)
28	Bofedal	Agua superficial	FTU-1*	X	-	-	371572	8167693	4808	Bofedal ubicado aproximadamente a 160 m al oeste del depósito de desmante (canal lado norte)
29	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-BO3	X	X	-	372070	8168152	4834	Flujo de agua ácida de coloración rojiza afluyente en la margen izquierda de la quebrada sin nombre 2, aproximadamente a 25 m del depósito de desmante
30	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-BO2	X	X	-	372118	8168207	4842	Flujo de agua ácida de coloración rojiza afluyente en la margen izquierda de la quebrada sin nombre 2, aproximadamente a 30 m del depósito de desmante
31	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-BO14	X	-	-	372146	8168210	4857	Flujo de agua ácida de coloración rojiza afluyente en la margen izquierda de la quebrada sin nombre 2, aproximadamente a 20 m del depósito de desmante
32	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-60	X	-	-	372410	8168350	4883	Flujo de agua ácida de coloración rojiza ubicado cerca de la naciente de la quebrada sin nombre 2, aproximadamente a 20 m del depósito de desmante
33	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-46	X	X	X	373426	8168280	4971	Flujo de agua ácida afluyente en la margen izquierda de la quebrada sin nombre 1, aproximadamente a 50 m del canal de coronación del depósito de desmante
34	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	TU-19B	X	X	-	373822	8168358	5037	Flujo de agua ácida de coloración rojiza afluyente en la margen izquierda de la quebrada Margaritani cerca de la naciente
35	Quebrada Apostoloni	Agua superficial	TU-34	X	X	X	371692	8167172	4812	Agua del canal de derivación norte del PAD III, aproximadamente a 50 m aguas arriba de la descarga 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 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
										canal lado Norte y aproximadamente a 80 m al sureste del wetland sur
36	Quebrada Apostoloni	Agua superficial	TU-04	X	X	X	371635	8167187	4812	Agua del canal de derivación norte del PAD III, aproximadamente a 30 m aguas abajo de la descarga del canal lado norte y aproximadamente a 35 m al sur del wetland sur
37	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	MT-BO13	X	-	-	371684	8167330	4825	Flujo de agua ácida de coloración rojiza que aflora en la parte baja del sistema de tratamiento del agua del tajo, aproximadamente a 70 m aguas abajo de la poza N° 03, que recorre suelo natural y descargaba al canal lado norte a través de una tubería HDPE con dirección hacia la quebrada Apostoloni.
38	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	ARI-1	X	-	-	371712	8167297	4821	Flujo de agua ácida de coloración rojiza que recorre el canal lado norte
39	Afloramiento subterráneo	Agua superficial	TU-PS02	X	X	-	371651	8167200	4814	Descarga de agua ácida de coloración rojiza del canal lado norte, aproximadamente a 25 m al sureste del wetland sur
40	Manantial	Agua subterránea	MT-36	X	X	X	374147	8165930	5068	Manantial polisurgente ubicado aproximadamente a 80 m en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni sur
41	Manantial	Agua subterránea	MT-42	X	X	-	374100	8168391	5074	Manantial ubicado en la naciente de la quebrada Margaritani
42	Manantial	Agua subterránea	MT-42A	NE	NE	X	373804	8168385	5032	Manantial ubicado en la naciente de la quebrada Margaritani a 200 m aproximadamente de MT-42
43	Río Titire (fuente termal)	Agua subterránea	PBello	X	X	X	352642	8169999	4348	Fuente termal Puente Bello que aflora en el cauce del río Titire, el agua sale a presión en diversos puntos desde la acumulación de sinter en forma concéntrica a modo de nódulos, en la zona denominada Puente Bello Sector I-Terrazas.
44	Quebrada Margaritani	Agua subterránea	MN-1	NE	NE	X	373468	8168536	4943	Manantial ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani entre los puntos TU-20 y TU-

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 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Abril	Junio	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
										22, a aproximadamente 40 m del punto MT-44*
45	Quebrada Apostoloni	Efluente minero	PS-02	-	-	X	371552	8167184	4806	Efluente tratado procedente del tajo de la unidad minera Tucari

(-) Puntos no evaluados por encontrarse sin flujo o sin vertimiento

(NE) Punto no evaluado

(*) Puntos evaluados en el bofedal ubicado al pie del Depósito de Desmonte Norte (informes mensuales N.º 0182-2019-OEFA/DEAM-STEC y 0212-2019-OEFA/DEAM-STEC)

Respecto a los 20 puntos de sedimento establecidos, se evaluaron todos en abril y 18 en octubre (Tabla 6.3 y Anexo 2).

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

N.º	Cuerpo de agua o cuerpo receptor	Código	Mes de evaluación		Coordenadas UTM WGS 84–zona 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Abril	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
1	Quebrada Margaritani	SED-TU-22	X	-	373049	8168594	4933	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 200 m aguas abajo del punto de vertimiento PS-01 (M-1)
2	Quebrada sin nombre 2	SED-TU-24	X	-	372034	8168156	4835	Ubicado en la quebrada sin nombre 2, aproximadamente a 40 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Margaritani, abajo de la confluencia de los flujos ácidos de coloración rojiza MT-60, MT-BO2, MT-BO3 y MT-BO14
3	Quebrada Margaritani	SED-TU-25	X	X	372032	8168197	4840	Ubicado en la quebrada Margaritani, a 50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada sin nombre 2
4	Quebrada Margaritani	SED-TU-26	X	X	371946	8168163	4832	Ubicado aproximadamente a 50 m aguas abajo de la confluencia de la quebrada Margaritani con la quebrada sin nombre 2
5	Quebrada Apostoloni	SED-TU-11	X	X	370985	8167507	4785	Ubicado en la quebrada Apostoloni aproximadamente a 40 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Margaritani
6	Quebrada Margaritani	SED-TU-27	X	X	371007	8167538	4782	Ubicado en la quebrada Margaritani aproximadamente a 50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Apostoloni
7	Río Margaritani	SED-TU-28	X	X	370928	8167487	4786	Ubicado en el río Margaritani, a 50 m aguas abajo de la confluencia entre la quebrada Apostoloni y Margaritani
8	Río Queullirijahuri	SED-AG-17	X	X	367820	8168287	4642	Río Queullirijahuri, 200 m antes de la confluencia con el río Margaritani
9	Río Margaritani	SED-AG-18	X	X	367656	8168237	4638	Río Margaritani, 200 m antes de la confluencia con el río Queullirijahuri (MA-13)
10	Río Queullirijahuri	SED-AG-19	X	X	367527	8168444	4630	Río Queullirijahuri, 200 m aguas abajo de la confluencia entre los ríos

**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	Código	Mes de evaluación		Coordenadas UTM WGS 84–zona 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Abril	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
								Margaritani y Queullirijahuiri
11	Río Titire	SED-AG-09	X	X	355041	8171939	4354	Ubicado en el río Titire, a 120 m aguas arriba de la confluencia con el río Aruntaya
12	Río Aruntaya	SED-AG-10	X	X	354927	8171654	4356	Ubicado en el río Aruntaya, a 100 m antes de la confluencia con el río Titire (M-5)
13	Río Titire	SED-AG-11	X	X	354562	8171708	4357	Ubicado en el río Titire, a 100 m aguas abajo de la confluencia con el río Aruntaya (M-06)
14	Río Aruntaya	SED-AG-06	X	X	361603	8164443	4415	Ubicado en el río Aruntaya, a 30 m aguas arriba del puente con alcantarillas (M-4)
15	Río Queullirijahuiri	SED-AG-07	X	X	361420	8164920	4412	Río Queullirijahuiri, aproximadamente a 200 m aguas arriba de la confluencia con el río Aruntaya
16	Río Aruntaya	SED-AG-08	X	X	361140	8165037	4405	Ubicado en el río Aruntaya, aproximadamente a 100 m aguas abajo de la confluencia con el río Queullirijahuiri
17	Río Coralaque	SED-RCora	X	X	325392	8168704	3641	Ubicado en el río Coralaque km 58 de la carretera a Chojata
18	Río Titire	SED-RTiti-1	X	X	352223	8169928	4343	Río Titire aproximadamente a 500 m aguas abajo de la fuente termal Puente Bello (PBello)
19	Quebrada Apostoloni	SED-P-5	X	X	372091	8166917	4830	Quebrada Apostoloni, aproximadamente a 100 m aguas arriba del punto de vertimiento PM-02
20	Río Vizcachas	SED-RVizc	X	X	349576	8161385	4282	Río Vizcachas, aproximadamente a 10 km aguas arriba de la confluencia con el río Coralaque

(-) No fue evaluado en octubre por falta de sedimento

Respecto a los 21 puntos de comunidades hidrobiológicas establecidos, se evaluaron todos en abril y octubre (Tabla 6.4 y Anexo 2).

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

N.º	Cuerpo de agua o cuerpo receptor	Código	Mes de evaluación		Coordenadas UTM WGS 84–zona 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Abril	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
1	Quebrada Apostoloni	HB-TU-12	X	X	373819	8166994	5019	Ubicado aproximadamente a 50 m aguas abajo de la confluencia de los manantiales MT-40 y MT-41, en la parte alta de la quebrada Apostoloni norte
2	Quebrada Margaritani	HB-TU-22	X	X	373049	8168594	4933	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 200 m aguas abajo del punto de vertimiento PS-01 (M-1)
3	Quebrada sin nombre 2	HB-TU-24	X	X	372034	8168156	4835	Ubicado en la quebrada sin nombre 2, aproximadamente a 40 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Margaritani, abajo de la confluencia de los flujos ácidos de coloración rojiza MT-60, MT-BO2, MT-BO3 y MT-BO14
4	Quebrada Margaritani	HB-TU-25	X	X	372032	8168197	4840	Ubicado en la quebrada Margaritani, a 50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada sin nombre 2

**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	Código	Mes de evaluación		Coordenadas UTM WGS 84–zona 19K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Abril	Octubre	Este (m)	Norte (m)		
5	Quebrada Margaritani	HB-TU-26	X	X	371946	8168163	4832	Ubicado aproximadamente a 50 m aguas abajo de la confluencia de la quebrada Margaritani con la quebrada sin nombre 2
6	Quebrada Apostoloni	HB-TU-11	X	X	370985	8167507	4785	Ubicado en la quebrada Apostoloni aproximadamente a 40 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Margaritani
7	Quebrada Margaritani	HB-TU-27	X	X	371007	8167538	4782	Ubicado en la quebrada Margaritani aproximadamente a 50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Apostoloni
8	Río Margaritani	HB-TU-28	X	X	370928	8167487	4786	Ubicado en el río Margaritani, a 50 m aguas abajo de la confluencia entre la quebrada Apostoloni y Margaritani
9	Río Queullirijahuiri	HB-AG-17	X	X	367820	8168287	4642	Río Queullirijahuiri, 200 m antes de la confluencia con el río Margaritani
10	Río Margaritani	HB-AG-18	X	X	367656	8168237	4638	Río Margaritani, 200 m antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri (MA-13)
11	Río Queullirijahuiri	HB-AG-19	X	X	367527	8168444	4630	Río Queullirijahuiri, 200 m aguas abajo de la confluencia entre los ríos Margaritani y Queullirijahuiri
12	Río Titire	HB-AG-09	X	X	355041	8171939	4352	Ubicado en el río Titire, a 120 m aguas arriba de la confluencia con el río Aruntaya
13	Río Aruntaya	HB-AG-10	X	X	354927	8171654	4342	Ubicado en el río Aruntaya, a 100 m antes de la confluencia con el río Titire (M-5)
14	Río Titire	HB-AG-11	X	X	354562	8171708	4346	Ubicado en el río Titire, a 100 m aguas abajo de la confluencia con el río Aruntaya (M-06)
15	Río Aruntaya	HB-AG-06	X	X	361603	8164443	4413	Ubicado en el río Aruntaya, a 30 m aguas arriba del puente con alcantarillas (M-4)
16	Río Queullirijahuiri	HB-AG-07	X	X	361420	8164920	4406	Río Queullirijahuiri, aproximadamente a 200 m aguas arriba de la confluencia con el río Aruntaya
17	Río Aruntaya	HB-AG-08	X	X	361140	8165037	4406	Ubicado en el río Aruntaya, aproximadamente a 100 m aguas abajo de la confluencia con el río Queullirijahuiri
18	Río Coralaque	HB-RCora	X	X	325392	8168704	3632	Ubicado en el río Coralaque km 58 de la carretera a Chojata
19	Río Titire	HB-RTiti-1	X	X	352223	8169928	4339	Río Titire aproximadamente a 500 m aguas abajo de la fuente termal Puente Bello (PBello)
20	Quebrada Apostoloni	HB-P-5	X	X	372091	8166917	4835	Quebrada Apostoloni, aproximadamente a 100 m aguas arriba del punto de vertimiento PM-02
21	Río Vizcachas	HB-RVizc	X	X	349576	8161385	4280	Río Vizcachas, aproximadamente a 10 km aguas arriba de la confluencia con el río Coralaque

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 Tucari 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 y agua subterránea	pH, OD, CE y T°	Equipo multiparámetro	HACH	HQ40d
Comunidades hidrobiológicas	Macroinvertebrados bentónicos	Red Surber	Bioservice	-

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

Matriz	Parámetro	Equipo	Marca	Modelo
Agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas	-	Cámara fotográfica digital	Canon	Powershot D30BL
	Coordenadas UTM	Equipo de georreferenciación satelital (GPS)	Garmin	Montana 680

pH: Potencial de hidrógeno, OD: oxígeno disuelto, CE: conductividad eléctrica, T°: temperatura
(-) No corresponde

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 (Anexo 7).

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)	Espect ICP-MS
	Metales disueltos por ICP-MS (incluido Hg)		
	Sulfato(s)	PE-2090 Rev.8 2017	Cromatog Iónica
	Cianuro Libre	EPA METHOD 9016, Rev. 0, 2010	Free Cyanide in Water, Soils and Soil Wastes by Microdiffsion
	Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN·C, 22nd Ed. 2012	Cyanate: Colorimetric Method
Agua subterránea	Cianuro WAD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN· I,E, 23 rd Ed. 2017	Cyanide. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method
	Metales totales por ICP-MS (incluido Hg)	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espect ICP-MS
	Metales disueltos por ICP-MS (incluido Hg)		
Sulfato(s)	PE-2090 Rev.8 2017	Cromatog Iónica	
Agua residual industrial	Metales totales por ICP-MS (incluido Hg)	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espect ICP-MS
	Metales disueltos por ICP-MS (incluido Hg)		
	Sulfato(s)	PE-2090 Rev.8 2017	Cromatog Iónica
Sedimentos	Mercurio total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)
	Metales por ICP OES	EPA Method 3050 B / EPA Method 6010 D, Rev. 5 July. 2018	Acid Digestion of Sediments. Sludges and soils / Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Comunidades hidrobiológicas	Perifiton	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10300. C.1, C. 2. 23rd. Ed. 2017	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.° 68251/2019 ALS Perú S.A.C., N.° A-19/091673 AGQ Perú S.A.C., N.° A-19/091693 AGQ Perú S.A.C., N.° A-19/091699 AGQ Perú S.A.C., N.° A-19/091707 AGQ Perú S.A.C., N.° SAA-19/01064 AGQ Perú S.A.C., N.° SAA-19/01065 AGQ Perú S.A.C., N.° SAA-19/01066 AGQ Perú S.A.C., N.° SAA-19/01067 AGQ Perú S.A.C., N.° SAA-19/01068 AGQ Perú S.A.C., N.° SAA-19/01069 AGQ Perú S.A.C., N.° PE021-2019-OEFA/DEAM, N.° PE035-2019-OEFA/DEAM, N.° MIB032-2019-OEFA/DEAM, N.° MIB066-2019-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 zona o 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 ecológica

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 a través de las características hidromorfológicas de los cuerpos de agua (Encalada *et al.*, 2011).

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.

La evaluación de calidad ecológica de las quebradas se realizó tomando como base metodológica el «Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)» (Encalada *et al.*, 2011). Para su aplicación, se eligió en el sitio de

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

muestreo un tramo que mida entre 50 y 100 m de longitud, en el cual se observaron y valoraron 2 grupos de variables:

- Las características hidromorfológicas, que incluyeron las observaciones de vegetación de ribera, paisaje próximo al río y algunos elementos del canal como su forma y sustrato, que permitieron estimar la calidad hidromorfológica, y
- La composición de los macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo por el que se estimó la calidad biológica en base a su respectivo valor de tolerancia.

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

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

Una vez obtenidas las puntuaciones para cada característica hidromorfológica, se procedió a obtener una sumatoria de todas ellas, con la finalidad de tener un solo valor por punto de muestreo. Finalmente, para obtener el respectivo valor de calidad hidromorfológica, estos valores fueron comparados con la escala de la Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Calidad hidromorfológica del río

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

Fuente: Encalada *et al.*, 2011

La calidad biológica del agua se estimó a través del índice biótico *Andean Biotic Index* (ABI, por sus siglas en inglés), el cual fue desarrollado para evaluar la calidad de agua de ríos alto andinos ubicados a más de 2000 m de altitud (Acosta *et al.*, 2009). 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 6.8.

Tabla 6.8. 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

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

Taxa	Puntaje	Taxa	Puntaje	Taxa	Puntaje
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	Pyrallidae	4	Culicidae	2
Leptohyphidae	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 6.9.

Tabla 6.9. Valoración de la calidad biológica con el índice ABI

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

Fuente: Acosta *et al.*, 2009

Finalmente, la calidad ecológica se obtuvo combinando las valoraciones de calidad hidromorfológica y calidad biológica. Por ejemplo: si el resultado de combinar las 2 evaluaciones es turquesa, entonces la calidad ecológica del río será excelente; si es verde, será buena; si es amarilla, será moderada; si es naranja, será mala; y por último si es roja, será pésima. Otras combinaciones también son posibles (Tabla 6.10).

Tabla 6.10. Escala de calidad ecológica de un río o quebrada

Indicador		Calidad Biológica				
		Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
CALIDAD HIDROMORFOLÓGICA	Excelente	Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Buena	Buena	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Moderada	Buena	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Mala	Mala	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Pésima	Moderada	Mala	Mala	Pésima	Pésima

Fuente: Encalada *et al.*, 2011

a.2 Sensibilidad biológica

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

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

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 totales 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, para ello se aplicó el análisis de componentes principales (Fuentes 2011 y Cuadras 2014) y el análisis de correspondencia canónica (Ter Braak & Verdonschot, 1995), donde se consideraron las épocas evaluadas 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 3 categorías: tributario, cuerpo principal y afloramientos, como se detalla a continuación:

Tabla 6.11. 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
Quebrada Margaritani	HB-TU-22	Quebrada Margaritani	Cuerpo principal
	HB-TU-25	Quebrada Margaritani	Cuerpo principal
	HB-TU-24	Quebrada sin nombre 2	Afloramiento
	HB-TU-26	Quebrada Margaritani	Cuerpo principal
	HB-TU-27	Quebrada Margaritani	Cuerpo principal
Apostoloni Sur	HB-P-5	Quebrada Apostoloni	Cuerpo principal
	HB-TU-11	Quebrada Apostoloni	Cuerpo principal
Apostoloni Norte	HB-TU-12	Quebrada Apostoloni	Cuerpo principal
Río Margaritani y tributarios	HB-TU-28	Río Margaritani	Cuerpo principal
	HB-AG-18	Río Margaritani	Cuerpo principal
	HB-AG-17	Río Queullirjahuiri	Tributario
	HB-AG-19	Río Queullirjahuiri	Cuerpo principal
	HB-AG-07	Río Queullirjahuiri	Cuerpo principal
	HB-AG-06	Río Aruntaya	Tributario
	HB-AG-08	Río Aruntaya	Cuerpo principal
	HB-AG-10	Río Aruntaya	Cuerpo principal
	HB-AG-09	Río Titire	Tributario
	HB-AG-11	Río Titire	Cuerpo principal
	HB-RTiti-1	Río Titire	Cuerpo principal
	HB-RVizc	Río Vizcachas	Tributario
	HB-RCora	Río Coralque	Cuerpo principal

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 6.12).

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

Tabla 6.12. Abreviaciones de los parámetros en agua superficial empleados en el PCA

Tipo	Parámetros
Agua superficial	
En campo (in situ)	Potencial de hidrógeno [pH], oxígeno disuelto (mg/L) [OD] y conductividad eléctrica (µS/cm) [Cond]
Fisicoquímicos y metales (mg/L)	Sulfatos [SO4-2]
	Aluminio [Al], arsénico [As], bario [Ba], berilio [Be], boro [B], cadmio [Cd], calcio [Ca], cerio [Ce], cobalto [Co], cobre [Cu], cromo [Cr], estroncio [Sr], fósforo [P], hierro [Fe], litio [Li], magnesio [Mg], manganeso [Mn], níquel [Ni], plomo [Pb], potasio [K], selenio [Se], sodio [Na] 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 (z) 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 la matriz 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 002-2008-MINAM (Tabla 6.11), según lo coordinado con la Dirección de Supervisión (Anexo 9) y el último IGA aprobado⁷.

Tabla 6.13. Categorías de comparación empleados para calidad de agua

Cuerpo de agua	Categoría de comparación	Normativa de comparación
Quebrada Margaritani	Categoría 3	Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM
Quebrada sin nombre		
Bofedal		
Quebrada Apostoloni		
Río Margaritani		
Río Queullirijahuiri		
Río Aruntaya		
Río Titire		
Río Vizcachas		
Río Coralague		
Fuente termal	Categoría 3 (referencialmente)	Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM
Afloramientos		
Manantial		

⁷ Resolución Directoral N.º 501-2014-MEM-DGAAM, Modificación del estudio de impacto ampliación de operaciones por ampliación de Pad 3 y botadero de desmonte del proyecto Tucari, aprobado el 02 de octubre de 2014

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

Asimismo, los resultados obtenidos de los puntos de muestreo de afloramientos subterráneos y manantiales fueron comparados de forma referencial con la normativa mencionada (Tabla 6.13), cuyos valores se presentan en la Tabla 6.14.

Tabla 6.14. Estándares de comparación para agua superficial de la categoría 3

Parámetro	Unidad	ECA para agua	
		Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM	
		Categoría 3	
		Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
FISICO-QUÍMICOS			
Bicarbonatos	mg/L	370	---
Calcio	mg/L	200	---
Carbonatos	mg/L	5	---
Cloruros	mg/L	100-700	---
Conductividad	µS/cm	<2000	<=5000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15	<=15
Demanda química de oxígeno	mg/L	40	40
Fluoruros	mg/L	1	2
Fosfatos-P	mg/L	1	---
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10	50
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0,06	1
Oxígeno disuelto	mg/L	≥4	>5
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Sodio	mg/L	200	---
Sulfatos	mg/L	300	500
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,05	0,1
Berilio	mg/L	---	0,1
Bario total	mg/L	0,7	---
Boro	mg/L	0,5-6	5
Cadmio	mg/L	0,005	0,01
Cianuro wad	mg/L	0,1	0,1
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Cromo (6+)	mg/L	0,1	1
Hierro	mg/L	1	1
Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	150	150
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,001
Níquel	mg/L	0,2	0,2
Plata	mg/L	0,05	0,05
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,05	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 6.15).

Tabla 6.15. Límites Máximos Permisibles para efluentes

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
Aceites y grasas	mg/L	20
Cianuro total	mg/L	1
INORGÁNICOS		
Arsénico total (As)	mg/L	0,1
Cadmio total (Cd)	mg/L	0,05
Cromo hexavalente	mg/L	0,1
Cobre total (Cu)	mg/L	0,5

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

Parámetro	Unidad	LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas Decreto Supremo N.º 010 -2010-MINAM
		Límite en cualquier momento
Hierro disuelto (Fe)	mg/L	2
Plomo total (Pb)	mg/L	0,2
Mercurio total (Hg)	mg/L	0,002
Zinc total (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*)⁸, 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 6.16).
- *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 6.16).

Tabla 6.16. 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)

PEL: Nivel de efecto probable

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

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la finalidad de mejorar la interpretación y el análisis de los resultados de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas, el estudio se dividió en 3 zonas correspondientes a quebradas y ríos, las cuales se detallan a continuación:

- Zona 1 – Quebrada Margaritani: conformada por las quebradas Margaritani (TU-20, TU-22, TU-25, TU-26 y TU-27) y sin nombre 2 (TU-24), afloramiento subterráneo (TU-19B, MT-46, MT-60, MT-BO14, MT-BO2, MTBO3, MT-57, MT-57A y MT-55), manantial (MT-42) y bofedal (FTU y FTU-1). Asimismo, en esta zona se encuentra el depósito de desmonte norte.

⁸ *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

- Zona 2 – Quebrada Apostoloni: conformada por la quebrada Apostoloni (TU-12, P-5, TU-34, TU-04, P-7 y TU-11), afloramiento subterráneo (MT-BO13, ARI-1, y TU-PS02) y el manantial (MT-36). Asimismo, en esta zona se encuentra el PAD de lixiviación N.º 3.
- Zona 3 – Río Margaritani y tributarios: conformada por los ríos Margaritani (TU-28, y AG-18), Queullirijahuiri (AG-17, AG-19 y ACCCG-07), Aruntaya (AG-06, AG-08 y AG-10), Titire (AG-09, AG-11, PBello y RTiti-1), Vizcachas (RVizc) y Coralque (RCora).

Cabe señalar que, los resultados de agua y sedimento de abril 2019 y los de agua de junio 2019, se presentan en los informes N.º 0182-2019-OEFA/DEAM-STEC y N.º 0212-2019-OEFA/DEAM-STEC respectivamente. Sobre las comunidades hidrobiológicas, en el presente informe se detallan los resultados de abril y octubre 2019.

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros que superaron o se encontraron fuera del rango de los ECA para agua 2008, categoría 3, para los cuerpos de agua superficial; siendo referencial la comparación para los manantiales y la fuente termal Puente Bello. Los efluentes minero metalúrgicos fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles mientras que el sedimento fue comparado de manera referencial con la norma canadiense. Asimismo, se analizó la relación entre el agua, sedimento y las comunidades hidrobiológicas y se presentan los resultados de estas tres matrices en el Anexo 8.

7.1. ZONA 1 – QUEBRADA MARGARITANI

7.1.1. Depósito de desmonte Norte

En la quebrada Margaritani, las concentraciones de arsénico y cadmio se incrementaron en octubre 2019 mientras que el pH, la conductividad eléctrica y las concentraciones de aluminio, cobalto, hierro, manganeso, níquel y zinc total disminuyeron en el punto TU-27 (aguas debajo de los afloramientos) en comparación con el punto MT-42A (a 200 m aguas abajo de la naciente MT-42⁹), y superaron los ECA para agua 2008 (categoría 3) tanto aguas arriba como aguas abajo; a excepción del cobre que solo superó aguas abajo (Figuras 7.5C, 7.6A, 7.1A, 7.1B, 7.5A, 7.6C, 7.7C, 7.8A, 7.9A y 7.10A). Asimismo, las concentraciones de sulfatos se mantuvieron similares (2772 - > 3000 mg/L) superando también la normativa mencionada (Figura 7.1C).

Asimismo, la disminución de las concentraciones de los parámetros mencionados en el punto TU-22 (parte media de la quebrada Margaritani) se debe al aporte de los manantiales MT-44, MT-45 y MT-47, provenientes de ambas márgenes de la quebrada Margaritani. Cabe indicar que aguas abajo de la naciente (MT-42) y aguas arriba del punto MT-42A se identificaron afloramientos al pie del depósito de desmonte norte, tal como fue reportado en el informe N.º 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME¹⁰.

⁹ informes N.º 0182-2019-OEFA/DEAM-STEC y N.º 0212-2019-OEFA/DEAM-STEC

¹⁰ Informe N.º 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME "Informe de Evaluación Ambiental en el Área de Influencia de la Unidad Minera Tucari, durante el año 2017"

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

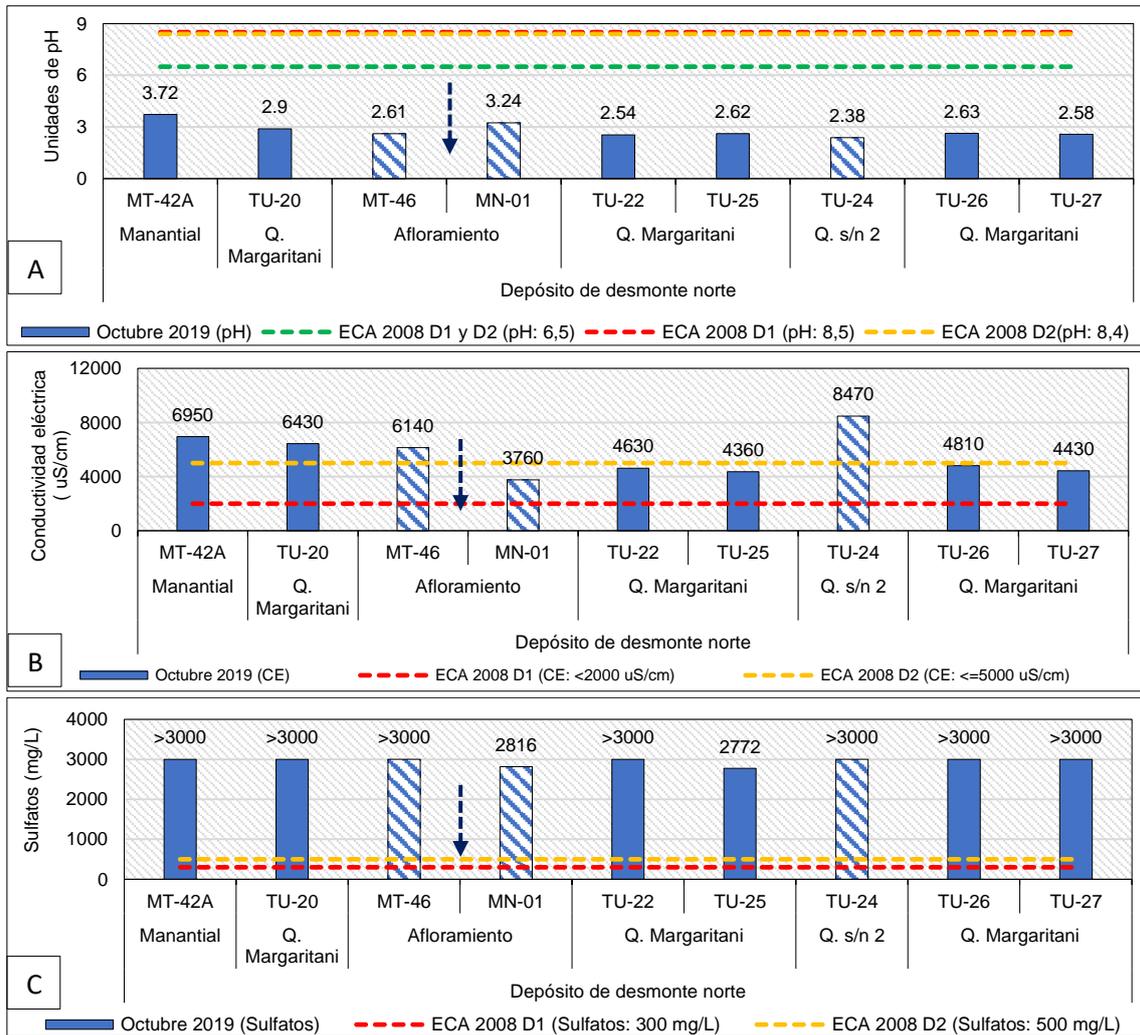


Figura 7.1. Unidades de pH (A), conductividad eléctrica (B) y sulfatos (C) en la quebrada Margaritani y afloramientos

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los afloramientos, la flecha representa el aporte de manantiales

Las características ácidas tanto de los manantiales como de los afloramientos en esta zona, están asociados a minerales y rocas sulfurosas que a partir de su meteorización y oxidación (contacto con agua y oxígeno) generan aguas ácidas¹¹. En cuanto a las elevadas concentraciones de metales en los afloramientos, están asociadas al proceso de lixiviación (generación de drenaje ácido de mina) en el depósito de desmonte Norte.

La afectación de la calidad del agua de la quebrada Margaritani se debe al aporte de afloramientos provenientes del depósito de desmonte Norte (MT-46 y TU-24), que presentaron coloración rojiza (Figura 7.2), pH ácido y elevadas concentraciones de metales, conductividad eléctrica y sulfatos que superaron los ECA para agua 2008, categoría 3. Con los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) reportados en la evaluación realizada por la DEAM-OEFA en 2017, el material del depósito de desmonte es generador de acidez, concordante con lo reportado por el administrado, el cual indica que hay presencia de altos niveles de azufre, y es generador de acidez¹², por lo que al contacto tanto con el agua, oxígeno y microorganismos, se produce drenaje ácido de mina.

¹¹ Lottermoser, 2010. Mine Wastes. Characterization, Treatment and Environmental Impacts. Springer. 3rd. Edition Pág. 8

¹² Vector Perú SAC, 2008. «Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la UM Tucari»

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

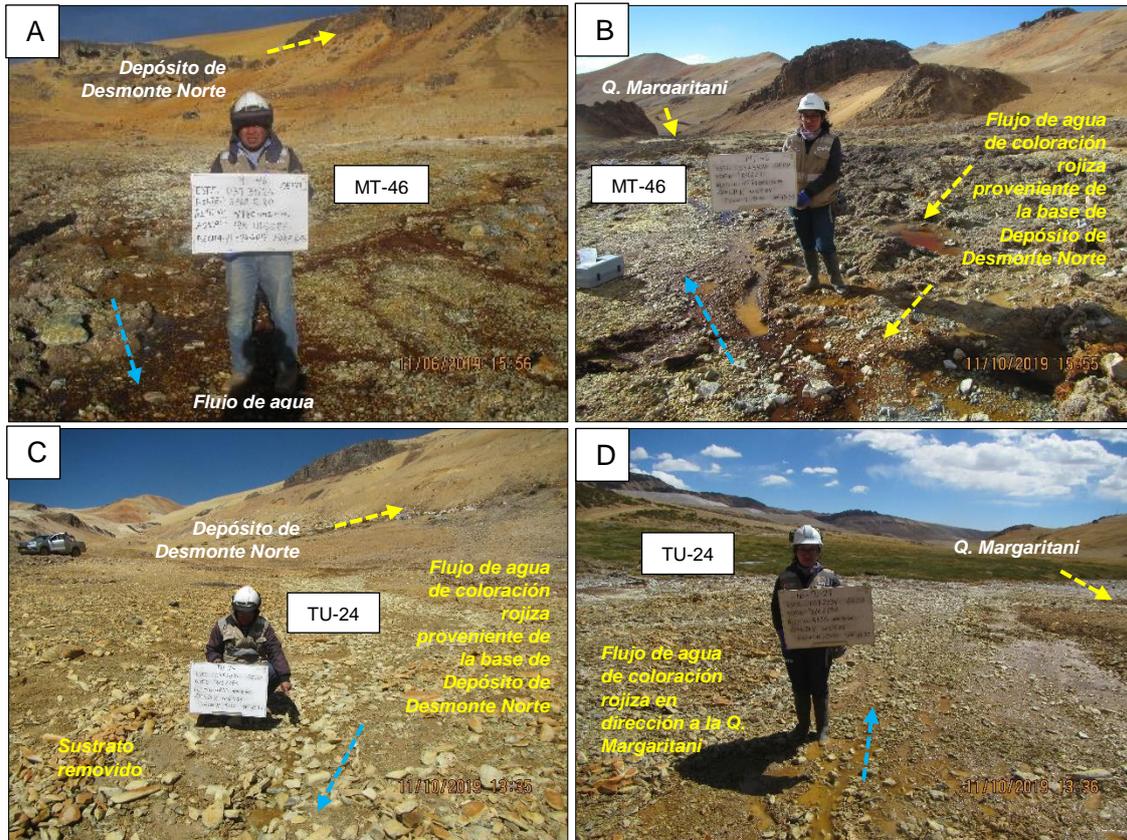


Figura 7.2. Afloramiento MT-46 (A y B) y afloramientos que discurren por la quebrada sin nombre - TU-24 (C y D), provenientes del pie del depósito de desmante Norte con coloración rojiza y sustrato removido que llegan a la quebrada Margaritani

Al comparar los resultados de las evaluaciones realizadas en abril, junio y octubre de 2019 con la data histórica, se observa que las concentraciones de aluminio, cadmio, manganeso total (Figura 7.3), entre otros (Anexo 8) fueron menores en el punto TU-27 (aguas abajo de los afloramientos); mientras que las concentraciones de arsénico y cobre total se incrementaron (Anexo 8). Asimismo, en octubre se registró una disminución en el pH y en los metales mencionados, aguas abajo, respecto a abril y junio de 2019; mientras que la conductividad eléctrica aumentó (Anexo 8). Estas variaciones estarían asociadas a la temporalidad.

Cabe resaltar que la naciente de la quebrada Margaritani (MT-42) y los afloramientos TU-19B, MT-60, MT-BO14, MT-BO2 y MT-BO3 se encontraron sin flujo en octubre 2019. Además, el manantial MN-01 superó los ECA para agua 2008 (categoría 3) para todos los metales excepto para el cobre total (Figura 7.7A). Cabe indicar que la evaluación de este punto se realizó a 6 m de la surgencia debido a que no había condiciones para la toma de muestra, entrando en contacto con el suelo.

La presencia de lixiviados identificados mediante la tomografía geoelectrónica concuerdan con la presencia de parámetros comunes (sulfatos y metales) reportados en las muestras de agua de filtraciones y afloramientos, ubicados en el depósito de desmante y al pie del mismo, respectivamente¹³.

