



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



Organismo
de Evaluación
y Fiscalización
Ambiental

INFORME N° 078 - 2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA

**EVALUACIÓN AMBIENTAL TEMPRANA
EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
PROYECTO MINERO TÍA MARÍA Y ZONAS
ALEDAÑAS, EN LOS DISTRITOS DE
COCACHACRA, DEÁN VALDIVIA, PUNTA
DE BOMBÓN Y MEJÍA, PROVINCIA DE
ISLAY, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA,
DURANTE EL AÑO 2017**



1
A
K
1
R

COORDINACIÓN DE MONITOREO Y VIGILANCIA AMBIENTAL

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

Noviembre de 2017



PERÚ

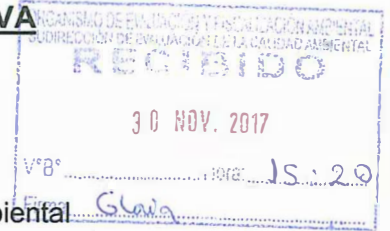
Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

INFORME N.º 078-2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA



A : FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN
Director de Evaluación

SONIA BEATRIZ ARANÍBAR TAPIA
Subdirectora de Evaluación de la Calidad Ambiental

DE : PABEL DALMIRO DEL SOLAR PALOMINO
Coordinador de Monitoreo y Vigilancia Ambiental

LLOJAN CHUQUISENGO PICON
Especialista en Monitoreo y Vigilancia Ambiental

DAN NELSON HERRERA AYOQUÉ
Especialista en Monitoreo y Vigilancia Ambiental

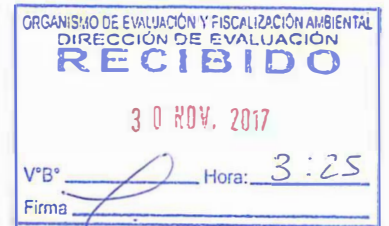
CÉSAR GREGORIO ESPÍRITU LIMAY
Tercero Evaluador

JESSICA ADELA ESPINO CIUDAD
Tercera Evaluadora

KILMENIA LUNA CAMPOS
Tercera Evaluadora

JORGE LUÍS FERNÁNDEZ NAJARRO
Tercero Evaluador

JORGE IVÁN GARCÍA RIEGA
Tercero Evaluador



ASUNTO : Informe de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017.

REFERENCIA: Planefa 2017

FECHA : Lima, 30 NOV. 2017

2017-201-1313

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted con relación al asunto de la referencia, a fin de informar lo siguiente:

I. INFORMACIÓN GENERAL

1. Detalles del monitoreo ambiental:

a.	Ubicación general	Distritos Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa
b.	Ámbito de influencia	Área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en las que se desarrollan actividades agrícolas.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

c.	Problemática	Posible alteración de las condiciones ambientales, producto de futuras actividades de explotación minera a realizarse por el desarrollo del proyecto Tía María.
d.	Motivo por el cual se realiza la actividad	Actividad establecida en el Planefa 2017 del OEFA.
e.	Tipo de Evaluación Ambiental	Participativo <input type="checkbox"/>
		No Participativo <input checked="" type="checkbox"/>
		Vigilancia Ambiental <input type="checkbox"/>
f.	Periodo de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Visita de reconocimiento: del 13 al 18 de febrero de 2017. • Coordinación previa: del 13 al 17 de marzo de 2017. • Taller de inducción y presentación de la propuesta del plan de evaluación ambiental temprana: del 17 al 20 de abril de 2017. • Ejecución de la evaluación ambiental temprana: del 06 al 15 de mayo de 2017.

2. Equipo profesional:

Tabla 2-1. Profesionales encargados de la evaluación ambiental temprana

Ítem	Evaluator	Profesión	Actividad	Colegiatura
1	Llojan Chuquisengo Pícon (*)	Químico	Evaluación de calidad de suelo y tejido vegetal	CQP 906
2	Jorge Luis Fernández Najarro	Bach. en Ing. Ambiental		---
3	César Gregorio Espíritu Limay	Químico	Evaluación de agua y sedimento	CQP 903
4	Dan Nelson Herrera Ayoque	Ing. Pezquero		CIP 151605
5	Jessica Adela Espino Ciudad	Bióloga	Evaluación de comunidades hidrobiológicas	CBP 13188
6	Kilmenia Luna Campos	Bióloga		CBP 11450
7	Jorge García Riega	Ing. Electrónico	Evaluación de calidad de aire	CIP 138099

(*) Líder de equipo

3. Resumen

Tabla 3-1. Componentes ambientales evaluados y resumen de los resultados obtenidos

Componentes evaluados	N° de puntos monitoreados	N° de puntos en los que no se cumplieron los ECA u otras normas de referencia	¿Qué parámetros?	¿En qué puntos de muestreo?
Agua (a)	23	18	Oxígeno disuelto	<ul style="list-style-type: none"> • Río Tambo: RTamb6 • Quebrada Rosa María: QRMar2 • SNLM: LINor1 y LBoq1.
			Cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • Río Tambo: RTamb6. • Quebrada Rosa María: QRMar1 y QRMar2.
			Conductividad	<ul style="list-style-type: none"> • Río Tambo: RTamb6. • Quebrada Rosa María: QRMar1 y QRMar2.
			Sólidos Disueltos Totales (SDT)	<ul style="list-style-type: none"> • Río Tambo: RTamb6. • Quebrada Rosa María: QRMar1 y QRMar2.
			Sulfatos	<ul style="list-style-type: none"> • Quebrada Rosa María: QRMar1.
			Calcio	<ul style="list-style-type: none"> • Quebrada Rosa María: QRMar1.
			Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<ul style="list-style-type: none"> • Río Tambo: RTamb6. • Quebrada Rosa María: QRMar2.
Arsénico	<ul style="list-style-type: none"> • Río Tambo: RTamb1, RTamb2, RTamb3, RTamb4, RTamb5, RTamb6 y RTamb7. 			



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Componentes evaluados	N° de puntos monitoreados	N° de puntos en los que no se cumplieron los ECA u otras normas de referencia	¿Qué parámetros?	¿En qué puntos de muestreo?
			Boro	<ul style="list-style-type: none"> • Canales de riego: CAT-01, CAEMM-01, CAEMM-02, CAEMM-03, CAEMN-04 y CAPB-01. • Río Tambo: RTamb1, RTamb2, RTamb3, RTamb4, RTamb5, RTamb6 y RTamb7. • Canales de riego: CAT-01, CAEMM-01, CAEMM-02, CAEMM-03, CAEMN-04 y CAPB-01. • Quebrada Rosa María: QRMar1 y QRMar2. • Manantial Santo Domingo: MSDom1.
			Magnesio	• Quebrada Rosa María: QRMar1 y QRMar2 .
			Manganeso	• Río Tambo: RTamb6 .
			Arsenico	<ul style="list-style-type: none"> • Río Tambo: RTamb1, RTamb2, RTamb3, RTamb4, RTamb5, RTamb6 y RTamb7. • SNLM: LMej1, LISur1, LISur2, LICen1, LINpr1, LINor2, LBoq1.
Sedimentos ^(b)	14	14	Cadmio	• Río Tambo: RTamb5
			Cobre	<ul style="list-style-type: none"> • Río Tambo: RTamb4, RTamb5, RTamb6 y RTamb7. • SNLM: LBoq1.
			Plomo	• Río Tambo: RTamb5
Hidrobiología ^(c)	14	--	--	--
Tejido Vegetal ^(c)	7	--	--	--
Aire ^(d)	2	1	SO ₂	• AIR-02
Suelo ^(e)	38	3	Arsénico	• Suelo de uso agrícola: SUE-Agri11, SuE-Agri12 y SUE-Agri13

(a) Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales", Subcategorías (D1 y D2) y Categoría 4 "Conservación del ambiente acuático", Subcategoría E1 "Lagos y lagunas" establecido en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

(b) CEQG (Guías de Calidad Ambiental de Canadá)-SQG (Guías de Calidad para sedimentos) actualizado al 2014 ISQG (Guías para calidad de sedimentos interinos) y PEL (Nivel de Efecto Probable).

(c) No aplica

(d) Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, establecido mediante Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM para SO₂.

(e) Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos de uso agrícola, establecido mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM (comparación referencial para nivel de fondo).

II. OBJETIVO

- Presentar los resultados de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017.

III. ANTECEDENTES

- La actividad que es materia del presente informe fue planificada en cumplimiento a la función del OEFA establecida en la Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante, Sinefa), cuyo ejercicio permite establecer el diagnóstico de la calidad ambiental en forma puntual, con énfasis en aquellas actividades fiscalizables por el OEFA, comprendiendo acciones de vigilancia, monitoreo y otras similares según sus competencias, para asegurar el cumplimiento de las normas ambientales.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

6. Como parte de las actividades de ejecución del Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental 2017 (en adelante, Planefa 2017) aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N° 004-2017-OEFA/CD y en base a los criterios de priorización establecidos en dicho plan para la realización de evaluaciones ambientales, la Dirección de Evaluación planificó una evaluación ambiental temprana en el área del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017.
7. Las evaluaciones ambientales tempranas se realizan en zonas de influencia de proyectos mineros o energéticos que actualmente se encuentran en etapa exploratoria, de construcción o de reciente inicio de explotación, y permiten obtener información de los principales componentes ambientales (agua, sedimento, suelo, aire e hidrobiología) a través un diagnóstico ambiental en el que el OEFA fomentó la participación ciudadana.
8. Los objetivos específicos de las evaluaciones ambientales tempranas son: (i) contribuir a la prevención de los potenciales conflictos socioambientales, (ii) brindar soporte técnico a las acciones de supervisión y fiscalización ambiental que realiza el OEFA, (iii) proporcionar información a otras instituciones públicas y/o privadas para que actúen en el marco de sus competencias y (iv) constituir la etapa inicial de un sistema de vigilancia ambiental periódico. Estos objetivos buscan contribuir con el desarrollo sostenible de las actividades extractivas desarrolladas en cada zona.
9. Para ello, parte del equipo profesional encargado de desarrollar la evaluación ambiental temprana realizó una visita de reconocimiento al área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, generándose el Informe N° 042-2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA, en el que se determinó la viabilidad para el desarrollo de la evaluación ambiental temprana, entre otros aspectos.
10. Finalmente, el presente informe corresponde al desarrollo de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017.

IV. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

11. El análisis de la información se encuentra desarrollado en el Anexo N° 1, denominado Informe de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017, que se adjunta y forma parte del presente informe.



Handwritten blue signatures and initials on the left margin.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

V. CONCLUSIÓN

- (i) El presente informe contiene el resumen de los resultados de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017, y además anexa el detalle metodológico y el sustento técnico que conllevó a dichos resultados por cada componente ambiental evaluado.

VI. RECOMENDACIÓN

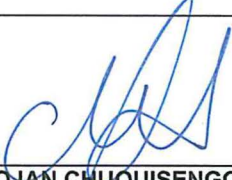




- (i) Los suscritos recomiendan elevar el presente informe a la Subdirección de Evaluación de la Calidad Ambiental, a efectos de que se proponga su aprobación ante la Dirección de Evaluación.

VII. ANEXO

- **Anexo N° 1:** Informe de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017.

Atentamente,



 LLOJAN CHUQUISENGO PICON Especialista en Monitoreo y Vigilancia Ambiental Dirección de Evaluación Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental	 DAN NELSON HERRERA AYOQUE Especialista en Monitoreo y Vigilancia Ambiental Dirección de Evaluación Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
 CESAR GREGORIO ESPÍRITU LIMAY Tercero Evaluador Dirección de Evaluación Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental	 KILMENIA LUNA CAMPOS Tercera Evaluadora Dirección de Evaluación Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
 JESSICA ADELA ESPINO CIUDAD Tercera Evaluadora Dirección de Evaluación Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental	 JORGE IVÁN GARCÍA RIEGA Tercero Evaluador Dirección de Evaluación Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
 JORGE LUIS FERNÁNDEZ NAJARRO Tercero Evaluador Dirección de Evaluación Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental	 PABEL DALMIRO DEL SOLAR PALOMINO Coordinador de Monitoreo y Vigilancia Ambiental Dirección de Evaluación Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Lima, 30 NOV. 2017

Visto el Informe N° 078 -2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA y habiéndose verificado que su contenido se encuentra enmarcado en el ejercicio de la función evaluadora, así como su coherencia normativa; la Subdirectora de Evaluación de la Calidad Ambiental recomienda su APROBACIÓN a la Dirección de Evaluación, razón por la cual se TRASLADA el presente Informe.