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

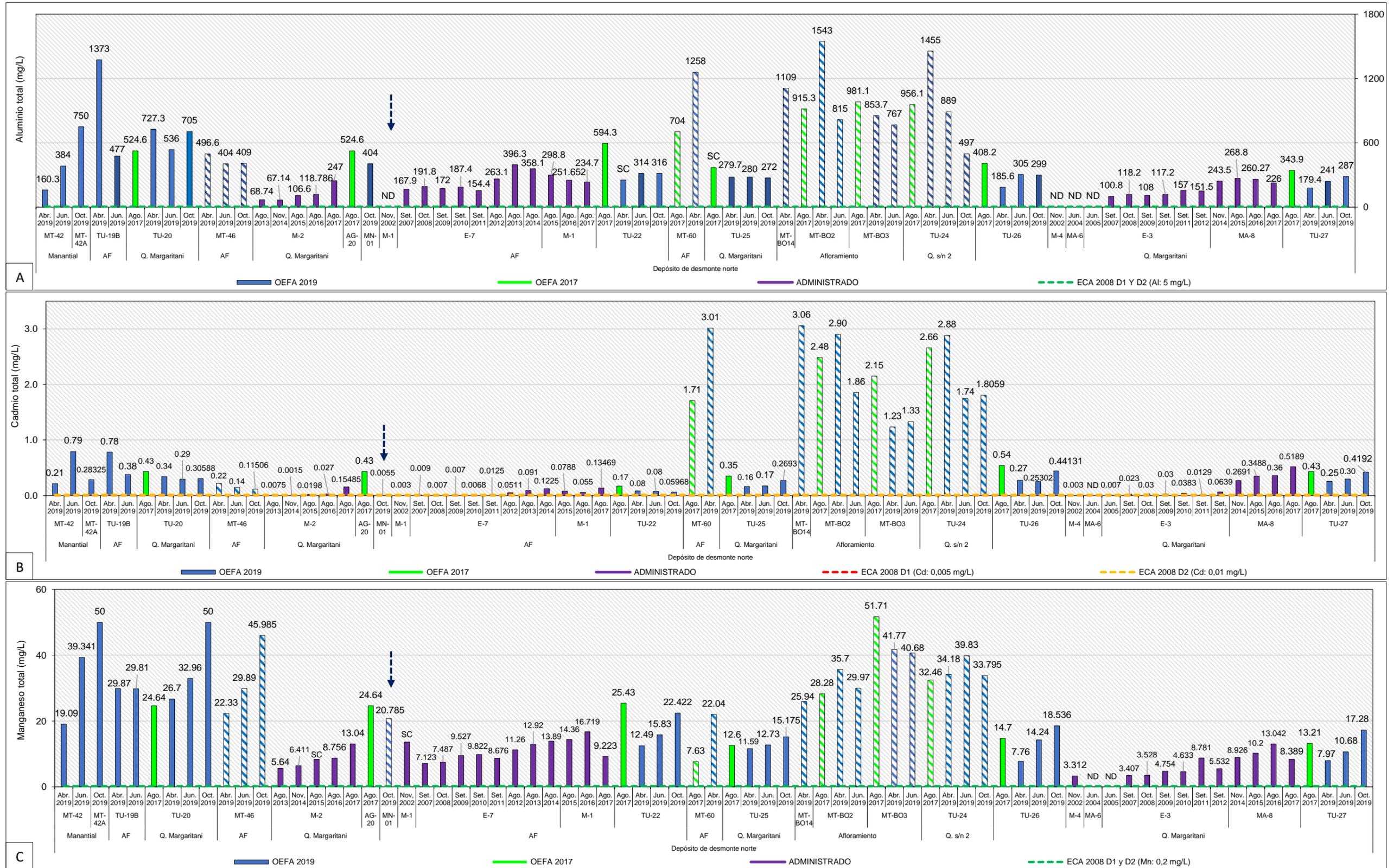


Figura 7.3. Comparación de aluminio (A), cadmio (B) y manganeso (C) en la quebrada Margaritani y afloramientos (2019) con lo reportado en la data histórica (2017) y lo reportado por la UM Tucari. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios, las flechas representan el aporte de manantiales.

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

Asimismo, en el punto MT-42 se observa que se mantienen los parámetros que se encuentran por debajo del rango o superan los ECA para agua 2008 (categoría 3) en abril y junio de 2019; además, en el punto TU-27 se registró un comportamiento similar en agosto 2017, abril, junio y octubre 2019 con 12 parámetros que superaron la normativa. Cabe resaltar que en todos los puntos evaluados, las concentraciones de sulfatos, aluminio, cadmio, cobalto, hierro, manganeso, níquel y zinc total superaron la normativa mencionada (Figura 7.4).

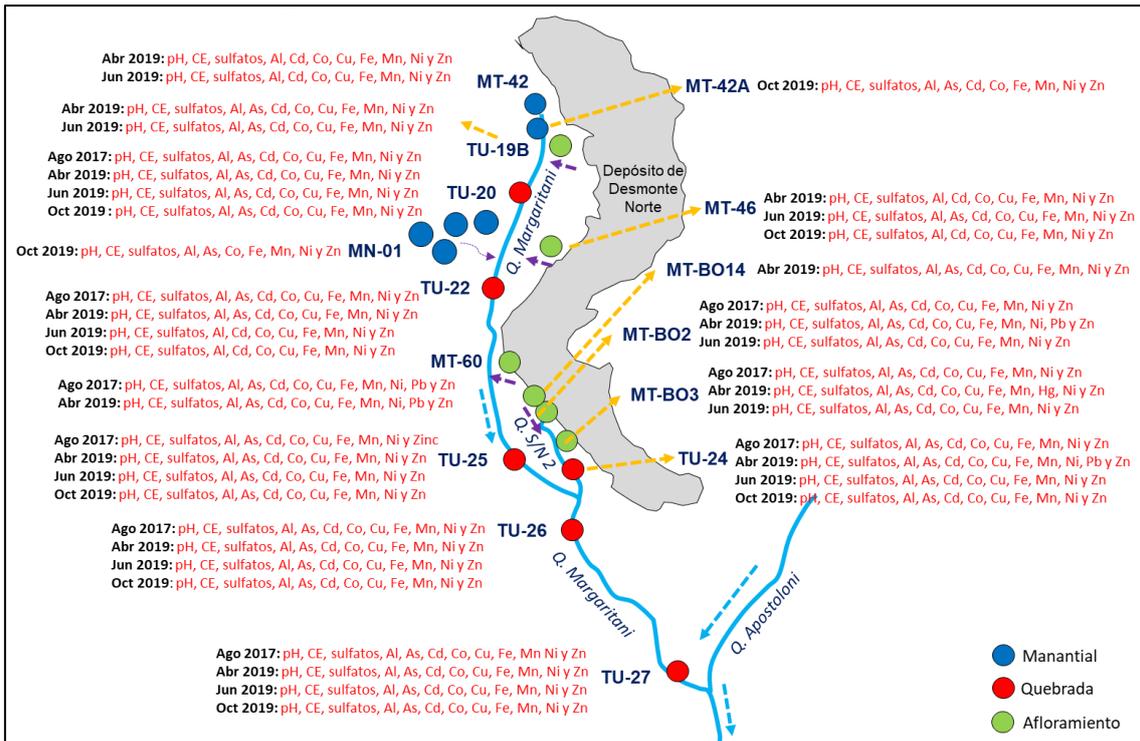


Figura 7.4. Parámetros que superaron los ECA para agua 2008, categoría 3, en la quebrada Margaritani y afloramientos

Respecto al sedimento en octubre 2019, las concentraciones de cobre y mercurio en el punto evaluado aguas abajo del depósito de desmonte norte (SED-TU-27) se incrementaron respecto a los puntos SED-TU-25 y SED-TU-26 y excedieron el nivel ISQG de la normativa canadiense (Figuras 7.7B y 7.8D), mientras que el arsénico y cadmio disminuyeron, a excepción del plomo; sin embargo, continuaron superando referencialmente el valor PEL de la norma mencionada (Figuras 7.5 D, 7.6B y 7.9D).

Además, el sedimento en los puntos aguas arriba (SED-TU-25) y aguas abajo (SED-TU-27) presentó aluminio (6312 mg/kg y 8824 mg/kg), hierro (124391 mg/kg y 88881 mg/kg) y manganeso (120 mg/kg y 92,5 mg/kg), que no cuentan con un estándar en la norma canadiense (Figuras 7.5B, 7.7D y 7.8B) que junto al arsénico (1840 mg/Kg y 1200 mg/kg) y cadmio (17,9 mg/Kg y 12,8 mg/Kg) también estarían influyendo en la calidad del agua debido a que se encuentran en un medio ácido.

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

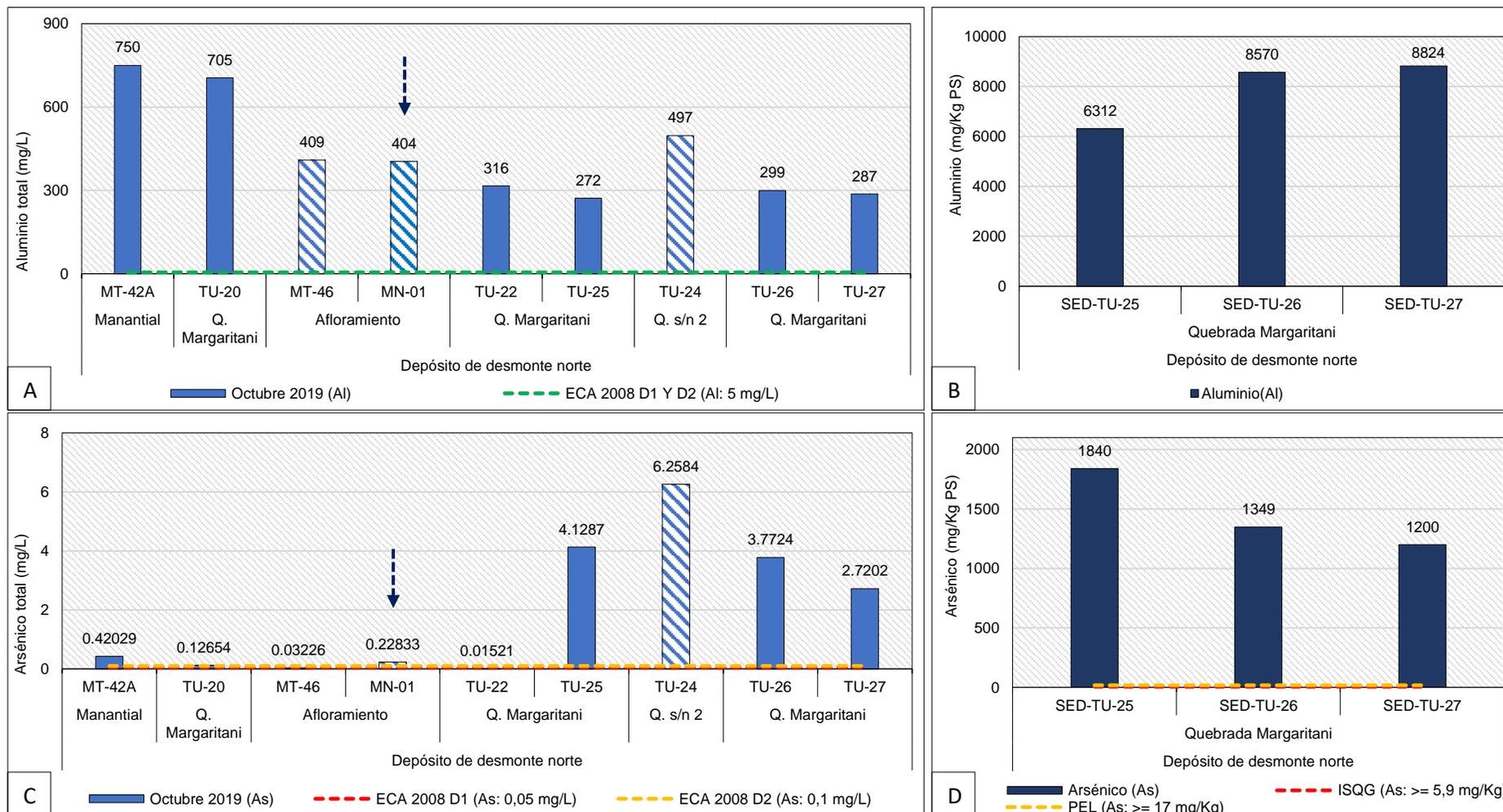


Figura 7.5. Concentración de aluminio y arsénico en agua (A y C) y sedimento (B y D) en la quebrada Margaritani y afloramientos. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios, las flechas representan el aporte de manantiales.

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

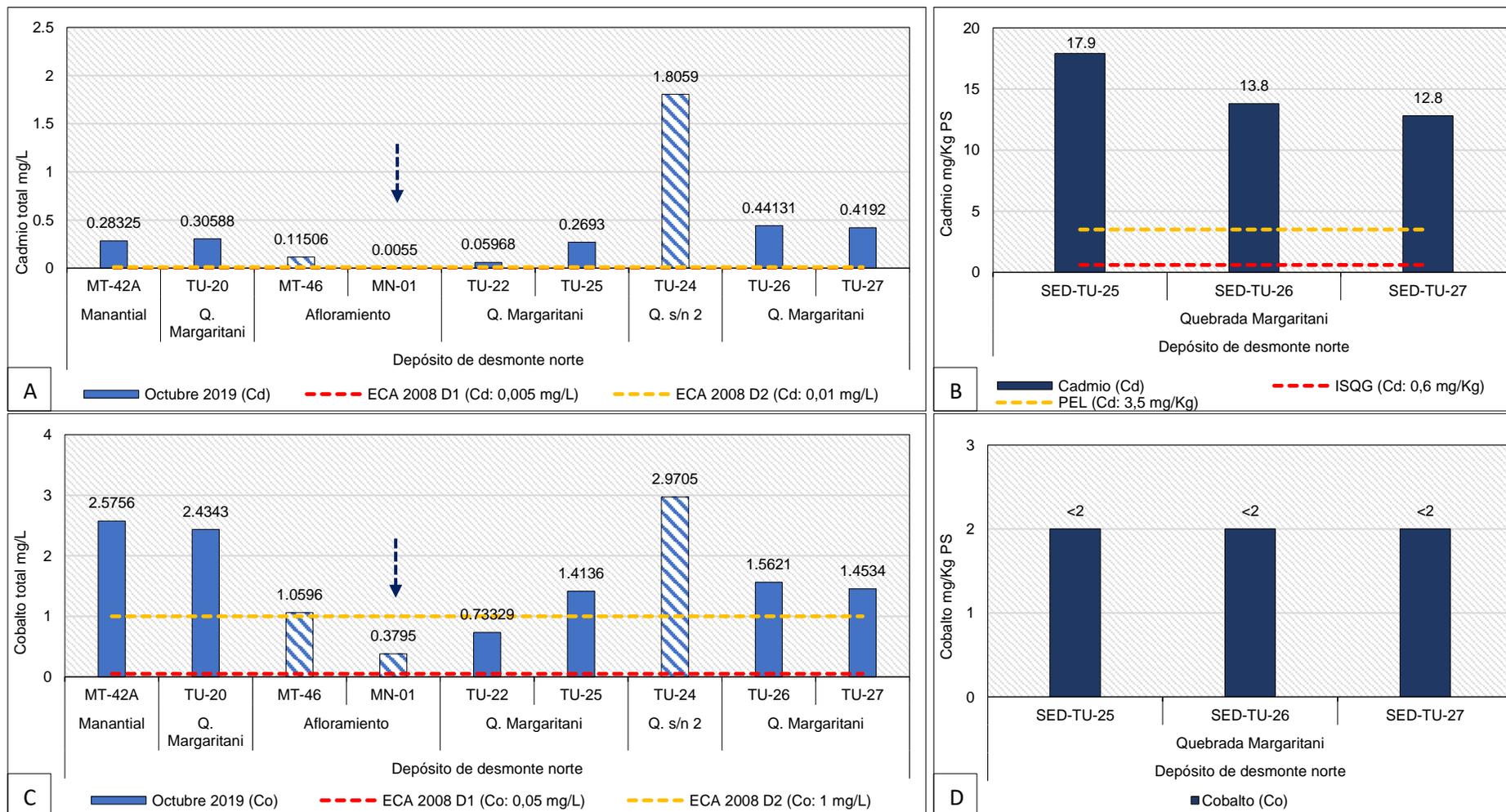


Figura 7.6. Concentración de cadmio y cobalto en agua (A y C) y sedimento (B y D) en la quebrada Margaritani y afloramientos. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios, las flechas representan el aporte de manantiales.

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

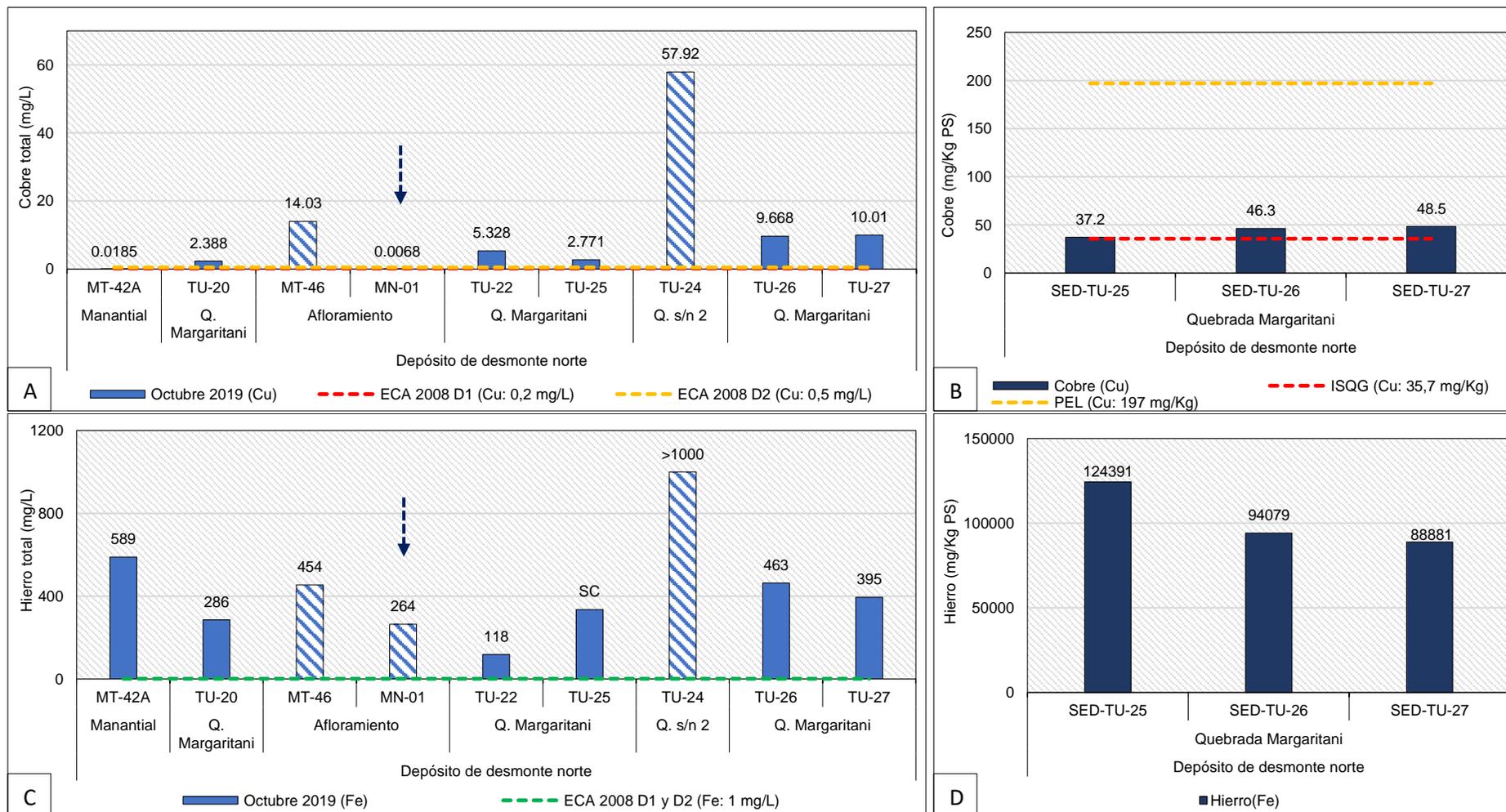


Figura 7.7. Concentración de cobre y hierro en agua (A y C) y sedimento (B y D) en la quebrada Margaritani y afloramientos. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y las flechas representan el aporte de mananciales.

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

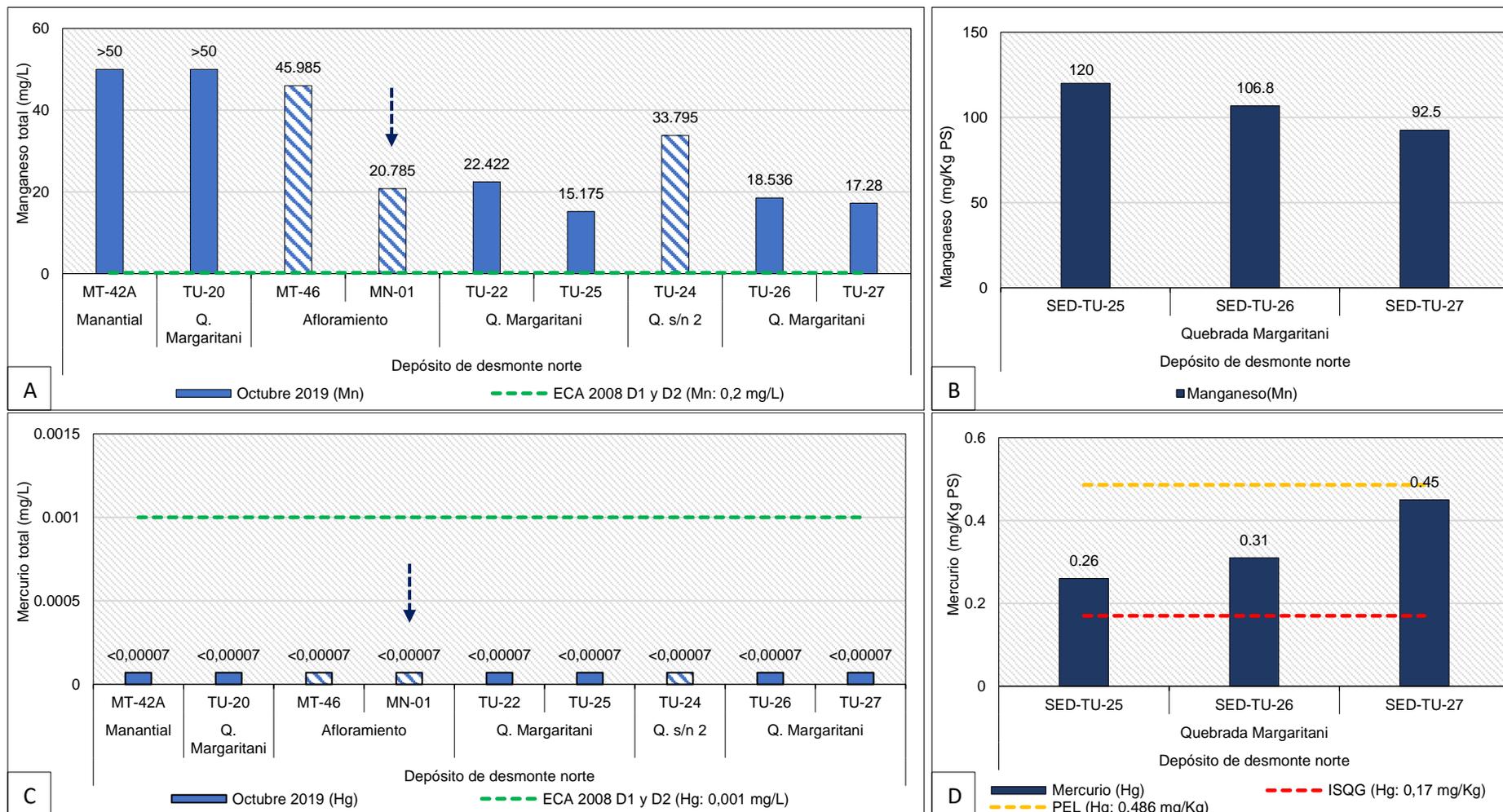


Figura 7.8. Concentración de manganeso y mercurio en agua (A y C) y sedimento (B y D) en la quebrada Margaritani y afloramientos. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y las flechas representan el aporte de manantiales.

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

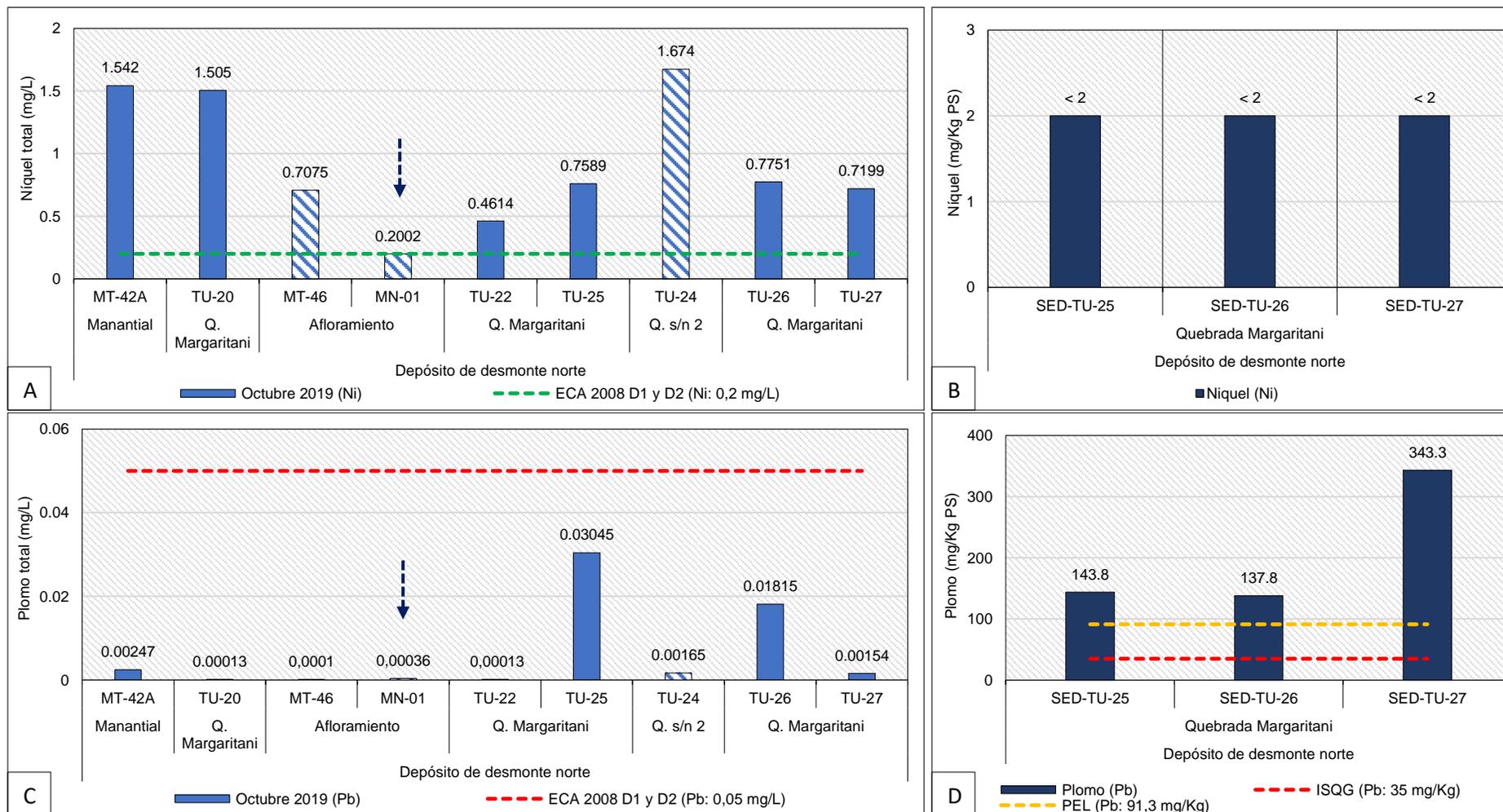


Figura 7.9. Concentración de níquel y plomo en agua (A y C) y sedimento (B y D) en la quebrada Margaritani y afloramientos. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y las flechas representan el aporte de mananciales.

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

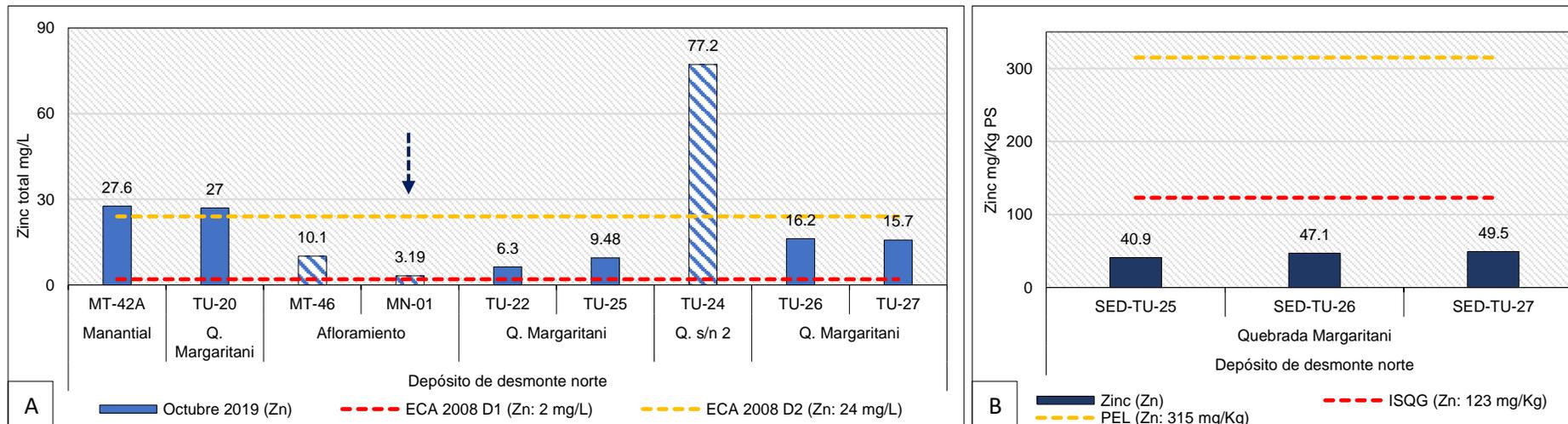


Figura 7.10. Concentración de zinc en agua (A) y sedimento (B) en la quebrada Margaritani y afloramientos

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y las flechas representan el aporte de manantiales

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

Al comparar los resultados de octubre 2019 con la data histórica de los puntos evaluados en sedimento se observa el incremento en la concentración de arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso y plomo en comparación con agosto 2017 y abril 2019 (Figura 7.11).

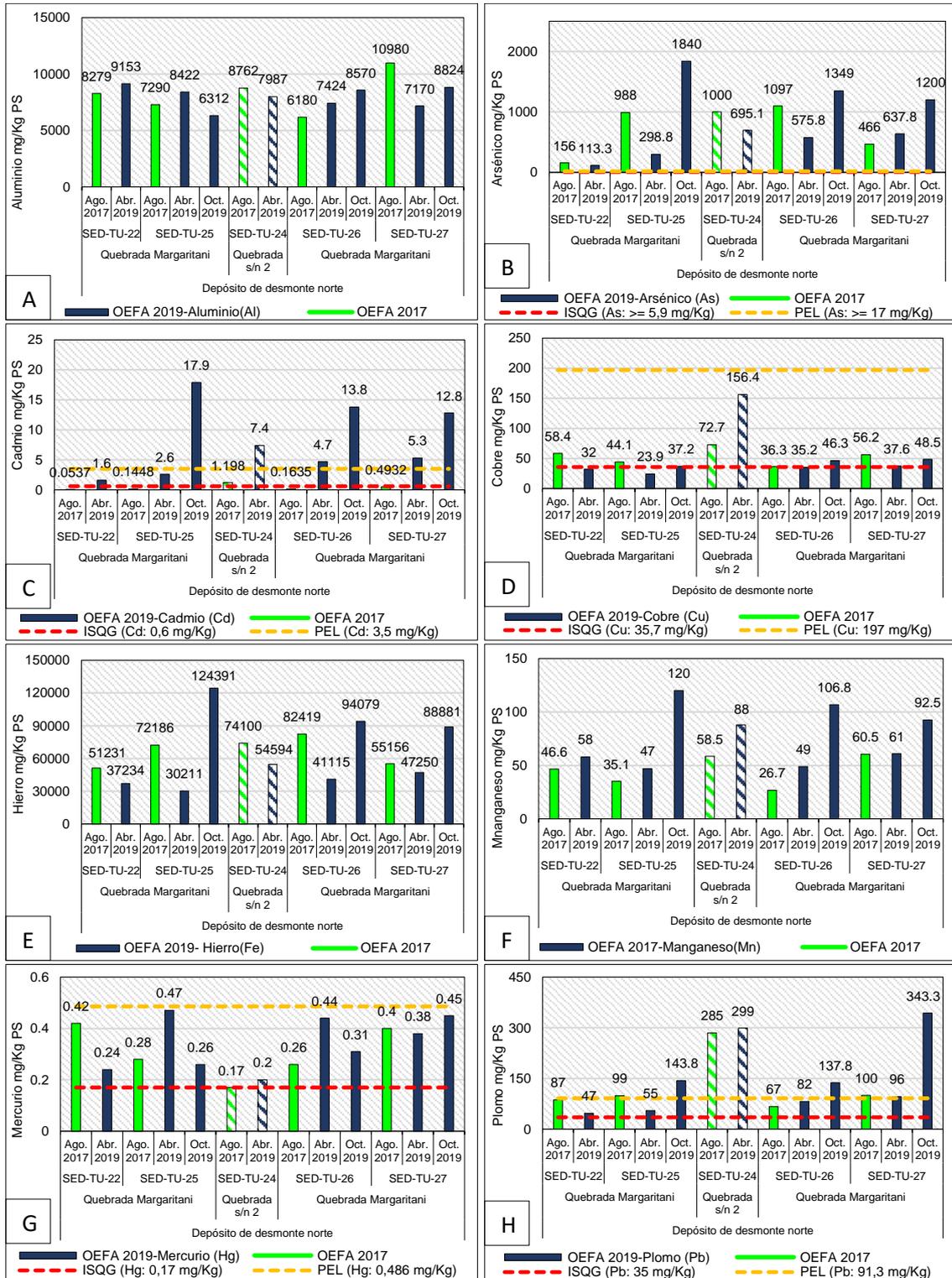


Figura 7.11. Comparación de aluminio (A), arsénico (B), cadmio (C), cobre (D), hierro (E), manganeso (F), mercurio (G) y plomo (H) en el sedimento de la quebrada Margaritani y aportantes (2019) con lo reportado en la data histórica (2017)

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

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

En la quebrada Margaritani se registraron altas concentraciones de metales totales y sulfatos, valores de pH ácidos, sustratos removidos y escasa disponibilidad de hábitats, características que influyeron negativamente en el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, presentando baja riqueza (de 0 a 2 especies) y densidad de organismos (de 0 a 12 organismos/0,27m²); y la dominancia de especies de la familia Chironomidae como *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp. (Figura 7.12), familia reportada en ambientes ácidos y con elevada carga de metales pesados (Janssens L. *et. al.* 2005). En el 2017¹⁴ se registró el mismo comportamiento donde también presentó el dominio de las especies antes mencionadas. Esto indica que las concentraciones altas de metales y pH bajos influyen en la disminución de la diversidad y composición de especies tal como indica Fornaroli *et.al.* (2018).

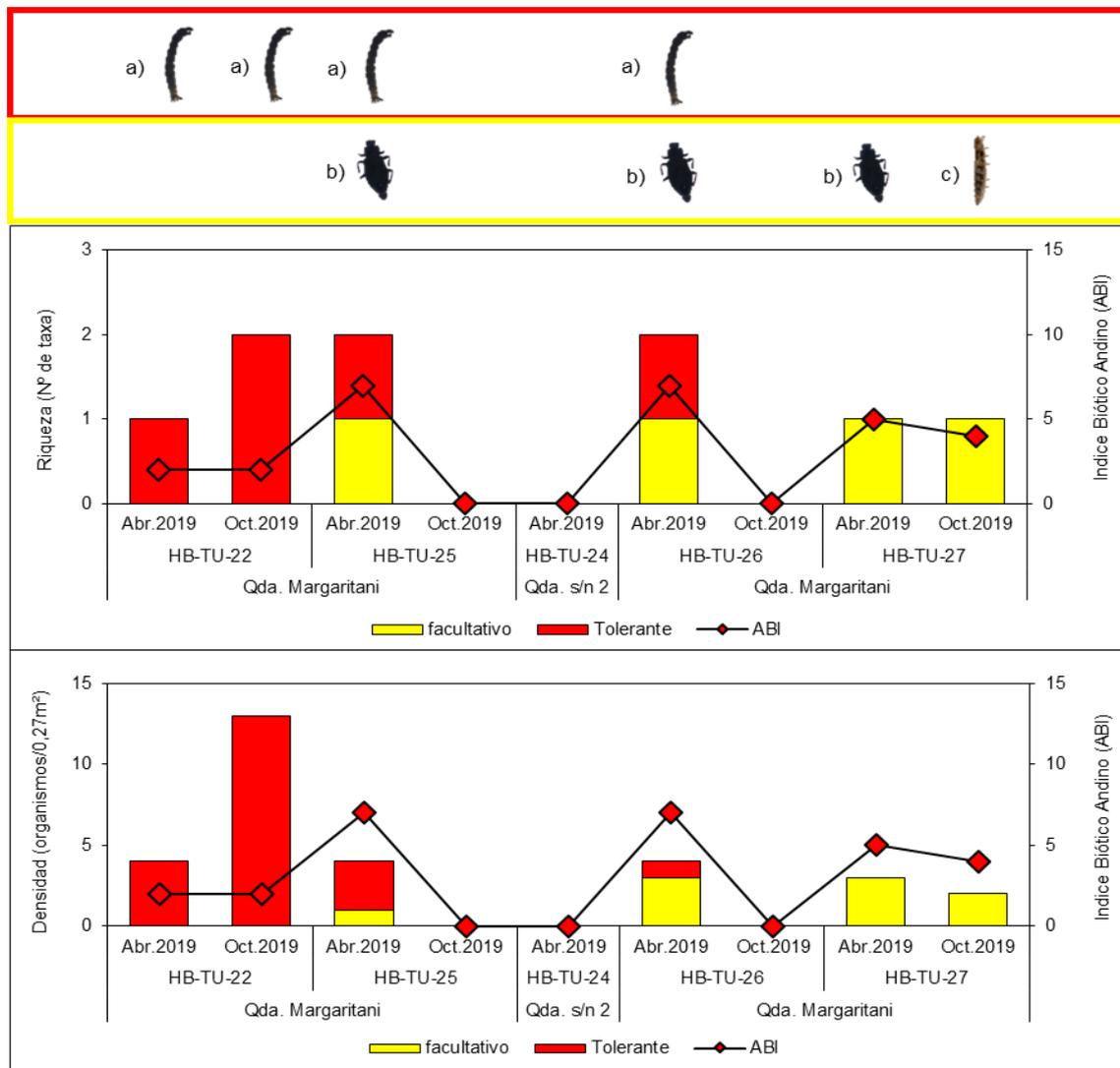


Figura 7.12. Riqueza, densidad, índice biótico andino (ABI) y sensibilidad (facultativo o tolerante) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrados en la quebrada Margaritani. Donde: a) *Podonomus* sp., b) *Austrelmis* sp. y c) *Clinocera* sp.

En abril 2019, el punto HB-TU-24 (afloramiento que discurre en la quebrada sin nombre 2) presentó la mayor concentración de metales y sulfatos entre los puntos evaluados en la quebrada Margaritani, además de una pésima calidad hidromorfológica (Figura 7.13B y Tabla 7.1), lo que impidió el desarrollo de los macroinvertebrados bentónicos demostrado por la ausencia de estos organismos (Figura 7.12); mientras que en octubre no se colectó

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

esta comunidad por el escaso flujo (Figura 7.13A). Asimismo, en octubre 2019 en la quebrada Margaritani (HB-TU-25 y HB-TU-26) las características como sustrato removido, escaso flujo, pH ácido y altas concentraciones de metales impidieron el desarrollo de los macroinvertebrados bentónicos ya que no se registraron estos organismos (Figura 7.12).

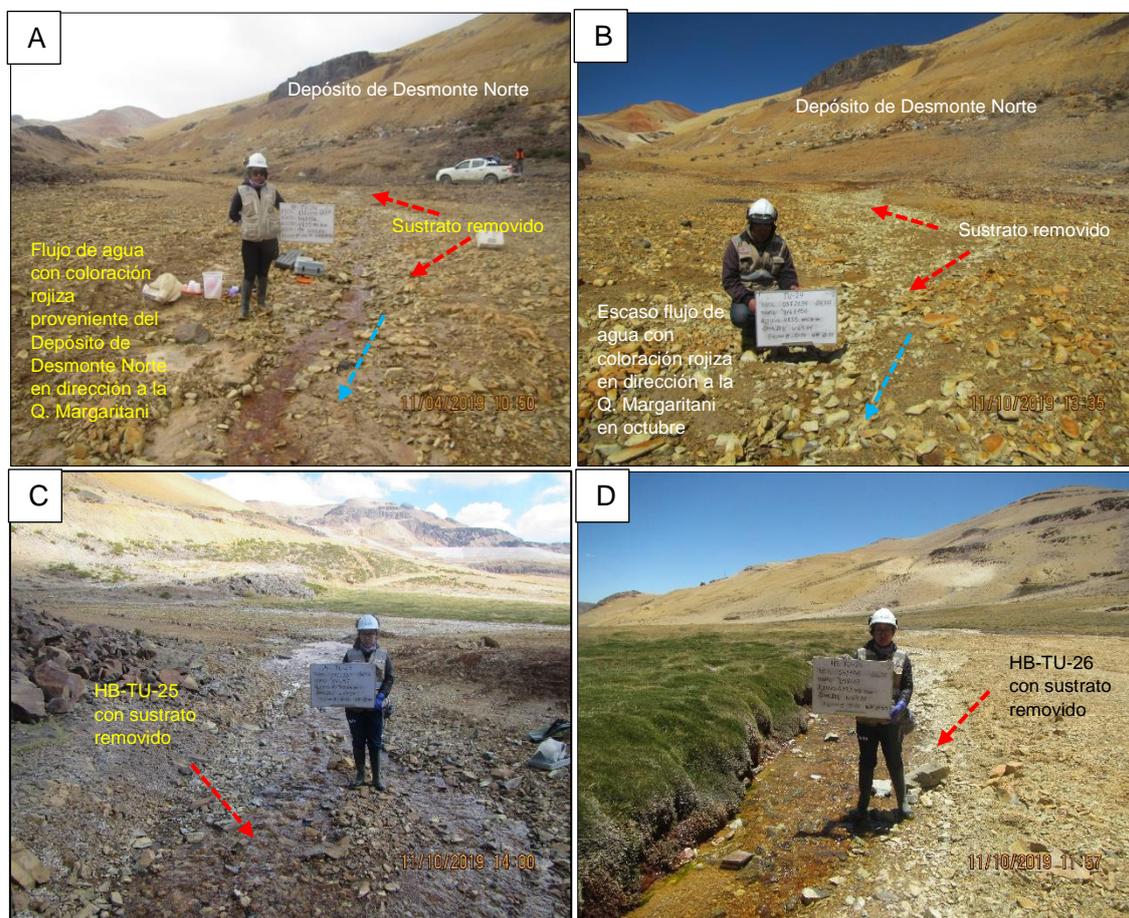


Figura 7.13. Afloramiento HB-TU-24 que discurre en la quebrada sin nombre 2 en abril 2019 (A) y octubre 2019 (B), y puntos HB-TU-25 (C) y HB-TU-26 (D) mostrando sustrato removido que impide el desarrollo de las comunidades hidrobiológicas

Por lo descrito anteriormente, se observa que en abril y octubre de 2019 todos los puntos de muestreo presentaron una calidad biológica **pésima**; una calidad hidromorfológica de **pésima a moderada** y una calidad ecológica **pésima** (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Resultados de la calidad biológica (ABI), hidromorfológica y ecológica

Cuerpos de agua	Puntos de monitoreo	Meses evaluados	Calidad biológica (ABI)	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Quebrada Margaritani	HB-TU-22	Abril	Pésimo (2)	Mala (18)	Pésima
		Octubre	Pésimo (2)	Mala (17)	Pésima
	HB-TU-25	Abril	Pésimo (7)	Moderada (26)	Pésima
		Octubre	Pésimo (0)	Moderada (25)	Pésima
Quebrada s/n 2 (afloramiento)	HB-TU-24	Abril	Pésimo (0)	Pésimo (10)	Pésima
		Octubre	*	Mala (11)	*
Quebrada Margaritani	HB-TU-26	Abril	Pésimo (7)	Moderada (25)	Pésima
		Octubre	Pésimo (0)	Moderada (24)	Pésima
	HB-TU-27	Abril	Pésimo (5)	Mala (16)	Pésima
		Octubre	Pésimo (4)	Mala (16)	Pésima

*: No se colectó macroinvertebrados bentónicos

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

En la comunidad de microalgas, se observó similar comportamiento que en los macroinvertebrados bentónicos en todos los puntos evaluados ya que se registró entre 3 a 9 especies (Figura 7.14), debido a las condiciones fisicoquímicas e hidromorfológicas descritas anteriormente, presentando el dominio de los taxones *Achnanthydium* sp., *Nitzschia gracilis* y *Pseudanabaena* sp. resistentes a metales y pH ácido (Ponade K. y Potapova M., 2007) (Figura 7.14). Asimismo, el punto HB-TU-24 presentó la menor densidad de organismos (371 y 658 organismos/cm²) con respecto a los demás puntos evaluados en la quebrada Margaritani (Figura 7.14).

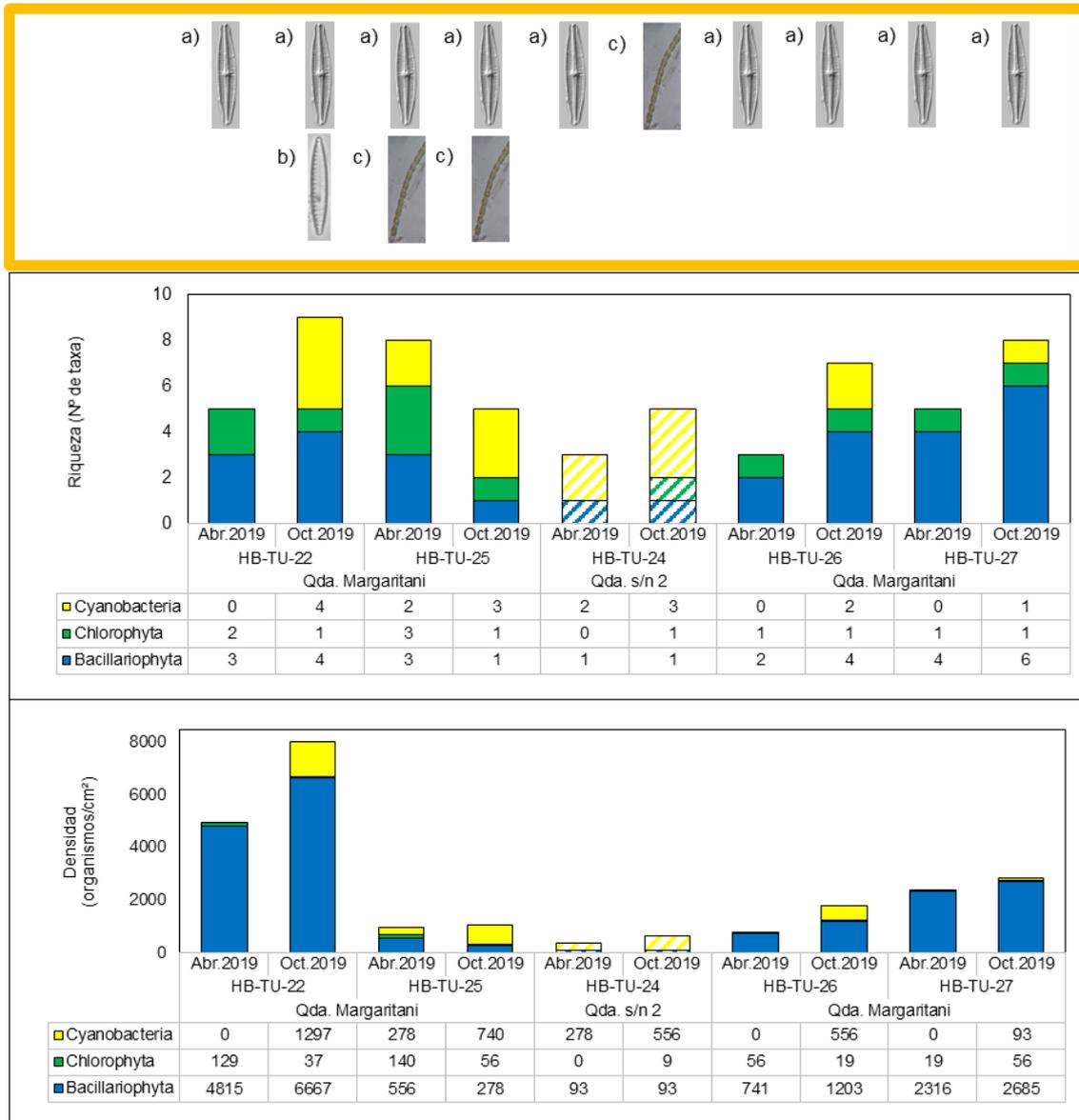


Figura 7.14. Riqueza y densidad de microalgas por phylum en los puntos de muestreo evaluados en las quebradas Margaritani y sin nombre. Donde: a) *Achnanthydium* sp., b) *Nitzschia gracilis* y c) *Pseudanabaena* sp.

Además, en abril según el ACP (Figura 7.56), el punto TU-24 estuvo asociado a los afloramientos MT-BO2, MT-BO3 y MT-BO14 y tuvo una relación con los metales totales Cr, Zn, Co, Fe, Al, Mn, Ni y sulfatos, parámetros que superaron los ECA para agua 2008 (categoría 3). Asimismo, el ACC demuestra que los organismos tolerantes *Achnanthydium* sp. y *Podonomus* sp., presentaron una relación directa con los parámetros antes mencionadas (Figuras 7.58 y 7.60).

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

7.2. ZONA 2 – QUEBRADA APOSTOLONI

7.2.1. Quebrada Apostoloni Norte

PAD de lixiviación N.º 3

En la quebrada Apostoloni Norte, aguas abajo de PAD de lixiviación N.º 3 (TU-34 y TU-04), la conductividad eléctrica y las concentraciones de cadmio, cobalto, manganeso y níquel se incrementaron (Figuras 7.15B, 7.16B, 7.16C, 7.16F y 7.16G); mientras que el aluminio, hierro y pH (2,99 a 2,78 unidades) disminuyeron en octubre de 2019 en comparación con el punto TU-12 (aguas arriba) y superaron o se encontraron fuera del rango de los ECA para agua 2008 (categoría 3) tanto aguas arriba como aguas abajo (Figuras 7.16A, 7.16C) a excepción del cobre y zinc que superaron la norma mencionada solo en los puntos ubicados aguas abajo del PAD. Asimismo, en los puntos TU-34 y TU-04, aguas abajo del PAD, las concentraciones de los parámetros evaluados fueron similares, debido a que en este mes no hubo aporte de afloramientos (TU-PS02) provenientes de la parte baja del sistema de tratamiento de agua del Tajo Tucari (Figura 7.15). Cabe mencionar, que el punto TU-12 presentó sustrato removido (Figura 7.20A y Anexo 11).

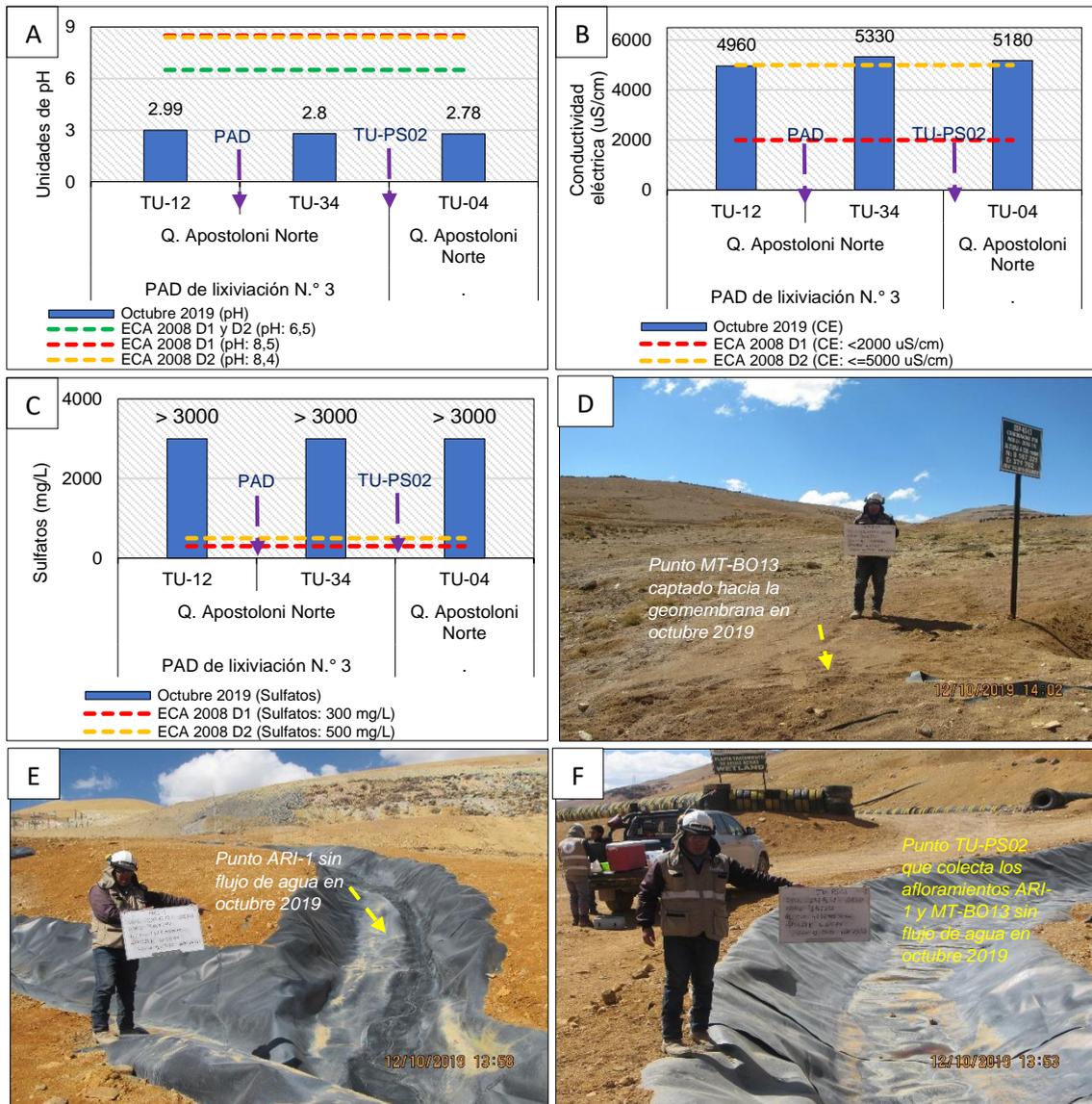


Figura 7.15. Unidades de pH (A), conductividad eléctrica (B) y sulfatos (C) en la quebrada Apostoloni Norte y punto TU-PS02 (F) que colecta a los puntos MT-BO13 (D) y ARI-1 (E), sin flujo. La flecha representa la ubicación del PAD y del punto TU-PS02

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

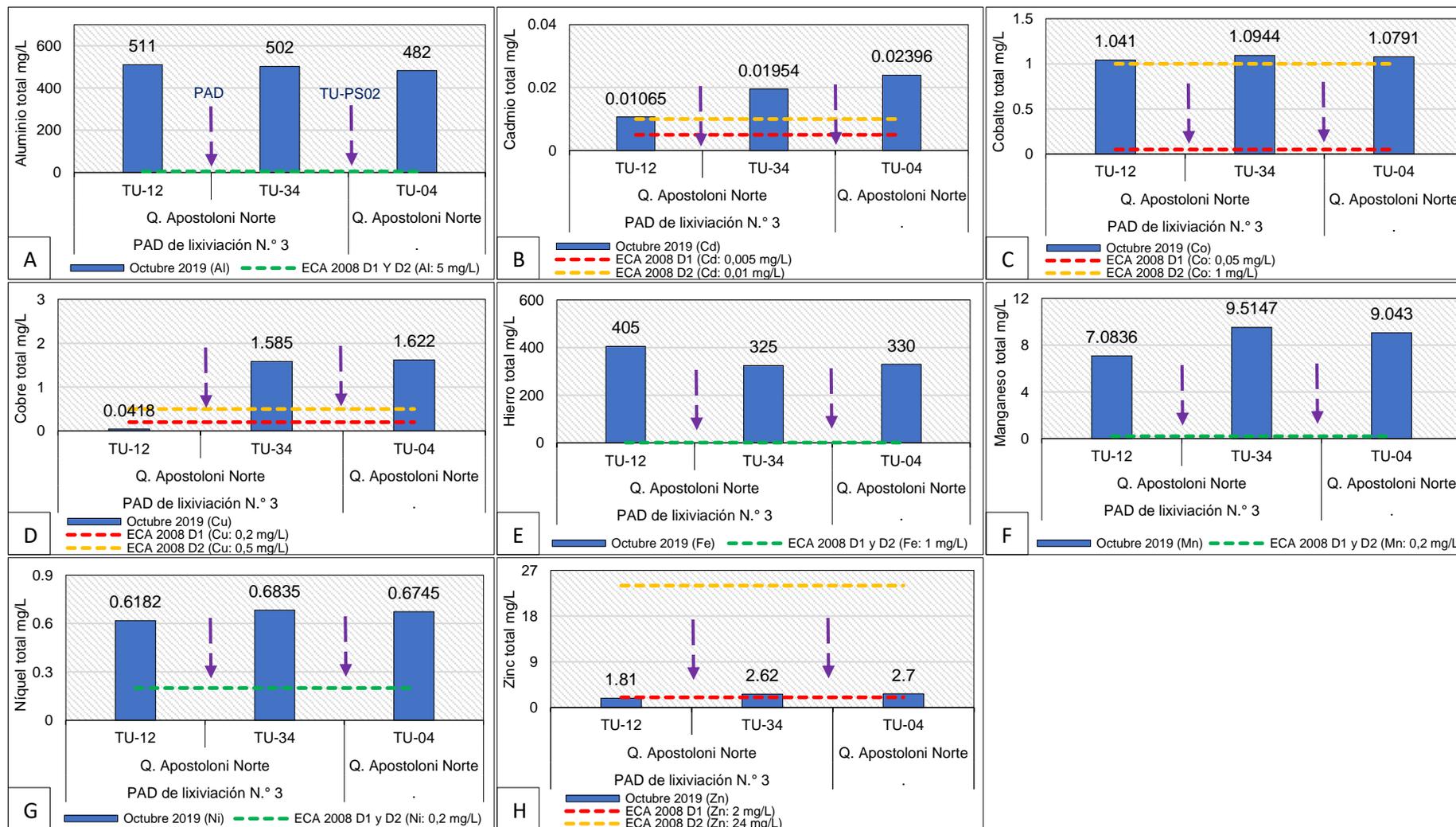


Figura 7.16. Concentración de aluminio (A), cadmio (B), cobalto (C), cobre (D), hierro (E), manganeso (F), níquel (G) y zinc (H) en la quebrada Apostoloni Norte. Las flechas representan la ubicación del PAD y del punto TU-PS02.

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

Asimismo, en el punto TU-12 y TU-04 se observa que se mantiene la misma cantidad de parámetros que superaron o se encontraron por debajo del rango de los ECA para agua 2008 (categoría 3) en abril y octubre de 2019 (Figura 7.17).

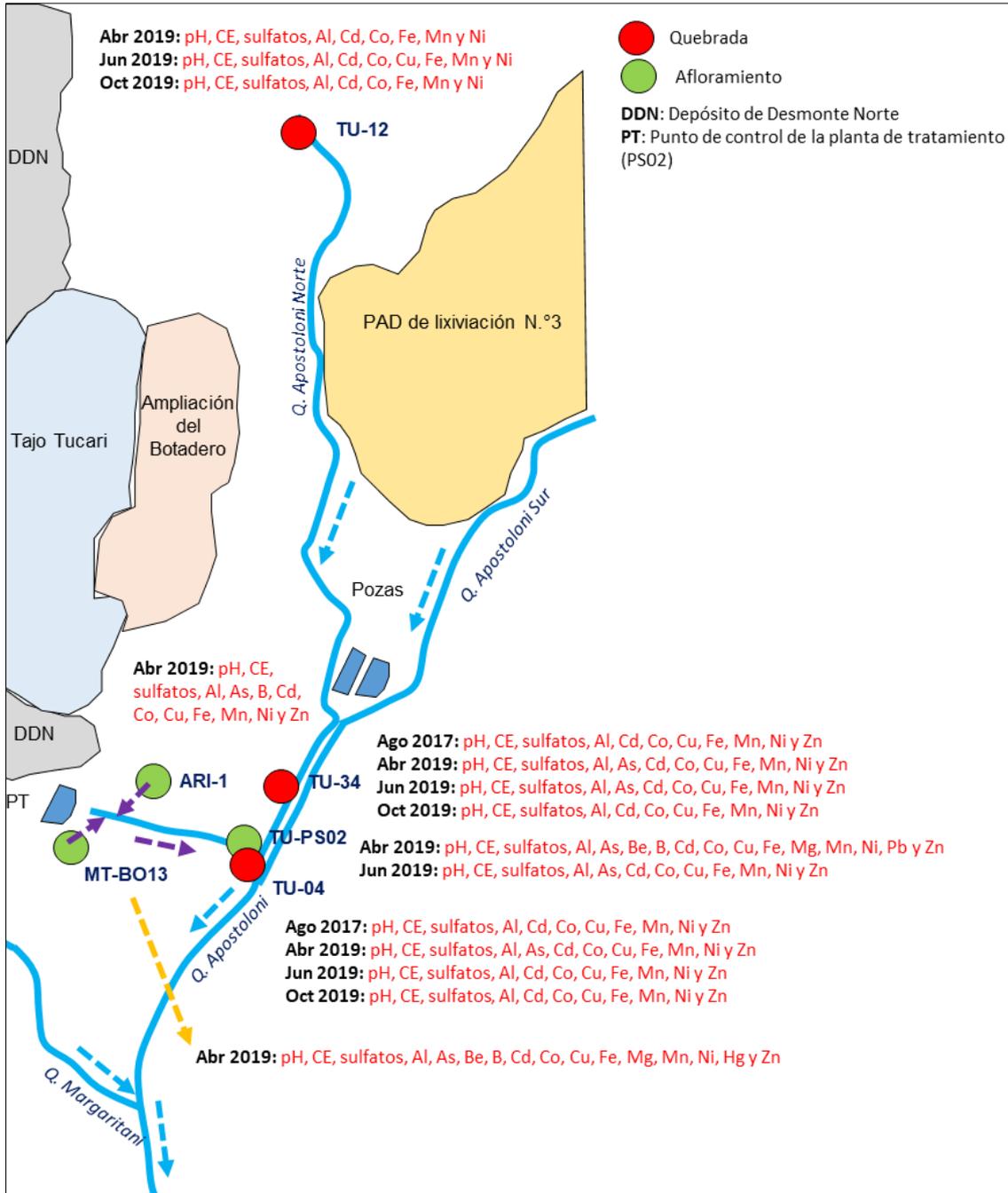


Figura 7.17. Parámetros que incumplieron los ECA para agua 2008, categoría 3, en la quebrada Apostoloni Norte y aportante

Al comparar los resultados de la presente evaluación con la data histórica, la quebrada Apostoloni Norte presentó mayor concentración de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc en el punto TU-04 (aguas abajo del PAD de lixiviación) en comparación con el punto TU-12 (aguas arriba) en agosto 2017, abril y junio 2019 (Figura 7.18 y 7.19).

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

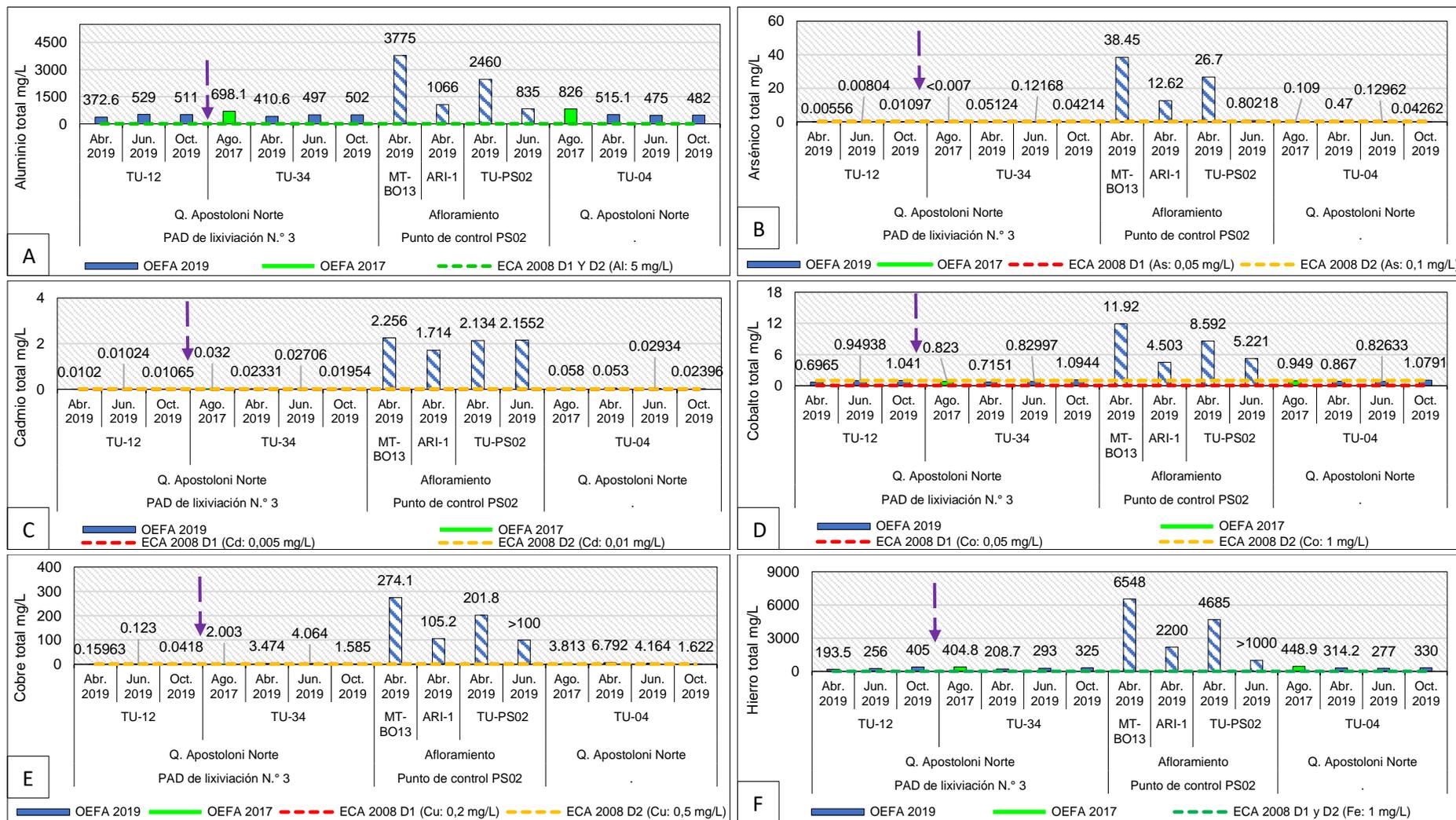


Figura 7.18. Concentración de aluminio (A), arsénico (B), cadmio (C), cobalto (D), cobre (E) y hierro (F) en la quebrada Apostoloni Norte y aportante. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios, la flecha representa la ubicación del PAD.

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

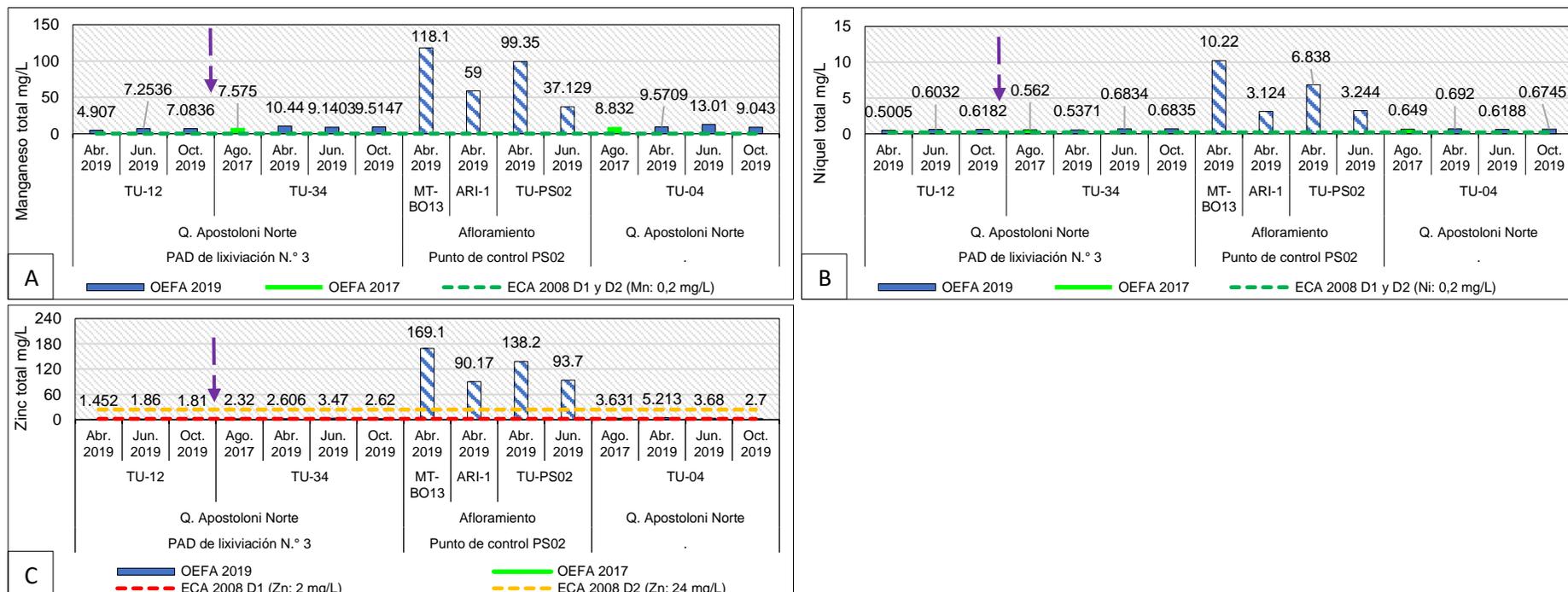


Figura 7.19. Concentración de manganeso (A), níquel (B) y zinc (C) en la quebrada Apostoloni Norte y aportante. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios, la flecha representa la ubicación del PAD entre los puntos TU-12 y TU-34.

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

En la quebrada Apostoloni Norte (aguas arriba del PAD de lixiviación N.º 3) solo se consideró la evaluación del punto HB-TU-12, ya que presentó sustrato para el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.20A); sin embargo, en este punto no se registró ningún organismo en abril y octubre 2019, debido a las altas concentraciones de metales totales y sulfatos, pH ácido, y sustratos removidos. Cabe mencionar que, aguas abajo de este punto, la quebrada Apostoloni Norte (TU-04) es canalizada con geomembrana, material que impide el desarrollo y asentamiento de estos organismos (Figura 7.20B).

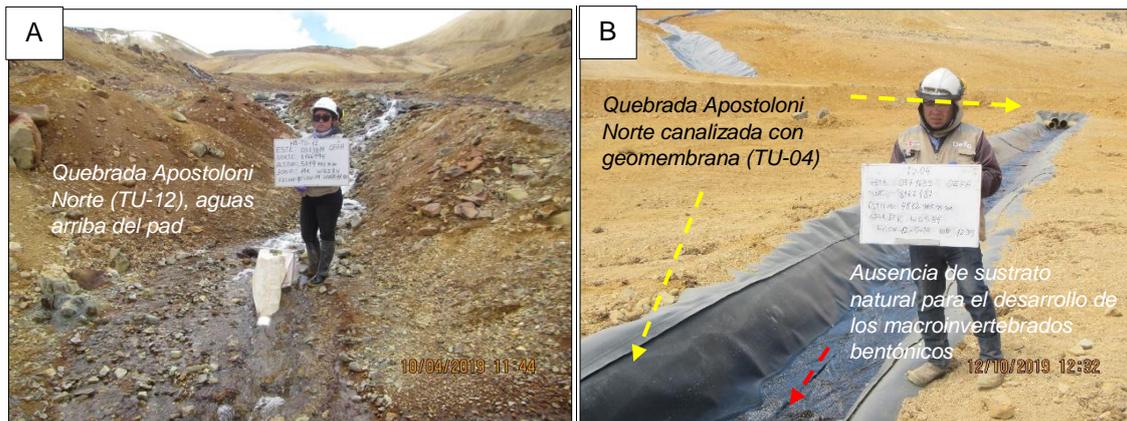


Figura 7.20. Quebrada Apostoloni Norte (HB-TU-12), aguas arriba (A) y aguas abajo (B) del pad de lixiviación N° 3 mostrando ausencia de sustrato natural para el desarrollo de las comunidades hidrobiológicas

Por otro lado, la comunidad de microalgas registró igual número de especies en abril y octubre 2019 en el punto HB-TU-12 (Figura 7.21); sin embargo, en abril presentó mayor densidad de organismos (1982 organismos/cm²) en comparación de octubre (1213 organismos/cm²), debido al mayor caudal registrado en abril que podría haber generado condiciones para el desarrollo de estos organismos ya que la ribera de la quebrada se encontró cubierta por hielo impidiendo la entrada de material particulado hacia la quebrada proveniente de la erosión del suelo (Figura 7.20). Asimismo, se registró el dominio de la especie *Achnanthydium* sp. (Figura 7.21), resistente a metales y pH ácidos (Ponade K. y Potapova M., 2007).