Atentamente,

SONIA BEATRIZ ARANIBAR TAPIA

Subdirectora de Evaluación de la Calidad Ambiental
Dirección de Evaluación
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Visto el Informe N° 078 -2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA y en atención a la recomendación de la Coordinación de Monitoreo y Vigilancia Ambiental, así como de la Subdirección de Evaluación de la Calidad Ambiental, la Dirección de Evaluación ha dispuesto aprobar el presente Informe.

Atentamente,

FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN

Director de Evaluación
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	MARCO LEGAL.....	2
3.	ANTECEDENTES.....	3
4.	JUSTIFICACIÓN.....	5
5.	OBJETIVOS	6
5.1.	Objetivo general	6
5.2.	Objetivos específicos.....	6
6.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	6
7.	CONTEXTO SOCIAL.....	10
7.1.	Etapas del monitoreo.....	11
7.2.	Ejecución de la evaluación ambiental temprana.....	13
7.3.	Actores involucrados	13
8.	MARCO CONCEPTUAL.....	14
8.1.	Agua superficial.....	15
8.1.1.	Parámetros fisicoquímicos.....	15
8.1.2.	Aniones y cationes principales.....	16
8.1.3.	Metaloides y metales pesados.....	19
8.1.4.	Evaluación hidroquímica.....	23
8.1.5.	Modelación con el software Surfer.....	29
8.1.6.	Carga de masa.....	30
8.1.7.	Hidrometría.....	31
8.2.	Sedimentos.....	32
8.2.1.	Pretratamiento y análisis multivariado.....	32
8.3.	Comunidades hidrobiológicas.....	36
8.4.	Aire.....	38
8.5.	Suelo.....	42
8.5.1.	Textura del suelo.....	42
8.5.2.	Capacidad de Intercambio Catiónico.....	43
8.5.3.	Materia orgánica.....	44
8.5.4.	Niveles de fondo.....	44
8.5.5.	Valor de referencia.....	45
8.5.6.	Asociaciones de suelos.....	46
8.6.	Tejido vegetal.....	46
9.	METODOLOGÍA.....	46



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin, including a vertical line and several stylized initials.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

9.1. Calidad de agua superficial.....	47
9.1.1.Ubicación de los puntos de muestreo	47
9.1.2.Protocolos, equipos y técnicas de análisis	49
9.1.3.Estándares de comparación y análisis de datos	54
9.2. Calidad de sedimentos	55
9.2.1.Ubicación de los puntos de muestreo	56
9.2.2.Protocolos, equipos y técnicas de análisis	57
9.2.3.Estándares de comparación	59
9.3. Comunidades hidrobiológicas.....	59
9.3.1.Ubicación de los puntos de muestreo	59
9.3.2.Protocolos, equipos y técnicas de análisis	60
9.3.3.Estándares de comparación y análisis de datos	62
9.4. Calidad de aire	65
9.4.1.Ubicación de los puntos de muestreo	65
9.4.2.Protocolos, equipos y técnicas de análisis	66
9.4.3.Estándares de comparación y análisis de datos	67
9.5. Calidad de suelo	68
9.5.1.Ubicación de los puntos de muestreo	68
9.5.2.Protocolos, equipos y técnicas de análisis	70
9.5.3.Estándares de comparación	73
9.5.4.Análisis estadístico para la determinación de los niveles de fondo y valor de referencia.....	73
9.5.5.Uso actual del suelo y clasificación de tierras por su Capacidad de Uso Mayor (CUM)	76
9.6. Evaluación del contenido de metales totales en tejido vegetal.....	76
9.6.1.Ubicación de los puntos de muestreo	76
9.6.2.Protocolo y técnicas de análisis	77
10. RESULTADOS Y ANÁLISIS	77
10.1. Calidad de agua	78
10.1.1. Evaluación de la calidad ambiental.....	78
10.1.2. Comportamiento de los metales disueltos y suspendidos.....	83
10.1.3. Evaluación hidroquímica	91
10.1.4. Hidrometría y caracterización	101
10.2. Calidad de sedimentos	108
10.2.1. Evaluación de la calidad ambiental.....	108
10.2.2. Evaluación del comportamiento de los metales	110



Handwritten signature and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

10.3. Comunidades hidrobiológicas	120
10.3.1. Plancton	120
10.3.2. Perifiton	129
10.3.3. Macroinvertebrados bentónicos.....	133
10.3.4. Peces	141
10.3.5. Indicadores biológicos de referencia para la calidad de agua.....	141
10.3.6. Metales en camarones	142
10.4. Calidad de aire	142
10.4.1. Análisis de parámetros meteorológicos	143
10.4.2. Análisis de gases y material particulado	144
10.5. Calidad de suelo	154
10.6. Tejido vegetal	159
11. DISCUSIONES	160
11.1. Calidad de agua	160
11.2. Calidad de sedimentos	179
11.3. Comunidades hidrobiológicas	185
11.4. Calidad de aire	186
11.5. Calidad de suelo.....	187
11.6. Tejido vegetal	188
12. CONCLUSIONES	189
12.1. Calidad de agua	189
12.2. Calidad de sedimentos	190
12.3. Comunidades hidrobiológicas.....	191
12.4. Calidad de aire	191
12.5. Calidad de suelo.....	192
12.6. Tejido vegetal	192
13. RECOMENDACIONES.....	193
14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	194
15. ANEXOS	203



J
K
A
K
1
R



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6-1. Unidades hidrográficas en la cuenca del río Tambo 9

Tabla 7-1. Actores sociales involucrados para el desarrollo del MAP 13

Tabla 8-1. Profundidades de medición de la velocidad 31

Tabla 8-2. Parámetros de aire 38

Tabla 8-3. Contaminantes de aire en función a las principales fuentes 39

Tabla 8-4. Clasificación granulométrica de las partículas del suelo 43

Tabla 8-5. Rangos interpretativos para CIC 44

Tabla 8-6. Nivel de materia orgánica de acuerdo a su porcentaje en el suelo 44

Tabla 9-1. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad ambiental de agua superficial 47

Tabla 9-2. Controles de calidad establecidos para agua 50

Tabla 9-3. Equipos y accesorios utilizados para el muestreo de calidad ambiental de agua 50

Tabla 9-4. Características de los equipos usados en la evaluación de campo para la calidad de agua superficial 51

Tabla 9-5. Parámetros monitoreados de la calidad ambiental de agua 51

Tabla 9-6. Métodos de ensayo utilizados por los laboratorios para el análisis de calidad de agua superficial 52

Tabla 9-7. Equipos y accesorios utilizados para el muestreo de calidad ambiental de agua 53

Tabla 9-8. Parámetros monitoreados de la calidad ambiental de agua 53

Tabla 9-9. Estándares de comparación de la calidad de agua 55

Tabla 9-10. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad ambiental de sedimentos 56

Tabla 9-11. Equipos y accesorios utilizados para el muestreo de calidad ambiental de sedimentos 58

Tabla 9-12. Parámetros monitoreados de la calidad ambiental de sedimentos 58

Tabla 9-13. Métodos de ensayo utilizados por los laboratorios, para el análisis de calidad de sedimentos 58

Tabla 9-14. Valores estándar para metales de las Directrices de Calidad Ambiental de Canadá para sedimentos en cuerpos de agua dulce 59

Tabla 9-15. Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas 60

Tabla 9-16. Equipos y materiales utilizados para el muestreo de las comunidades hidrobiológicas 61



[Handwritten signatures and initials in blue ink]



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 9-17. Comunidades hidrobiológicas y parámetros monitoreados 61

Tabla 9-18. Valoraciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col 65

Tabla 9-19. Calidad de las aguas de acuerdo a la valoración del índice BMWP/Col .. 65

Tabla 9-20. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad ambiental de aire 66

Tabla 9-21. Características de los equipos accesorios y otros materiales utilizados en las estaciones de muestreo de calidad de aire..... 66

Tabla 9-22. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire 68

Tabla 9-23. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire vigente 68

Tabla 9-24. Ubicación de los puntos de muestreo para nivel de fondo en suelo agrícola 69

Tabla 9-25. Ubicación de los puntos de muestreo para nivel de fondo en suelo ubicado en el área de influencia del proyecto minero Tía María..... 69

Tabla 9-26. Ubicación de los puntos de muestreo para nivel de fondo en suelo ubicado en el SNLM..... 70

Tabla 9-27. Guías y/o protocolos utilizados para establecer los puntos de muestreo de suelo..... 70

Tabla 9-28. Equipos utilizados para el muestreo de calidad ambiental de suelo..... 71

Tabla 9-29. Parámetros y cantidad de puntos de muestreo para la evaluación de calidad de suelo..... 71

Tabla 9-30. Métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para cianuro libre, cromo hexavalente y metales totales 72

Tabla 9-31. Métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para parámetros de calidad de suelos en el presente estudio..... 73

Tabla 9-32. Estándares de comparación nacional e internacional en calidad de suelos 73

Tabla 9-33. Clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor para las áreas de estudio..... 76

Tabla 9-34. Red de puntos de muestreo para la evaluación de metales en tejido vegetal 77

Tabla 9-35. Metodología para el análisis de muestras de tejido vegetal 77

Tabla 10-1. Resultados que excedieron los ECA para agua y las Guías de Calidad Ambiental de Canadá en los afloramientos..... 83

Tabla 10-2. Metales en mayor porcentaje en forma disuelta en el río Tambo..... 85

Tabla 10-3. Metales en mayor porcentaje en forma disuelta en los canales de riego . 85



Handwritten signature in blue ink.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-4. Metales en mayor porcentaje en forma disuelta en las lagunas del SNLM 85

Tabla 10-5. Metales en mayor porcentaje en forma disuelta en los afloramientos (quebrada Rosa María y manantial Santo Domingo) 85

Tabla 10-6. Metales en mayor porcentaje en forma suspendida en el río Tambo 86

Tabla 10-7. Metales en mayor porcentaje en forma suspendida en los canales de riego 86

Tabla 10-8. Metales en mayor porcentaje en forma suspendida en las lagunas del SNLM 86

Tabla 10-9. Metales en mayor porcentaje en forma suspendida en los afloramientos 86

Tabla 10-10. Metales en porcentajes variables en el río Tambo 87

Tabla 10-11. Metales en porcentajes variables en las lagunas del SNLM 87

Tabla 10-12. Error de balance iónico del río Tambo, quebrada rosa maría, lagunas del SNLM, manantial santo domingo y canales de riego..... 92

Tabla 10-13. Datos para el cálculo de los caudales de los canales de riego y el manantial Santo Domingo 101

Tabla 10-14. Datos para el cálculo de los caudales de la quebrada Rosa María 102

Tabla 10-15. Resultados de las secciones transversales del canal 106

Tabla 10-16. Resultados de las secciones transversales del agua del canal del manantial Santo Domingo..... 107

Tabla 10-17. Resultados de los agrupamientos mediante el análisis de factor para el Varifactor 1 111

Tabla 10-18. Resultados de los agrupamientos mediante el análisis de factor para el Varifactor 2 111

Tabla 10-19. Resultados de los agrupamientos mediante el análisis de factor para el Varifactor 3 y Varifactores 1 y 3 112

Tabla 10-20. Resultados de los agrupamientos mediante el análisis de factor para el Varifactor 4 y Varifactores 2 y 3 112

Tabla 10-21. Comunidades hidrobiológicas evaluadas por punto de muestreo 120

Tabla 10-22. Diversidad alfa del fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM . 122

Tabla 10-23. Resumen de análisis de variables extraídos de Análisis de Correspondencia Canónica en los puntos de muestreo del SNLM..... 124

Tabla 10-24. Índices de diversidad del zooplancton en los puntos de muestreo del SNLM 127

Tabla 10-25. Índices de diversidad alfa encontrados en los puntos de muestreo del río Tambo 132



Handwritten blue ink marks: a vertical line, a signature, a circle, the letter 'A', the letter 'K', and another signature.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-26. Índices de diversidad alfa encontrados en los puntos de muestreo del río Tambo 137

Tabla 10-27. Índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del SNLM 140

Tabla 10-28. Resultados de concentraciones de arsénico en camarones en los puntos de muestreo en el río Tambo 142

Tabla 10-29. Parámetros meteorológicos 143

Tabla 10-30. Concentraciones de 24 horas de metales pesados en AIR-01 150

Tabla 10-31. Concentraciones de 24 horas de metales pesados en AIR-02 150

Tabla 10-32. Resultados de análisis textural en suelos de uso agrícola 154

Tabla 10-33. Resultados de parámetros de fertilidad en suelos de uso agrícola cultivados 155

Tabla 10-34. Resultados de parámetros fisicoquímicos en suelos de uso agrícola .. 155

Tabla 10-35. Resultados de análisis textural en suelos dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María 156

Tabla 10-36. Resultados de parámetros fisicoquímicos en suelos dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María 156

Tabla 10-37. Resultados de análisis textural en suelos en el área del SNLM 157

Tabla 10-38. Resultados de parámetros fisicoquímicos en suelos en el SNLM 157

Tabla 10-39. Valores de nivel de fondo de metales para el área de estudio del proyecto minero Tía María 158

Tabla 10-40. Relación entre parámetros de suelo y análisis de tejido vegetal 159

Tabla 10-41. Resultados metales totales en tejido vegetal 160

Tabla 11-1: Arsénico, boro y manganeso en mayor porcentaje en forma disuelta en la cuenca del río Tambo y sus tributarios 178

Tabla 11-2. Concentraciones de PM₁₀ del EIA de proyecto minero Tía María 187



Handwritten signature and initials in blue ink, including the letters 'A', 'K', and 'R'.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6-1. Mapa de ubicación de la provincia de Islay	7
Figura 6-2. Mapa de ubicación de la cuenca del río Tambo	8
Figura 8-1. Escala de longitud de partícula para la materia orgánica en el agua de mar	16
Figura 8-2. Diagrama de Piper	24
Figura 8-3. Ejemplos de tipos de agua	25
Figura 8-4. Diagrama de Stiff	26
Figura 8-5. Diagrama de Stiff en relación a la mineralización	26
Figura 8-6. Diagrama de Schöeller – Berkaloff	27
Figura 8-7. Diagrama de Schöeller – Berkaloff para una muestra de agua	28
Figura 8-8. Casos de relaciones iónicas	29
Figura 8-9. Diagrama triangular o triángulo de las clases texturales básicas del suelo	43
Figura 10-1. Resultados de conductividad en el río Tambo y los canales de riego	79
Figura 10-2. Resultados de sólidos disueltos totales (SDT) en el río Tambo y los canales de riego	79
Figura 10-3. Resultados de cloruros en el río Tambo y los canales de riego	79
Figura 10-4. Resultados de la DQO en el río Tambo y los canales de riego	79
Figura 10-5. Resultados de manganeso total en el río Tambo y los canales de riego	80
Figura 10-6. Resultados de arsénico total en el río Tambo y los canales de riego	80
Figura 10-7. Resultados de boro total en el río Tambo y los canales de riego	80
Figura 10-8. Resultados de oxígeno disuelto (OD) en el río Tambo y las lagunas del SNLM	81
Figura 10-9. Resultados de conductividad en el río Tambo y las lagunas del SNLM	82
Figura 10-10. Resultados de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el río Tambo y las lagunas del SNLM	82
Figura 10-11. Relación entre arsénico disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)	89
Figura 10-12. Relación entre boro disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)	89
Figura 10-13. Relación entre magnesio disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)	89
Figura 10-14. Relación entre potasio disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)	89
Figura 10-15. Relación de sodio disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)	90
Figura 10-16. Relación de conductividad y sólidos disueltos totales (SDT)	90



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Figura 10-17. Relación de aluminio suspendido y sólidos disueltos totales (SDT) 90

Figura 10-18. Relación de hierro suspendido y sólidos disueltos totales (SDT)..... 90

Figura 10-19. Diagrama de Piper del río Tambo, quebrada Rosa María, manantial Santo Domingo, lagunas del SNLM y canales de riego..... 95

Figura 10-20. Diagramas de Stiff del río Tambo, quebrada Rosa María, manantial Santo Domingo, lagunas del SNLM y canales de riego..... 95

Figura 10-21. Mapa hidroquímico del río Tambo, canales de riego, quebrada Rosa María, manantial Santo Domingo y lagunas del SNLM 96

Figura 10-22. Diagrama de Schöeller Berkaloff en el río Tambo 98

Figura 10-23. Diagrama de Schöeller Berkaloff en los afloramientos 98

Figura 10-24. Diagrama de Schöeller Berkaloff en las lagunas del SNLM..... 98

Figura 10-25. Diagrama de Schöeller Berkaloff en los canales de riego..... 98

Figura 10-26. Relación cloruros (Cl⁻) – sodio (Na⁺)..... 99

Figura 10-27. Relación cloruros (Cl⁻) - estroncio (Sr) 99

Figura 10-28. Relación cloruros (Cl⁻) - boro (B)..... 99

Figura 10-29. Relación cloruros (Cl⁻) - sulfatos (SO₄²⁻)..... 99

Figura 10-30. Esquema de la ubicación del manantial Santo Domingo..... 105

Figura 10-31. Esquema del canal y el curso del agua del manantial Santo Domingo 106

Figura 10-32. Resultados de arsénico en sedimentos del río Tambo y las lagunas del SNLM 109

Figura 10-33. Resultados de cadmio en sedimentos del río Tambo y las lagunas del SNLM 109

Figura 10-34. Resultados de cobre en sedimentos del río Tambo y las lagunas del SNLM 109

Figura 10-35. Resultados de plomo en sedimentos del río Tambo y las lagunas del SNLM 109

Figura 10-36. Distribución de concentraciones de arsénico en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM..... 1155

Figura 10-37. Distribución de concentraciones de cadmio en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM..... 1166

Figura 10-38. Distribución de concentraciones de cobre en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM..... 1177

Figura 10-39. Distribución de concentraciones de plomo en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM..... 1188



Handwritten signatures and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Figura 10-40. Distribución de concentraciones de boro en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM..... 1199

Figura 10-41. Composición y riqueza de fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM 1211

Figura 10-42. Abundancia de fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM... 1222

Figura 10-43. Similitud de Bray Curtis del fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM 1233

Figura 10-44. Análisis de correspondencia canónica del fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM 1255

Figura 10-45. Composición y riqueza de zooplancton en los puntos de muestreo del SNLM 1266

Figura 10-46. Abundancia de zooplancton en los puntos de muestreo del SNLM .. 1277

Figura 10-47. Similitud de Bray Curtis del zooplancton en los puntos de muestreo del SNLM 1288

Figura 10-48. Composición y riqueza de microalgas en los puntos de muestreo del río Tambo 13030

Figura 10-49. Abundancia de microalgas en los puntos de muestreo del río Tambo 1311

Figura 10-50. Relación de la abundancia y presencia de especies de microalgas de los puntos de muestreo del río Tambo 1311

Figura 10-51. Análisis de similitud de Bray Curtis de microalgas en los puntos de muestreo del río Tambo..... 1333

Figura 10-52. Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos del río Tambo 1344

Figura 10-53. Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del río Tambo..... 1355

Figura 10-54. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos del río Tambo..... 1355

Figura 10-55. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del río Tambo..... 1366

Figura 10-56. Similitud de Bray Curtis de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del río Tambo..... 1377

Figura 10-57. Composición y riqueza de los macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del SNLM..... 1388

Figura 10-58. Composición y riqueza de los macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del SNLM..... 1399

Figura 10-59. Relación de la abundancia de macroinvertebrados bentónicos y la conductividad en los puntos de muestreo del SNLM..... 1399



Handwritten blue ink signatures and initials on the left margin.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Figura 10-60. Similitud de Bray Curtis de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del SNLM 1411

Figura 10-61. Variación de la calidad biológica según el índice BMWP/Col 1422

Figura 10-62. Rosas de viento de los puntos de muestreo..... 1433

Figura 10-63. Ubicación de los puntos de muestreo AIR-01 y MC-01, y sus rosas de viento..... 1444

Figura 10-64. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en el punto AIR-01 1455

Figura 10-65. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en el punto AIR-02 1455

Figura 10-66. Concentraciones horarias de NO₂ en el punto de muestreo AIR-01 . 1466

Figura 10-67. Concentraciones horarias de NO₂ en el punto de muestreo AIR-02 . 1466

Figura 10-68. Concentraciones horarias de CO en el punto de muestreo AIR-01 .. 1477

Figura 10-69. Concentraciones horarias de CO en el punto de muestreo AIR-02 .. 1477

Figura 10-70. Concentraciones promedio móviles de 8 horas de CO en el punto de muestreo AIR-01..... 1488

Figura 10-71. Concentraciones promedio móviles de 8 horas de CO en el punto de muestreo AIR-02..... 1488

Figura 10-72. Concentraciones diarias de PM₁₀ en AIR-01 1499

Figura 10-73. Concentraciones diarias de PM₁₀ en AIR-02 1499

Figura 10-74. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en el punto de muestreo AIR-01 1522

Figura 10-75. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en el punto de muestreo AIR-02 1522

Figura 10-76. Concentraciones promedio diarias de PM₁₀ en el punto de muestreo AIR-01 1533

Figura 10-77. Concentraciones promedio diarias de PM₁₀ en el punto de muestreo AIR-02 1533

Figura 11-1. Acuífero libre en el modelo hidrogeológico conceptual 2D A-A' de las 1622

Figura 11-2. Acuífero libre en el modelo hidrogeológico conceptual 2D B-B' de las 1633

Figura 11-3. Mapa hidrogeológico en el ámbito de la quebrada Rosa María..... 1655

Figura 11-4. Mapa hidrogeológico en el ámbito del manantial Santo Domingo 1655

Figura 11-5. Diagramas de Piper en a) río, quebrada Rosa María y lagunas del SNLM en el 2017, b) río Tambo y quebrada Rosa María en el 2016 y c) lagunas del SNLM en el 2016..... 1688

Figura 11-6. Mapa Surfer de sulfatos (meq/L) de las lagunas del SNLM..... 17070

Figura 11-7. Mapa Surfer de suma de cationes (meq/L) de las lagunas del SNLM. 17070



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Figura 11-8. Mapa Surfer de calcio (meq/L) de las lagunas del SNLM 1711

Figura 11-9. Mapa Surfer de cloruros (meq/L) de las lagunas del SNLM 1711

Figura 11-10. Resultados de arsénico total en a) concentraciones en mg/L en los años 2012 a 2017 y b) carga de masa en g/s en los años 2013 y 2014 1733

Figura 11-11. Resultados de boro total en a) concentraciones en mg/L en los años 2012 a 2017 y b) carga de masa en g/s en los años 2013 y 2014 1733

Figura 11-12. Variación en (%) de la carga masa de arsénico y boro por segundo en la cuenca del río Tambo 1755

Figura 11-13. Resultados de manganeso en a) concentraciones en mg/L en los años 2012 a 2017 y b) carga de masa en g/s en los años 2013 y 2014 1766

Figura 11-14. Esquema de las diferentes profundidades de sedimentos colectadas en el río Tambo 18080

Figura 11-15. Perfil y sección geológica A-A' de las lagunas del SNLM 1822

Figura 11-16. Perfil y sección geológica B-B' de las lagunas del SNLM 1822

Figura 11-17. Esquemas de Google Earth del desplazamiento del río Tambo (contorno C) con respecto a la laguna Boquerón (Contorno A) del SNLM, laguna intermedia (Contorno B) en a) abril 2003, b) agosto 2009 y c) enero 2016. 1844



S
A
A
A
K
7
A



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 10-1. Canal de riego Ensenada Mejía-Mollendo (CAEMM-01)..... 103

Fotografía 10-2. Canal de riego Ensenada Mejía-Mollendo (CAEMM-02)..... 103

Fotografía 10-3. Canal de riego Ensenada Mejía Mollendo (CAEMM-04)..... 103

Fotografía 10-4. Canal de riego del Valle de Tambo (CAT-01) 103

Fotografía 10-5. Canal de riego Punta de Bombón (CAPB-01)..... 104

Fotografía 10-6. Manantial Santo Domingo (MSDom1) 104

Fotografía 10-7. Quebrada Rosa María (QRMar1) 104

Fotografía 10-8. Quebrada Rosa María (QRMar2) 104

Fotografía 10-9. Naciente del manantial Santo Domingo..... 107

Fotografía 10-10. Peces del género Poecilia sp. en el manantial Santo Domingo ... 107