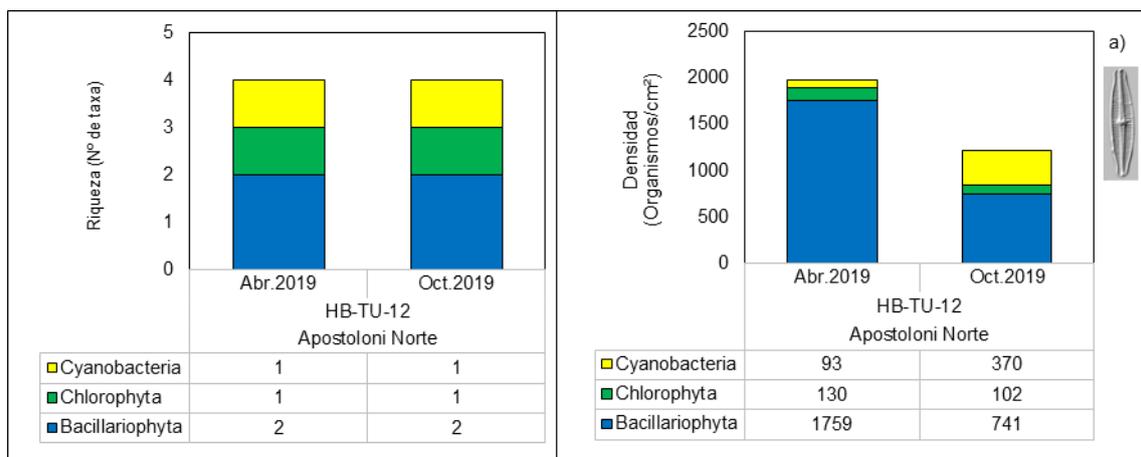


Figura 7.21. Riqueza y densidad de microalgas por phylum en los puntos de muestreo evaluados en la quebrada Apostoloni Norte. Donde: a) *Achnanthydium* sp.

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

7.2.2. Quebrada Apostoloni Sur

PAD de lixiviación N.º 3

En la quebrada Apostoloni Sur, aguas abajo del PAD de Lixiviación N.º 3 (P-5), se observó la disminución del pH, la conductividad eléctrica y de las concentraciones de sulfatos, aluminio, cadmio, cobalto, hierro y níquel total en comparación con el punto MT-36 (manantial que origina la quebrada Apostoloni Sur); mientras que el manganeso se incrementó (Figuras 7.22A, 7.22B, 7.22C, 7.26A, 7.26E, 7.27A, 7.28A, 7.28E y 7.28C). Luego del aporte de la quebrada Apostoloni Norte (TU-04) y del vertimiento (PS-02), los parámetros mencionados registraron un ligero incremento (P-7) manteniendo sus concentraciones aguas abajo (TU-11) a excepción del pH y manganeso. Estos parámetros superaron los ECA para agua 2008 (categoría 3) tanto aguas arriba como aguas abajo a excepción del cobre que solo superó aguas abajo (Figura 7.27C). Cabe resaltar que el efluente PS-02 (Figura 7.22D) no superó los Límites Máximos Permisibles (Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM).

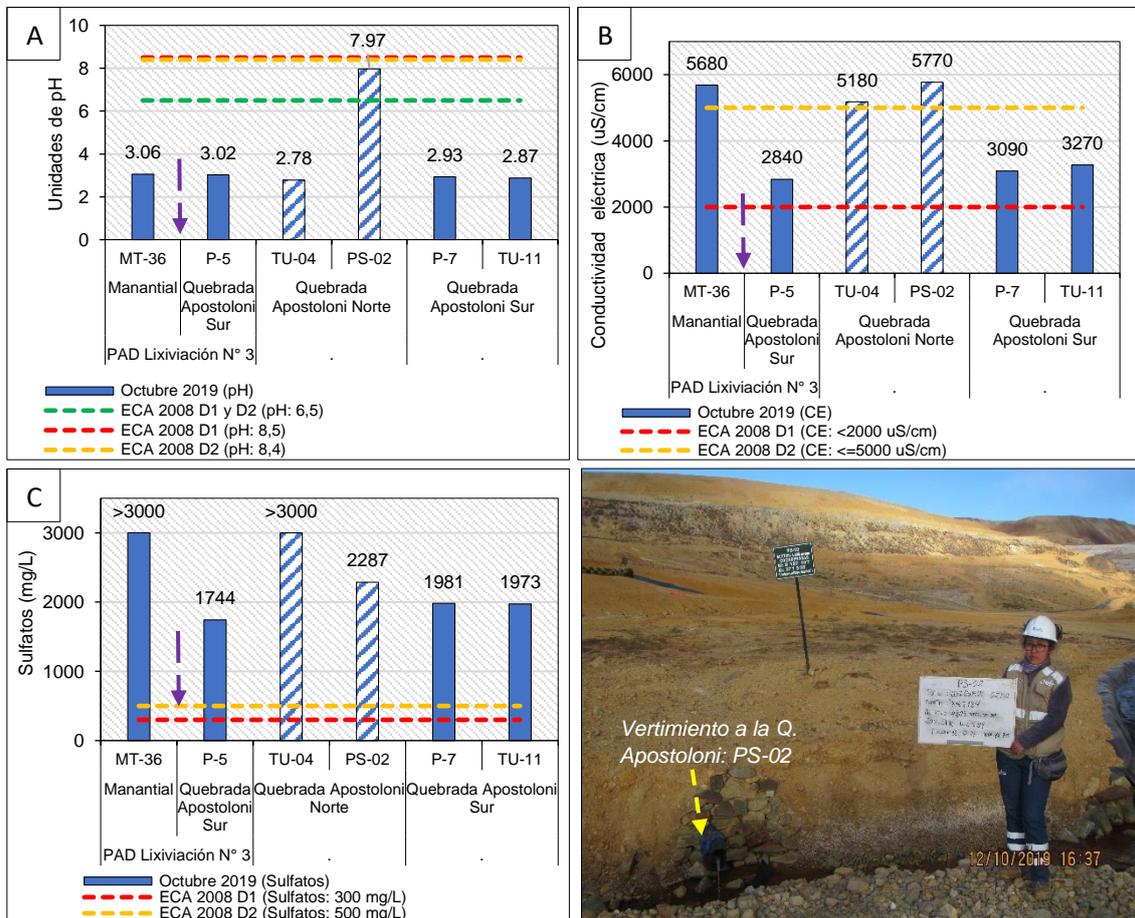


Figura 7.22. Unidades de pH (A), conductividad eléctrica (B) y concentración de sulfatos (C) en el manantial MT-36 y en las quebradas Apostoloni Norte y Sur; y efluente PS-02

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y la flecha representa la ubicación del PAD

Al comparar los resultados de la presente evaluación con la data histórica, el punto TU-11 (aguas abajo del PAD y vertimiento PS-02) registró menor concentración de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc en octubre 2019 respecto a agosto 2017 y junio 2019 (Figura 7.23).

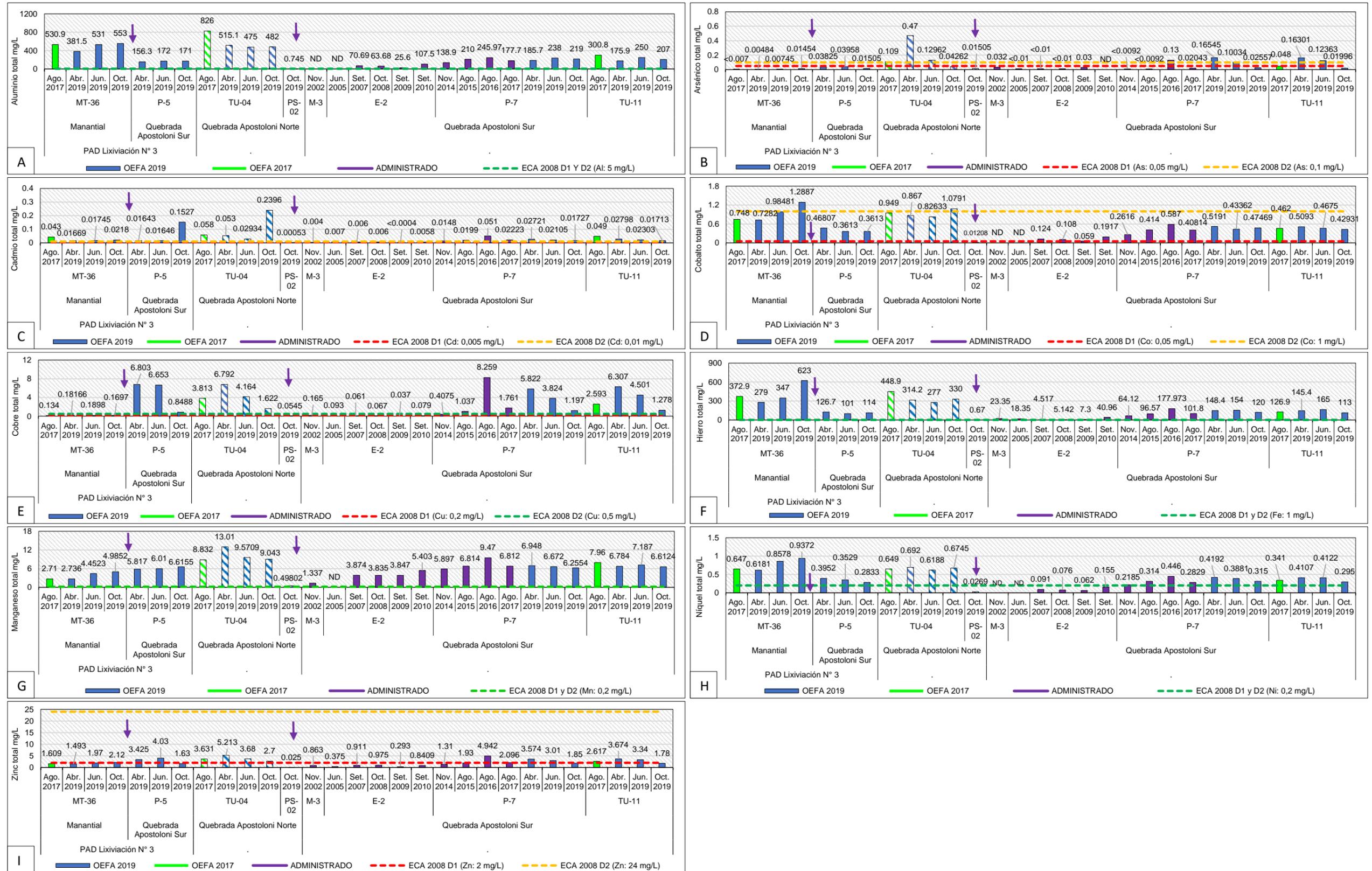
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
 Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad


Figura 7.23. Concentración histórica de aluminio (A), arsénico (B), cadmio (C), cobalto (D), cobre (E), hierro (F), manganeso (G), níquel (H) y zinc (I) en el manantial MT-36 y en las quebradas Apostoloni Norte y Sur. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y la flecha representa la ubicación del PAD y del vertimiento PS-02.

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

Asimismo, en el punto MT-36 se observa el incremento en el número de parámetros que superaron o se encuentran fuera del rango de los ECA para agua 2008 (categoría 3), de 9 parámetros en agosto 2017 y abril y junio 2019 a 10 parámetros en octubre 2019. Además, el punto TU-11 registró una disminución del número de parámetros en octubre 2019 respecto a los demás meses evaluados (Figura 7.24).

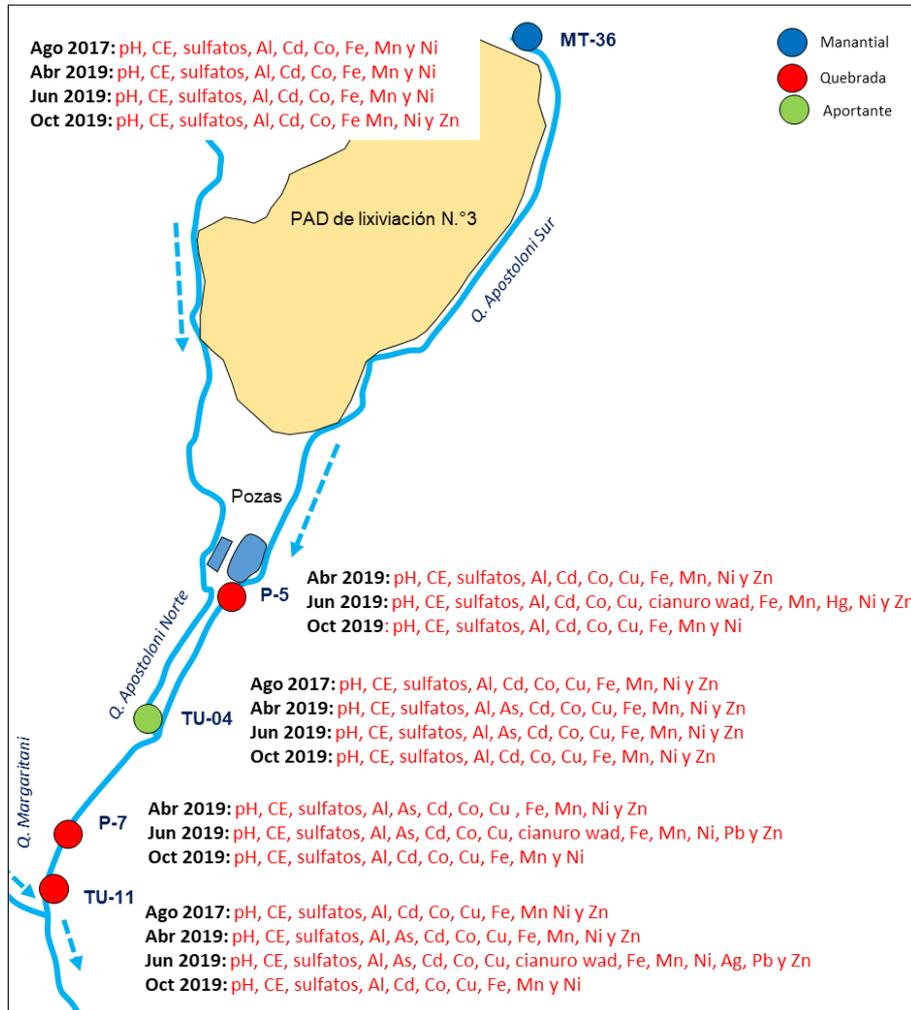


Figura 7.24. Parámetros que superaron los ECA para agua 2008, categoría 3; en el manantial MT-36 (referencialmente) y en las quebradas Apostoloni Sur y Norte

En el sedimento de esta quebrada también se observó el incremento de las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo y plomo a excepción del mercurio que disminuyó (Figuras 7.25D, 7.25F, 7.26D, 7.26F, 7.28D y 7.28B) en el punto SED-TU-11 (aguas abajo del aporte de la quebrada Apostoloni Norte) en comparación con el punto SED-P-5 (aguas arriba), donde el cadmio y cobre superaron el nivel ISQG de la normativa canadiense en los puntos evaluados aguas arriba y aguas abajo; mientras que, el arsénico y cromo (ambos puntos), mercurio (SED-P-5) y plomo (SED-TU-11) superaron referencialmente el nivel PEL; sin embargo, a pesar de superar el valor PEL de la norma mencionada, no influyeron en la calidad del agua. Además, el sedimento de los puntos SED-P-5 y SED-TU-11 presentaron concentraciones de aluminio (11947 mg/kg y 10119 mg/kg), hierro (80611 mg/kg y 68264 mg/kg) y manganeso (145,9 mg/kg y 100,5 mg/kg) que estarían influyendo en la calidad del agua debido a que se encuentran en un medio ácido (Figuras 7.25B, 7.26B y 7.26D). 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

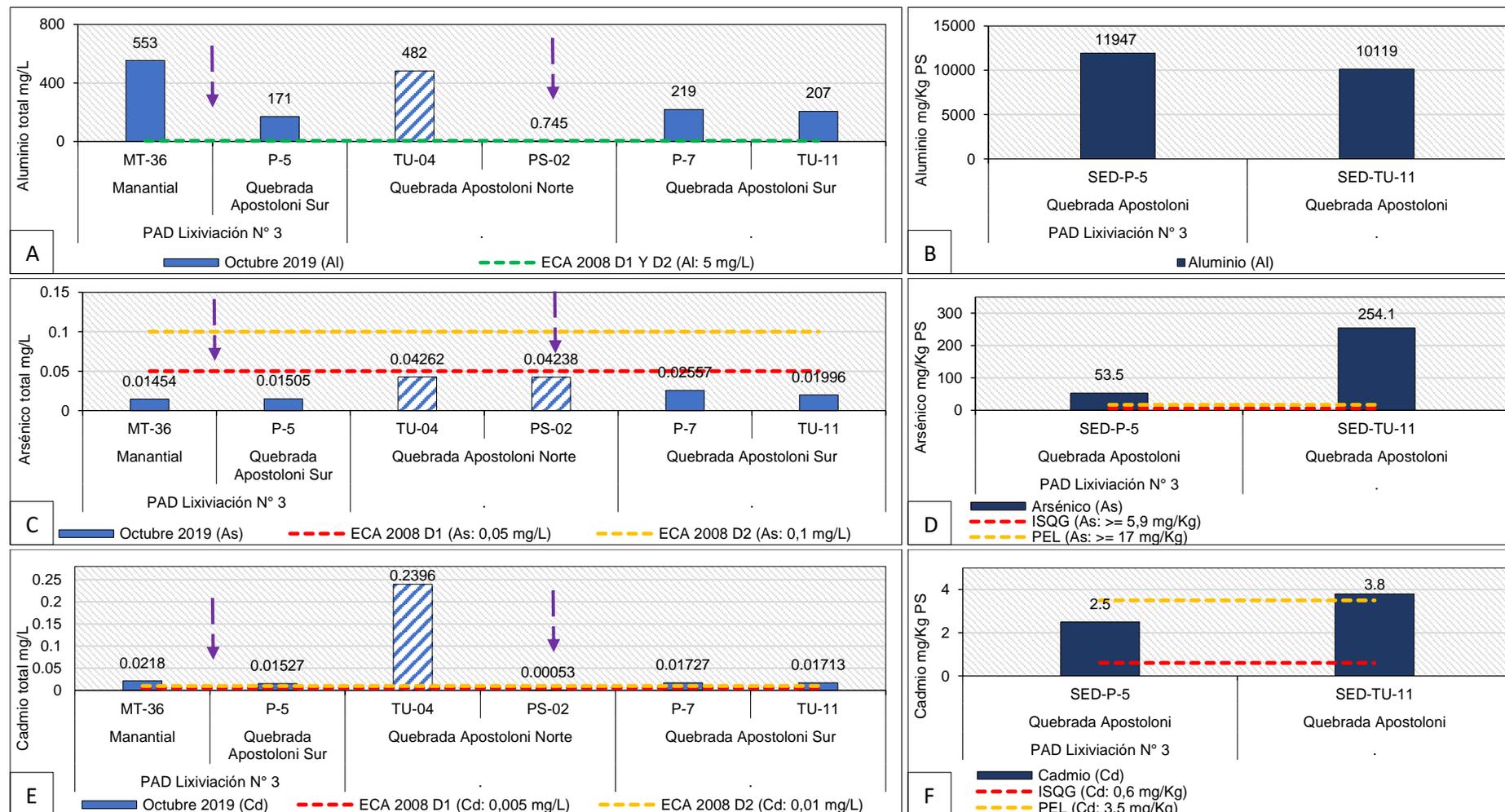


Figura 7.25. Concentración de aluminio, arsénico y cadmio en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el manantial MT-36 y en las quebradas Apostoloni Norte y Sur

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios, la flecha representa la ubicación del PAD y del vertimiento PS-02

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

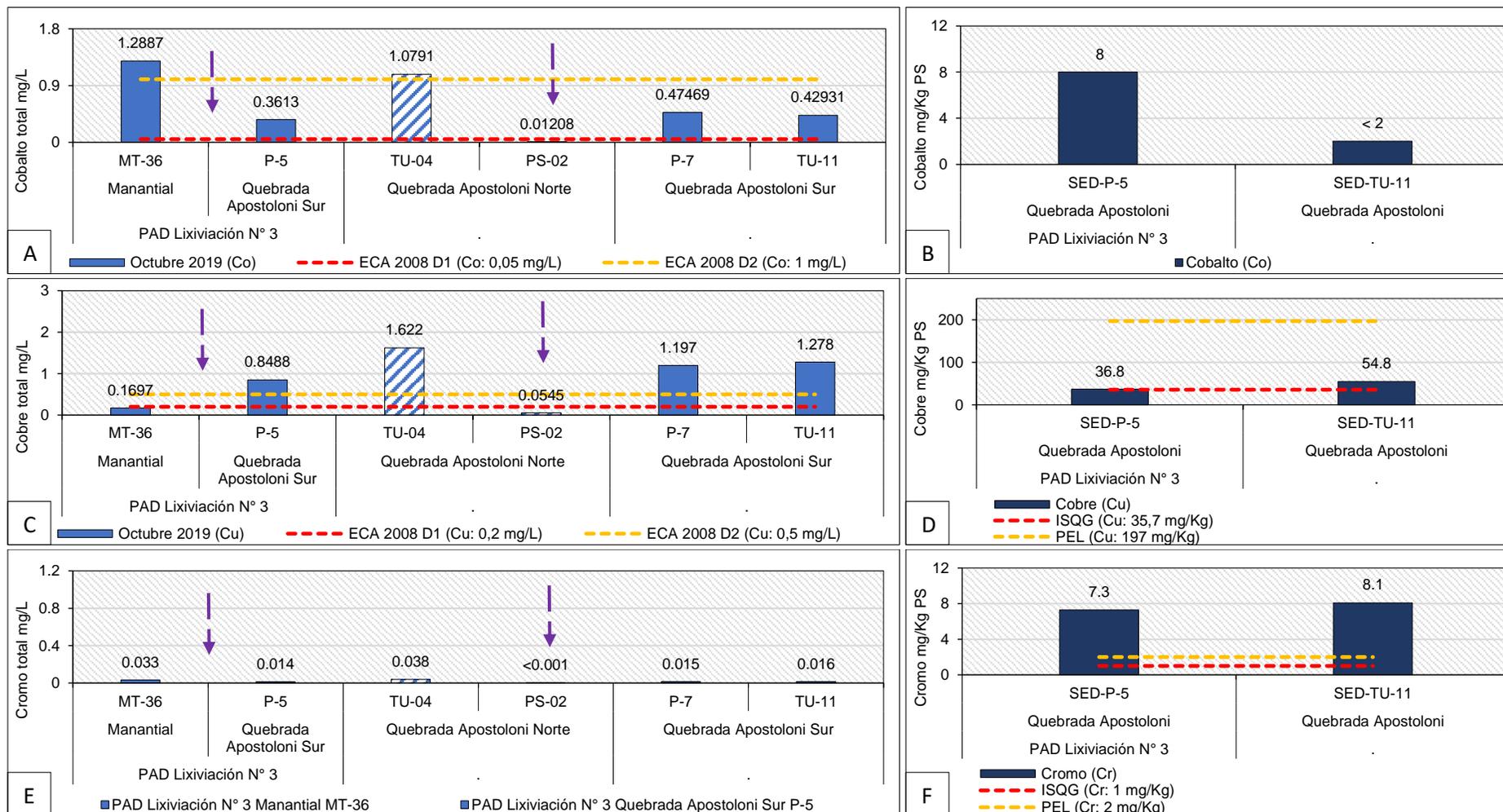


Figura 7.26. Concentración de cobalto, cobre y cromo en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el manantial MT-36 y en las quebradas Apostoloni Norte y Sur

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y las flechas representan la ubicación del PAD y del vertimiento PS-02

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

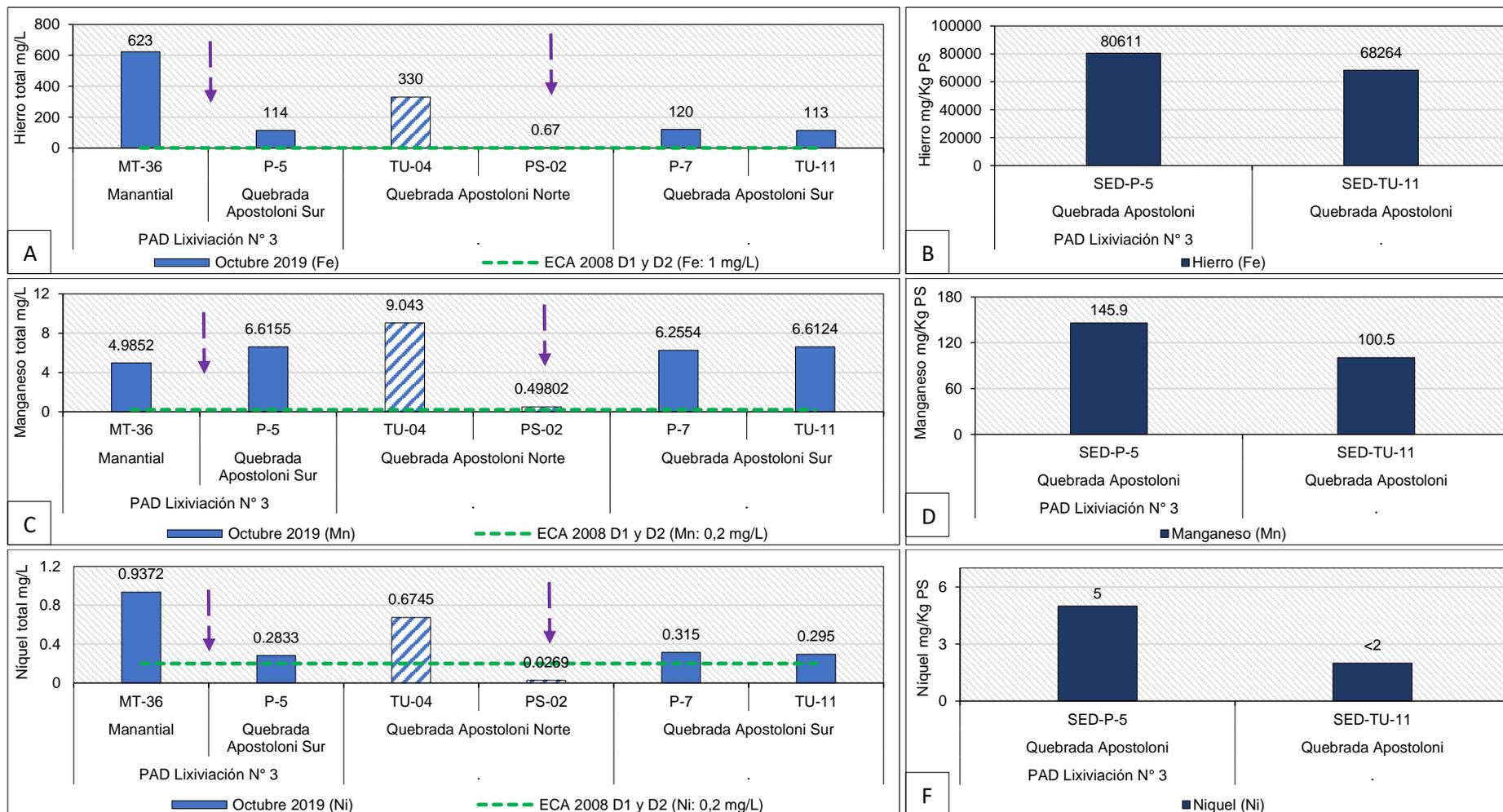


Figura 7.27. Concentración de hierro, manganeso y níquel en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el manantial MT-36 y en las quebradas Apostoloni Norte y Sur

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y las flechas representan la ubicación del PAD y del vertimiento PS-02

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

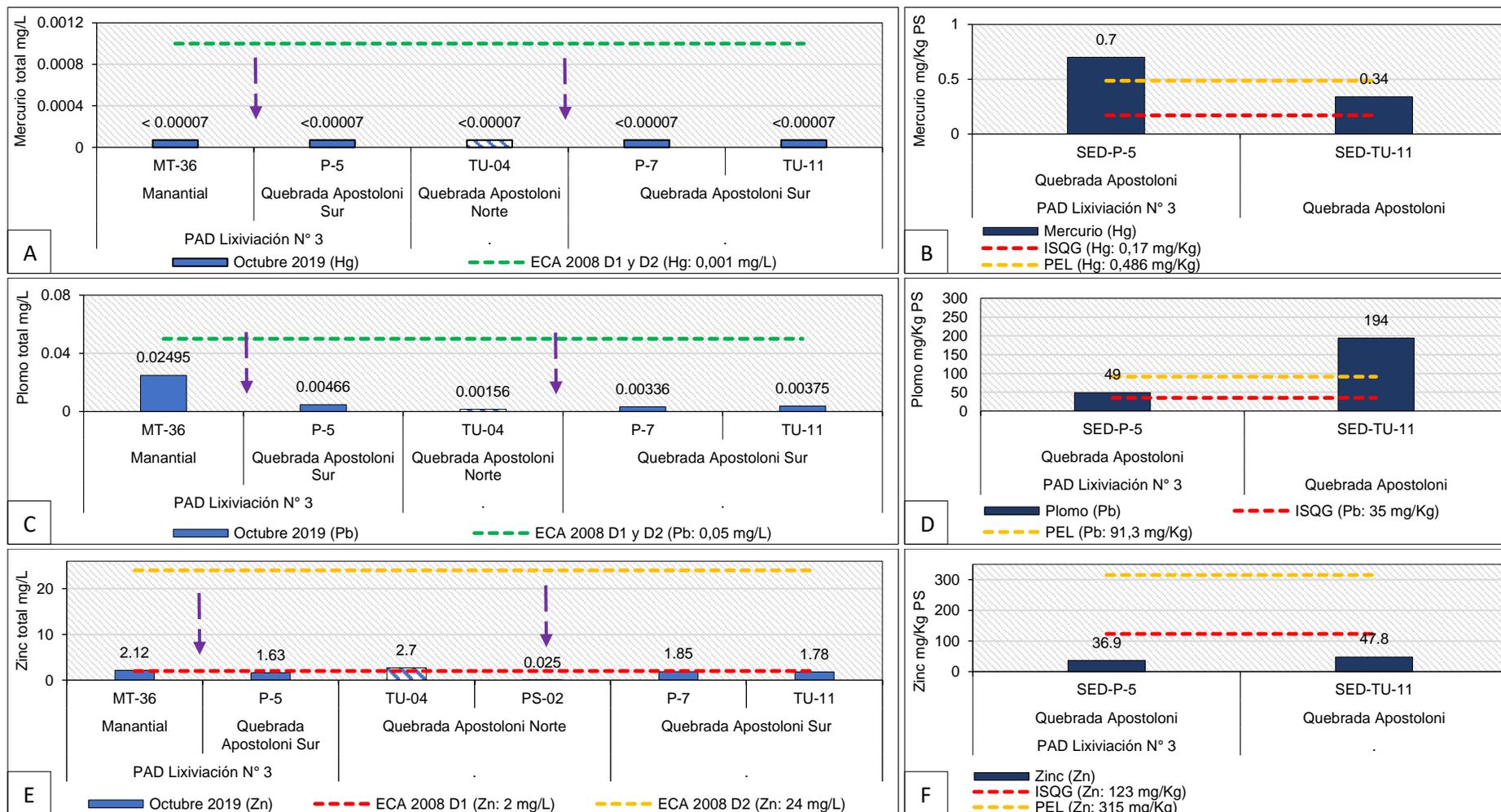


Figura 7.28. Concentración de mercurio, plomo y zinc en agua (A, C y E) y sedimento (B, D y F) en el manantial MT-36 y en las quebradas Apostoloni Norte y Sur

Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios y las flechas representan la ubicación del PAD y del vertimiento PS-02

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

Al comparar los resultados de octubre 2019 con la data histórica de los puntos evaluados (SED-P-5 y SED-TU-11) en sedimento se observa el incremento en la concentración de aluminio, cadmio, hierro y manganeso en comparación con abril 2019 (Figuras 7.29A, 7.29C, 7.29D, 7.29E y 7.30B). Asimismo, al comparar con los resultados de agosto 2017, las concentraciones de aluminio, arsénico, cobre, hierro, mercurio y plomo en el punto SED-TU-11 fueron menores (Figuras 7.29A, 7.29B, 7.29D, 7.29E, 7.30A y 7.30B).

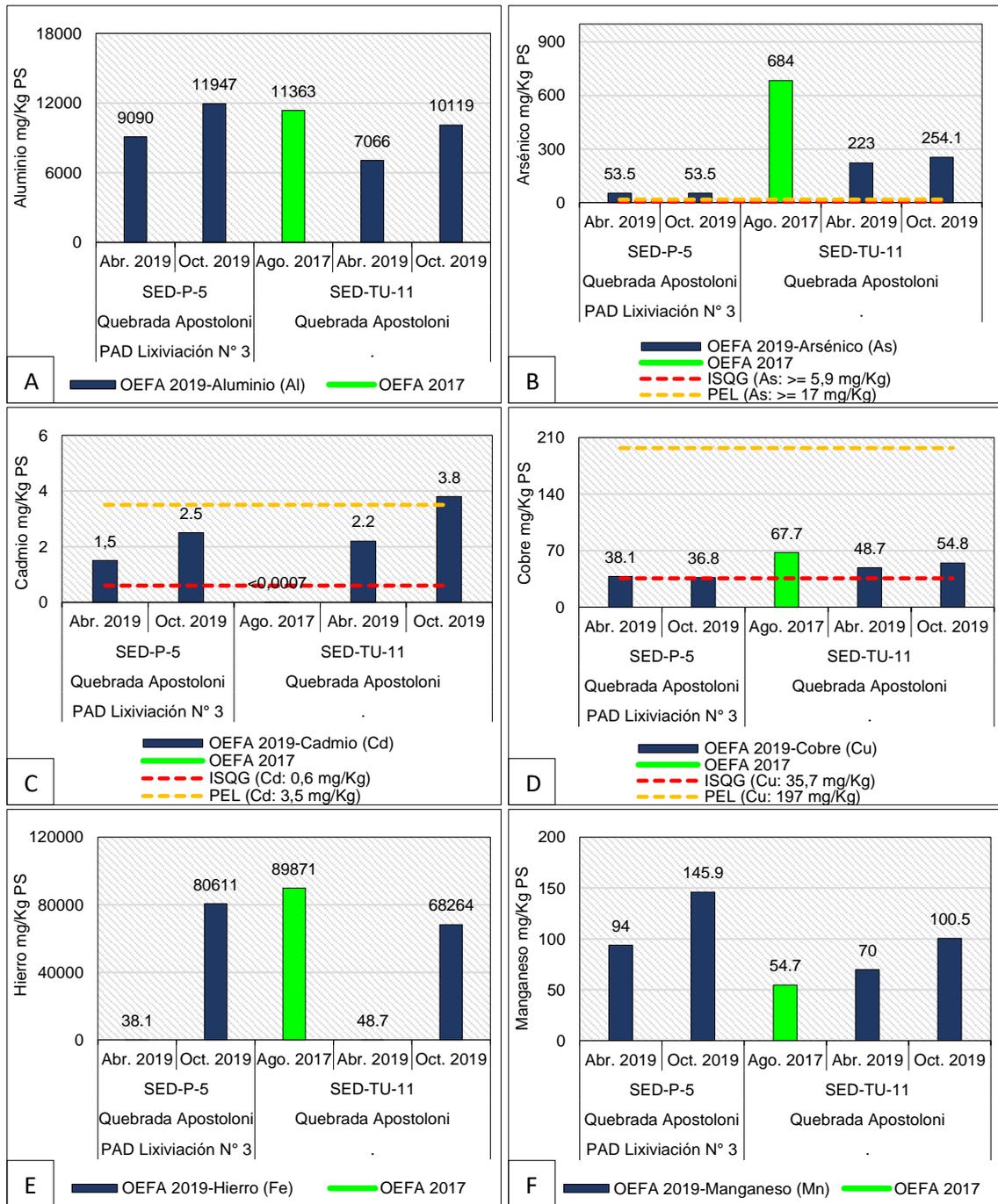


Figura 7.29. Comparación de aluminio (A), arsénico (B), cadmio (C), cobre (D), hierro (E) y manganeso (F) en la quebrada Margaritani (2019) con lo reportado en la data histórica (2017)

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

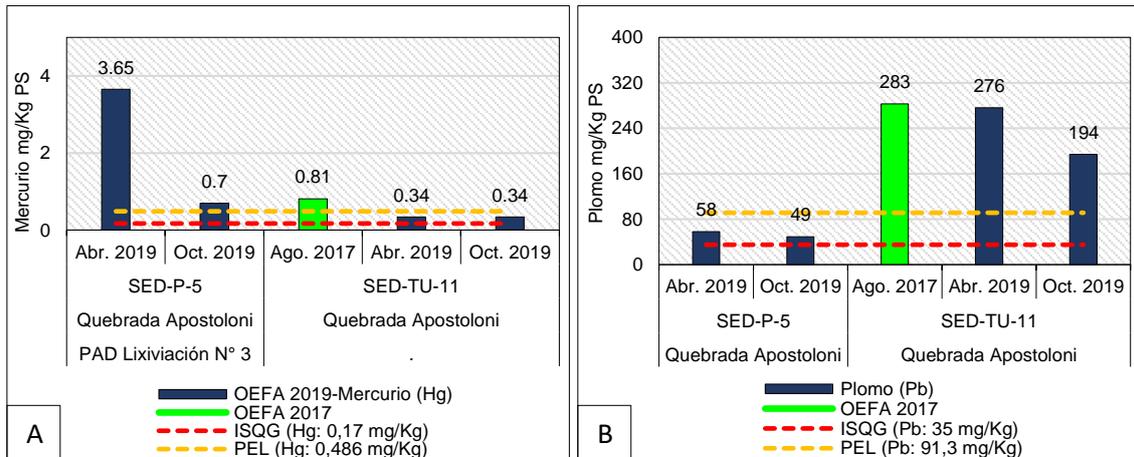


Figura 7.30. Comparación de mercurio (A) y plomo (B) en la quebrada Margaritani y aportantes (2019) con lo reportado en la data histórica (2017) y lo reportado por la UM Tucari

En la quebrada Apostoloni Sur (HB-P-5 y HB-TU-11), los valores de pH ácido y las altas concentraciones de metales totales y sulfatos influyeron negativamente en el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentando baja riqueza (de 1 a 4 taxones) y densidad de organismos (1 a 11 organismos/0,27m²) y la dominancia de especies de la familia Chironomidae como *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp. (Figura 7.31), familia reportada como tolerante a ambientes ácidos y con elevada carga de metales pesados (Janssens L. *et. al.* 2005). Esto indica que las concentraciones altas de metales y pH bajos influyen en la disminución de la diversidad y composición de especies tal como indica Fornaroli *et.al.* (2018). Si bien se observa la disminución de riqueza y densidad de organismos entre los puntos HB-P-5 y HB-TU-11 (Figura 7.31).