Fotografía 11-1. Noticias de a) 21 de enero del 2016 en el diario el Pueblo y b) 19 de enero del 2016 en el diario Correo de Arequipa..... 1644

Fotografía 11-2. Meaderos en el distrito de Coalaque - Moquegua..... 1744

Fotografía 11-3. Baños termales en el distrito de Coalaque - Moquegua..... 1744

Fotografía 11-4. Sedimentos colectados en el río Tambo - "Puente Freyre" 18080

Fotografía 11-5. Sedimentos colectados en el río Tambo – "Puente Santa Rosa"18080

Fotografía 11-6. Sedimentos colectados en el río Tambo, antes de la desembocadura al mar 1811

Fotografía 11-7. Sedimentos colectados en laguna Iberia sur 1833

Fotografía 11-8. Sedimentos colectados en la laguna Boquerón..... 1833



Handwritten signature and initials in blue ink, including the letters 'K' and 'R'.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

1. INTRODUCCIÓN

1. El proyecto minero Tía María, a cargo de la empresa Southern Perú Copper Corporation – Sucursal del Perú (en adelante, SPCC), está ubicado políticamente en los distritos de Cocachacra, Mejía y Deán Valdivia, provincia de Islay, departamento de Arequipa, aproximadamente entre 350 y 1050 m s.n.m. Tiene como objetivo la explotación de cobre¹, comprendiendo dos yacimientos a tajo abierto, La Tapada y Tía María, existiendo una distancia aproximada de 4 km entre ambos. Actualmente, las actividades están paralizadas debido a que pese a contar con Estudio de Impacto Ambiental (en adelante, EIA) aprobado, carece de licencia social, es decir, no consta del consentimiento de la población.
2. El proyecto se encuentra ubicado dentro de la unidad hidrográfica² del río Tambo, el cual contribuye a la actividad agrícola que se desarrolla en el valle del mismo. En dirección suroeste al referido proyecto, se encuentra el Santuario Nacional Lagunas de Mejía³ (en adelante, SNLM), declarado Área Natural Protegida (ANP) en 1984. Este humedal es uno de los más importantes de la costa peruana, constituyendo un hábitat fundamental de descanso y alimentación de aves migratorias.
3. Aunque la actividad minera produce prosperidad en las zonas donde se lleva a cabo, puede desencadenar conflictos debido a los impactos ambientales y sociales que suele ocasionar. En el caso del proyecto minero Tía María, en el año 2011, a raíz de las observaciones al EIA del mismo, por parte de la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS), se inició un paro indefinido al considerar que podría verse afectada la disponibilidad de los recursos hídricos, situación que se agravó cuando el Consejo Regional de Arequipa, con fecha 11 de agosto de 2016, declaró en emergencia el Valle de Tambo por déficit hídrico en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, La Punta, Mejía y Mollendo.
4. Mediante Resolución de Consejo Directivo N° 004-2017-OEFA/CD, publicada el 01 de febrero de 2017 en el Diario Oficial el Peruano, se aprobó el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental 2017 (en adelante, Planefa 2017), el cual indica que la función evaluadora del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante, Oefa), a diferencia de la función supervisora, permite establecer el diagnóstico de la calidad ambiental en forma integrada y continua con énfasis en aquellas actividades fiscalizadas por el Oefa, con la finalidad de brindar información o soporte técnico para la supervisión directa.
5. En consecuencia, como parte de esta función, se desarrollan las evaluaciones ambientales tempranas, para determinar el estado de la calidad del ambiente en el ámbito de influencia del universo de administrados, conformado por el total de empresas pertenecientes a los sectores supervisados por el Oefa.

- 1 Según el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero Tía María de la empresa Southern Perú Copper Corporation - Sucursal del Perú (SPCC), aprobado mediante RS N° 392-2014-MEM/DGAAM, la extracción será únicamente de minerales oxidados de cobre.
- 2 Las unidades hidrográficas son espacios geográficos limitados por líneas divisorias de aguas (límite entre dos cuencas hidrográficas continuas), relacionados espacialmente por sus códigos, donde el tamaño de sus áreas de drenaje es el único criterio de organización jerárquica.
- 3 Con fecha 9 de marzo de 1984, mediante Decreto Supremo N° 015-84-AG, el Santuario Nacional Lagunas de Mejía, correspondiente a una superficie de 690,60 Has, fue declarado como Área Natural Protegida (ANP), correspondiente a una superficie de 690,60 Has.



d
d
d
A
K
7
P



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

6. En ese sentido, la Coordinación de Monitoreo y Vigilancia Ambiental (en adelante, CMVA) proyectó realizar una evaluación ambiental temprana (en adelante, EAT), para determinar las condiciones ambientales actuales en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017, se desarrolló un plan de ejecución de evaluación ambiental temprana, que estableció la planificación general de las actividades de campo y gabinete para la determinación del estado de los componentes ambientales agua, sedimento, comunidades hidrobiológicas, aire, suelo y tejido vegetal.
7. El referido plan de ejecución se constituyó sobre una revisión exhaustiva de la información existente acerca del estado ambiental de los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, proveniente de fuentes oficiales de diversas instituciones, tales como instrumentos de gestión ambiental del administrado, informes de supervisión del Oefa e informes de monitoreo ambiental que el propio administrado reporta a las autoridades competentes. Del análisis de la referida información se identificó a los actores sociales involucrados, la problemática socioambiental, los objetivos y el área de estudio y de esta manera se identificó preliminarmente la metodología de trabajo a utilizar, identificando los componentes ambientales a evaluar, la red de muestreo ambiental, los parámetros de muestreo y las herramientas de análisis necesarias para realizar una evaluación temprana de las condiciones ambientales en la zona de interés.
8. Finalmente, el presente informe corresponde principalmente al desarrollo del plan de ejecución de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, correspondiendo dicha ejecución a una primera evaluación de este tipo, realizada del 6 al 15 de mayo de 2017 (época de estiaje).



2. MARCO LEGAL

9. Ley N° 28611, Ley General del Ambiente y sus modificatorias.
10. Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental y sus modificatorias.
11. Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y sus modificatorias, así como su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 008-2005-PCM.
12. Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental y su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, así como sus modificatorias
13. Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.
14. Resolución Ministerial N° 247-2013-MINAM, que aprueba el Régimen Común de Fiscalización Ambiental.



15. Decreto Supremo N° 022-2009-MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
16. Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, que aprueba la Política Nacional del Ambiente.
17. Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, que aprueba el Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire.
18. Decreto Supremo N° 033-2007-PCM, que aprueba el Procedimiento para la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental.
19. Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para aire.
20. Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.
21. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.
22. Resolución de Consejo Directivo N° 004-2017-OEFA/CD, que aprueba el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental del Oefa, correspondiente al año 2017.
23. Resolución de Consejo Directivo N° 032-2014-OEFA/CD, "Reglamento de participación ciudadana en las acciones de monitoreo ambiental a cargo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental" y su modificatoria aprobada mediante la Resolución de Consejo Directivo N° 003-2016-OEFA/CD.
24. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. "Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales" publicado el 11 de enero de 2016.

3. ANTECEDENTES

25. Mediante R.D. N° 034-2000-EM/DGAA de 4 de febrero de 2000, se aprobó la evaluación ambiental del proyecto de exploración Tía María, presentado por la empresa Río Tinto Mining and Exploration LTD., Sucursal del Perú.
26. Mediante R.D. N° 069-2006-MEM/AAM de fecha 01^a de marzo de 2006, fue aprobada la evaluación ambiental – Categoría C del proyecto de exploración minera Tía María, presentado por la empresa Southern Perú Copper Corporation – Sucursal del Perú.
27. Mediante R.D. N° 169-2008-MEM/AAM de fecha 14 de julio de 2008, se aprobó la modificación de la evaluación ambiental del proyecto de exploración minero Tía María presentada por la empresa Southern Perú Copper Corporation – Sucursal del Perú.



Handwritten signature and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

28. A raíz de la presentación de 138 observaciones⁴ que, en marzo de 2011, fueron presentadas por parte de la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (en adelante, UNOPS) al EIA del proyecto, se desataron protestas por la consideración de que dicho proyecto afectaría la disponibilidad de recursos hídricos para las actividades agrícolas desarrolladas en el Valle de Tambo.
29. En noviembre de 2013, la empresa SPCC, presentó ante el Ministerio de Energía y Minas (en adelante, Minem) un nuevo EIA, el cual fue aprobado a través de la R.D. N° 392-2014-MEM-DGAAM de fecha 1 de agosto de 2014, lo que propició a inicios de marzo de 2015 se iniciase un paro indefinido en el Valle de Tambo, en la provincia de Islay, departamento de Arequipa, motivado por el rechazo de los opositores.
30. Ante esta situación, se conformó una mesa de desarrollo de la provincia de Islay, conducida por el Ministerio de Agricultura e instalada el 20 de marzo de 2015 en el distrito de Mejía, que entre otros asuntos, tenía el propósito de generar un espacio de diálogo entre los diferentes actores.
31. Dadas estas circunstancias, el Oefa ha realizado diferentes acciones para conocer en qué condiciones ambientales se encuentra la cuenca del río Tambo, que se caracteriza por la presencia de gran cantidad de proyectos de exploración y explotación minera.
32. Mediante el Informe N° 00070-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI de fecha 03 de mayo de 2016, se aprobó el plan de evaluación ambiental de la cuenca del río Tambo (en adelante PEA), entre cuyos objetivos⁵ se encontraban evaluar la calidad de agua, sedimento e hidrobiología, así como evaluar la flora y fauna del SNLM, caracterizando también los bofedales y lagunas de este ANP. La información resultante fue presentada por la Coordinación de Evaluaciones Ambientales Integrales del Oefa, a través del Informe N° 00123-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI de fecha 29 de diciembre de 2016.
33. A través del Informe N° 00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI de fecha 19 de diciembre de 2016, se presentaron los resultados de la evaluación hidrogeológica del Santuario Nacional Lagunas de Mejía y ámbito del proyecto minero Tía María – año 2016, con el objetivo de conocer las características hidrogeológicas de dicha localización.
34. Además de los estudios realizados por Oefa, otras instituciones públicas como la Autoridad Nacional del Agua (en adelante, ANA) también han llevado a cabo evaluaciones en la cuenca del río Tambo. Toda la información recopilada es de gran ayuda para interpretar mejor los resultados de la presente evaluación ambiental temprana.

⁴ Centro de información Southern Perú. La verdad sobre el proyecto minero Tía María en 15 puntos. <https://www.pwc.pe/es/doing-business/assets/pwc-doing-business-mining-espanol.pdf>.