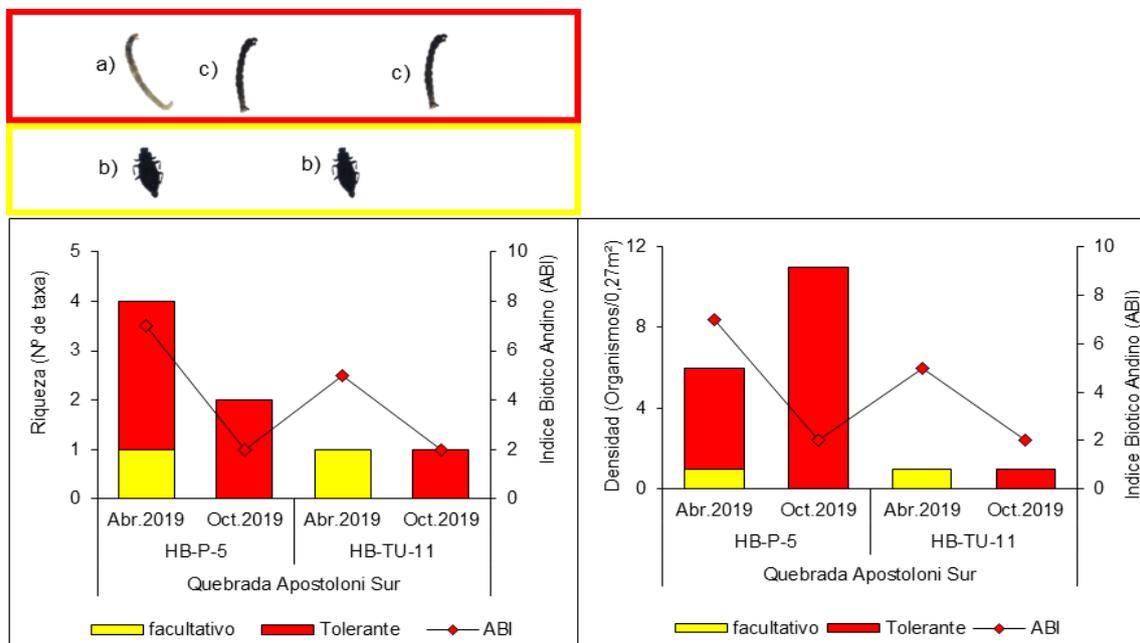


Figura 7.31. Riqueza, densidad, índice biótico andino (ABI) y sensibilidad (facultativo o tolerante) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrados en la quebrada Apostoloni Sur. Donde: a) *Cricotopus* sp. b) *Austrelmis* sp. y c) *Podonomus* sp.

Por lo descrito anteriormente, se observa que los puntos de muestreo HBH-P-5 y HB-TU-11 presentaron una calidad biológica **pésima**; una calidad hidromorfológica **mala** y una calidad ecológica **pésima** en abril y octubre de 2019, como puede apreciarse en la Tabla 7.2.

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 (ABI), hidromorfológica y ecológica

Cuerpos de agua	Puntos de monitoreo	Meses evaluados	Calidad biológica (ABI)	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Quebrada Apostoloni Sur	HB-P-5	Abril	Pésima (7)	Mala (16)	Pésima
		Octubre	Pésima (2)	Mala (16)	Pésima
	HB-TU-11	Abril	Pésima (5)	Mala (18)	Pésima
		Octubre	Pésima (2)	Mala (18)	Pésima

En la comunidad de microalgas se registró entre 3 a 5 taxones (Figura 7.32), debido a las condiciones fisicoquímicas del agua, descritas en esta zona. Además, en ambos meses los puntos HB-P-5 y HB-TU-11 registraron el aumento de la densidad de organismos en octubre (Figura 7.32), siendo dominantes los taxones *Nitzschia gracilis*, *Achnantheidium* sp. y *Pseudanabaena* sp. que son resistente a metales y pH ácidos según Pomfret (1974) y Bray (2007).

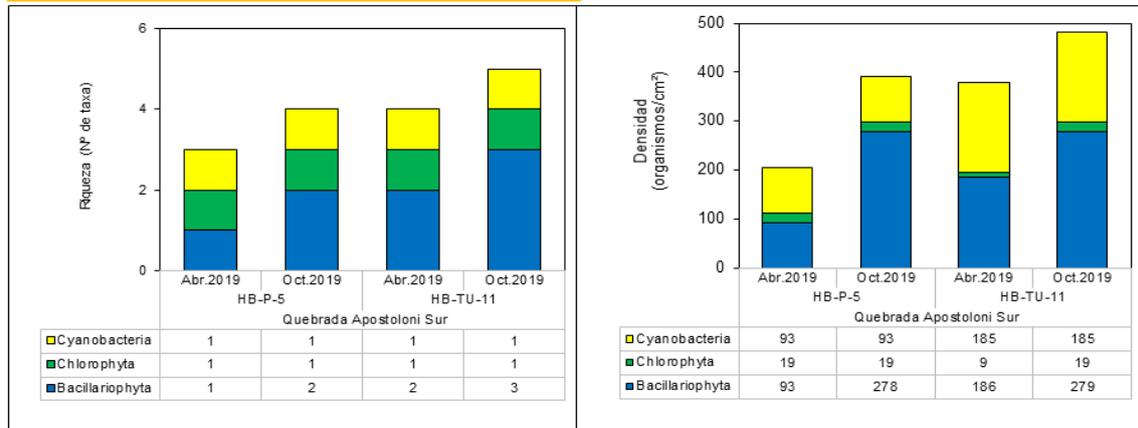
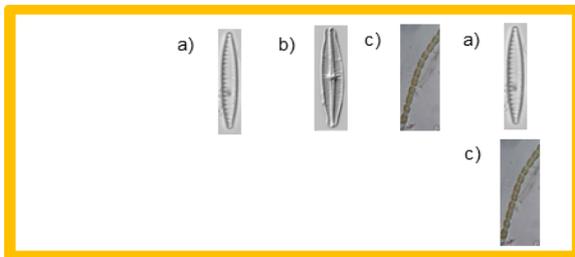


Figura 7.32. Riqueza y densidad de microalgas por phylum en los puntos de muestreo evaluados en la quebrada Apostoloni Sur. Donde: a) *Nitzschia gracilis*, b) *Achnantheidium* sp. y c) *Pseudanabaena* sp.

7.3. ZONA 3 – INFLUENCIA DEL RÍO MARGARITANI

En octubre 2019, el río Margaritani influye en la calidad del agua del río Queullirijahuiri que a su vez influye en el río Aruntaya, y este, en el río Titire que al juntarse con el río Vizcachas influye en el río Coralaque (Figura 7.36), lo que se evidencia con el incremento de aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc total en los ríos Queullirijahuiri (AG-19), Aruntaya (AG-08), Titire (AG-11) en comparación con sus puntos ubicados aguas arriba, luego del aporte de los ríos afectados; además, el río Titire incrementó los metales mencionados en el río Vizcachas al formar el río Coralaque (Figuras 7.37A, 7.38A, 7.39A, 7.40A, 7.41A, 7.42A, 7.43A, 7.44A, 7.45A, 7.47A, 7.48A y 7.49A). De los metales totales mencionados, el aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso (AG-19, AG-08 y AG-11), boro (AG-11), níquel y zinc (AG-19 y AG-08) superaron los ECA agua 2008, categoría 3. Esta influencia también se corrobora al comparar con la data histórica de abril y junio 2019 (Figuras 7.34 y 7.35).



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

Asimismo, el pH se incrementó progresivamente de 2,75 unidades en el río Margaritani a 7,65 unidades en el río Coralaque; mientras que, la conductividad eléctrica y concentraciones de sulfatos (Figura 7.33), aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro y manganeso total disminuyeron progresivamente durante su recorrido, a excepción del arsénico y boro que se incrementaron, luego de recibir el aporte de la fuente termal Puente Bello (Figuras 7.37A, 7.40A, 7.41A, 7.42A, 7.44A, 7.45A, 7.47A, 7.38A y 7.39A). Sin embargo, algunos metales continúan superando los ECA agua 2008, categoría 3. Similar comportamiento se registró al comparar con abril y junio de 2019 (Figuras 7.34 y 7.35).

Cabe resaltar que en la evaluación realizada por la DEAM en 2017¹⁵, mediante el diagrama de Ficklin, el río Margaritani fue clasificado con «alta acidez» y «alta carga de metales»; mientras que el río Queullirijahuri (AG-17), antes de la confluencia con el río Margaritani, fue clasificado como «ácido» y con «baja carga de metales», evidenciándose la diferencia, entre ambos cuerpos de agua, el primero con influencia de las actividades mineras (procesos de lixiviación), y el segundo con características ácidas propias de la zona.

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

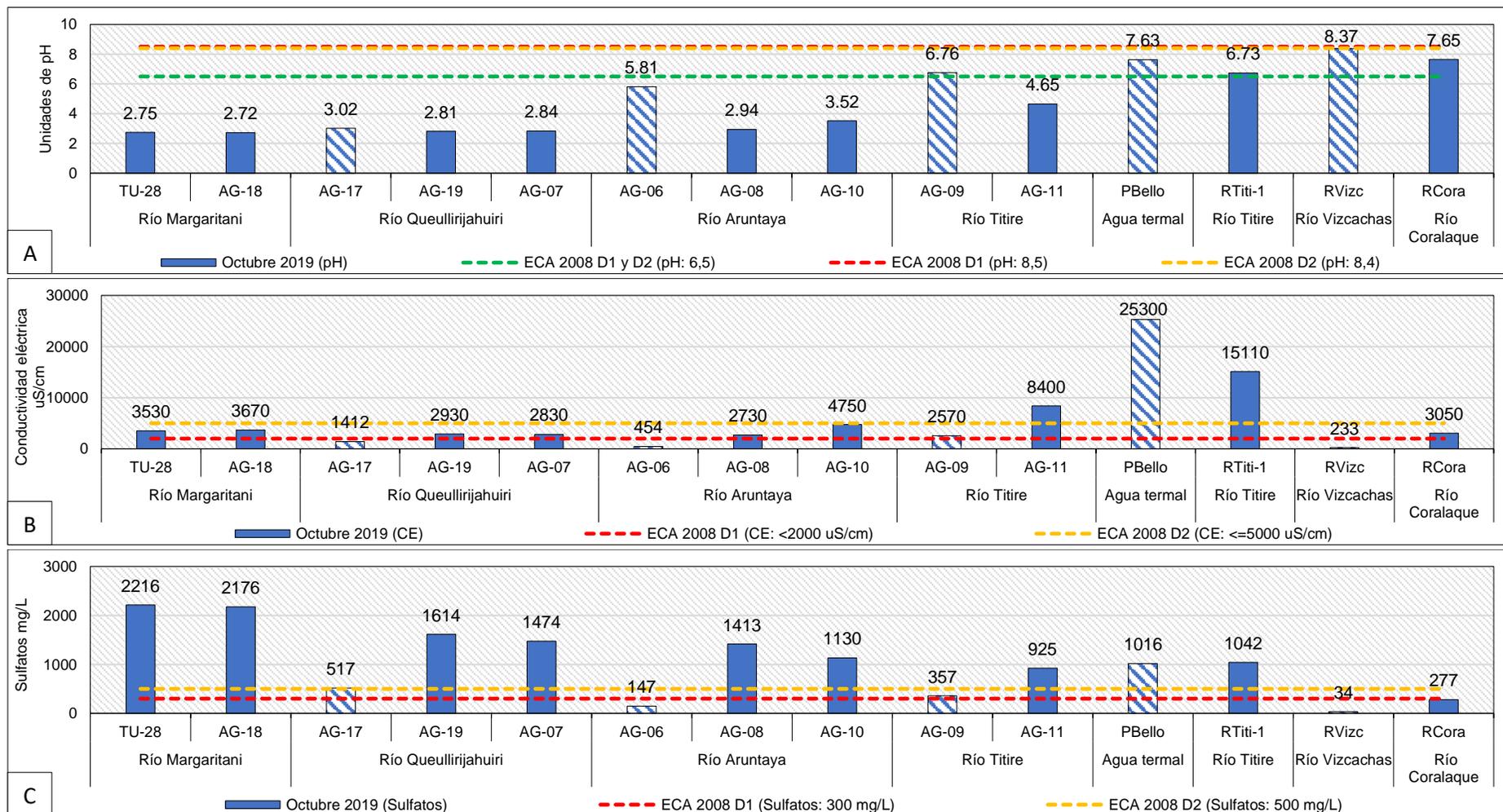


Figura 7.33. Unidades de pH (A), conductividad eléctrica (B) y concentración de sulfatos (C) en el río Margaritani y tributarios. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios.



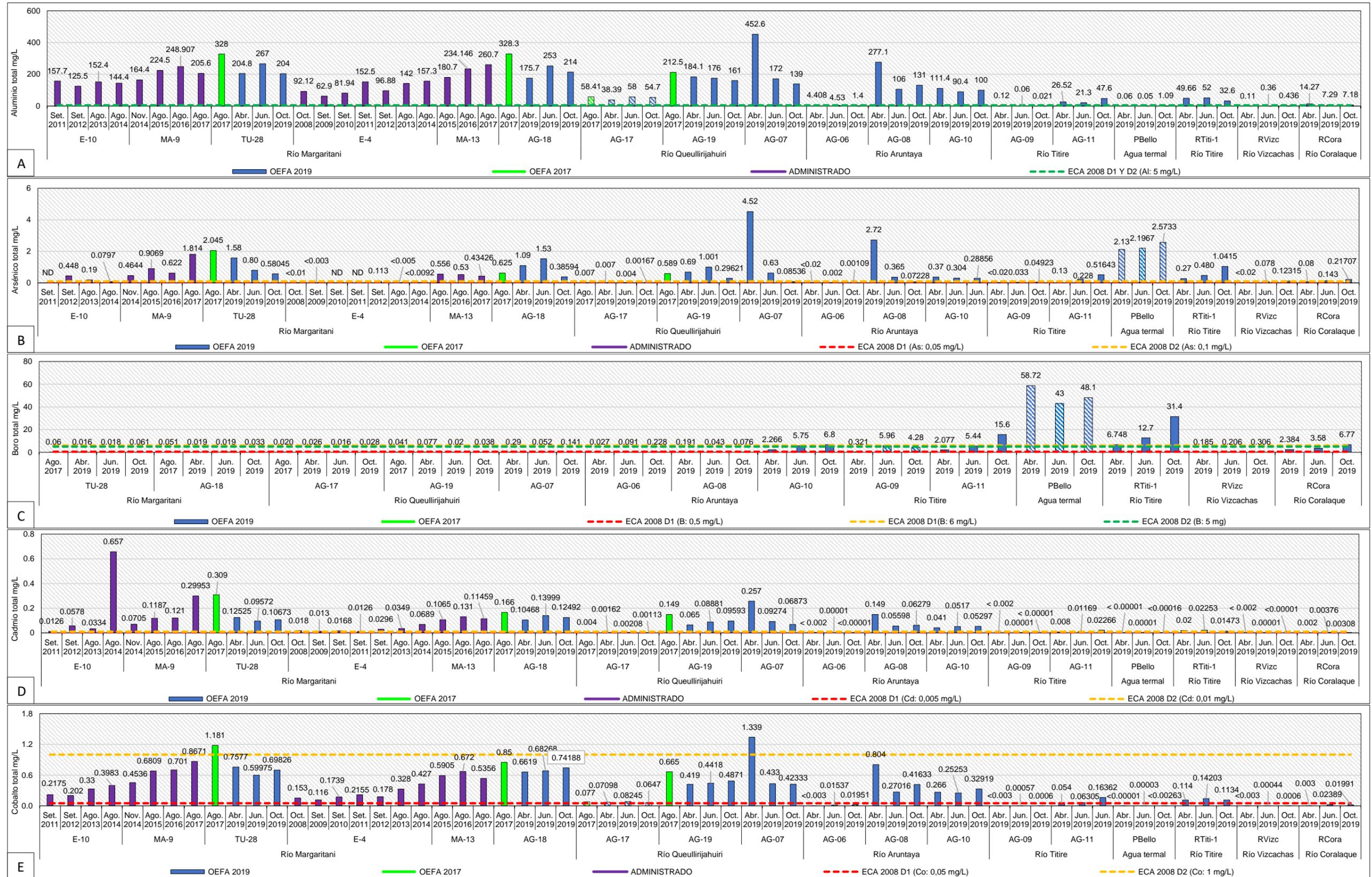
PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

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



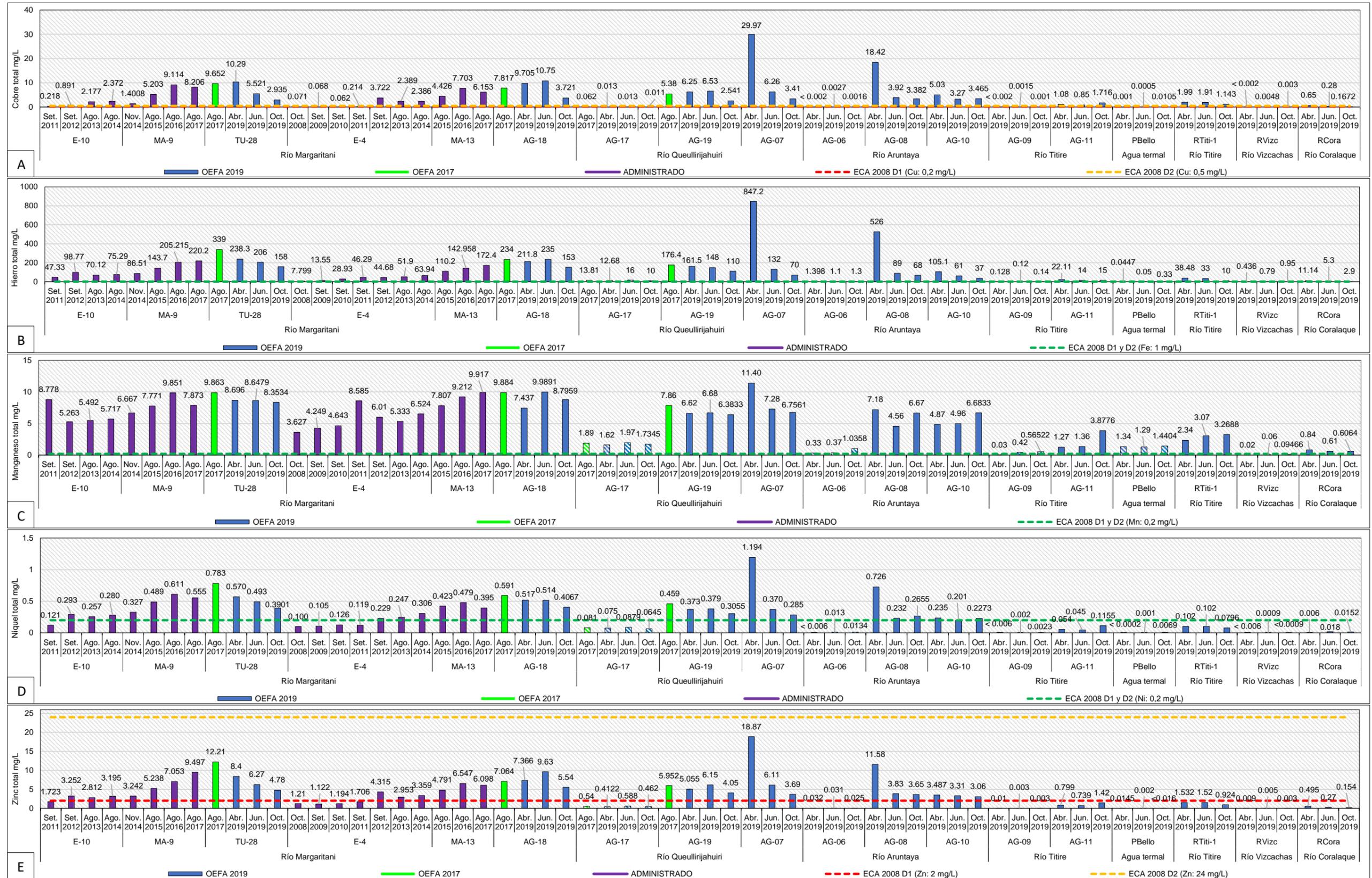
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
 Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad


Figura 7.35. Concentración histórica de cobre (A), hierro (B), manganeso (C), níquel (D) y zinc (E) en el río Margaritani 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 punto TU-28 se observa que se mantiene la misma cantidad de parámetros que superaron o se encuentran por debajo del rango de los ECA para agua 2008 (categoría 3), en agosto 2017, abril, junio y octubre 2019; además, en el punto RCora se registró una disminución en el número de parámetros que superaron la normativa en mención de 7 en abril 2019 a 6 en octubre 2019 (Figura 7.36).

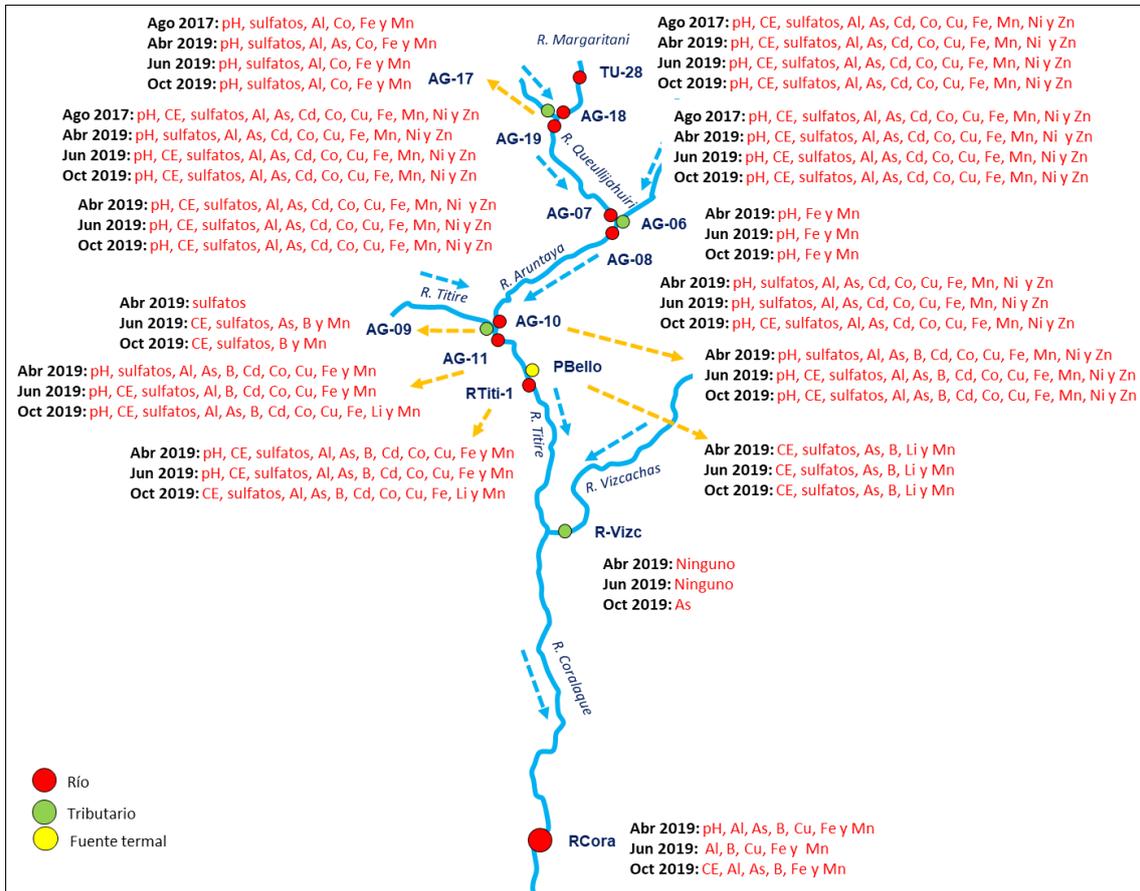


Figura 7.36. Parámetros que superaron los ECA para agua 2008, categoría 3, en los puntos de monitoreo en la quebrada Margaritani y tributarios

En octubre 2019, el río Margaritani influye en la calidad de sedimento del río Queullirijahuiri que a su vez influye en el río Aruntaya, y este, en el río Titire que al juntarse con el río Vizcachas influye en el río Coralaque, lo que se evidencia con el incremento de arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio y plomo, a excepción del cromo en los ríos Queullirijahuiri (AG-19), Aruntaya (AG-08), Titire (AG-11) en comparación con sus puntos ubicados aguas arriba, luego del aporte de los ríos afectados (Figuras 7.38B, 7.40B, 7.42B, 7.44B, 7.46B, 7.48B y 7.43B); asimismo, luego del aporte del río Vizcachas disminuyeron los metales mencionados a excepción del plomo en el río Coralaque (Figura 7.48B). Esta influencia también se corroboró al comparar con lo reportado en abril 2019 (Figuras 7.50, 7.51 y 7.52). Asimismo, el cromo en octubre 2019 y el arsénico en abril y octubre de 2019 superaron el valor PEL de la norma canadiense (Figuras 7.43B y 7.50B).

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

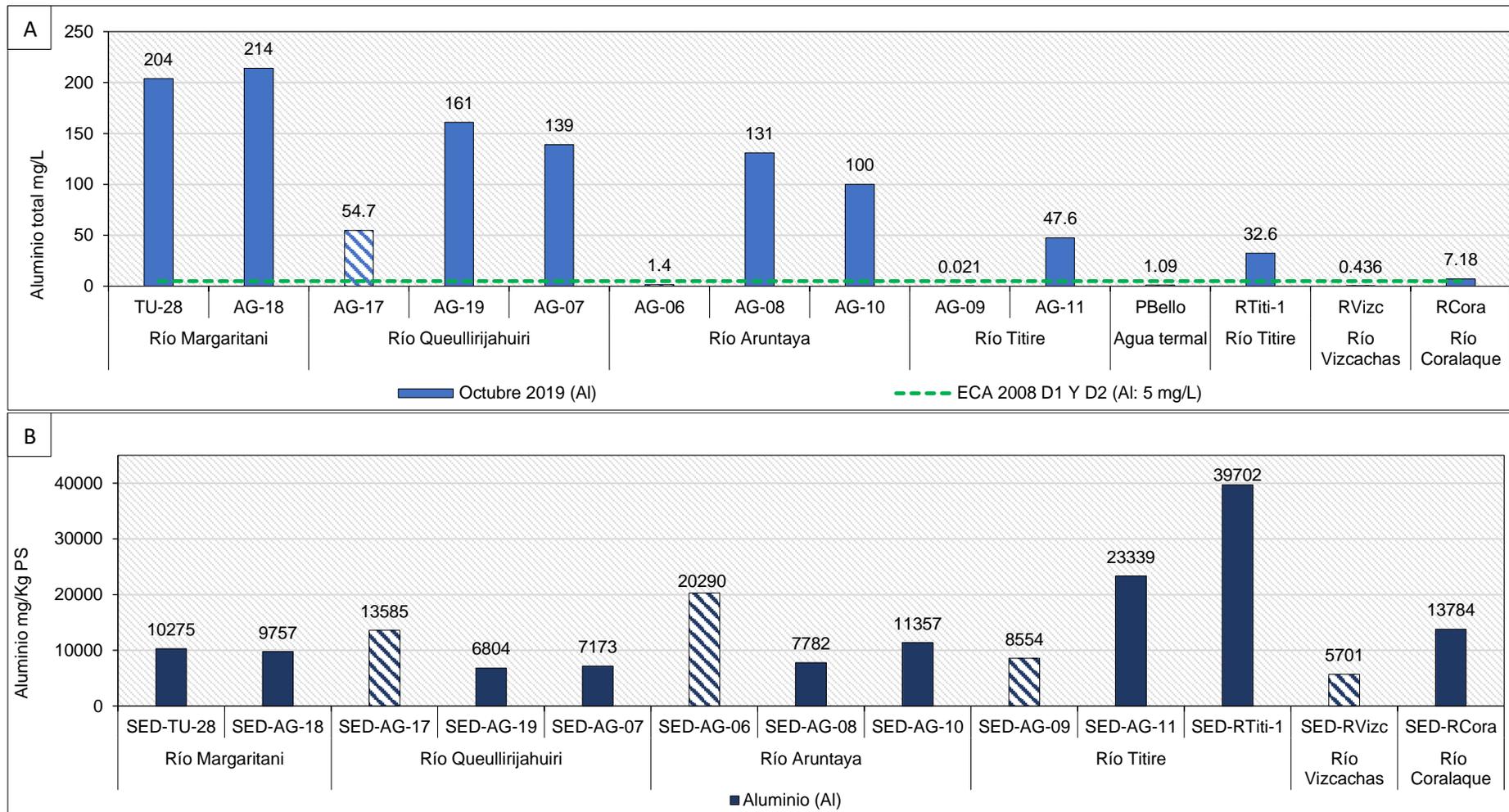


Figura 7.37. Concentración de aluminio en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

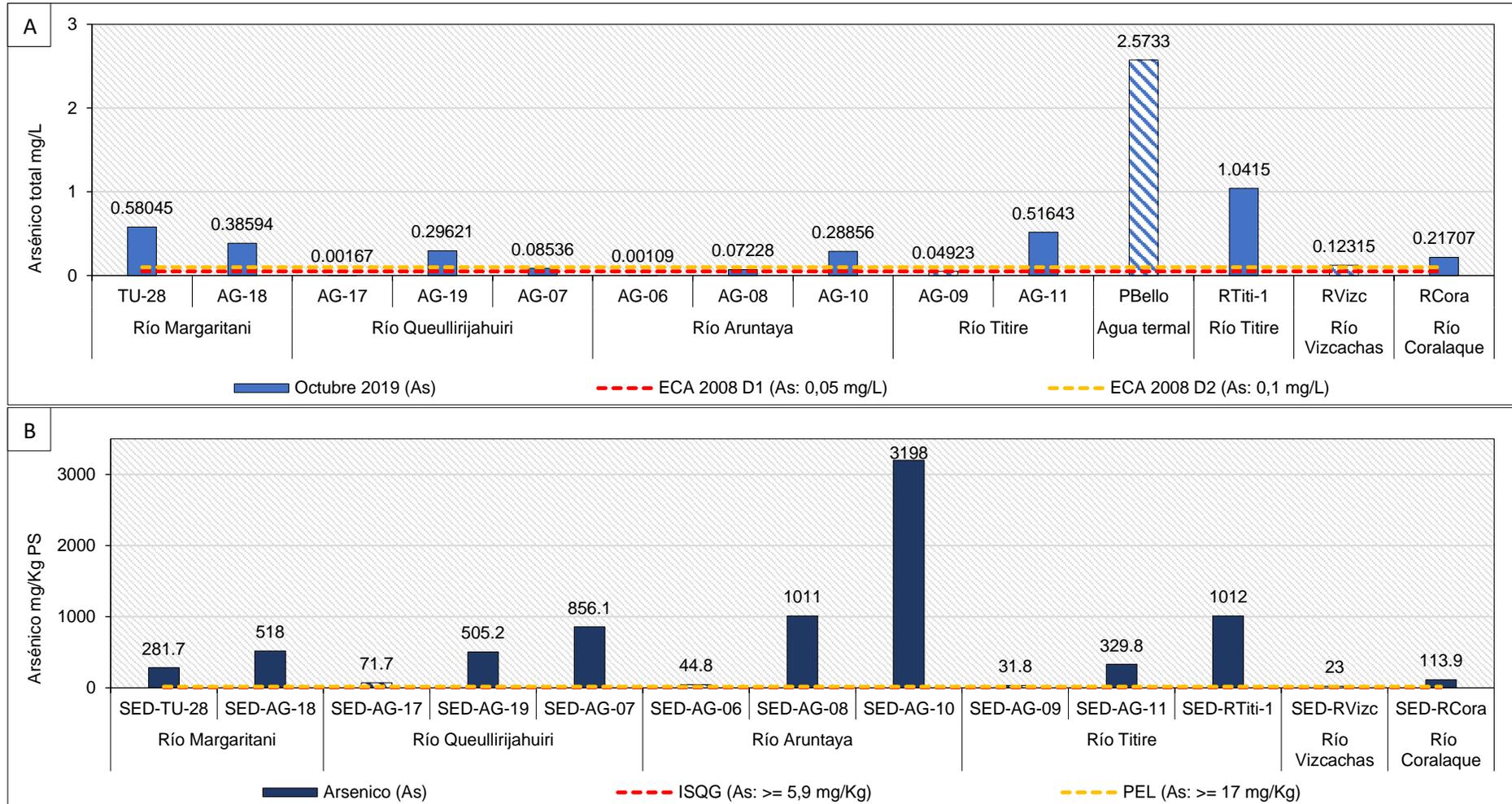


Figura 7.38. Concentración de arsénico en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios.

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

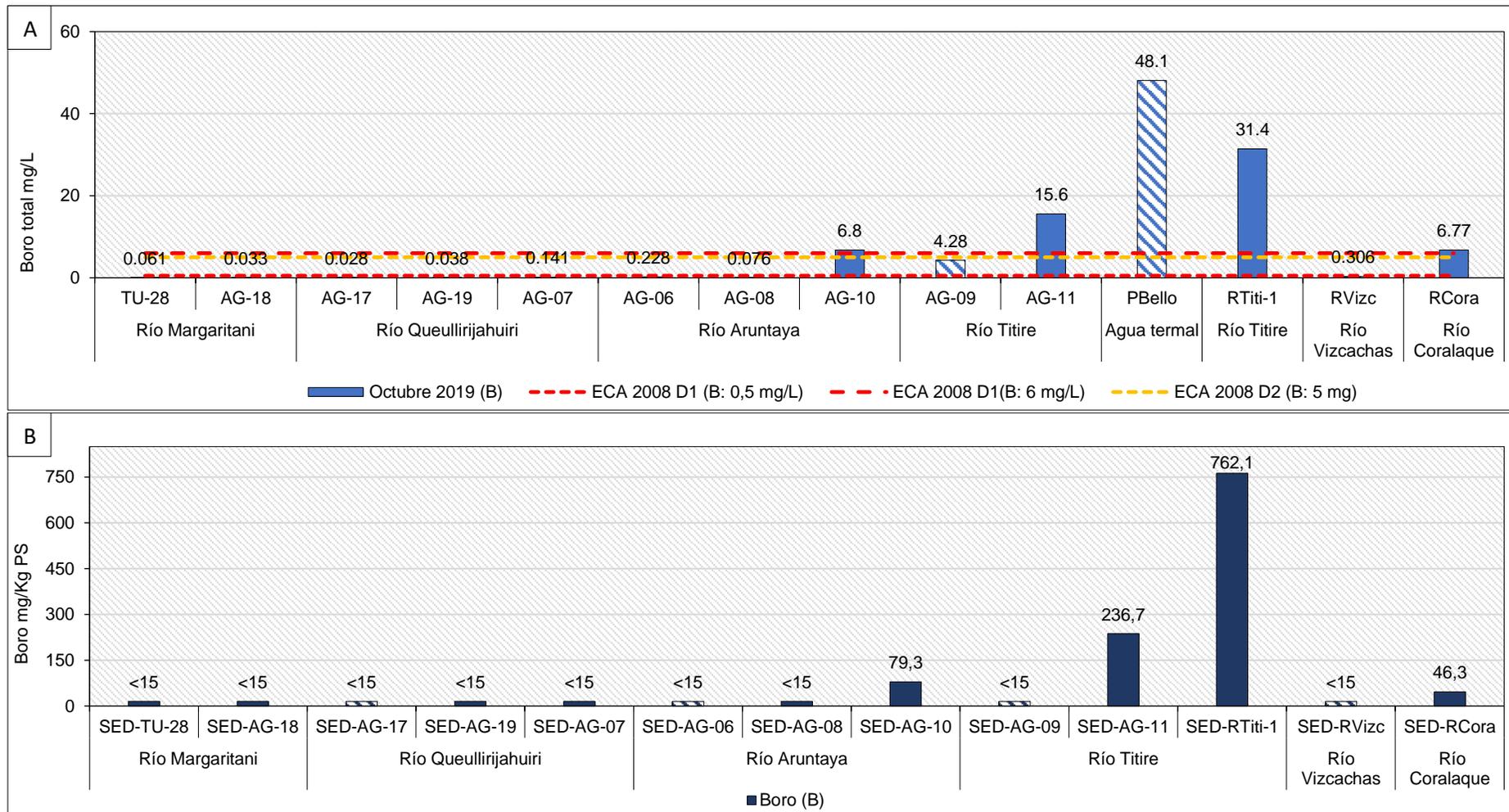


Figura 7.39. Concentración de boro en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

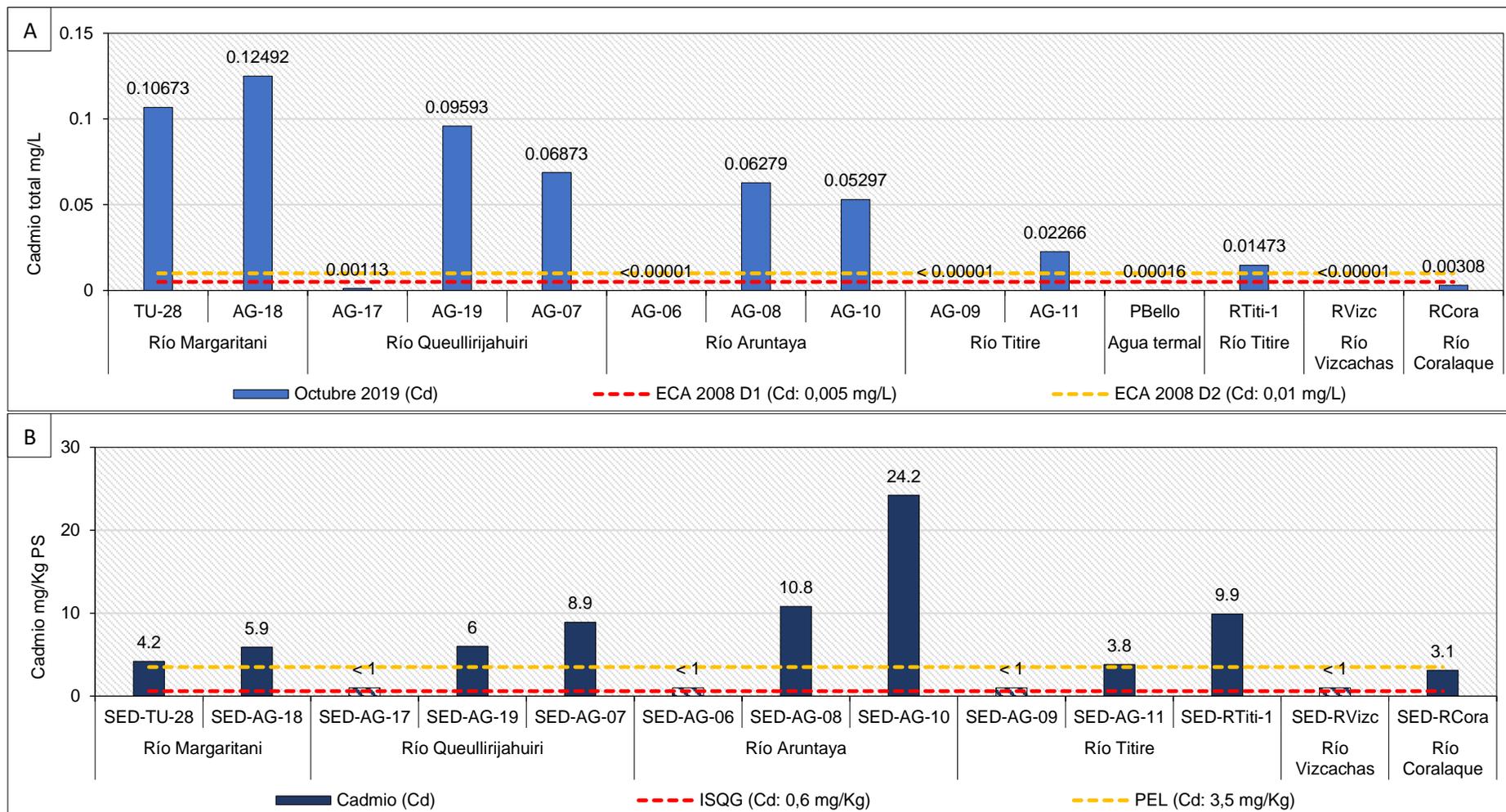


Figura 7.40. Concentración de cadmio en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios.

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

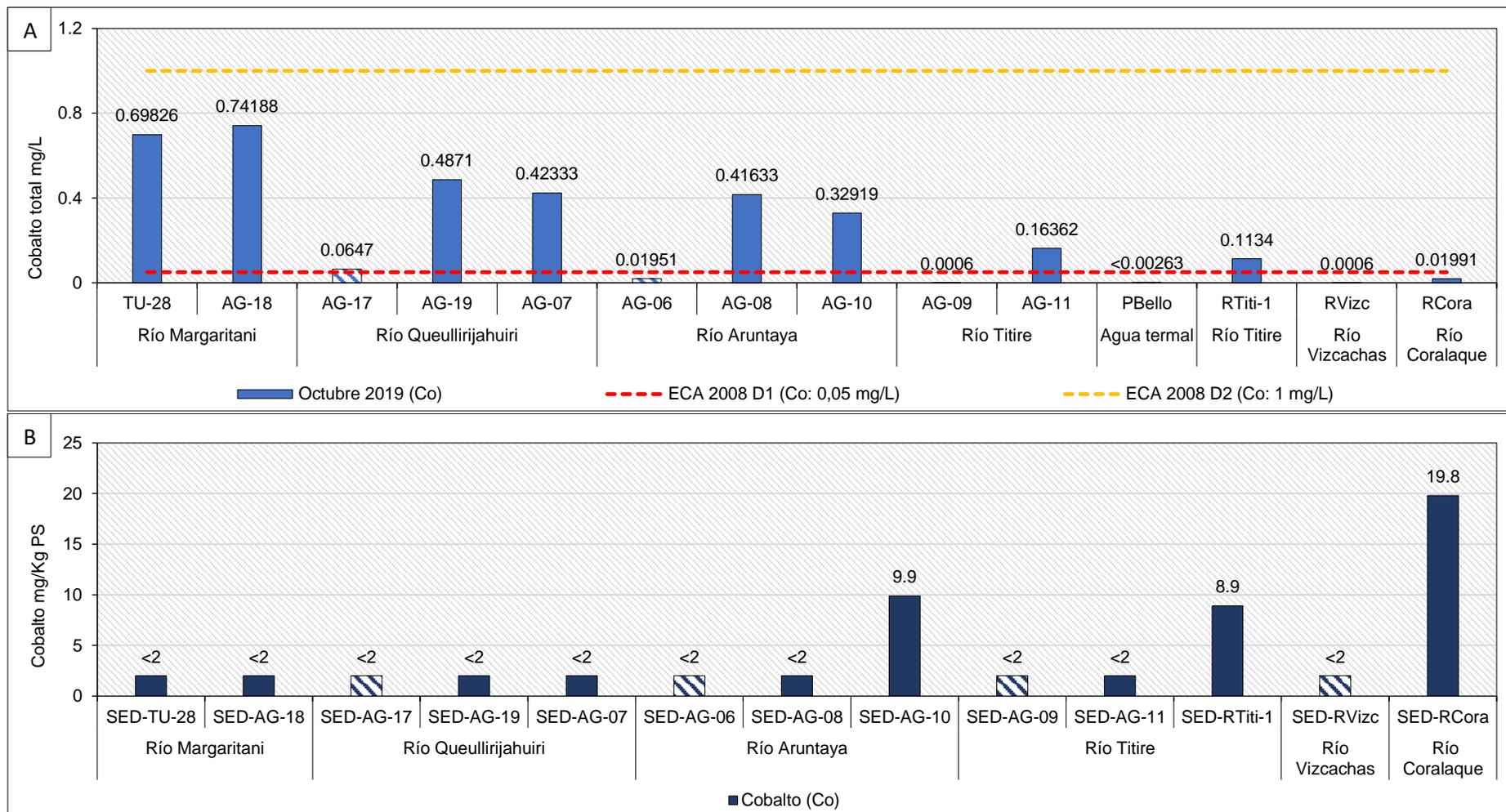


Figura 7.41. Concentración de cobalto en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

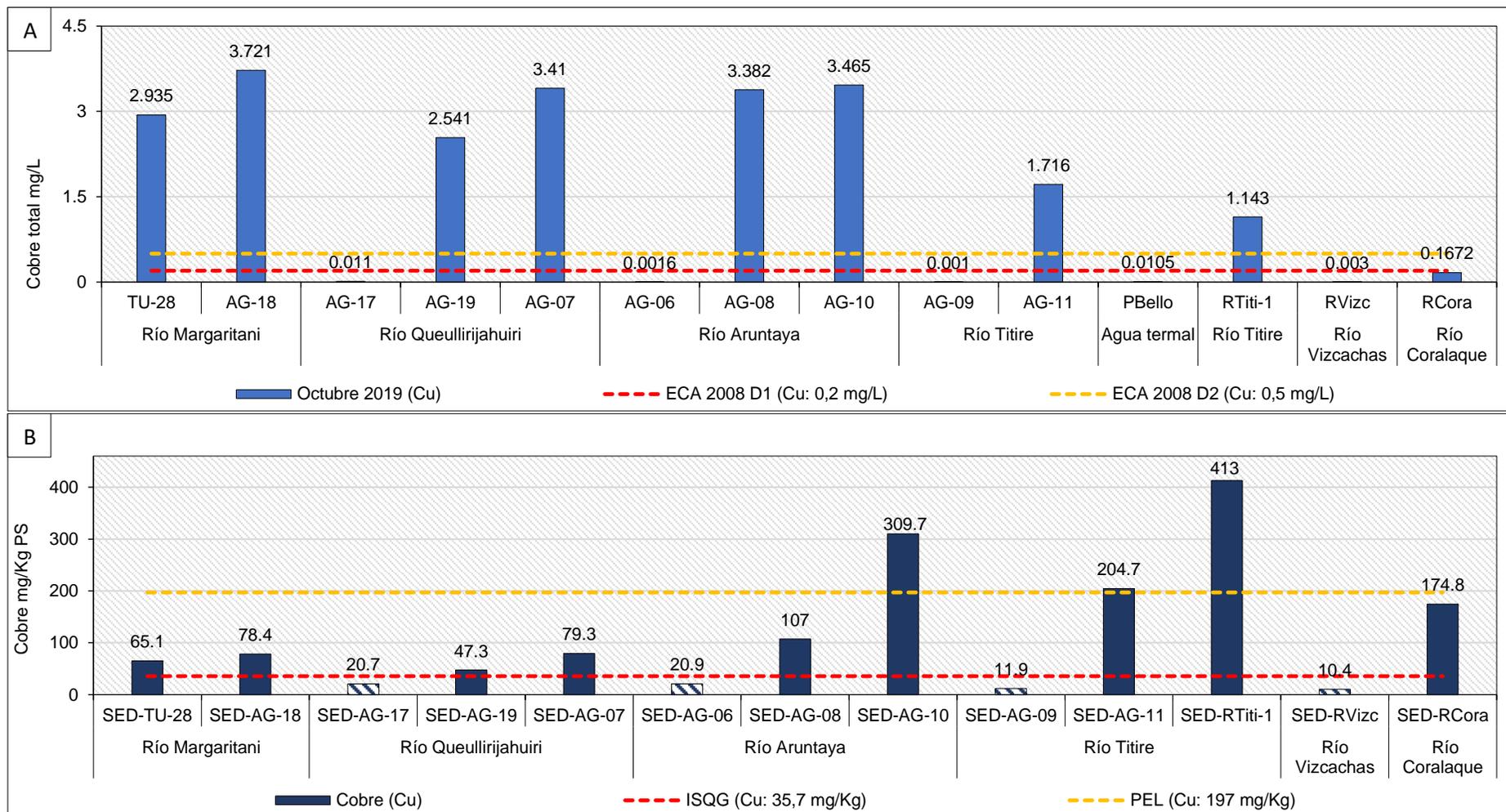


Figura 7.42. Concentración de cobre en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

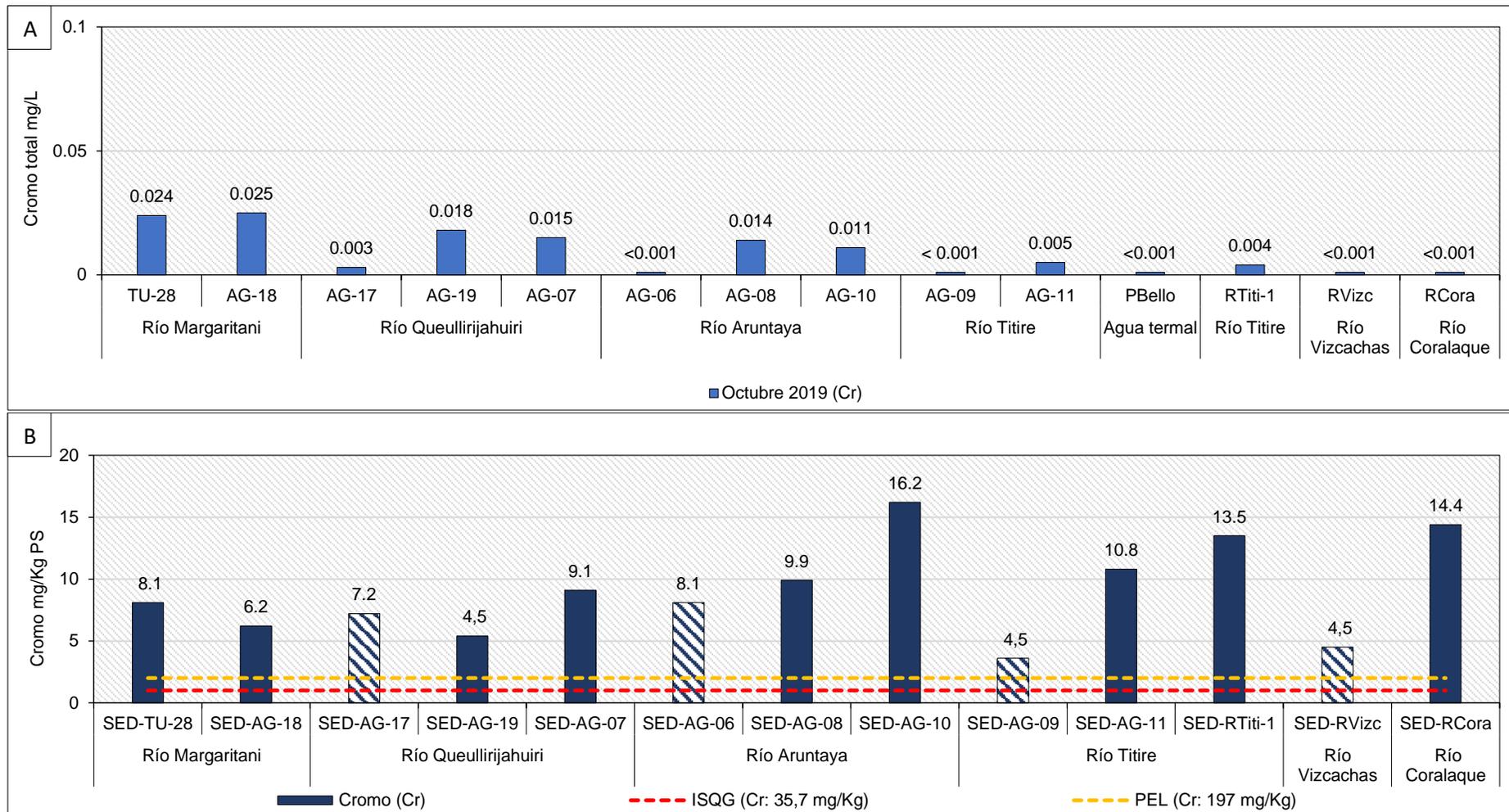


Figura 7.43. Concentración de cromo en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios.

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

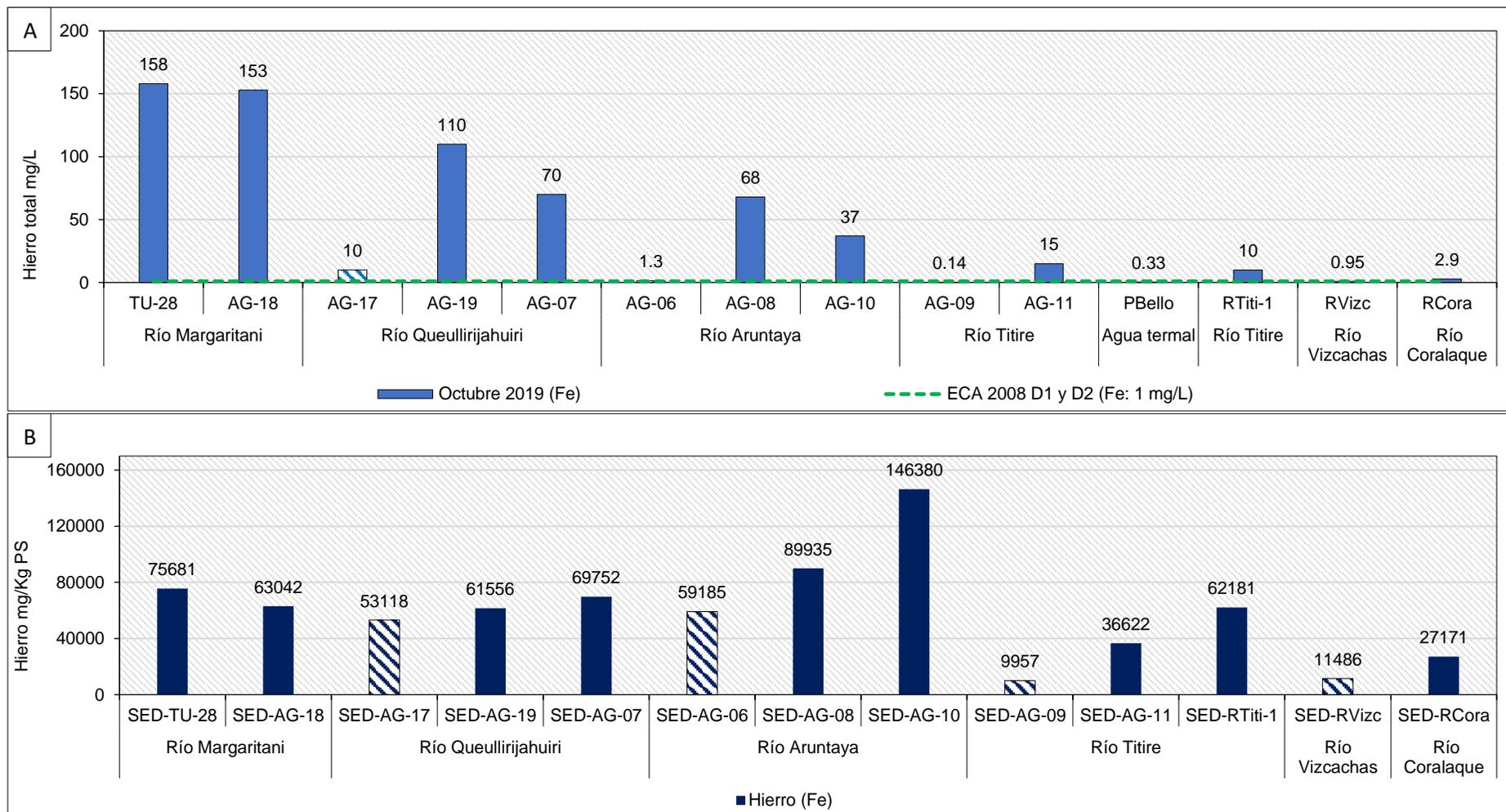


Figura 7.44. Concentración de hierro en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios. Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios.

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

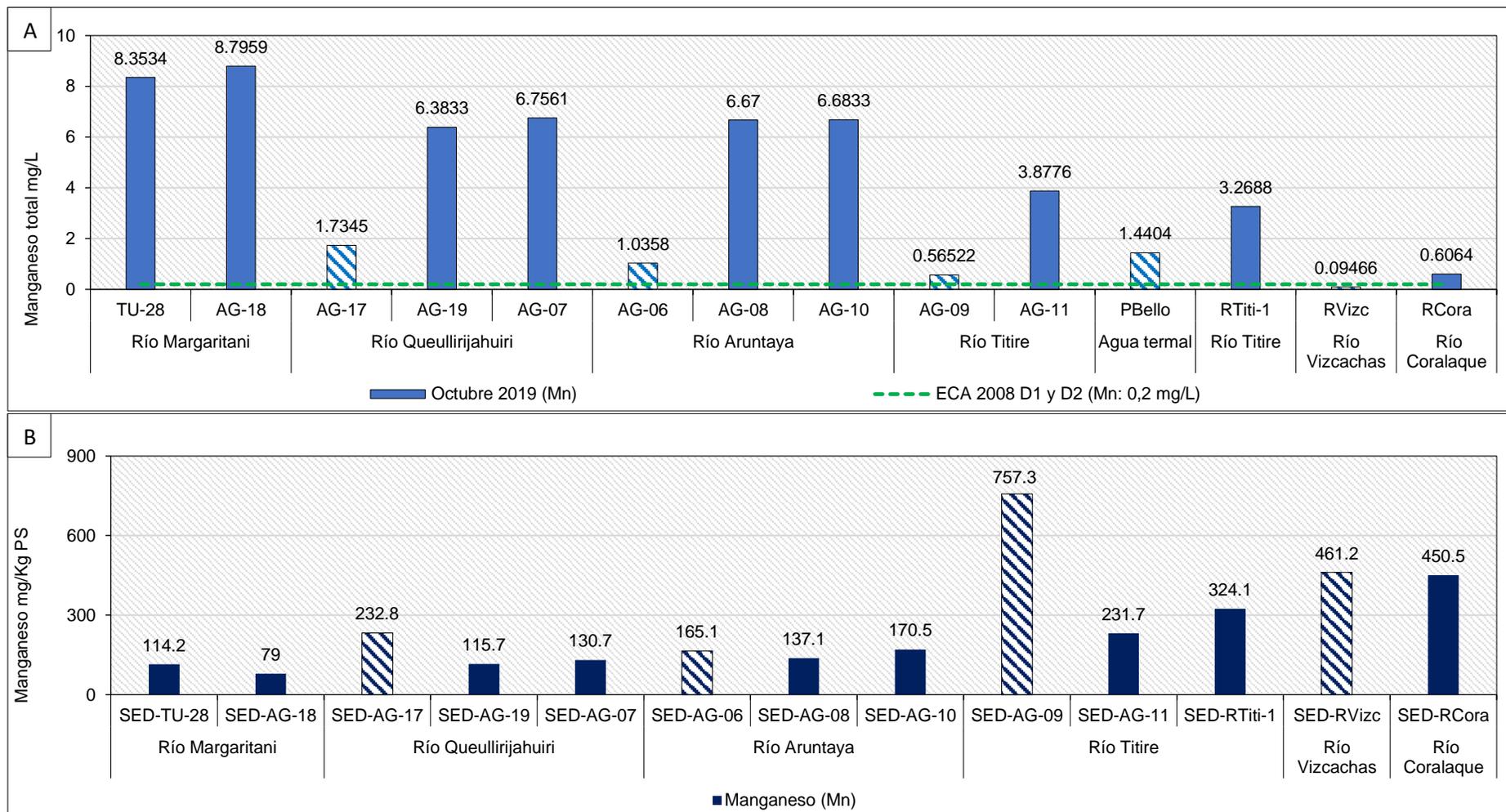


Figura 7.45. Concentración de manganeso en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

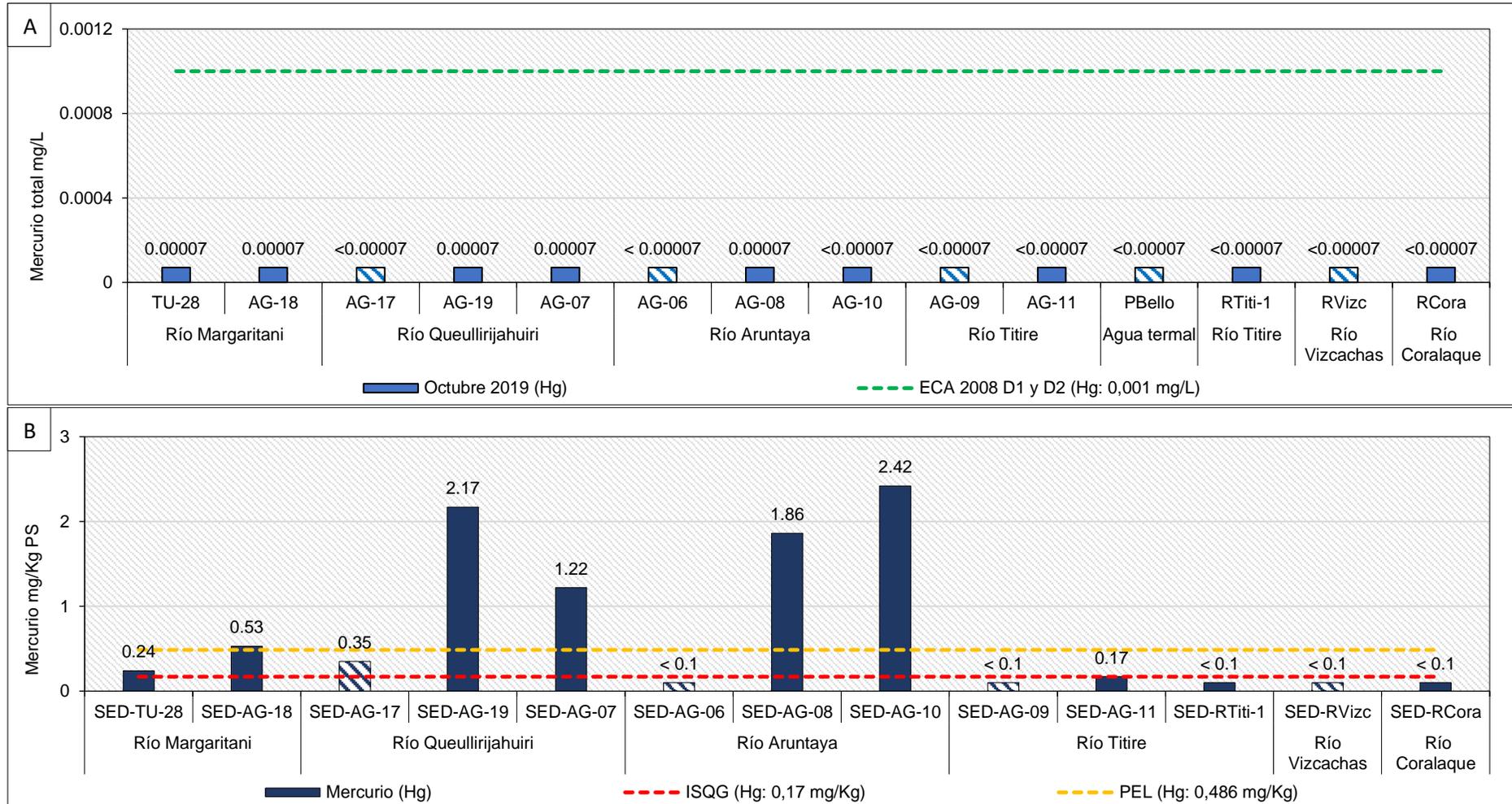


Figura 7.46. Concentración de mercurio en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

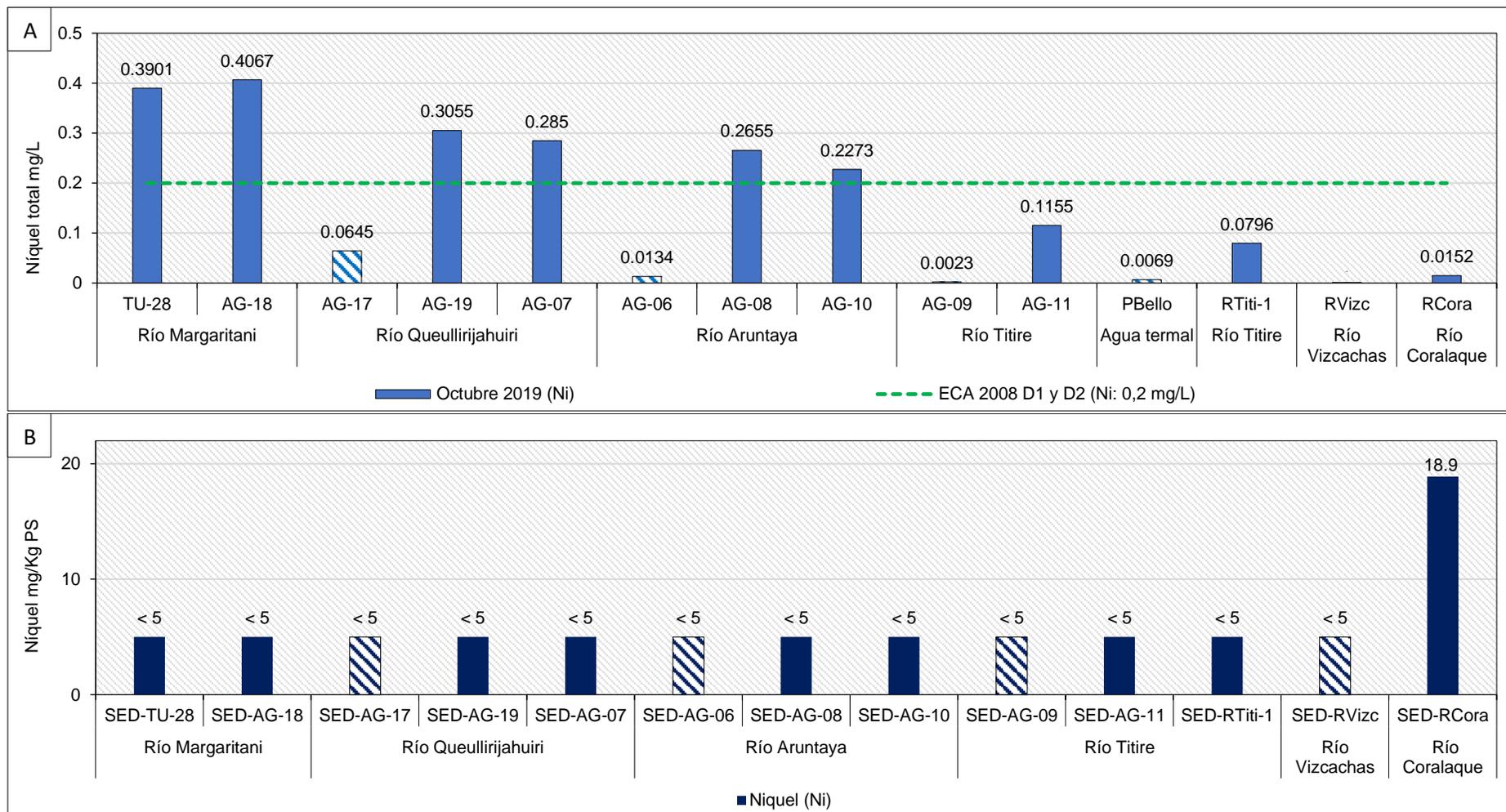


Figura 7.47. Concentración de níquel en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

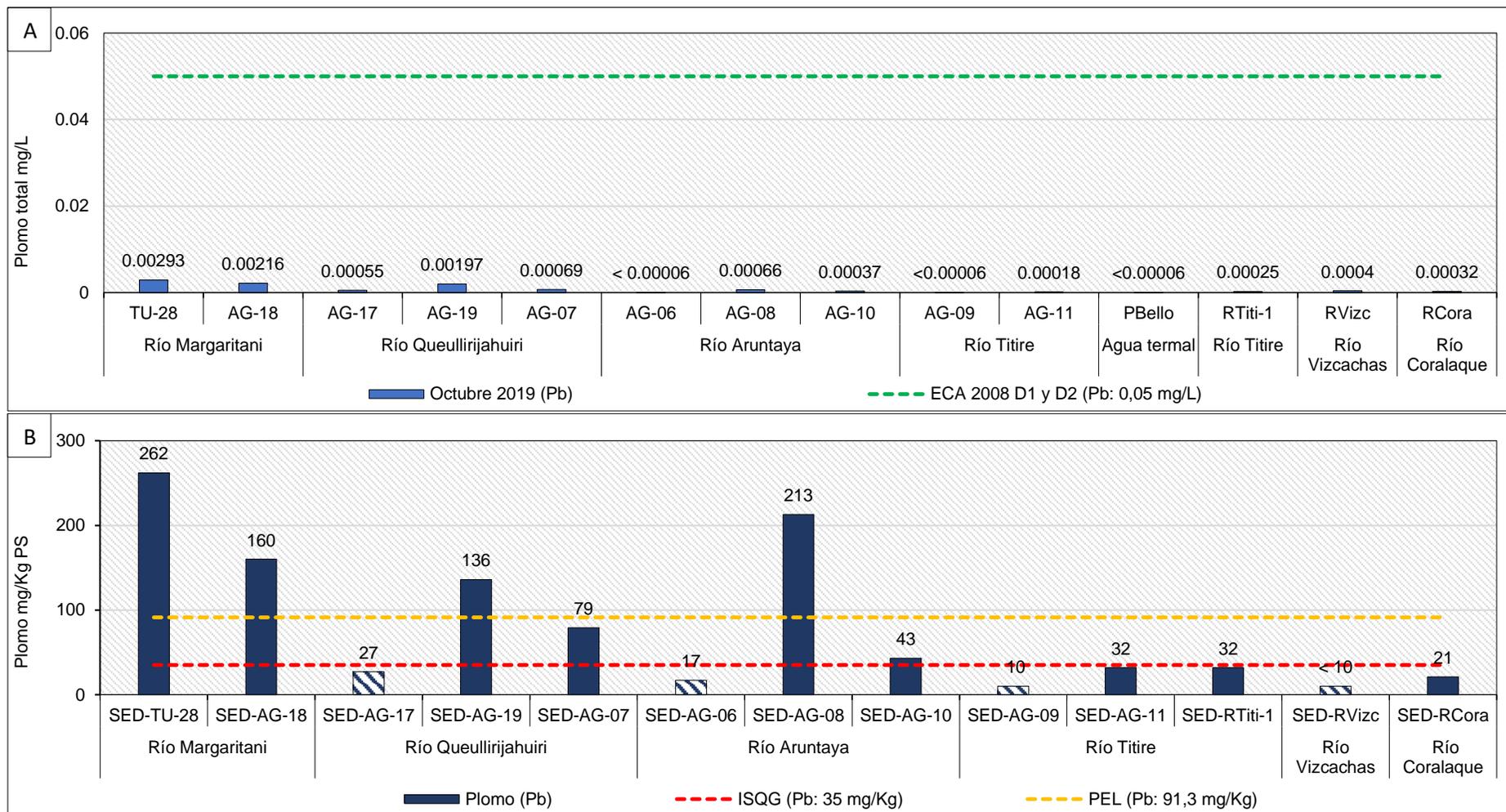


Figura 7.48. Concentración de plomo en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

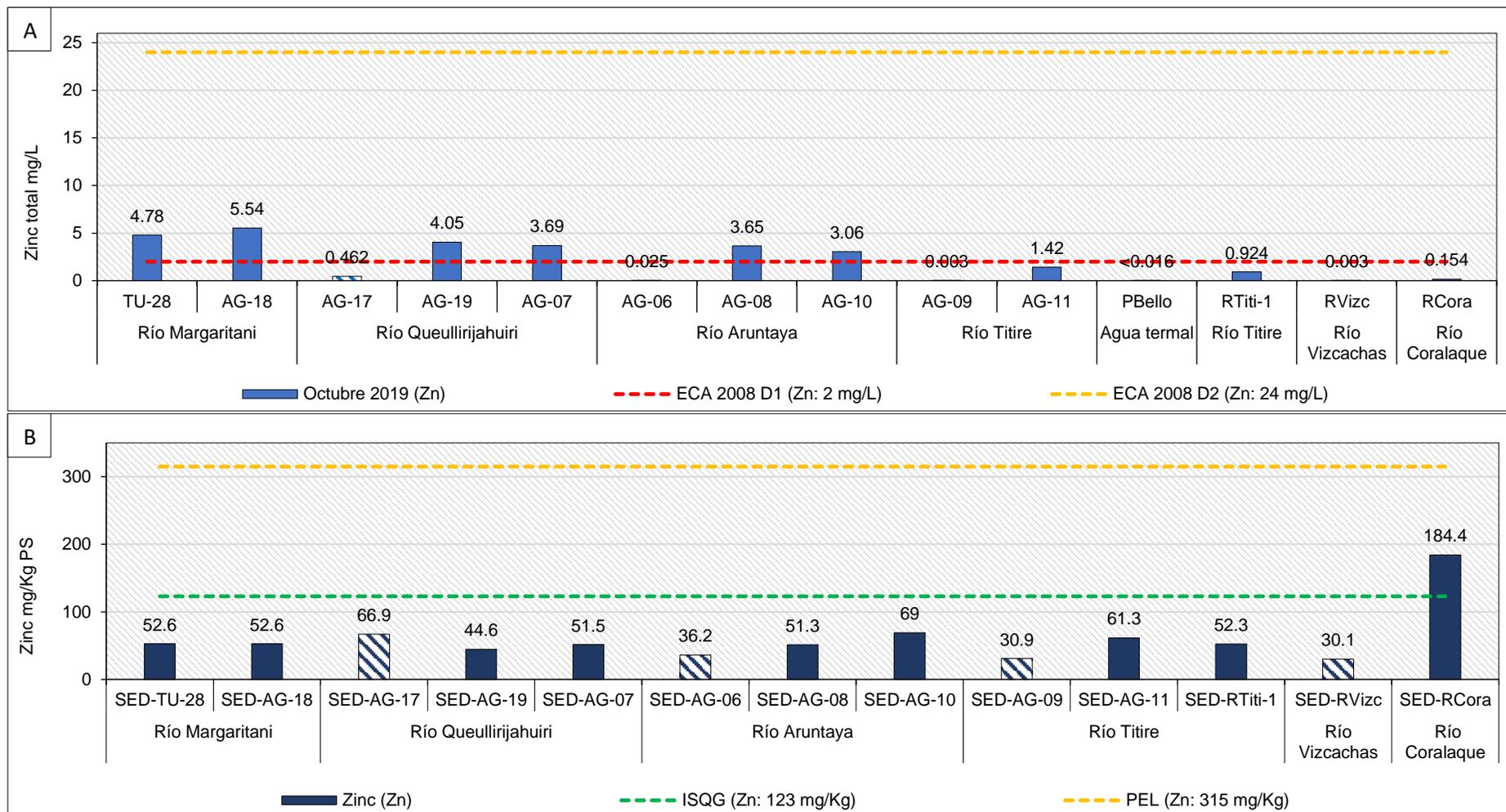


Figura 7.49. Concentración de zinc en agua (A) y sedimento (B) en el río Margaritani y tributarios
Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