⁵ Los objetivos de la Evaluación Ambiental de la cuenca del río Tambo fueron formulados y detallados en el Informe N° 00070-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI, donde se plantearon 05 objetivos; sin embargo, de acuerdo a las actividades realizadas, se cumplieron con 02 de los objetivos planteados.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

4. JUSTIFICACIÓN

35. El presente informe se realiza dando cumplimiento a la función evaluadora del Oefa establecida en la Ley 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental – Sinefa, donde se establece que la función evaluadora comprende las acciones de vigilancia, monitoreo y otras similares que realiza el Oefa, según sus competencias, para asegurar el cumplimiento de las normas ambientales.
36. Asimismo, la ejecución de la presente evaluación ambiental se realiza en el marco del Planefa 2017 del Oefa, aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N° 004-2017-OEFA/CD⁶ a fin dar soporte a la Dirección de Supervisión, generando información ambiental para la posterior verificación del cumplimiento de las medidas preventivas de riesgos ambientales por parte de los administrados.
37. Complementariamente, a través del Informe N° 042-2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA, el equipo evaluador del Oefa estableció la viabilidad del desarrollo de una evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa.
38. La evaluación de la calidad ambiental con participación ciudadana para el ejercicio 2017 se realiza a través de evaluaciones ambientales tempranas, las cuales se enfocan en las áreas de influencia de los proyectos que son materia de la función evaluadora, ello de acuerdo a la priorización determinada en el Planefa 2017, con la finalidad de (i) contribuir a la prevención de los potenciales conflictos socioambientales, (ii) brindar soporte técnico a las acciones de supervisión y fiscalización ambiental que realiza el Oefa, (iii) proporcionar información a otras instituciones públicas y/o privadas para que actúen en el marco de sus competencias y (iv) constituir la etapa inicial de un sistema de vigilancia ambiental periódico.
39. Por ello, y a raíz de la presentación de 138 observaciones que, en marzo de 2011, fueron presentadas por parte de la UNOPS al Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero Tía María, se desataron protestas por la consideración de que dicho proyecto afectaría la disponibilidad de recursos hídricos para las actividades agrícolas desarrolladas en el Valle de Tambo. Ante esta situación, se conformó una Mesa de Desarrollo de la provincia de Islay, conducida por el Ministerio de Agricultura e instalada el 20 de marzo de 2015 en el distrito de Mejía, que entre otros asuntos, tenía el propósito de generar un espacio de diálogo entre los diferentes actores.
40. Con la finalidad de lograr confianza en la población y prevenir conflictos, fue necesario realizar un diagnóstico ambiental que comprenda la evaluación de distintos componentes ambientales en consenso con la población del área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón, y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, ello mediante los mecanismos establecidos en la

⁶ Resolución de Consejo Directivo publicada el 01 de febrero de 2017.



normativa respecto a monitoreos ambientales participativos⁷, aplicados para la realización de evaluaciones ambientales tempranas.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

41. Realizar una evaluación ambiental temprana con participación ciudadana en el área de influencia del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa, durante el año 2017.

5.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad ambiental de agua superficial.
- Evaluar la calidad ambiental de sedimento.
- Evaluar las condiciones de las comunidades hidrobiológicas.
- Evaluar la calidad ambiental de aire.
- Evaluar la calidad ambiental de suelo.
- Determinar las concentraciones de metales en frutos de los cultivos del valle.

6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

42. El área de estudio comprende la zona de influencia del proyecto minero Tía María. El cual se encuentra ubicado en la vertiente occidental de la cordillera de la costa del sur del Perú, accediendo desde Arequipa por la Panamericana Sur y pasando por centro poblado San José, por el que se llega a la carretera de ingreso a dicho proyecto.
43. Concretamente se sitúa en la provincia de Islay (ver Figura 6-1), que limita⁸ al norte con la provincia de Arequipa, al sur con el océano Pacífico, al este con la provincia de Mariscal Nieto y General Sánchez Cerro y al Oeste con la provincia de Camaná. El cerro Antena es considerado como punto de referencia topográfica del proyecto (BM "cerro Antena").



[Handwritten signature]

⁷ Resoluciones de Consejo Directivo N° 032-2014-OEFA/CD y N° 003-2016-OEFA/CD.

⁸ Plan de Desarrollo Urbano, Punta de Bombón 2009-2015.

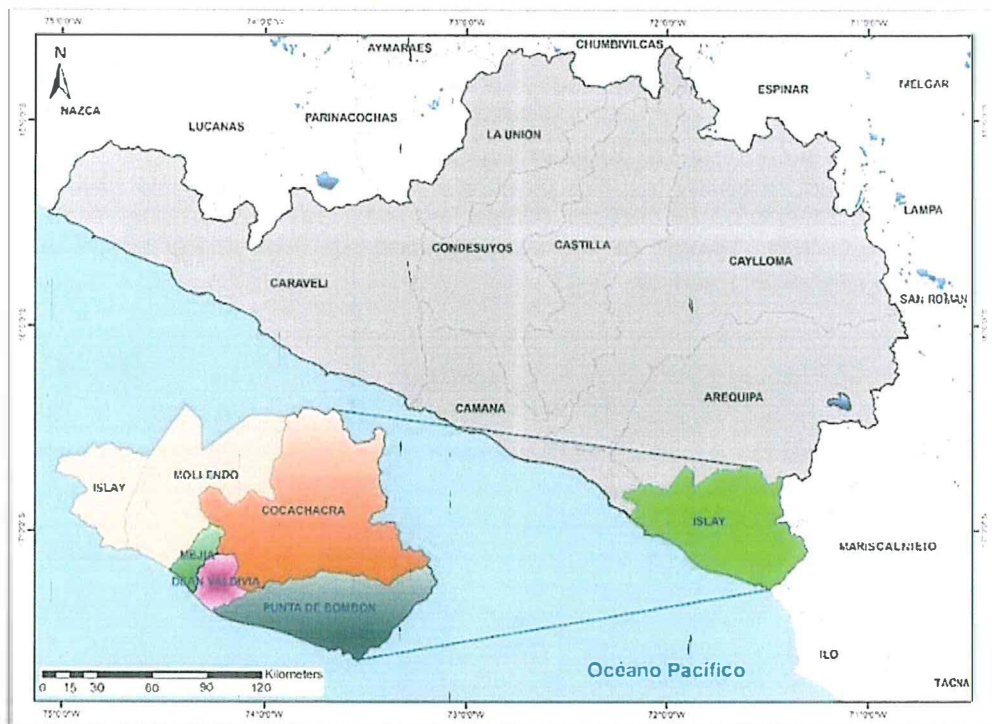


Figura 6-1. Mapa de ubicación de la provincia de Islay

44. El área de estudio de la presente EAT corresponde a los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa y al Santuario Nacional Lagunas de Mejía, humedal que abarca la desembocadura del río Tambo.
45. El SNLM, que cuenta con una extensión de 690,60 Ha, está ubicado a escasos metros del océano Pacífico. Además de haber sido declarado Área Natural Protegida (en adelante, ANP) a través de Decreto Supremo N° 015-84-AG, el SNLM fue designado como un Sitio Ramsar⁹ en 1992 y como Área de Importancia para la Conservación de Aves (IBA)¹⁰ por la BirdLife International en el año 2008.
46. El SNLM constituye un refugio único en la región costera del país para las aves migratorias, estando ubicado entre la Reserva Nacional de Paracas (Ica), Ite (Moquegua) y el río Huasco (Atacama-Chile). También es hábitat para las especies endémicas en peligro de extinción contribuye a la conservación de especies de la fauna y flora silvestres, y brinda oportunidades de desarrollo

⁹ La Convención sobre los Humedales, llamada Convención de Ramsar, es el tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Se adoptó en Irán en 1971 y entró en vigor en 1975. Su misión es la "conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo". Los sitios Ramsar son los humedales más importantes sobre los cuales se adoptan medidas necesarias para manejarlos eficazmente, manteniendo sus características ecológicas. Dichos sitios Ramsar se designan en función a los criterios para la identificación de Humedales de Importancia Internacional.

¹⁰ Las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (*Important Bird and Biodiversity Areas- IBAs*) son lugares de importancia internacional para la conservación de las aves y la biodiversidad, un concepto surgido de la organización BirdLife International, dedicada a la protección de las aves y sus hábitats.

sostenible para las poblaciones locales compatibles con el ambiente gracias a los recursos naturales y servicios ecosistémicos¹¹ que ofrece.

47. La cuenca del río Tambo (código N° 1318¹²), que se presenta en la Figura 6-2, está comprendida entre los paralelos 16° 00' y 17° 15' de latitud sur, y entre los meridianos 70° 30' y 72° 00' de longitud oeste. Se localiza entre los departamentos Moquegua, Arequipa y Puno, comprendiendo las provincias de Mariscal Nieto y Sánchez Cerro en Moquegua, Arequipa e Islay, en el departamento de Arequipa; Puno y San Román en el departamento de Puno. Pertenece al sistema hidrográfico del Pacífico.

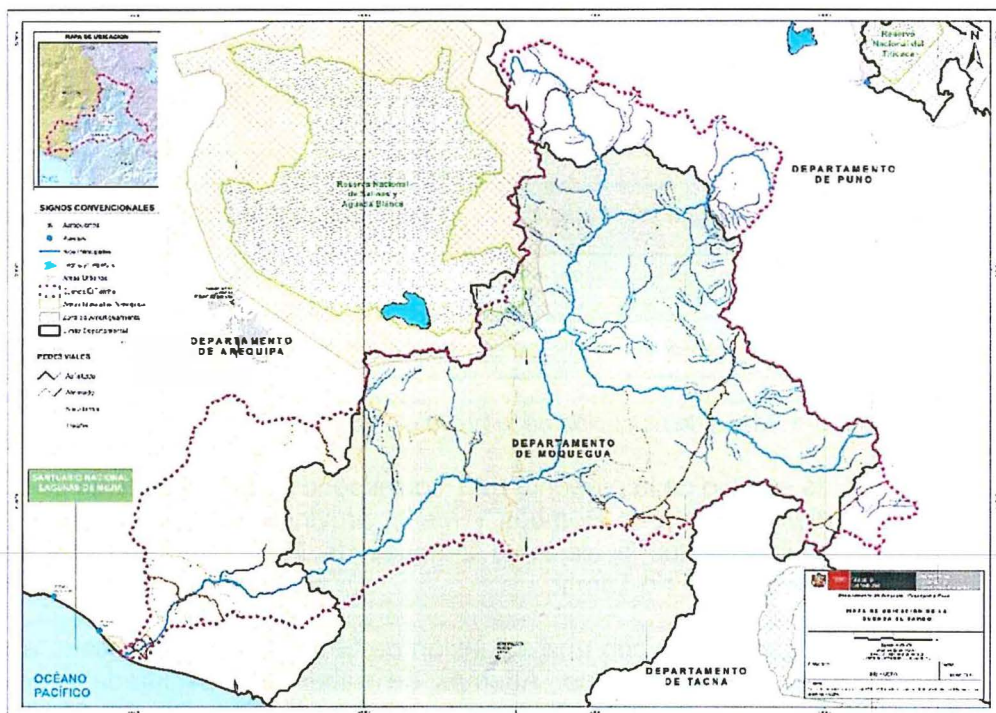


Figura 6-2. Mapa de ubicación de la cuenca del río Tambo

48. El área total de drenaje hasta su desembocadura es de 12 953,37 km², contando con una longitud de cauce principal desde su nacimiento de 199,04 km, y una pendiente media de cauce de 1,36%. Se extiende desde el nivel del mar hasta la línea divisoria de aguas entre la cuenca del río Tambo y las cuencas de los ríos Llave, Illpa y Cabanillas, a una altitud aproximada de 4800 m s.n.m.
49. La cuenca del río Tambo, que corresponde a la vertiente del océano Pacífico, tiene su origen en afluentes derivados de la región Puno denominados ríos Fundición, Tincopalca y Quemillone, que dan origen al río Paltiture; posteriormente este se une con el río Ichuña y da origen al río Tambo (río principal que denomina a la cuenca), el cual recibe aguas de los ríos Chojata, Omate y Puquina, llegando

¹¹ Los servicios ecosistémicos son todos los beneficios que ofrecen los ecosistemas al ser humano y que hacen posible su vida, como por ejemplo, la regulación del clima y del ciclo hidrológico, polinización de cultivos, formación del suelo, etc.

¹² Codificación establecida en la Resolución Ministerial N° 033-2008-AG, Aprueban Metodología de Codificación de Unidades Geográficas de Pfafstetter, Memoria Descriptiva y el Plano de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú.

finalmente a la parte baja donde sus aguas desembocan al océano, en la provincia de Islay, departamento de Arequipa.

- La cuenca se subdivide en 10 subcuencas detallados en la Tabla 6-1. Los cursos principales a esta cuenca son los ríos Coralaque, Ichuña, Tambo, Carumas y Paltiture.

Tabla 6-1. Unidades hidrográficas en la cuenca del río Tambo

Unidad hidrográfica	Área		Curso de agua principal
	km ²	%	
Laguna Loriscota	234,48	1,81	-
Bajo Tambo	320,02	2,47	Tramo río Tambo
Linga	842,93	6,51	Quebrada Linga
Medio Bajo Tambo	111,94	0,86	Tramo río Tambo
Huayrondo	1 193,33	9,21	Quebrada Huayrondo
Medio Tambo	4 249,97	32,81	Tramo río Tambo
Coralaque	2 509,62	19,37	Río Coralaque
Medio Alto Tambo	938,39	7,24	Tramo río Tambo
Ichuña	1 263,94	9,76	Río Ichuña
Alto Tambo	1 288,75	9,95	Tramo río Tambo
Total	12 953,37	100,00	-

(-): No aplica.

Fuente: Informe Técnico N° 005-2015-ANA-AAA | C-O/ALA T-AT MOQ/ECRH/VNCA-LVUC.

- Hidrográficamente, limita por el norte con la cuenca del río Quilca -Vitor - Chili; por el sur con la cuenca del río Ilo - Moquegua; por el este con la cuenca del río Llave, y por el oeste con la cuenca del río Quilca-Vitor-Chili y el océano Pacífico.
- Los principales parámetros meteorológicos que caracterizan el clima en el área de interés son la precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, nubosidad y velocidad y dirección del viento.¹³
- Las masas de aire húmedo que se forman en el Atlántico y en la zona de la Amazonía, son transportadas por los vientos del este hacia oeste en dirección a la cuenca del río Tambo, donde ascienden forzosamente en la intersección con la cordillera de los Andes, originándose precipitaciones sobre los mismos que luego van disminuyendo de forma gradual hacia la costa del Pacífico.
- En la cuenca del río Tambo, los regímenes de precipitación están gobernados principalmente por la interacción del anticiclón del Atlántico (AA), anticiclón del Pacífico (AP), la zona de convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) y la zona de convergencia intertropical (ZCIT), con la influencia de la cadena montañosa de los Andes. Dependiendo de la posición de la AP, ZCIT y ZCAS, se puede presentar un año seco o húmedo y la presencia de El Niño o La Niña, originados por debilitamiento de los vientos del este y el desplazamiento del AA y el ZCIT, pudiendo ocasionar sequías e inundaciones.
- Las unidades litológicas existentes en el área de estudio, varían en edad desde el Precámbrico hasta el Cuaternario reciente y conforman una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas con un espesor superior a 10 000 m, que se encuentran atravesadas por diversos cuerpos intrusivos.

13 EIA aprobado mediante R.D. N° 392-2014-MEM/DGAAM



56. La geología del área correspondiente al proyecto minero Tía María consiste en depósitos de cobre de naturaleza porfirítica, explorados en años recientes por diversas compañías como Teck Minerals y Phelps Dodge.
57. La zona mineralizada de óxidos de cobre presenta minerales como crisocola, neotocita y malaquita, los cuales están relacionados a la intrusión de pórfido cuarzo-feldespático. La mineralización económica está presente en una zona de oxidación que consiste en óxidos de cobre como crisocola, brocantita, antlerita, atacamita, y en menor cantidad malaquita y cuprita. En la zona de sulfuros primarios existe mineralización de pirita y calcopirita; en la de sulfuros secundarios, los minerales económicos son bornita, calcocita, covelita, y digenita.
58. Entre las asociaciones de suelos existentes dentro del área de influencia del proyecto, donde se establecieron puntos de muestreo, se encuentran las siguientes: Fluvisol éutrico – Regosol éutrico (FLe-RGe), Leptosol lítico – Afloramiento lítico (LPq-R) y – Solonchak háplico Leptosol éutrico (SCh-LPe).
59. El área de estudio se extiende desde el litoral hasta las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes; por sus características topográficas se diferencian las siguientes unidades geomorfológicas: faja litoral, cordillera de la costa y pampas costaneras.
60. Según el mapa ecológico del Perú (ONERN 1996) las zonas de vida dentro del área de estudio son: desierto superárido-templado cálido (ds-Tc), desierto perárido-templado cálido (dp-Tc), desierto desecado-subtropical (dd-S) y matorral desértico-templado cálido (md-Tc).
61. Las formaciones vegetales identificadas son tillandsiales (representado entre otras por *Tillandsia purpurea*), lomas (con mayor presencia de *Ophiosporus sp.* en época seca y de *Grindelia glutinosa* en época húmeda), rodales de cactáceas columnares (constituidos en época seca fundamentalmente por *Coryocactus brachypetalus* y en época húmeda por *Alternanthera pubiflora*), monte ribereño (con mayor cobertura de *Tessaria intergrifolia*, siguiendo *Equisatum giganteum* en época seca y *Paspalum vaginatum* en época húmeda), totoral (con gran cobertura de *Scirpus americanus*, *Paspalum vaginatum* y *Tessaria intergrifolia*), matorral (con mayor presencia de *Tessaria intergrifolia* y *Plunchea chingoyo*) y zonas agrícolas.
62. En la actualidad, la población asentada en el valle tiene como principales actividades la agricultura y la pesca, dedicándose adicionalmente a la actividad minera y el comercio. Los cultivos predominantes son arroz, maíz, olivo, cebolla, ajo y frutales como el granado de la variedad Wonderful, siendo este menos frecuente y destinado a la exportación.
63. El uso actual del suelo consiste en terrenos urbanos, instalaciones públicas y privadas, terrenos agrícolas, terrenos con vegetación natural y terrenos improductivos.
- 7. CONTEXTO SOCIAL**
64. El contexto social se refiere a todas aquellas circunstancias que enmarcan la situación en la que se encuentra el área de interés, en este caso, el lugar donde



l
ff
A
A
A
R



se desarrolló la EAT, y en el que están incluidos todos los individuos que forman parte de la población residente en esa área.

65. La información del contexto social fue obtenida mediante la revisión de fuentes bibliográficas, lo que fue complementado con aquella recopilada durante la visita de reconocimiento previa al desarrollo de la evaluación ambiental y durante las etapas previas a la ejecución del mismo.
66. Las etapas tipificadas en el Reglamento de Participación Ciudadana en las Acciones de Monitoreo Ambiental a cargo del Oefa¹⁴ para la ejecución de la evaluación ambiental temprana son las siguientes:
 - Etapa 1. Coordinación previa con los actores involucrados.
 - Etapa 2. Convocatoria.
 - Etapa 3. Inscripción en los programas de inducción.
 - Etapa 4. Realización de la inducción.
 - Etapa 5. Taller para la presentación de la propuesta del Plan del MAP.
 - Etapa 6. Ejecución del MAP.
 - Etapa 7. Taller para la presentación de los resultados del monitoreo realizado.

7.1. Etapas del monitoreo

67. Seguidamente se presentan las etapas previas a la ejecución del monitoreo, indicándose la fecha en la que tuvieron lugar y las actividades principales que se realizaron durante las mismas.

Visita de Reconocimiento

68. La visita de reconocimiento es una etapa adicional, previa al inicio del MAP, fue realizada del 13 al 18 de febrero de 2017. Su objetivo fue el de establecer un primer contacto con las poblaciones y autoridades de la zona a evaluar, conocer su percepción respecto a la realización del MAP, y reconocer técnica y logísticamente el área de intervención. Toda esta información, junto con el conocimiento de la situación social y ambiental del área de monitoreo, la existencia de conflictos, y las principales actividades económicas, entre otras, facilitaría el desarrollo del MAP.
69. Esta visita también sirvió para definir el área y los objetivos del estudio, lo que permitió identificar los componentes ambientales a evaluar, determinar la red y los parámetros de muestreo y establecer las herramientas de análisis que ayudarían a diagnosticar las condiciones ambientales de la zona.
 - **Coordinación previa con los actores involucrados; convocatoria e inscripción a los programas de inducción**
70. Estas etapas fueron desarrolladas del 13 al 17 de marzo de 2017, periodo durante el cual se realizaron reuniones de coordinación previa en las municipalidades

¹⁴ Resolución de Consejo Directivo N° 032-2014-OEFA/CD, "Aprueban el Reglamento de participación ciudadana en las acciones de monitoreo ambiental a cargo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - Oefa", del 2 de setiembre de 2014, modificada mediante Resolución de Consejo Directivo N° 003-2016-OEFA/CD.



distritales de Cocachacra y Deán Valdivia, de igual manera se coordinó la difusión de la invitación a los talleres de inducción.

71. En dichas reuniones, se determinó lo siguiente:
- El MAP se realizaría en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, distrito de Islay, departamento de Arequipa.
72. Se concretaron las fechas y lugares para la convocatoria y la realización de los talleres de inducción y de la presentación de la propuesta del plan de ejecución.
- Se definió el lugar en el que se dejarían las listas de inscripción.
73. La difusión fue realizada mediante comunicaciones formales y emisión radial (radios "Platinum" y "RPP Mollendo"), convocándose a los principales actores sociales involucrados en el desarrollo del MAP, tales como instituciones del estado, juntas de riego, centros educativos, colegios profesionales y a la población de los distritos involucrados (Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía).
74. Por último, se reconocieron algunas quebradas propuestas para realizar el monitoreo de calidad de agua, sedimento e hidrobiología.
- **Realización de la Inducción y taller para la presentación de la propuesta de la evaluación ambiental temprana**
75. Dichas etapas tuvieron lugar del 17 al 20 de abril de 2017, en los distritos de Cocachacra y Deán Valdivia, provincia de Islay, departamento de Arequipa.
76. Durante la inducción, el Oefa informó sobre las competencias de fiscalización ambiental a su cargo, los alcances del reglamento que regula la participación ciudadana en las acciones de monitoreo, los derechos y deberes de los participantes, y los lineamientos y procedimientos para la toma de muestras. Se entregó un certificado a los asistentes que se inscribieron con anticipación.
77. Inmediatamente después de la inducción, se continuó con el taller de presentación de la propuesta de ejecución. Durante la misma, se explicó lo siguiente:
- Los objetivos del monitoreo.
 - Las acciones de monitoreo que serían impulsadas por el Oefa en campo.
 - Los criterios para la elección de los puntos de muestreo.
 - La metodología para la recolección de muestras y mediciones en campo.
 - La metodología que se aplicará para la evaluación de los resultados obtenidos.
 - Los alcances de la participación ciudadana durante las labores de monitoreo a realizarse.
 - Otros aspectos de interés.



Handwritten signature in blue ink.



78. Finalizando cada una de estas reuniones sostenidas, se validaron puntos de muestreo propuestos con acompañamiento de la población.
79. Los acuerdos tomados estuvieron relacionados principalmente con las fechas de ejecución del monitoreo y los participantes que acompañarían al Oefa durante la misma. Las actas y listas de participantes, correspondientes a cada una de las etapas del MAP, se presentan en el Anexo A.

7.2. Ejecución de la evaluación ambiental temprana

80. Esta etapa, previa a la presentación de los resultados, se desarrolló del 6 al 15 de mayo de 2017. Durante la misma se realizó la toma de muestras de agua, sedimentos, hidrobiología, aire, suelo y tejido vegetal, teniendo en cuenta los puntos de muestreo que habían sido determinados previamente.
81. Las personas que habían sido seleccionadas previamente acompañaron a los especialistas durante el muestreo de los componentes ambientales mencionados.