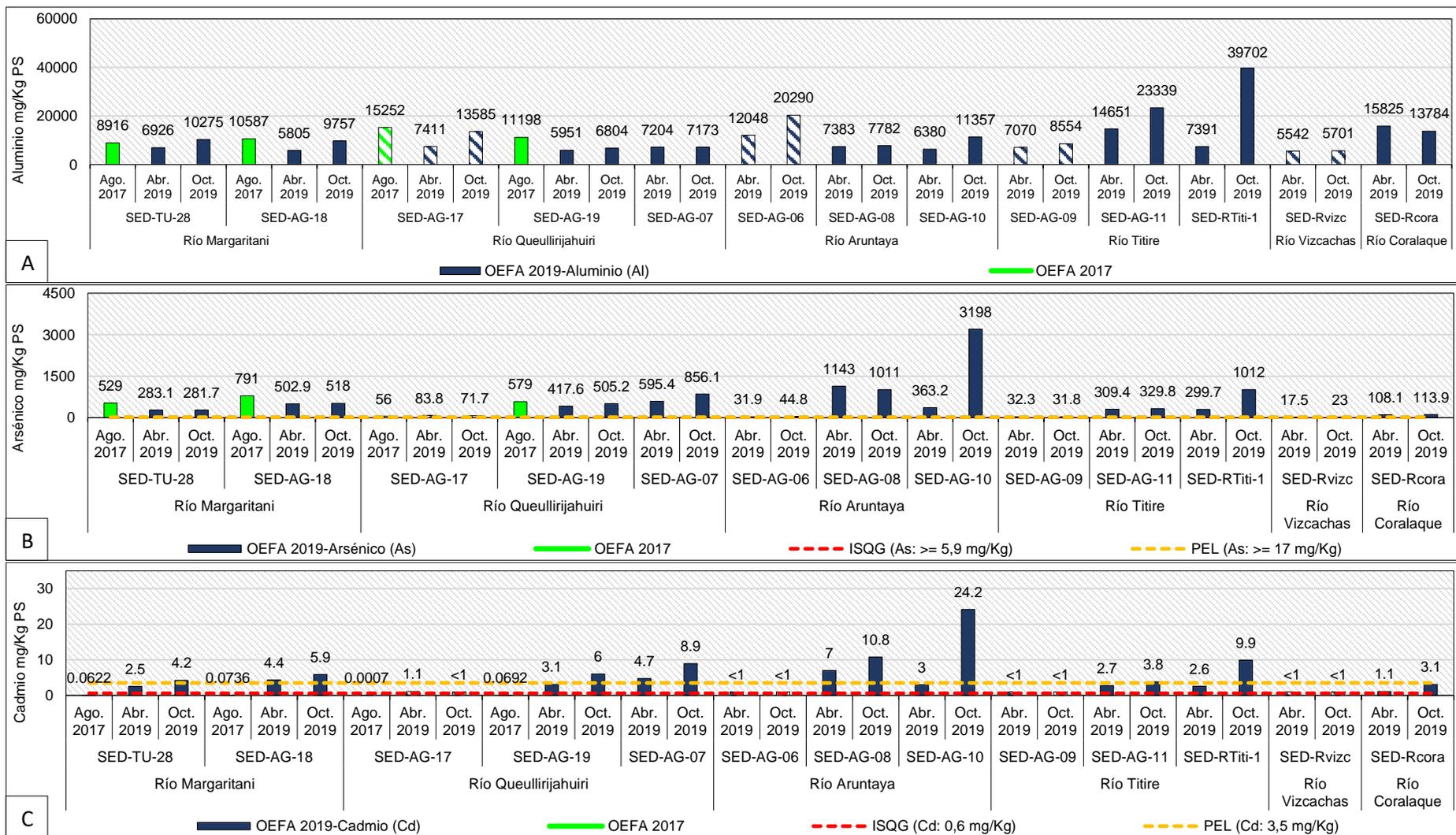


Figura 7.50. Comparación de aluminio (A), arsénico (B) y cadmio (C) en sedimento de la quebrada Margaritani y aportantes (2019) con lo reportado en la data histórica (2017)

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

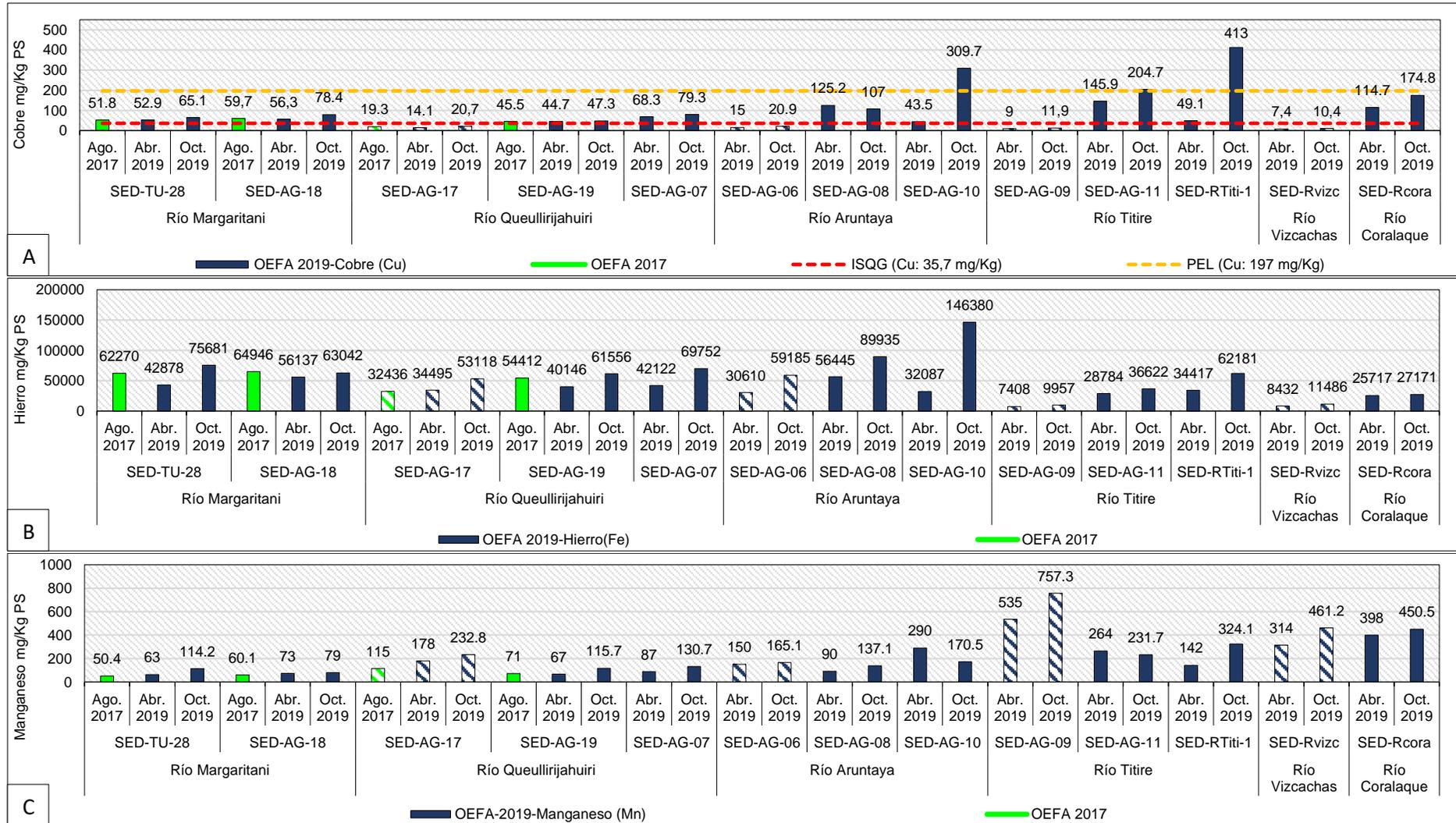


Figura 7.51. Comparación de cobre (A), hierro (B) y manganeso (C) en la quebrada Margaritani y aportantes (2019) con lo reportado en la data histórica (2017) Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

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

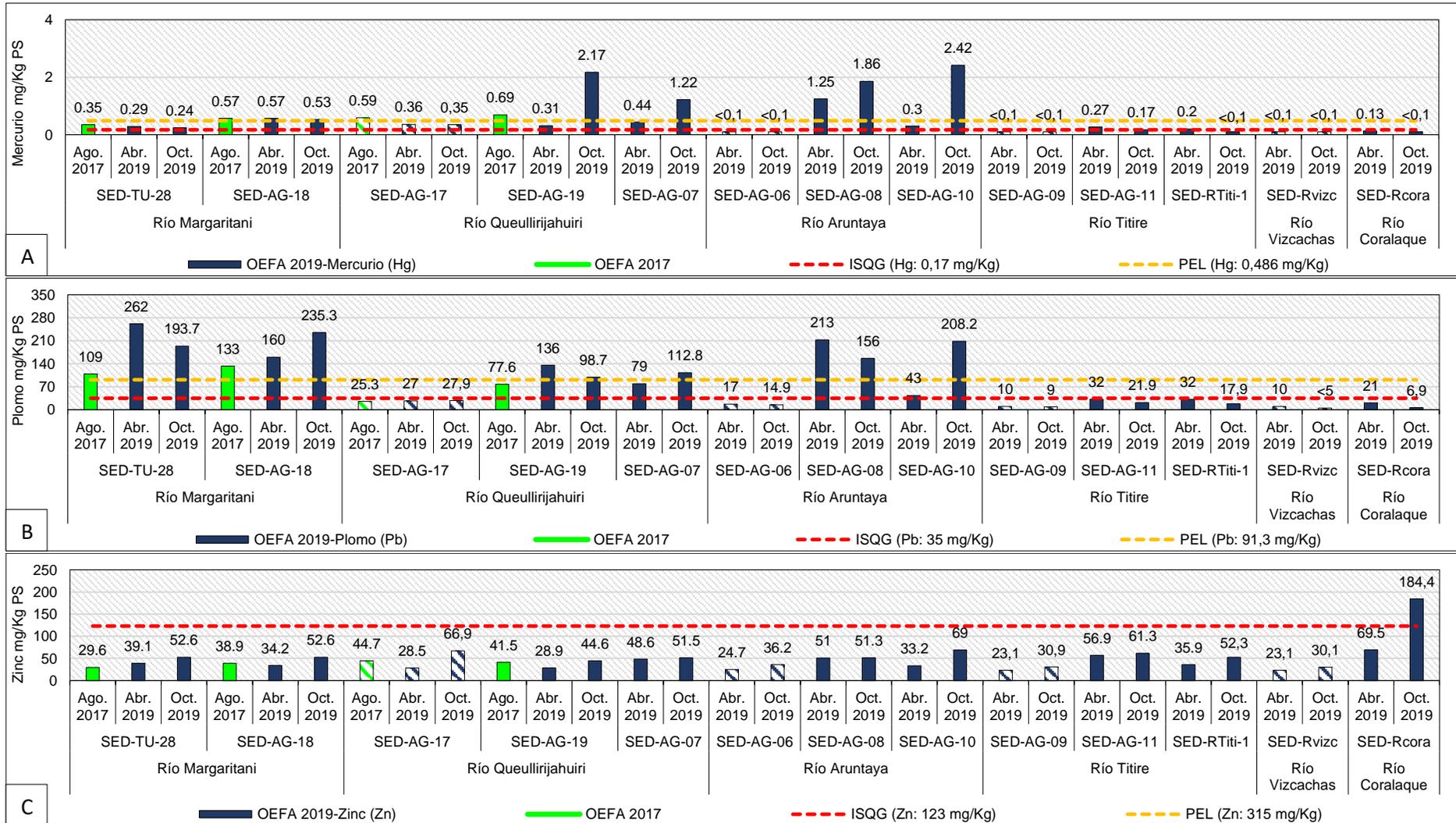


Figura 7.52. Comparación de mercurio (A), plomo (B) y zinc (C) en la quebrada Margaritani y aportantes (2019) con lo reportado en la data histórica (2017) Los colores sólidos representan el cauce principal, los colores en tramas representan los tributarios

El río Margaritani influye en la calidad del agua del río Queullirijahuiri que a su vez influye en el río Aruntaya, y este, en el río Titire que al juntarse con el río Vizcachas influye en el río Coralaque (Figura 7.36) por la disminución en la riqueza y densidad de organismos en los puntos HB-AG-08, HB-TU-11, HB-RCora, prevaleciendo las taxones *Podonomus* sp., *Cricotopus* sp. y Ephydriidae (Figura 7.54), pertenecientes a la familia Chironomidae, reportada en ambientes ácidos y con alta carga de metales pesados (Janssens L. *et. al.* 2005), mientras que *Cricotopus* sp., ha sido considerado como taxón metal-tolerante (Burgues, 2015; Loayza-Muro, 2014), mientras que la familia Ephydriidae ha sido reportada en ambientes ácidos (Raddum *et al.*, 1988).

Además, en el último tramo evaluado, el río Coralaque (HB-RCora) aún presentó influencia de la actividad minera y de las actividades aledañas registrando baja densidad y riqueza de macroinvertebrados bentónicos con respecto al punto de referencia (HB-RVizc) ubicado en el río Vizcachas, el cual presentó buena calidad ecológica en ambos meses (Figura 5.54 y Tabla 7.3), y registró a la especie sensible *Claudioperla* sp., perteneciente a la familia Gripopterygidae, que requiere buena calidad de agua para su desarrollo, especialmente con suficiente oxígeno disuelto (Roldán, 1996; Beeckman, 2017); mientras que en el punto HB-RCora registro la especie *Cricotopus* sp., que ha sido considerada como taxón metal-tolerante (Burgues, 2015; Loayza-Muro, 2014).

Cabe resaltar que el río Queullirijahuiri (HB-AG-19) registró un ligero incremento en la riqueza y densidad de macroinvertebrados bentónicos respecto al río Margaritani (HB-AG-18) (Figura 7.54), que podría estar relacionado al ingreso de materia orgánica al río producto del pastoreo que se desarrolla en la zona (Figura 7.53), registrando la dominancia de la especie *Podonomus* sp. (Figura 7.54), perteneciente a la familia Chironomidae, reportada en ambientes ácidos y con alta carga de metales pesados (Janssens L. *et. al.* 2005).



Figura 7.53. Punto HB-AG-19 en abril 2019 donde se observa actividad de pastoreo

Por lo descrito anteriormente, el río Margaritani influyó en la calidad biológica y ecológica del río Queullirijahuiri que a su vez influyó en el río Aruntaya, y este, en el río Titire que al juntarse con el río Vizcachas influyó en el río Coralaque (Figura 7.36) por lo que se evidenció con la disminución de los valores de la calidad biológica en los puntos HB-AG-19 (río Queullirijahuiri), HB-AG-08 (río Aruntaya), HB-TU-11 (río Titire) y HB-RCora (río Coralaque) registrándose un cambio de mala a pésima calidad biológica y ecológica. Cabe indicar que solo el río Vizcachas registró una buena calidad biológica y ecológica como puede apreciarse en la Tabla 7.3.

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

Tabla 7.3. Resultados de la calidad biológica (ABI), hidromorfológica y ecológica

Cuerpos de agua	Puntos de monitoreo	Meses evaluados	Índice biótico andino (ABI)	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Río Margaritani	HB-TU-28	Abril	Pésimo (7)	Moderada (21)	Pésima
		Octubre	Pésimo (2)	Moderada (21)	Pésima
	HB-AG-18	Abril	Pésimo (10)	Moderada (24)	Pésima
		Octubre	Pésimo (2)	Moderada (23)	Pésima
Río Queullirijahuiri	HB-AG-17	Abril	Mala (23)	Bueno (29)	Mala
		Octubre	Pésimo (8)	Moderada (28)	Pésima
	HB-AG-19	Abril	Mala (18)	Moderada (27)	Mala
		Octubre	Pésimo (2)	Moderado (26)	Pésima
	HB-AG-07	Abril	Mala (13)	Mala (17)	Mala
		Octubre	Pésimo (6)	Mala (18)	Pésima
Río Aruntaya	HB-AG-06	Abril	Mala (21)	Bueno (34)	Mala
		Octubre	Mala (24)	Bueno (33)	Mala
	HB-AG-08	Abril	Mala (17)	Moderada (23)	Mala
		Octubre	Pésimo (2)	Moderada (24)	Pésima
	HB-AG-10	Abril	Pésimo (9)	Moderada (28)	Pésima
		Octubre	Pésimo (4)	Moderada (26)	Pésima
Río Titire	HB-AG-09	Abril	Moderado (38)	Bueno (29)	Moderada
		Octubre	Mala (25)	Bueno (29)	Mala
	HB-AG-11	Abril	Mala (12)	Mala (18)	Mala
		Octubre	Mala (23)	Moderado (25)	Mala
	HB-RTiti-1	Abril	Mala (19)	Bueno (32)	Mala
		Octubre	Pésimo (4)	Moderado (25)	Pésima
Río Vizcachas	HB-RVizc	Abril	Bueno (50)	Bueno (33)	Bueno
		Octubre	Bueno (62)	Bueno (33)	Bueno
Río Coralque	HB-RCora	Abril	Pésimo (7)	Bueno (29)	Pésima
		Octubre	Pésimo (6)	Moderado (28)	Pésima

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

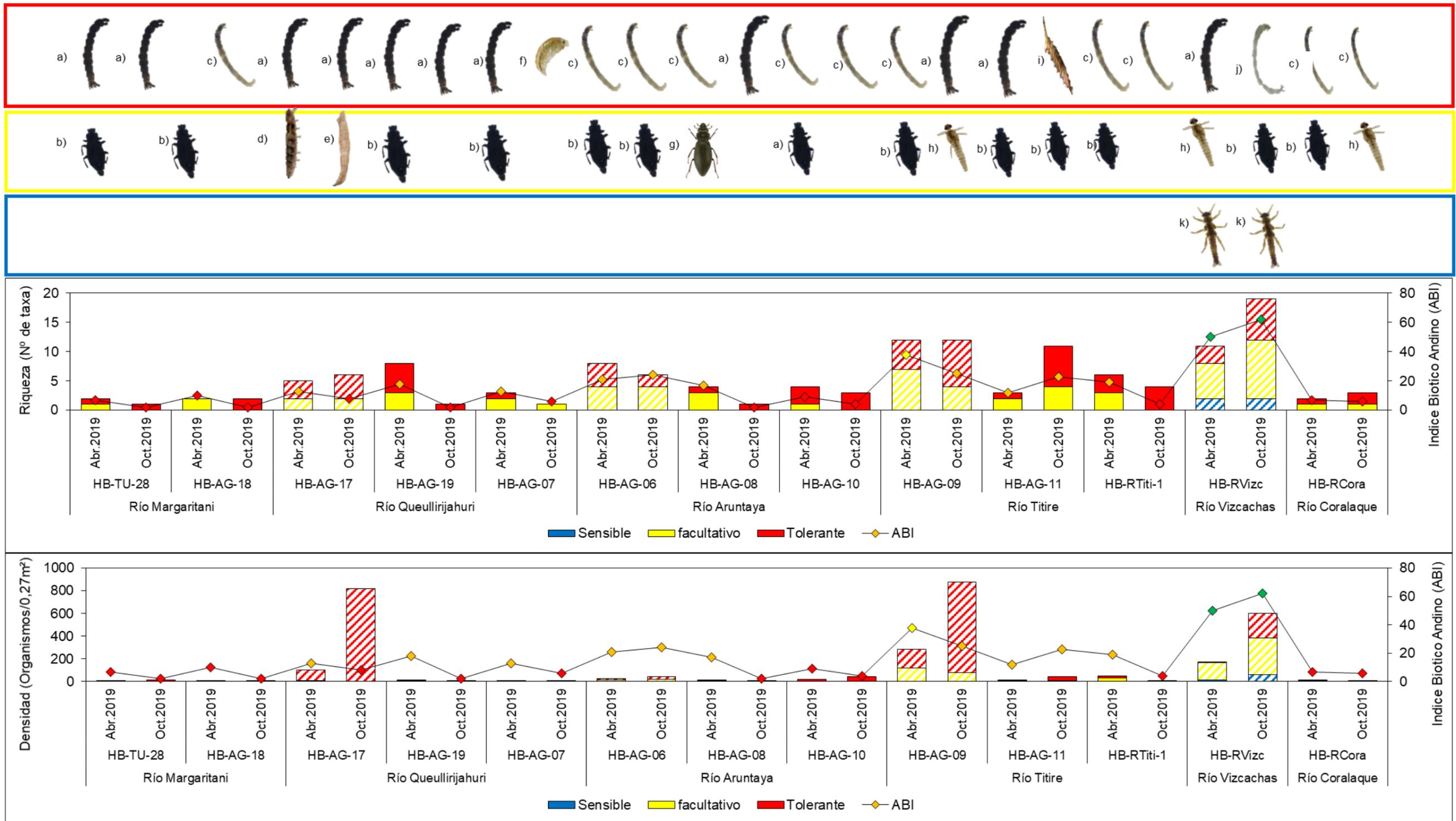


Figura 7.54. Riqueza, densidad, índice biótico andino (ABI) y sensibilidad (sensible, facultativo o tolerante) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrados en los ríos Margaritani, Queullirijahuri, Aruntaya, Titire, Vizcachas y Coralque. Donde a) *Podonomus* sp., b) *Austrelmis* sp., c) *Cricotopus* sp., d) *Clinocera* sp., e) *Limnophora* sp., f) *Hyallolela* sp., g) *Gymnochthebius* sp., h) *Andesiops* sp., i) Ephydriidae, j) *Tanytarsus* sp., k) *Claudioperla* sp.

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

En las microalgas también se evidenció la disminución de la riqueza y densidad de organismos en los puntos HB-AG-08 (río Aruntaya) y HB-TU-11 (río Titire) y un ligero incremento en el punto HB-AG-19 (río Queullirijahuiri), en comparación con sus puntos aguas arriba; prevaleciendo los taxones *Pseudanabaena* sp. y *Nitzschia acicularis*. (Figura 7.54), los cuales han sido reportados en ambientes ácidos y contaminados con metales según Pomfret (1974), Bray (2007), Hill *et al.* (2000) y Sabater *et al.* (2003).

Además, en el último tramo evaluado, el río Coralaque (HB-RCora) aún presentó influencia de la actividad minera y de las actividades aledañas registrando baja riqueza y densidad de microalgas con respecto al río Vizcachas (HB-RVizc), antes de su confluencia con el río Titire, el cual registró a la especie sensible *Ulnaria acus*; especies del género *Ulnaria* han sido reportados en sistemas acuáticos con una baja contaminación ambiental (Martinez de Fabricius *et al.*, 2003), mientras que en el río Coralaque (HB-RCora) se registró las especies tolerantes a ambientes ácidos y con alta carga de metales como *Nitzschia gracilis* y *Pseudanabaena* sp. (Barinova, 2011).

Cabe resaltar que el río Queullirijahuiri (HB-AG-19) registró un ligero incremento en la riqueza y densidad de microalgas respecto al río Margaritani (HB-AG-18) (Figura 7.54), que podría estar relacionado al ingreso de materia orgánica al río producto del pastoreo que se desarrolla en la zona (Figura 7.53), registrando la dominancia de la especie *Achnanthydium* sp., la cual ha sido reportada en ambientes ácidos y con alta carga de metales pesados (Ponade K. y Potapova M., 2007).

Según el análisis PERMANOVA (Anexo 11), existe diferencias significativas ($p > 0,09$) en la densidad de macroinvertebrados bentónicos entre los puntos HB-AG-06 y HB-AG-08 (río Aruntaya), entre el HB-AG-09 y HB-AG-11 (río Titire), y entre el HB-R-Vizc (río Vizcachas) y HB-RCora (río Coralaque).

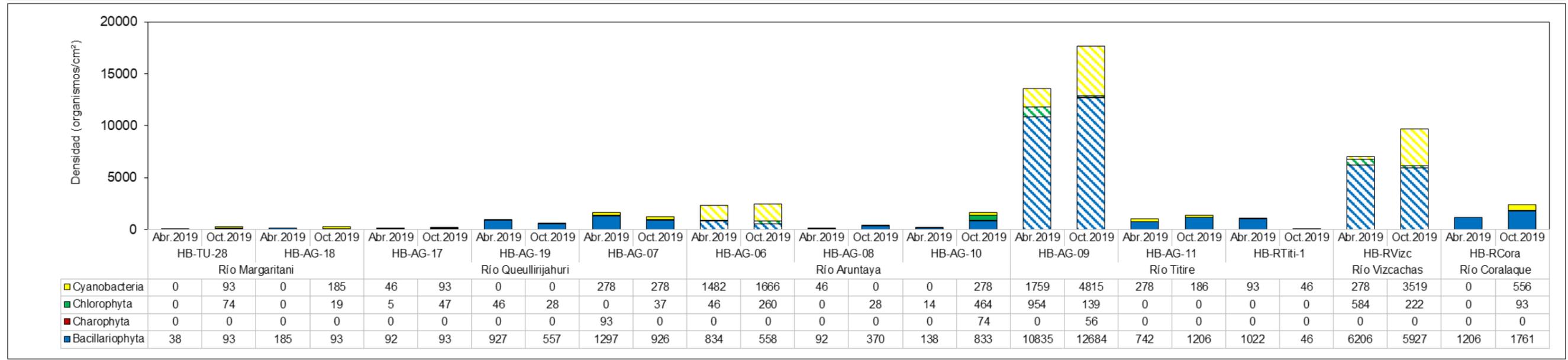
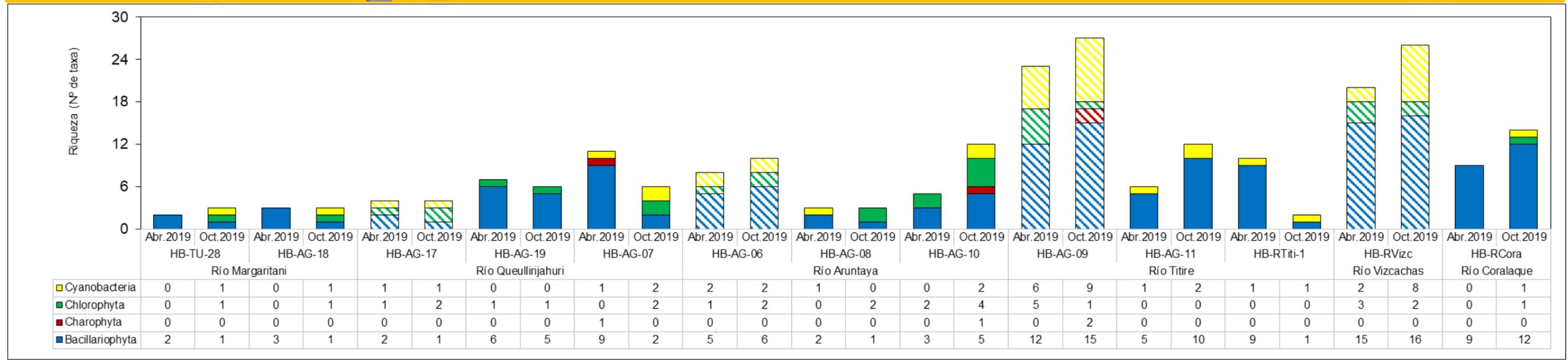
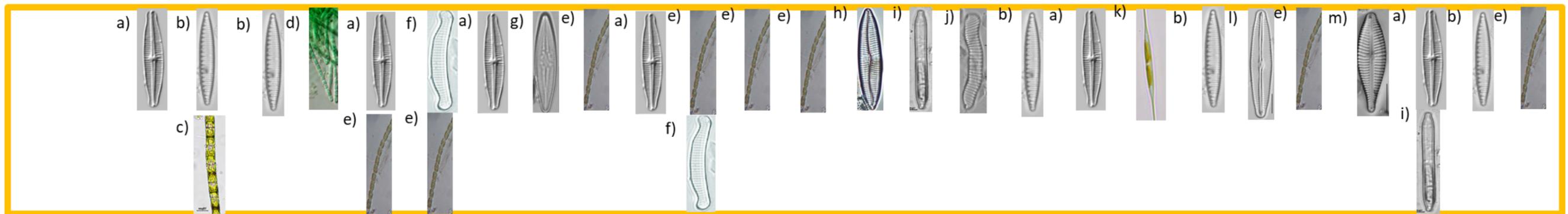


Figura 7.55. Riqueza y densidad de microalgas por phylum en los ríos Margaritani, Queullirijahuri, Aruntaya, Titire, Vizcachas y Coralque. Donde a) *Achnantheidium* sp., b) *Nitzschia* sp., c) *Microspora* sp., d) *Leptolyngbya* sp., e) *Pseudanabaena* sp., f) *Eunotia exigua*, g) *Nupela* sp., h) *Navicula* sp., i) *Ulnaria* sp., j) *Eunotia arcus*, k) *Nitzschia acicularis*, l) *Frustulia vulgaris* y m) *Gomphonema mexicanum*

Además, en ambos meses, según el ACP, los puntos RVizc, AG-06 y AG-09, ubicados aguas arriba de los ríos Vizcachas, Aruntaya y Titire, los cuales no presentan influencia de la UM Tucari, presentaron una correlación con calcio, sodio, potasio, magnesio y boro, y valores de pH (Figuras 7.56 y 7.57). Asimismo, según el ACC (Figuras 7.58, 7.59, 7.60 y 7.61) los puntos antes mencionados se encuentran asociados a las microalgas *Planothidium lanceolatum*, *Encyonema minutum*, *Ulnaria acus* y *Nostoc* sp., taxones que han sido reportadas para abril (Tabla 7.6), el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua (n=13), determinó que el primer componente (ACC1) explicó el 23,13% de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 18,54%. Por lo tanto, los primeros dos ejes explicaron el 41,67 % 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 negativo, los puntos HB-AG-9, HB-AG-10, HB-AG-11, HB-RVizc y HB-RCora se encontraron asociados a los metales potasio, sodio y calcio y presentaron correlación con las especies *Encyonema minutum*, *Stigeoclonium* sp.1, *Ulnaria ulna*, *Frustulia vulgaris* y *Planothidium lanceolatum*. Por otro lado, en el componente positivo, los puntos HB-TU-22, HB-TU-24, HB-TU-25, HB-TU-26 y HB-TU-27, ubicados en la quebrada Margaritani, junto con los puntos HB-AG-17 y HB-AG-19, ubicados en el río Queullirijahuiri, y los puntos HB-TU-12 y HB-TU-28, ubicados en la quebrada Apostoloni y río Margaritani respectivamente, presentaron correlación directa con los parámetros totales: cobre, cobalto, aluminio, manganeso, hierro, cromo y la variable sulfato, encontrándose asociadas con las especies *Achnanthydium* sp.1, *Frustulia* cf. *neofrenguelli* y *Frustulia* aff. *saxonica*.

En relación al eje 2, en el componente positivo, los puntos HB-AG-09 y AG-18 ubicados en los ríos Titire y Margaritani se encuentran asociadas a las especies *Surirella minuta* y *Nitzschia pumila*. Por otro lado, en el componente negativo, los puntos ubicados en el río Aruntaya (HB-AG-08 y HB-AG-06), río Queullirijahuiri (HB-AG-07) y quebrada Apostoloni (HB-P-5), se encontraron asociados a las especies *Nitzschia* aff. *bacata*, *Pseudanabaena* sp.2 y *Pseudanabaena* sp.1 (Figura 7.58).

En la Tabla 7.6 para octubre, el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua (n=16), determinó que el primer componente (ACC1) explicó el 31,95 % de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 26,68 %. Por lo tanto, los primeros dos ejes explicaron el 58,63 % 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 negativo, los puntos HB-AG-19, HB-AG-08, HB-AG-18 y HB-RTiti-1, presentaron correlación con las especies *Planothidium frequentissimum* y *Microspora* sp. Por otro lado, en el componente positivo, los puntos HB-AG-06 y HB-RVizc, ubicados en ríos tributarios, presentaron correlación directa con el parámetro arsénico total encontrándose asociados a las especies *Nostoc* sp. y *Ulnaria acus*.

En relación al eje 2, en el componente positivo, los puntos HB-TU-27, HB-P-5, HB-TU-24, HB-TU-25, HB-TU-26, HB-TU-22, HB-TU-12 y HB-AG-07 se encuentran asociados a la especie *Achnanthydium* sp.1 y a los metales cobre, zinc, cadmio, cromo, manganeso, aluminio, hierro, níquel y al parámetro sulfatos. Por otro lado, en el componente negativo, los puntos HB-RCora, HB-AG-17, HB-AG-11, HB-AG-09, HB-TU-11, y HB-TU-28 estuvieron asociados con las especies *Nitzschia palacea*, *Planothidium lanceolatum* y *Pseudoanabaena* sp.1, asociados a su vez con los parámetros totales magnesio, calcio, sodio, litio y potasio (Figura 7.59) en ambientes oligotróficos según Silva (1996); Alvial *et al* 2008, Reuter *et al.*, 1983 y Martínez de Fabricius *et al.* (2003); y macroinvertebrados bentónicos pertenecientes a las familias Gripopterygidae (Ej. *Claudioperla* sp.) y Elmidae (Ej. *Austrelmis* sp.). Según Beeckman (2017), la familia Gripopterygidae requiere buena calidad de agua para su desarrollo; mientras que 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), estos puntos a su vez presentan una relación directa con las variables ambientales descritas anteriormente.

Caso contrario se observa en los puntos, AG-18 (río Margaritani) y AG-08 (río Aruntaya), ubicados aguas abajo de la confluencia con los ríos afectados, y en los puntos AG-07, AG-17 y AG-19 (río Queullirijahuiri), ubicados aguas arriba y aguas abajo de la confluencia con el río Margaritani, se encuentran asociados a los metales Al, Ni, Mn, Co, Zn, Fe, As y sulfatos y a su vez están relacionados a las especies de microalgas tales como *Pseudanabaena* sp., *Nitzschia palacaea*, *Achnanthydium* sp., especies reportadas como tolerantes a metales pesados y condiciones de acidez, según Bray (2007), Hill *et al.* (2000), Sabater *et al.* (2003); Ponade y Potapova (2007); y a los macroinvertebrados bentónicos tales como *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp. (Figuras 7.58, 7.59, 7.60 y 7.61), pertenecientes a la familia Chironomidae, la cual ha sido descrita como tolerante a la exposición de metales pesados (Loayza-Muro *et al.*, 2014, Burgues, 2015).

7.4. ANÁLISIS MULTIVARIADO

En esta sección se presenta el análisis estadístico de las zonas 1, 2 y 3 con la información obtenida de los componentes agua, y comunidades hidrobiológicas en los meses de abril y octubre de 2019, mediante al análisis de componente ambientales (ACP) y el análisis de correspondencia canónica (ACC).

7.4.1. Análisis de componentes principales (ACP)

En la Figura 7.56, el ACP realizado para 22 variables de agua superficial en 40 puntos de muestreo en abril, agrupa en 2 componentes principales a la mayoría de las variables ambientales utilizadas en el análisis, explicando el eje 1 el 57,33 % de la variabilidad (% de la varianza) y el eje 2 el 16,88 %, explicando entre los 2 el 74,21 % de la variabilidad total del sistema. Para la distribución de los puntos de muestreo se observó un gráfico de ACP 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 7.4.

Asimismo, se observó que los valores de conductividad eléctrica, estroncio, potasio, calcio, sodio y bario son los principales factores que explican la variabilidad del eje 1 correlacionado con los puntos de muestreo ubicados en los puntos ubicados aguas arriba (AG-17, RVizc, AG-09 y AG-06) y con los puntos ubicados aguas abajo de las operaciones (RCora, AG-11, RTiti-1 y AG-10) y de manera positiva las variables cobre, zinc, cobalto y hierro se encuentran relacionadas con los afloramientos (MT-B02, TU-24, MT-60, MT-B014, MT-57, MT-57A, MT-B03 y MT-B013). Por otro lado, en el eje 2 se observó una relación de los puntos de muestreo AG-07, AG-08, TU-20, TU-25, TU-26 y MT-46 con las variables níquel, sulfato, manganeso y aluminio.