7.3. Actores involucrados

82. Los actores involucrados en el desarrollo del MAP se consignan en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1. Actores sociales involucrados para el desarrollo del MAP

Institución	Distrito	Provincia	Departamento
OD-Arequipa (Oefa)	José Luis Bustamante y Rivero	Arequipa	Arequipa
Southern Perú Copper Corporation	Ilo	Ilo	Moquegua
Gobierno Regional de Arequipa (GORE-Arequipa) - Gobernatura	Paucarpata	Arequipa	Arequipa
GORE-Arequipa: Gerencia Regional de Energía y Minas	Paucarpata	Arequipa	Arequipa
GORE-Arequipa: Gerencia Regional de Agricultura	José Luis Bustamante y Rivero	Arequipa	Arequipa
GORE-Arequipa: Gerencia Regional de Salud	Arequipa	Arequipa	Arequipa
GORE-Arequipa: Gerencia Ambiental Regional	Arequipa	Arequipa	Arequipa
GORE-Arequipa: Gerencia del Instituto Regional de Gestión y Tecnología del Agua-IRGTA	Arequipa	Arequipa	Arequipa
GORE-Arequipa: Área de prevención y gestión de conflictos	Paucarpata	Arequipa	Arequipa
Autoridad Nacional del Agua	San Isidro	Lima	Lima
AAA Caplina Ocoña	Cerro Colorado	Arequipa	Arequipa
ALA Tambo - Alto Tambo (AAA Caplina-Ocoña)	Deán Valdivia	Islay	Arequipa
Agencia Agraria de Islay	Deán Valdivia	Islay	Arequipa
Municipalidad provincial de Islay	Mollendo	Islay	Arequipa
Municipalidad distrital de Mejía	Mejía	Islay	Arequipa
Municipalidad distrital de Deán Valdivia	Deán Valdivia	Islay	Arequipa
Municipalidad distrital de Cocachacra	Cocachacra	Islay	Arequipa
Municipalidad distrital de Punta de Bombón	Punta de Bombón	Islay	Arequipa
Junta de Usuarios del Valle de Tambo	Cocachacra	Islay	Arequipa
Junta de Usuarios Irrigación Ensenada Mejía Mollendo	Mejía	Islay	Arequipa
Junta de Riego Punta de Bombón	Punta de Bombón	Islay	Arequipa



1
2
3
4
5
6
7
8



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

Institución	Distrito	Provincia	Departamento
Sernanp-Dirección de Gestión de las Áreas Naturales Protegidas	San Isidro	Lima	Lima
Sernanp-Santuario Nacional Lagunas de Mejía (SNLM)	Mejía	Islay	Arequipa
Red de Salud Islay	Mollendo	Islay	Arequipa
Dirección zonal de producción de Islay (Ministerio de la Producción)	Mollendo	Islay	Arequipa
Oficina Defensorial de Arequipa	Arequipa	Arequipa	Arequipa
Colegio de Ingenieros del Perú - Consejo Departamental de Arequipa	Arequipa	Arequipa	Arequipa
Colegio de Biólogos del Perú, Consejo Regional VIII, Arequipa	José Luis Bustamante y Rivero	Arequipa	Arequipa
Distrito Fiscal de Arequipa	Arequipa	Arequipa	Arequipa
Universidad Nacional San Agustín	Arequipa	Arequipa	Arequipa
Comisión de usuarios Quelgua Carrizal Checa	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Buena Vista El Toro	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Acequia Alta La Pascana	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Santa Rosa de Ventillata Ayanquera	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Hacendados	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Chacarero San José	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Ensenada	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Bustíos	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Montegrande	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios Manantial La Palma	Cocachacra	Islay	Arequipa
Comisión de usuarios La Curva Buena Esperanza	Cocachacra	Islay	Arequipa
Asociación de Pescadores Artesanales Camaroneros y Defensores de la Fauna del río Tambo Base Cocachacra	Cocachacra	Islay	Arequipa
Central Azucarera Chucarapi- Pampa Blanca S.A.	Cocachacra	Islay	Arequipa
Centro Poblado San Camilo A-7	Cocachacra	Islay	Arequipa
I.E.40518 El Fiscal	Cocachacra	Islay	Arequipa
I.E. Cristo Rey	Cocachacra	Islay	Arequipa
I.E.P. Jesús de Nazareth	Cocachacra	Islay	Arequipa
I.E. Mariano Eduardo de Rivero y Ustariz	Cocachacra	Islay	Arequipa
I.E.I. Niño Jesús de Praga	Cocachacra	Islay	Arequipa
I.E.P. 40482 San Martín de Porres	Cocachacra	Islay	Arequipa
Sedapar S.A.	Mollendo	Islay	Arequipa



8. MARCO CONCEPTUAL

83. En este apartado se consigna información sobre algunos conceptos de los componentes ambientales: agua superficial, sedimento, hidrobiología, aire, suelo y tejido vegetal, que servirán para las discusiones de los resultados de la EAT llevada a cabo en el ámbito de influencia del proyecto Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía.



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

8.1. Agua superficial

84. La creciente presión sobre los cuerpos naturales de agua puede afectar la calidad de los recursos hídricos, impactando en los ecosistemas acuáticos y comprometiendo la disponibilidad de los mismos.
85. Aunque el agua superficial disponible en Perú es relativamente abundante, su calidad es crítica en algunas regiones del país, lo que es uno de los problemas más graves existentes puesto que constituye un impedimento para lograr el uso de dicho recurso de manera eficiente.¹⁵
86. De manera general, se puede afirmar que el deterioro de la calidad de agua se debe fundamentalmente al aumento de la población (situación agravada por las invasiones descontroladas) y la expansión de las actividades antropogénicas. Entre otras causas, la calidad del agua puede verse afectada por la falta de tratamiento adecuado de las aguas residuales, la realización de vertimientos procedentes de industrias extractivas (principalmente minería e hidrocarburos) no formalizadas, el uso de pesticidas, la ausencia de vegetación de ribera en los cursos de agua, etc. Toda esta problemática, también tiene un gran impacto sobre el resto de componentes ambientales que van hacer analizados en el presente informe.

8.1.1. Parámetros fisicoquímicos

87. El parámetro fisicoquímico considerado ha sido la demanda química de oxígeno (DQO) para realizar el análisis y la discusión de resultados respectivos.

a) Demanda química de oxígeno (DQO)

88. La DQO sirve para estimar el contenido orgánico (compuestos que tienen carbono) soluble y particulado en medio acuoso¹⁶, que consume oxígeno en condiciones definidas¹⁷. Representa tanto a la materia orgánica biodegradable¹⁸ como a la no biodegradable.
89. Además, este parámetro también estima tanto los compuestos inorgánicos oxidables que contienen carbono como los que no contienen, tales como los iones no metálicos, es decir, nitritos (NO_2^-)¹⁹, cloruros (Cl^-)²⁰ y sulfuros (S^{2-}); y los iones metálicos como son el ferroso (Fe^{2+}), manganoso (Mn^{2+}), etc. (Yun Whan Kang, 1999; American Public Health Association, 2012).
90. Una de las causas del incremento de la concentración de la DQO en el agua subterránea, es la infiltración de los lixiviados orgánicos en los acuíferos (Ngang,

¹⁵ Ayuda Memoria del Plan Nacional de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del 2013.

¹⁶ Comprende al agua superficial, subterránea y residual.

¹⁷ Evaluación realizada en medio ácido (H_2SO_4), con agente oxidante ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$), catalizador (AgSO_4) y calentamiento a 150°C (digestión en reflujo cerrado) de 1 a 2 horas, de acuerdo al método de ensayo utilizado por el laboratorio acreditado contratado (American Public Health Association, 2012).

¹⁸ La materia orgánica biodegradable u oxidada biológicamente es calculada por la Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (DBO_5), por lo que siempre la concentración de la DQO es mayor a la DBO_5 .

¹⁹ La interferencia positiva de la concentración de los cloruros de 100 a 2 000 mg/L es reducida mediante formación de complejos con sulfato de mercurio (HgSO_4) antes del calentamiento para oxidar los compuestos orgánicos (René Bernard Geerdink, 2017; American Public Health Association, 2012).

²⁰ La interferencia positiva de los nitritos puede ser eliminada por adición de ácido sulfámico (H_3NSO_3) (American Public Health Association, 2012).

2015). Otra de las causas podría ser la presencia de iones cloruros (Cl⁻) y bromuros (Br⁻), y los iones metálicos, principalmente Fe²⁺ y Mn²⁺.

91. En el caso del agua de mar, la materia orgánica particulada (POM, por sus siglas en inglés), cuyo tamaño de partículas es mayor a 1,0 µm (ver Figura 8-1), juega un papel importante en la DQO. Los organismos vivos como el fitoplancton (microalgas y diatomeas), bacterias y compuestos inertes como partículas de arcilla, diatomeas muertas y restos de materia fecal y exoesqueleto de zooplancton, son parte de la POM que cae en el fondo marino, lo que es conocido como nieve marina (Volkman, 2002).
92. La materia orgánica coloidal²¹ (COM, por sus siglas en inglés), cuyo tamaño de partícula es de 0,001 µm (10 kDa) a 1,0 µm, está constituida por organismos vivos como virus, bacterias de menor tamaño, protozoarios y algas, minerales de arcilla y óxidos de hierro, aluminio y manganeso (Laodong, 1997).
93. Finalmente, la materia orgánica disuelta (DOM, por sus siglas en inglés), cuyo tamaño de partícula es menor a 0,001 µm, está conformada por nutrientes disueltos como el fósforo y el nitrógeno orgánico disuelto (DOP y DON, respectivamente) que acompañan al carbono orgánico disuelto, y otras moléculas pequeñas (Hedges, 2002).

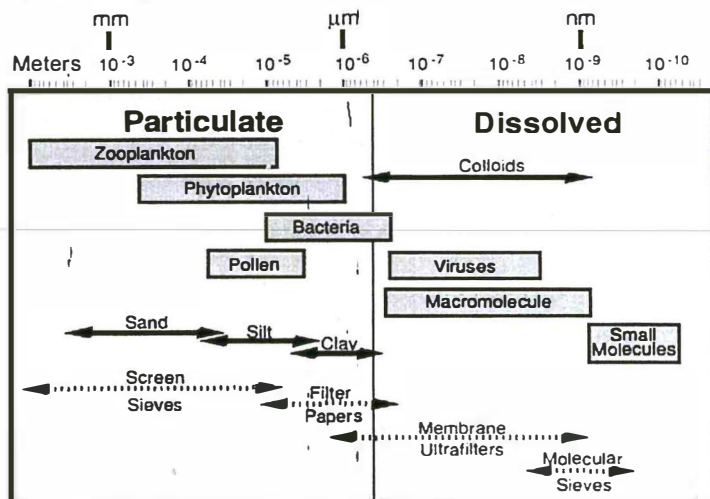


Figura 8-1. Escala de longitud de partícula para la materia orgánica en el agua de mar
Fuente: Hedges J. 2002.

8.1.2. Aniones y cationes principales²²

94. Los aniones a destacar en la presente evaluación son el cloruro, sulfato, bicarbonato y carbonato, y nitrato; los cationes resaltantes son sodio, calcio, potasio y magnesio.

²¹ Históricamente, la materia orgánica ha sido dividida arbitrariamente en disuelta y particulada, basada en la filtración a través de un filtro de 0,45 µm; no obstante, se han determinado cientos de moléculas de bajo peso molecular, menores a 0,0002 µm (George R. Aiken, 2011), y debido a que la COM con tamaño de 0,001 a 1,0 µm, pasan el filtro de 0,45 µm, se incluye en la DOM con peso molecular alto (Laodong Guo, 1997).

²² Juan Camilo Gómez Ravq. (2009). Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isótopos, como herramienta para definir un modelo conceptual Hidrogeológico, Caso de Aplicación: Acuífero Costero del Municipio de Turbo. Tesis

**a) Cloruro (Cl⁻)**

95. El ion cloruro es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y su contenido en el agua es variable, llegando a concentraciones de 19 350 mg/L en el agua de mar y mayores en aguas de producción de actividades hidrocarburíferas. También está presente en las infiltraciones del agua de mar, que tienen influencia sobre humedales del litoral. Procede del lavado de terrenos de origen marino, aguas congénitas²³ y fósiles.²⁴
96. El Cl⁻ puede proceder también de la meteorización de rocas, aunque su aporte es pequeño, ya que es un elemento escaso en la corteza terrestre. Puede existir también aportes del ion cloruro a partir de rocas evaporitas²⁵ y por ciertos minerales asociados a rocas ígneas y metamórficas. Raramente puede provenir de gases y líquidos asociados a emanaciones volcánicas.
97. No precipita, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente, ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador²⁶ casi ideal.

b. Sulfato (SO₄²⁻)

98. El sulfato es otro anión principal en los cuerpos de agua superficial y se encuentra mayormente en el agua de mar. Procede del lavado de terrenos formados en ambiente marino, de la oxidación de sulfuros que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias, y de la descomposición de sustancias orgánicas.
99. La disolución de yeso (CaSO₄·2H₂O) y anhidrita (CaSO₄) y otros tipos de sulfatos dispersos en el terreno, representan el aporte más significativo de este ion a las aguas subterráneas. El comportamiento del ion SO₄²⁻ tiende a formar iones complejos con Na⁺ y Ca²⁺ y a incorporarse a procesos biológicos.

c. Bicarbonato y carbonato (HCO₃⁻ y CO₃²⁻)

100. Proceden de la disolución de anhídrido carbónico (CO₂) atmosférico o del suelo, de la respiración, de la descomposición de la materia orgánica, y de la disolución de calizas²⁷ y dolomitas²⁸.

de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Geociencias y Medio - Facultad de Minas, Medellín. Consultado el 01 de Agosto de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2407/>

²³ Las aguas congénitas o saladas, son un subproducto de la extracción de petróleo.