Tabla 0.4. Resultados del Análisis de componentes principales (ACP) para las variables consideradas en agua superficial para abril

Análisis de especies y parámetros		Componentes	
		PC 1	PC 2
		Correlación de Spearman (z)	
Parámetros	Conductividad eléctrica (CE)	-0,832	-0,258
	Estroncio total (Sr)	-0,785	0,361
	Potasio total (K)	-0,783	0,544
	Calcio total (Ca)	-0,775	0,233
	Sodio total (Na)	-0,742	0,355
	Bario total (Ba)	-0,717	0,594
	Cobre total (Cu)	0,842	0,383
	Zinc total (Zn)	0,849	0,423
	Cobalto total (Co)	0,888	-0,020
	Hierro total (Fe)	0,902	0,359
	Sulfato total (SO4-2)	0,935	-0,118
	Aluminio total (Al)	0,785	-0,337

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
		Correlación de Spearman (z)	
	Manganeso total (Mn)	0,416	-0,304
	Níquel total (Ni)	0,839	-0,029
Varianza explicada	% explicación por componente	57,33	16,88
	% explicación acumulado	57,33	74,21

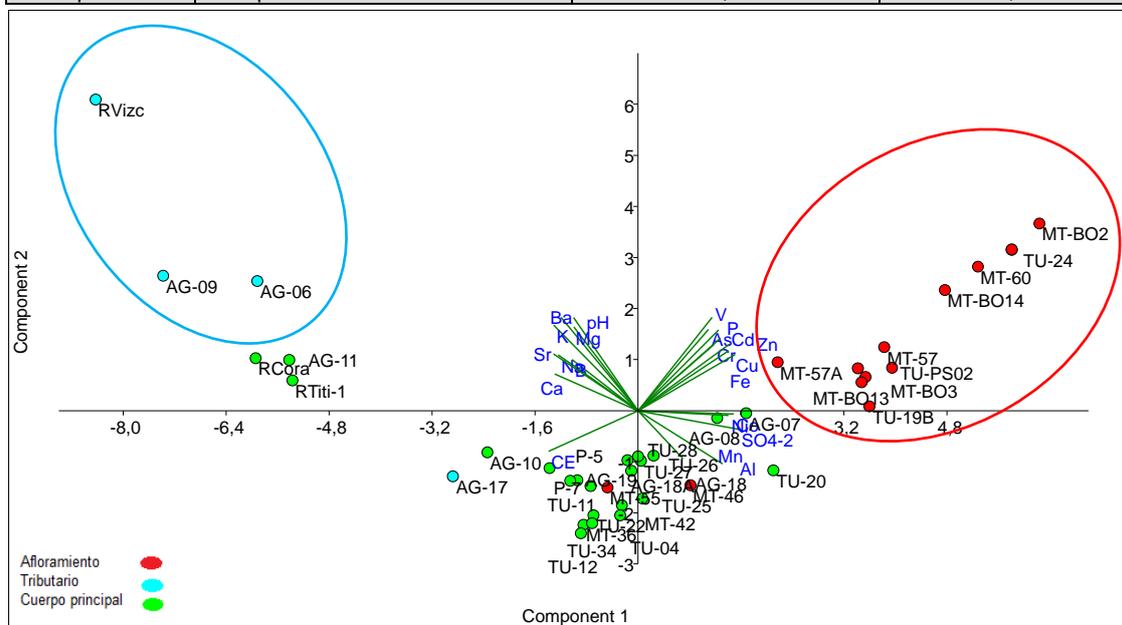


Figura 7.56. Distribución de las variables de agua superficial para abril en los dos primeros ejes del análisis de componentes principales (ACP)

Las abreviaturas de las variables ambientales se encuentran en la Tabla 6.12

En la Figura 7.57, el ACP realizado para 33 variables del agua superficial en 30 puntos de muestreo para octubre, agrupa en 2 componentes principales a la mayoría de las variables ambientales utilizadas en el análisis, explicando el eje 1 el 40,97 % de la variabilidad (% de la varianza) y el eje 2 el 17,54 %, explicando entre los 2 el 58,51 % de la variabilidad total del sistema. Para la distribución de los puntos de muestreo se observó un gráfico de ACP 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 7.5. Se observó que los valores de los metales totales sodio, boro, potasio, estroncio y bario; así como, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno (pH) son los principales factores que explican la variabilidad del eje 1 correlacionado de manera inversa con los puntos de muestreo AG-06 y RVizc, ubicados en los ríos tributarios Aruntaya y Vizcachas, por otro lado, los puntos ubicados en la quebrada Margaritani (TU-25, TU-26 y TU-27) se encontraron relacionados con las variables zinc, cobalto, hierro, cromo y níquel.

Por otro lado, en el eje 2 se observó una relación inversa con las variables sulfatos, aluminio, selenio y manganeso, asociadas a los puntos MT-36, MT-46, MT-42A, TU-20, TU-22, TU-28, AG-18 y AG-19; asimismo, las variables cobre, cadmio, uranio y arsénico se encontraron asociados con el punto de muestreo TU-24, el cual recibe la descarga del afloramiento MT-36.

Tabla 0.5. Análisis de componentes principales (ACP) para las variables consideradas en agua superficial para octubre

Análisis de especies y parámetros		Componentes	
		PC 1	PC 2
		Correlación de Spearman (z)	
Parámetros	Sodio total (Na)	-0,818	0,231
	Boro total (B)	-0,748	0,210
	Potasio total (K)	-0,743	0,270
	Estroncio total (Sr)	-0,695	0,253

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
		Correlación de Spearman (z)	
Conductividad eléctrica (CE)		-0,669	0,387
Litio total (Li)		-0,636	0,091
Bario total (Ba)		-0,620	0,506
Potencial de hidrógeno (pH)		-0,528	0,599
Zinc total (Zn)		0,754	0,533
Cobalto total (Co)		0,916	0,102
Níquel total (Ni)		0,907	0,028
Hierro total (Fe)		0,861	0,148
Cromo total (Cr)		0,785	0,490
Sulfato total (SO4-2)		0,717	-0,376
Aluminio total (Al)		0,795	-0,328
Selenio total (Se)		0,596	-0,180
Manganeso Total (Mn)		0,663	-0,021
Cobre total (Cu)		0,608	0,604
Cadmio total (Cd)		0,694	0,635
Uranio total (U)		0,576	0,657
Arsénico total (As)		0,338	0,746
Varianza explicada	% explicación por componente	40,97	17,54
	% explicación acumulado	40,97	58,51

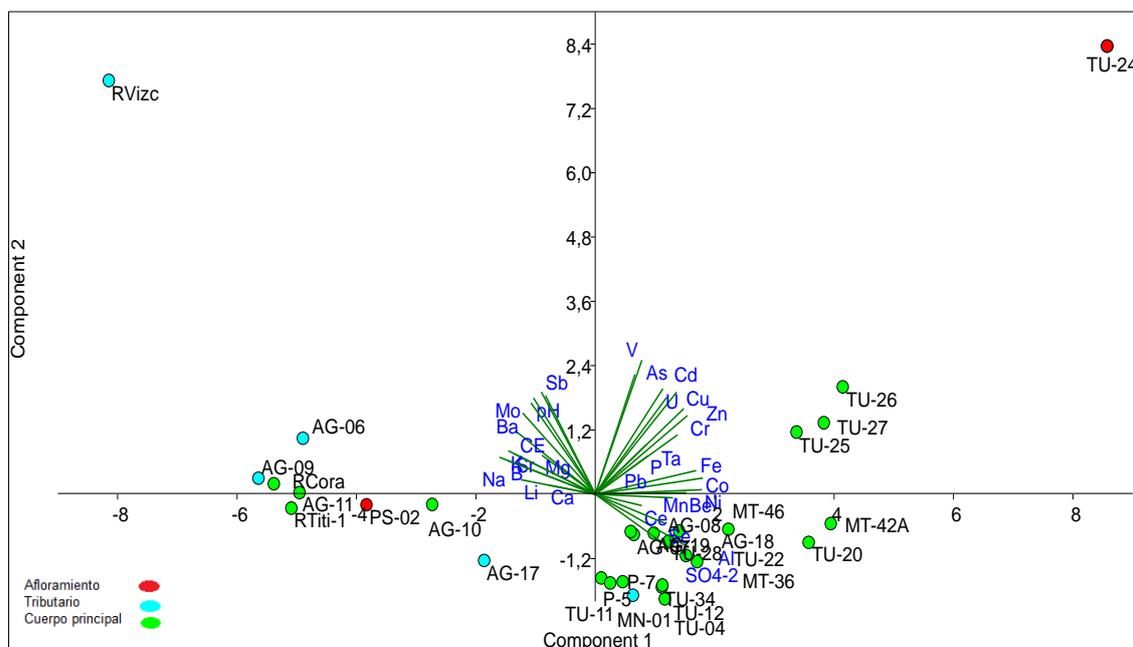


Figura 7.57. Distribución de las variables de agua superficial para octubre en los dos primeros ejes del análisis de componentes principales (ACP)

Las abreviaturas de las variables ambientales se encuentran en la Tabla 6.12

7.4.2. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

Microalgas

En abril el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua (n=13), determinó que el primer componente (ACC1) explicó el 23,13% de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 18,54% (Tabla 7.6). Por lo tanto, los primeros dos ejes explicaron el 41,67 % 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 negativo, los puntos HB-AG-9, HB-AG-10, HB-AG-11, HB-RVizc y HB-RCora se encontraron asociados a los metales potasio, sodio y calcio y presentaron correlación con las especies *Encyonema minutum*, *Stigeoclonium* sp.1, *Ulnaria ulna*, *Frustulia vulgaris* y *Planothidium lanceolatum*. Por otro lado, en el componente positivo,

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

los puntos HB-TU-22, HB-TU-24, HB-TU-25, HB-TU-26 y HB-TU-27, ubicados en la quebrada Margaritani, junto con los puntos HB-AG-17 y HB-AG-19, ubicados en el río Queullirijahuiri, y los puntos HB-TU-12 y HB-TU-28, ubicados en la quebrada Apostoloni y río Margaritani respectivamente, presentaron correlación directa con los parámetros totales: cobre, cobalto, aluminio, manganeso, hierro, cromo y la variable sulfato, encontrándose asociadas con las especies *Achnanthydium* sp.1, *Frustulia* cf. *neofrenguelli* y *Frustulia* aff. *saxonica*.

En relación al eje 2, en el componente positivo, los puntos HB-AG-09 y AG-18 ubicados en los ríos Titire y Margaritani se encuentran asociadas a las especies *Surirella minuta* y *Nitzschia pumila*. Por otro lado, en el componente negativo, los puntos ubicados en el río Aruntaya (HB-AG-08 y HB-AG-06), río Queullirijahuiri (HB-AG-07) y quebrada Apostoloni (HB-P-5), se encontraron asociados a las especies *Nitzschia* aff. *bacata*, *Pseudanabaena* sp.2 y *Pseudanabaena* sp.1 (Figura 7.58).

En octubre, el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua (n=16), determinó que el primer componente (ACC1) explicó el 31,95 % de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 26,68 % (Tabla 7.6). Por lo tanto, los primeros dos ejes explicaron el 58,63 % 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 negativo, los puntos HB-AG-19, HB-AG-08, HB-AG-18 y HB-RTiti-1, presentaron correlación con las especies *Planothidium frequentissimum* y *Microspora* sp. Por otro lado, en el componente positivo, los puntos HB-AG-06 y HB-RVizc, ubicados en ríos tributarios, presentaron correlación directa con el parámetro arsénico total encontrándose asociados a las especies *Nostoc* sp. y *Ulnaria acus*.

En relación al eje 2, en el componente positivo, los puntos HB-TU-27, HB-P-5, HB-TU-24, HB-TU-25, HB-TU-26, HB-TU-22, HB-TU-12 y HB-AG-07 se encuentran asociados a la especie *Achnanthydium* sp.1 y a los metales cobre, zinc, cadmio, cromo, manganeso, aluminio, hierro, níquel y al parámetro sulfatos. Por otro lado, en el componente negativo, los puntos HB-RCora, HB-AG-17, HB-AG-11, HB-AG-09, HB-TU-11, y HB-TU-28 estuvieron asociados con las especies *Nitzschia palacea*, *Planothidium lanceolatum* y *Pseudoanabaena* sp.1, asociados a su vez con los parámetros totales magnesio, calcio, sodio, litio y potasio (Figura 7.59).

Tabla 0.6. Resultados del análisis de correspondencia canónica (CCA) del ensamble de microalgas en relación a los meses evaluados a) abril y b) octubre, sobre las variables ambientales (agua superficial) ordenadas en relación a su correlación (*spearman*)

a) Abril			b) Octubre		
Variable	CCA 1(23,13%)	CCA 2(18,54%)	Variable	CCA 1(31,95)	CCA 2(26,68)
<i>Encyonema minutum</i>	-1,203	0,554	<i>Planothidium frequentissimum</i>	-0,590	-0,239
<i>Stigeoclonium</i> sp.1	-1,202	0,501	<i>Microspora</i> sp.	-0,216	0,084
<i>Ulnaria ulna</i>	-1,176	0,250	<i>Nostoc</i> sp.	2,198	0,288
<i>Planothidium lanceolatum</i>	-1,184	-0,903	<i>Ulnaria acus</i>	1,933	0,112
<i>Frustulia vulgaris</i>	-0,823	-0,785	<i>Nitzschia palacea</i>	-0,361	-1,619
<i>Ulnaria ulna</i>	-1,176	0,250	<i>Planothidium lanceolatum</i>	-0,551	-1,602
<i>Achnanthydium</i> sp.1	1,260	0,409	<i>Pseudanabaena</i> sp.1	0,524	-0,877
<i>Frustulia</i> aff. <i>saxonica</i>	2,876	3,409	<i>Achnanthydium</i> sp.1	-0,589	1,029
<i>Frustulia</i> cf. <i>neofrenguelli</i>	0,197	0,267	HB-AG-19	-0,216	0,084
<i>Nitzschia</i> aff. <i>bacata</i>	0,597	-1,431	HB-AG-18	-0,216	0,084
<i>Pseudanabaena</i> sp.2	0,449	-1,089	HB-AG-08	-0,216	0,084
<i>Pseudanabaena</i> sp.1	0,645	-0,932	HB-RTiti-1	-0,032	0,076
<i>Surirella minuta</i>	-1,221	1,905	HB-RCora	0,876	-0,630
<i>Nitzschia pumila</i>	-0,900	2,073	HB-AG-17	0,248	-0,343

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

a) Abril			b) Octubre		
Variable	CCA 1(23,13%)	CCA 2(18,54%)	Variable	CCA 1(31,95)	CCA 2(26,68)
HB-AG-10	-1,176	0,250	HB-TU-11	0,455	-0,787
HB-AG-11	-1,176	0,250	HB-AG-11	-0,361	-1,619
HB-RVizc	-0,837	-0,431	HB-AG-09	-0,516	-1,291
HB-RCora	-0,678	-0,128	HB-TU-28	-0,297	-0,864
HB-AG-17	0,952	-0,261	HB-AG-06	1,022	0,087
HB-TU-25	0,497	-0,351	HB-RVizc	2,071	0,204
HB-TU-24	0,854	-0,340	HB-TU-27	-0,501	0,883
HB-TU-22	1,260	0,409	HB-P-5	-0,554	0,941
HB-TU-26	1,260	0,409	HB-TU-24	-0,556	0,945
HB-TU-27	1,260	0,409	HB-AG-07	-0,584	1,016
HB-AG-19	1,982	1,749	HB-TU-25	-0,589	1,029
HB-TU-12	1,260	0,409	HB-TU-26	-0,589	1,029
HB-TU-28	1,260	0,409	HB-TU-22	-0,586	0,655
HB-AG-08	0,523	-1,260	Magnesio total (Mg)	0,687	-0,429
HB-AG-06	0,115	-0,787	Calcio total (Ca)	0,719	-0,385
HB-P-5	0,086	-0,760	Sodio total (Na)	0,388	-0,583
HB-AG-09	-0,982	0,994	Litio total (Li)	0,155	-0,402
HB-AG-18	-0,352	1,170	Potasio total (K)	0,636	-0,402
Cobre total (Cu)	0,247	-0,047	Cobre total (Cu)	-0,280	0,316
Cobalto total (Co)	0,571	0,125	Zinc total (Zn)	-0,303	0,365
Aluminio total (Al)	0,578	0,098	Cadmio total (Cd)	-0,304	0,379
Sulfatos (SO4-2)	0,718	0,165	Cromo total (Cr)	-0,481	0,483
Manganeso total (Mn)	0,359	0,136	Manganeso total (Mn)	-0,295	0,533
Hierro total (Fe)	0,399	0,528	Sulfatos (SO4-2)	-0,339	0,540
Cromo total (Cr)	0,401	0,540	Aluminio total (Al)	-0,569	0,554
Potasio total (K)	-0,569	-0,204	Hierro total (Fe)	-0,422	0,572
Calcio total (Ca)	-0,389	0,039	Níquel total (Ni)	-0,546	0,574
Sodio total (Na)	-0,369	0,072	Cobalto total (Co)	-0,525	0,584
			Arsénico total (As)	0,359	0,278

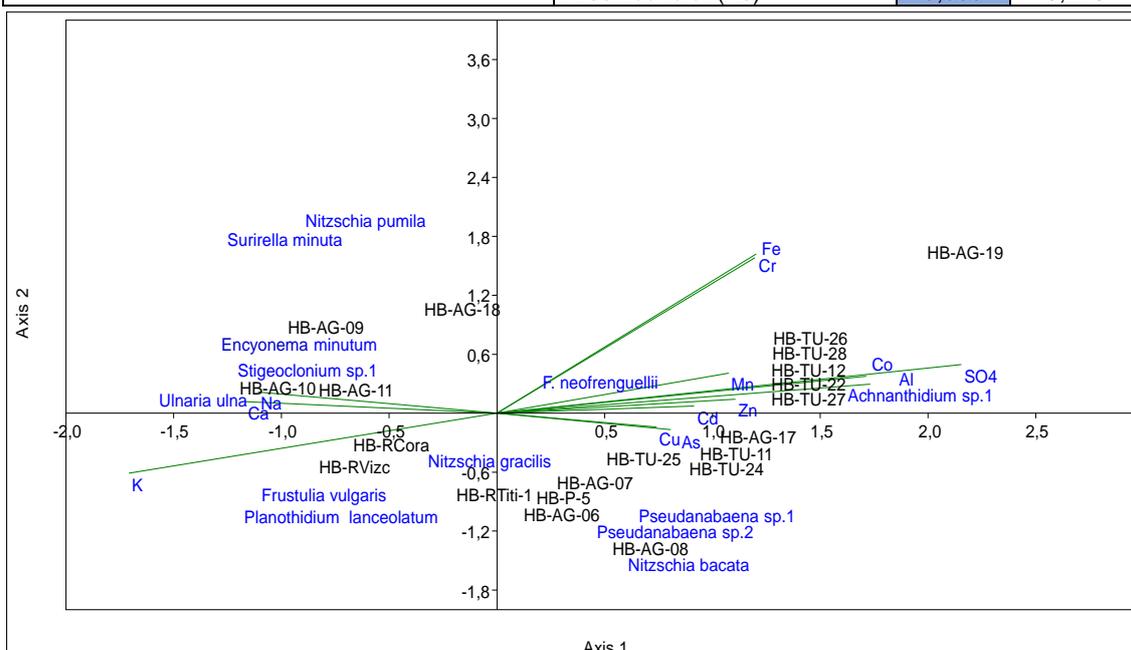


Figura 7.58. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en relación a las variables ambientales (agua superficial) y el ensamble de microalgas en abril. Donde: *F. neofrenguelli* = *Frustulia* cf. *neofrenguelli*.

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

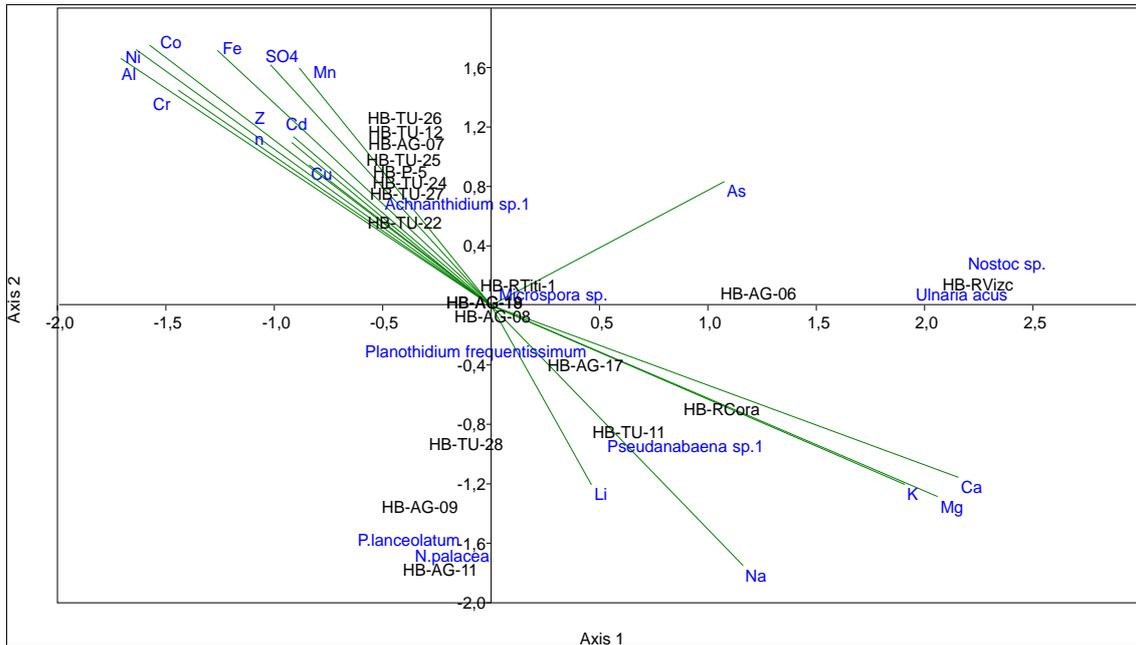


Figura 7.59. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) en relación a las variables ambientales (agua superficial) y el ensamble de microalgas en octubre. N. palacea = *Nitzschia palacea* y P. lanceolatum = *Planothidium lanceolatum*.

Macroinvertebrados bentónicos

En abril, el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua (n=20), determinó que el primer componente (ACC1) explicó el 45,29% de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 27,27 % (Tabla 7.7). Por lo tanto, los primeros dos ejes explicaron el 72,76% 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, los puntos HB-TU-27, HB-TU-11, HB-RTiti-1 y HB-AG-18 se encontraron asociados a los metales magnesio, sodio y boro y presentaron correlación con las especies *Metrichia sp.*, *Haplotaxidae n.d* y *Austrelmis sp.* Por otro lado, en el componente positivo, los puntos HB-AG-07 y HB-AG-17, ubicados en el río Queullirijahuiri y los puntos HB-TU-22, HB-TU-25 y HB-TU-28, ubicados en la quebrada y río Margaritani respectivamente, presentaron correlación directa con los metales manganeso, aluminio, níquel, cobalto, zinc y la variable sulfato, encontrándose asociadas con las especies *Podonomus sp.* y *Clinocera sp.*

En relación al eje 2 en el componente positivo, el punto HB-RVizc, ubicado en el tributario río Vizcachas, se encuentra asociada a las especies *Claudioperla sp.*, *Cailloma sp.*, *Andesiops sp.* y *Podonopsis sp.* y a los metales bario y potasio y potencial de hidrógeno. Por otro lado, en el componente negativo, los puntos HB-AG-10, HB-P-5 y HB-AG-08, presentaron relación con las especies *Cricotopus sp.*, *Gygantodax sp.* y *Parochlus sp.* (Figura 7.60).

En octubre el ACC agrupó en 2 componentes a los parámetros de agua (n=25), determinó que el primer componente (ACC1) explicó el 41,15 % de la variabilidad total, mientras que ACC2 explicó el 30,85 % (Tabla 7.7). Por lo tanto, los primeros dos ejes explicaron el 72,3 % 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, los puntos HB-AG-08, HB-AG-17, HB-AG-19, HB-TU-28, HB-TU-11 y HP-E-5, se encontraron relacionados con los metales aluminio y berilio, presentando correlación con la especie *Podonomus sp.* Por otro lado, en el

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

componente positivo, el punto HB-RVizc presentó correlación directa con arsénico y se encontró asociado a las especies *Claudioperla* sp., *Metrichia* sp., *Tanytarsus* sp. y *Austrelmis* sp., mientras que el punto HB-AG-06, presentó correlación directa con bario y potencial de hidrógeno, encontrándose asociada con las especies *Andesiops* sp. y *Cricotopus* sp.

En relación al eje 2 en el componente positivo, los puntos HB-RTiti-1, HB-AG-11, HB-AG-10 y HB-AG-09, se encontraron asociados a las especies *Haplotaxidae* n.d, *Limnophora* sp. y *Ephydriidae* sp. y a los metales boro, litio y estroncio. Por otro lado, en el componente negativo, los puntos HB-TU-27, HB-TU-22 y HB-AG-18 estuvieron asociados con las especies *Chelifera* sp. y *Clinocera* sp. y con los metales cromo, fosforo, hierro, cobalto, níquel, sulfatos y zinc (Figura 7.61).

Tabla 0.7. Resultados del análisis de correspondencia canónica (CCA) del ensamble del macroinvertebrados bentónicos en relación a los meses evaluados a) abril y b) octubre, sobre las variables ambientales (agua superficial) ordenadas en relación a su correlación (*spearman*)

Variable	a) Abril		Variable	b) Octubre	
	CCA 1(45,29%)	CCA 2(27,27%)		CCA 1(41,45)	CCA 2(30,85)
<i>Podonomus</i> sp.	2,120	0,079	<i>Claudioperla</i> sp.	1,542	-1,276
<i>Clinocera</i> sp.	2,646	0,143	<i>Metrichia</i> sp.	1,534	-1,260
<i>Metrichia</i> sp.	-0,547	0,389	<i>Tanytarsus</i> sp.	1,506	-1,203
Haplotaxidae n.d	-0,333	0,022	<i>Austrelmis</i> sp.	1,386	-0,959
<i>Austrelmis</i> sp.	-0,416	0,068	<i>Andesiops</i> sp.	0,948	-0,069
<i>Cricotopus</i> sp.	-0,477	-1,118	<i>Podonomus</i> sp.	-1,114	-0,542
<i>Gygotodax</i> sp.	-0,434	-1,083	Haplotaxidae n.d	0,602	0,628
<i>Parochlus</i> sp.	-0,044	-0,873	<i>Limnophora</i> sp.	0,004	0,783
<i>Claudioperla</i> sp.	-0,286	2,282	<i>Ephydriidae</i> sp.	0,149	1,578
<i>Cailloma</i> sp.	-0,612	2,519	<i>Chelifera</i> sp.	-0,115	-0,591
<i>Podonomopsis</i> sp.	-0,612	2,519	<i>Clinocera</i> sp.	0,459	-1,538
<i>Andesiops</i> sp.	-0,590	1,806	Arsénico total (As)	0,506	-0,543
Cobre total (Cu)	0,212	-0,141	Potencial de hidrógeno	0,598	-0,210
Cadmio total (Cd)	0,248	0,240	Bario total(Ba)	0,658	-0,073
Hierro total (Fe)	0,280	-0,078	Aluminio total (Al)	-0,692	-0,580
Zinc total (Zn)	0,326	-0,026	Conductividad eléctrica	0,566	0,648
Sulfatos (SO4-2)	0,433	-0,118	Boro total (B)	0,580	0,661
Cobalto total (Co)	0,485	0,070	Litio total (Li)	0,427	0,697
Níquel total (Ni)	0,497	0,073	Estroncio total (Sr)	0,753	0,529
Aluminio total(Al)	0,595	-0,101	Cromo total (Cr)	-0,205	-0,784
Manganeso total (Mn)	0,626	-0,081	Fosforo total (P)	0,216	-0,742
Magnesio total (Mg)	-0,396	0,059	Hierro total (Fe)	-0,327	-0,705
Sodio total (Na)	-0,511	-0,035	Cobalto total (Co)	-0,376	-0,642
Boro total (B)	-0,461	-0,086	Níquel total (Ni)	-0,511	-0,640
Bario total(Ba)	-0,348	0,392	Sulfatos (SO4-2)	-0,592	-0,636
Potencial de hidrógeno (pH)	-0,318	0,526	Zinc total (Zn)	-0,202	-0,610
Potasio total (K)	-0,462	0,305	HB-RVizc	1,292	-0,794
HB-AG-07	1,395	0,076	HB-AG-06	0,919	-0,234
HB-TU-25	1,486	0,076	HB-AG-08	-1,114	-0,542
HB-TU-28	1,757	0,077	HB-AG-19	-1,114	-0,542
HB-AG-17	2,026	0,075	HB-TU-28	-1,114	-0,542
HB-TU-22	2,120	0,079	HB-TU-11	-1,114	-0,542
HB-TU-27	-0,42	0,07	HB-AG-17	-1,102	-0,534
HB-TU-11	-0,42	0,07	HB-P-5	-0,944	-0,477
HB-AG-18	-0,15	-0,08	HB-RTiti-1	0,082	0,414
HB-RTiti-1	-0,346	-0,303	HB-AG-11	0,445	0,521
HB-AG-10	-0,355	-0,957	HB-AG-10	0,429	0,806
HB-P-5	0,038	-0,680	HB-AG-09	0,109	1,008
HB-AG-08	0,160	-0,615	HB-TU-27	0,46	-1,538

ya que: 1) aguas abajo (TU-27) de los afloramientos en abril y junio 2019 se registró pH más ácido y mayores concentraciones de arsénico, cobre y hierro total que superaron los Estándares de Calidad Ambiental para agua 2008, categoría 3, tanto aguas arriba (MT-42) como aguas abajo, mientras que en octubre 2019 el punto MT-42 (naciente de la quebrada Margaritani) se encontró sin flujo; y 2) en el sedimento, se incrementaron las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo que superaron referencialmente el valor *Probable Effect Level* (PEL) de la norma canadiense; además, presentaron concentraciones de aluminio, hierro y manganeso que al estar en un medio ácido también influyeron en la calidad de esta quebrada en abril y octubre 2019.

Lo descrito líneas arriba, se evidenció por la escasa riqueza y densidad de organismos de microalgas y macroinvertebrados bentónicos en los puntos evaluados, con presencia de especies tolerantes a metales y pH ácido como la microalga *Achnanthydium* sp., y los macroinvertebrados bentónicos *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp., presentando una calidad ecológica pésima en abril y octubre 2019.

Cabe indicar que en abril se registró incremento en la concentración de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc total en la quebrada Margaritani (TU-27) debido a la aporte de los afloramientos MT-60, TU-19B, MT-46, MT-BO2, MT-BO3, MT-BO14 y TU-24, provenientes del depósito de desmonte norte, que fueron disminuyendo progresivamente en junio y octubre 2019.

8.2. Quebrada Apostoloni Norte

La quebrada Apostoloni Norte presentó mayor concentración de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc total en el punto TU-04 (aguas abajo del PAD de lixiviación) en comparación con el punto TU-12 (aguas arriba) en agosto 2017, abril, junio y octubre 2019. Asimismo, solo en abril 2019, el punto TU-04 registró incrementos en las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, níquel y zinc total en comparación con el punto TU-34, debido al aporte de afloramientos provenientes de la parte baja del sistema de tratamiento de agua del Tajo Tucari (TU-PS02).

8.3. Quebrada Apostoloni Sur

La quebrada Apostoloni Sur presentó elevada concentración de metales totales desde su nacimiento hasta antes de su confluencia con la quebrada Margaritani que afecta la calidad de sus aguas, ya que: 1) aguas abajo del PAD, de la quebrada Apostoloni Norte y del vertimiento PS-02 el pH de esta quebrada es más ácido y registra mayor concentración de arsénico, cobre y manganeso total que superaron los Estándares de Calidad Ambiental para agua 2008, categoría 3; y 2) en el sedimento, se incrementaron las concentraciones de arsénico y cadmio que superaron referencialmente el valor *Probable Effect Level* (PEL) de la norma canadiense; además, presentaron 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.

Ello se evidenció con la baja riqueza y densidad de organismos de microalgas y macroinvertebrados bentónicos en los puntos HB-P-5 y HB-TU-11, además de la presencia de especies tolerantes a metales y pH ácidos tales como los macroinvertebrados bentónicos *Cricotopus* sp. y *Podonomus* sp. y a las microalgas *Achnanthydium* sp. y *Pseudanabaena* sp. Además, estos puntos presentaron una calidad ecológica pésima en ambos meses debido a la ausencia de vegetación ribereña y la escasa disponibilidad de hábitats que influyeron negativamente en el desarrollo de las comunidades hidrobiológicas.

8.4. Río Margaritani y tributarios

El río Margaritani influye en la calidad del agua de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Vizcachas y Coralque ya que: 1) se evidenció el incremento de aluminio, arsénico, boro,

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

cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, níquel, manganeso, plomo y zinc total en los ríos Queullirijahuiri (AG-19), Aruntaya (AG-08), Titire (AG-11) en comparación con sus puntos ubicados aguas arriba, luego del aporte de los ríos afectados; además, el río Titire incrementó los metales mencionados en el río Vizcachas al formar el río Coralque. De los metales totales mencionados, el aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso (AG-19, AG-08 y AG-11), boro (AG-11), níquel y zinc (AG-19 y AG-08) superaron los Estándares de Calidad Ambiental agua 2008, categoría 3. Esta influencia también se corrobora al comparar con la data histórica de abril y junio 2019; y 2) en el sedimento, el incremento de arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio y plomo, a excepción del cromo en los ríos Queullirijahuiri (SED-AG-19), Aruntaya (SED-AG-08), Titire (SED-AG-11) en comparación con sus puntos ubicados aguas arriba, luego del aporte de los ríos afectados; asimismo, luego del aporte del río Vizcachas disminuyeron los metales mencionados a excepción del plomo en el río Coralque. Esta influencia también se corroboró al comparar con lo reportado en abril 2019. Asimismo, el cromo en octubre 2019 y arsénico en abril y octubre de 2019 superaron el valor *Probable Effect Level* (PEL) de la norma canadiense, donde solo el arsénico presente en el sedimento también influyó en la calidad del agua en todos los puntos evaluados.

Lo descrito anteriormente se corrobora con la disminución en los puntos HB-AG-08 (río Aruntaya) y HB-TU-11 (río Titire), de la riqueza y densidad de organismos, en comparación con sus puntos aguas arriba; prevaleciendo los taxones *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp., pertenecientes a la familia Chironomidae, reportada en ambientes ácidos y con alta carga de metales pesados. Por otro lado, en el río Queullirijahuiri (HB-AG-19) influenciado por el río Margaritani, registró un ligero incremento en la riqueza y densidad de microalgas respecto al HB-AG-17 (aguas arriba), debido al aporte de materia orgánica por el pastoreo realizado en la zona y a la mayor disponibilidad de hábitats; sin embargo, registró especies tolerantes a alta concentración de metales como *Pseudanabaena* sp. y *Podonomus* sp.

De acuerdo al análisis multivariado, los puntos RVizc (río Vizcachas), AG-06 (río Aruntaya) y AG-09 (río Titire), ubicados aguas arriba de la confluencia con los ríos afectados, los cuales no presentan influencia de la unidad minera Tucari, presentaron una correlación con calcio, sodio, potasio, magnesio y boro, y valores de pH y una asociación con las microalgas y macroinvertebrados que han sido reportadas en ambientes oligotróficos y de buena calidad de agua; mientras que, AG-18 (río Margaritani) y AG-08 (río Aruntaya), ubicados aguas abajo, y en los puntos AG-07, AG-17 y AG-19 (río Queullirijahuiri), ubicados aguas arriba y aguas abajo de la confluencia con el río Margaritani, se encontraron correlacionados con los sulfatos y metales totales aluminio, níquel, manganeso, cobalto, zinc, hierro y arsénico, que a su vez registraron asociaciones con las microalgas y macroinvertebrados que han sido reportadas en ambientes con altas concentraciones de metales y pH ácidos.

9. RECOMENDACIONES

Remitir a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas para los fines que se estimen convenientes.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Alvia I.E; Cruces F.J; Araneda A.E; Grosjean M y Urrutia R.E. (2008). Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 83-94.
- Barinova, S. (2011). *Algal diversity in the river ecosystems of the Eastern Mediterranean*.

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

- 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 y Casatti (1997). The fish fauna from a small forest stream of the upper Paraná River basin, southeastern Brazil. *Ichthyo. Expl. Freshwaters*, 7, 337-352.
- Cuadras, C. (2014). *Nuevos Métodos de Análisis Multivariante*. Barcelona, España: CMC Editions.
- 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.
- 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.
- 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.
- Encalada, A.C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluaciones de la calidad de ríos andinos (CERA-S)*. Quito: USFQ, UB, AECIO, FONAG.
- Fornaroli R., Ippolito A., Tolkkinen M., Mykra H., Muotka T., Balistrieri L. y Schmidt T. (2018). Disentangling the effects of low pH and metal mixture toxicity on macroinvertebrate diversity. *Finland Environmental Pollution* 235 (2018) 889-898.
- Fuentes, S. (2011). *Componentes principales*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- 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/>
- 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.
- Janssens L., Gerhardt A., Soares A. Chironomidae larvae as bioindicators of an acid mine drainage in Portugal. *Hydrobiologia* (2005) 532: 181–191.
- 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.
- Martínez de Fabricius, A. L., Maidana, N., Gómez, N. & Sabater, S. (2003). Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation*, 12, 2443-2454

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

- Ponade K y Potapova M. 2007. Diatoms from the genus *Achnantheidium* in flowing waters of the Appalachian Mountains (North America): Ecology, distribution and taxonomic notes. *Limnologica*, 37 (2007) 227–241. USA.
- Pomfret, J. (1974). *Aspects of the acid tolerance of algae from the Durham area*, Durham theses, Durham University.
- Raddum, G., A. F. Jellheim & T. Hesthagen. (1988). Monitoring of acidification by the use of aquatic organisms. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23: 2291-2297.
- Reuter, J. E., Loeb, S. L. & Goldman, C. R. (1983). Nitrogen fixation in periphyton of oligotrophic Lake Tahoe. in Wetzel, R. G. [Ed.] *Periphyton of Freshwater Ecosystems*. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, pp. 10 1-9.
- 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.
- Silva-Benavides, M. (1996). The epilithic diatom flora of a pristine and a polluted river in Costa Rica, Central America. *Diatom. Res.* 11: 105-142.
- Ter Braak, C. J. F. & Verdonschot, P. F. M. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Science* 57(3), 255-287.
- 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) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. LIMA, PERU. / Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología, Lima: Ministerio del Ambiente. 75 p.

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

11. ANEXOS

- Anexo 1: Mapa de ubicación de la UM Tucari
- 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
- Anexo 11: Análisis estadístico
- Anexo 12: Registro audiovisual

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: 00948496"



00948496