²⁴ Las aguas fósiles son aquellas que han permanecido en un acuífero subterráneo durante miles o millones de años.

²⁵ Las evaporitas son rocas formadas por la evaporación de aguas salinas, por lo que afectan a la calidad de las aguas con las que tienen contacto convirtiéndolas en salinas. Para que se formen el ritmo de evaporación ha de exceder a los aportes de agua. Están formadas principalmente por halitas, anhidritas y yeso.

²⁶ Un trazador es una sustancia que, al ser añadida al agua subterránea, puede ser identificada y medida con facilidad y que al mismo tiempo es capaz de moverse a la velocidad misma del agua. Estas pueden ser naturales o artificiales. (Potosí, 1996).

²⁷ Roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO₃).

²⁸ Roca sedimentaria de carbonatocálcico y magnésico (dolomita - CaMg(CO₃)₂), generalmente de origen químico.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

101. En aguas subterráneas con pH inferior a 8,3, la especie carbonatada predominante es el ion bicarbonato (HCO_3^-), mientras que a $\text{pH} > 8,3$, el ion carbonato (CO_3^{2-}) se encuentra en concentraciones mayores que el bicarbonato.

d. Nitrato (NO_3^-)

102. Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno. Cuando se encuentra en forma oxidada constituye una importante fracción en los suelos y sustancias orgánicas (tejidos de animales o vegetales que lo extraen de la atmósfera para su metabolismo).
103. El ión nitrato forma sales muy solubles, por lo que son difícilmente precipitables. En las rocas, sólo se presenta como elemento minoritario.

e. Sodio (Na^+)

104. Es liberado por la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos, compuestos fundamentalmente por NaCl (halitas).
105. Las sales de Na^+ son muy solubles y tienden a permanecer en solución, ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, como ocurre en el caso del Ca^{2+} . Sin embargo, el Na^+ puede ser adsorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico (CIC) y puede ser intercambiado por Ca^{2+} , provocando una disminución de la dureza de las aguas (ablandamiento natural).

f. Calcio (Ca^{2+})

106. El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales, debido a su presencia en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.
107. En rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos (plagioclasas). En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato, es decir, como CaCO_3 (calcita o aragonito) y $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomita); y en forma de sulfato, es decir, como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso) o CaSO_4 (anhidrita). Puede provenir también de la disolución de cemento calcáreo y de la concentración del agua lluvia.
108. Forma sales de moderada a alta solubilidad y puede precipitar con facilidad como CaCO_3 y su estabilidad en solución, depende del equilibrio $\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-\text{-CO}_3^{2-}$.

g. Potasio (K^+)

109. Procede de la meteorización de feldspatos y silicatos (micas y arcillas), y ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas. También procede, en menor medida, del aporte del agua lluvia. Forma sales de solubilidad muy elevada que son difíciles de precipitar.
110. El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico, por ello su concentración y contenidos en las rocas y en aguas subterráneas naturales es generalmente mucho menor que la del Na^+ .



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin, including a large 'A' and several illegible scribbles.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

h. Magnesio (Mg^{2+})

111. Es menos abundante que el Ca^{2+} en las aguas naturales, y proviene de la disolución de rocas carbonatadas (dolomitas y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina.
112. La solubilidad de la magnesita ($MgCO_3$) en las aguas subterráneas es mayor que la de la calcita ($CaCO_3$), ya que el Mg^{2+} es más soluble y más difícil de precipitar que el Ca^{2+} .
113. Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de Mg^{2+} en aguas subterráneas, donde es retenido con preferencia al Ca^{2+} , en suelos y rocas.

8.1.3. Metaloides y metales pesados

114. Los metaloides y metales pesados a destacar son el arsénico, boro, manganeso, hierro y aluminio.

a) Arsénico (As)

115. El arsénico es un metaloide que puede llegar al agua por vía natural, a través de la desorción y disolución de minerales durante la meteorización, las emisiones volcánicas a la atmósfera y los ascensos de fluidos magmáticos e hidrotermales asociadas a la cordillera de los Andes. Su dispersión secundaria se da a través de aguas superficiales, lo que ha sido el mecanismo dominante que ha llevado el arsénico hasta las costas del Océano Pacífico y Atlántico (Fernández, 2005).
116. En relación a las fuentes hidrotermales, las altas concentraciones de arsénico han sido ampliamente reportadas en reservorios de la cordillera de los Andes y su respectivo impacto en los cuerpos de agua superficial que reciben dichas aguas.
117. Tal es el caso del campo geotermal de borateras, perteneciente a la parte alta de la cuenca del río Maure (U.H: 0144), distrito de Sitajara, departamento de Tacna. En la fuente Putina Chico A y B se registraron altas concentraciones de arsénico (14,8 y 9,42 mg/L respectivamente) que descargan directamente al río Maure, en el tramo de "Borateras" y baño de Calachaca, alcanzando una concentración de 9,87 mg/L y aguas más abajo llega a tener concentración de 2,28 mg/L.^{29 30}
118. En el río Maure, aguas abajo de las borateras Chillicolpa, según las evaluaciones llevadas a cabo por la Autoridad Nacional del Agua en la época de vaciante y creciente (2011-2014), se registraron concentraciones de arsénico que excedieron el valor establecido en la Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales" de los ECA establecidos el D.S. N°002-2008-MINAM.
119. Aguas abajo las descargas de las aguas geotermales, la concentración de arsénico disminuye por medio de diferentes procesos fisicoquímicos que incluyen

²⁹ Estudio Geotérmico del Campo Borateras. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMET). Vargas, R. *et al.* Boletín N° 47 Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica. Lima, Perú 2012.

³⁰ Aplicación de Isotopos Ambientales para la Mitigación de la Contaminación de Arsénico en la cuenca del río Maure. Tesis para Optar el Grado de Maestro en Ciencias con Mención en: Minería y Medio Ambiente. Herrera, Jacinto Valencia. 2009.



dilución y adsorción en los sedimentos de los ríos y enriquecidos en oxihidróxidos³¹ de hierro (Ormachea M. 2015).

120. El comportamiento ambiental del arsénico está condicionado por el potencial redox y el pH del medio hídrico. De esta manera, en condiciones oxidantes, el arsénico esta disuelto en forma de As (V) a pH neutro o que tienda a la basicidad ($\text{pH} > 7$), siendo la especie predominante H_2AsO_4^- para $\text{pH} < 6,9$ y HASO_4^{2-} para pH más elevado. Este ambiente geoquímico favorece también la existencia de especies disueltas de boro, mientras que el hierro y manganeso tienden a formar especies minerales en forma de óxidos.
121. Con las condiciones geoquímicas del agua superficial, el arsénico es transportado mayoritariamente en forma disuelta, mientras que las especies suspendidas se trasladan por la adsorción a óxidos minerales de hierro y manganeso que son arrastrados por el agua.
122. En cambio, en aguas subterráneas con condiciones reductoras, el pH suele estar cerca a la neutralidad en el rango ácido, el arsénico se encuentra en su forma más tóxica, As (III), cuya especie dominante es el H_3AsO_3 para $\text{pH} < 9,2$. En estas condiciones, los óxidos de hierro y manganeso tienden a disolverse.
123. En general, la forma química principal en el que aparece el arsénico es el As (V) bajo la forma de arseniato, siendo la relación con el As (III) muy variable, aunque casi siempre mayor a 1. Las formas orgánicas se encuentran en pequeñas concentraciones, y de ellas las formas metiladas, a semejanza de lo que ocurre con el mercurio, son las principales (Gasquez, 2005).
124. La movilidad de las especies de arsénico en los contextos geoquímicos indicados puede variar por competencia con otras especies existentes en el agua tales como el boro y fosfatos (elementos minoritarios o trazas), siendo más compleja la naturaleza química del arsénico al considerar aniones mayoritarios que compitan en las reacciones que se da en estos ambientes acuáticos como los bicarbonatos (HCO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}).

b. Boro (B)

125. El boro es un metaloide que no se encuentra en la naturaleza como elemento puro, sino formando parte de minerales que incluyen a los boratos (bórax) y borosilicatos (turmalina) en rocas sedimentarias, suelos y agua (Wons, 2014)³².
126. Las concentraciones más altas de boro se encuentran en los sedimentos y rocas sedimentarias, particularmente en sedimentos marinos ricos en arcilla, por lo que las concentraciones de boro en el agua de mar son mayores que en agua continental (ríos, lagos y quebradas), excepto en regiones geotermales o borateras. El incremento de boro del agua continental está relacionado con la

³¹ Cualquier compuesto químico formado por un metal, oxígeno y grupos hidróxidos (OH). Disponible en: <http://diccionario.raing.es/es/lema/oxihidr%C3%B3xido>, revisado el 01 de agosto de 2017

³² State Water Resources Control Board. (2016). *Groundwater Ambient Monitoring and Assessment Program*. (C. E. Agency, Ed.) Consultado el 01 de Agosto de 2017. Extraído de http://www.waterboards.ca.gov/gama/docs/coc_boron.pdf.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

proximidad a regiones costeras marinas, tal como sucede en los estuarios (CCME, 2009), siendo los minerales de boro solubles difíciles de remover en agua.

127. Por otro lado, las altas concentraciones de boro características de las áreas geotermales con diferente tectónica, litología y régimen hidrológico, ponen de manifiesto la relación de este elemento con los procesos termales (Morell, 2008).
128. Estas altas concentraciones han sido ampliamente reportadas en reservorios en la cordillera de los Andes y su respectivo impacto en los cuerpos de agua superficial. Por ejemplo, en la fuente Putina Chico A y B, anteriormente mencionada, perteneciente a la cuenca del río Maure, del distrito de Sitajara, se registraron altas concentraciones de boro (95,4 y 72,7 mg/L, respectivamente).
129. En el río Maure, aguas abajo de las borateras Chillicolpa, acorde a las evaluaciones de la ANA (2012-2014 en la época de vaciante y creciente), se registraron concentraciones de boro que excedieron los ECA de la Categoría 3, aprobados por el D.S N°002-2008-MINAM.
130. La concentración de boro en el agua subterránea depende de las condiciones hidrogeológicas y la interacción con las rocas a las que se encuentra asociado. Cabe resaltar que movilidad del boro disminuye en los acuíferos cuando estos tienen un alto contenido de arcilla debido al proceso de adsorción afectados por diversos factores como: salinidad del agua, temperatura, pH, tipo de arcilla, su cristalinidad y la fuerza iónica.

c. Manganeso (Mn)

131. El manganeso es uno de los metales ampliamente distribuidos y abundantes en la naturaleza, presente en las rocas, el suelo y el agua, representando el 0,1% de la corteza terrestre (Annalisa, 2012). El manganeso no se encuentra como metal libre, sino que forma parte de más de 100 minerales que incluyen sulfuros, óxidos, carbonatos, silicatos, fosfatos y boratos (Howe, 2004).
132. Las rocas y suelos son una fuente de manganeso, el cual puede disolverse en el agua superficial y subterránea o depositarse en los sedimentos, con el potencial subsecuente para la disolución (Nádaská, 2010).
133. La movilidad y biodisponibilidad biológica del manganeso no depende de su concentración total sino también de las formas fisicoquímicas en el que está presente, estando dichas formas regidas por el potencial redox y pH (Jablonska-Czapla, 2015).
134. En el ambiente acuático, el manganeso se encuentra en dos formas principales, Mn (II) y Mn (IV). La conversión de una forma a otra se produce mediante reacciones de oxidación y reducción, que pueden ser abióticas o mediadas por microorganismos (Annalisa, 2012).
135. El Mn (II) predomina en condiciones de pH y potencial redox más bajos, aumentando la proporción de oxihidróxidos de manganeso coloidal en aguas no distróficas con valores de pH superiores a 5,5.



Handwritten signature in blue ink.



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

136. Cabe resaltar que el Mn (II), en especies solubles, abarca el 91,3 % de todos los compuestos de manganeso en el agua. Entre esas especies se encuentran los carbonatos, sulfatos y otros aniones con el 4,46%, 2,96% y 0,3% respectivamente.
137. En los sedimentos el manganeso se encuentra como Mn (IV) y se solubiliza en la columna del agua como Mn (II) normalmente en forma disuelta a pH ácido y potencial redox bajos, con un incremento de las formas coloidales por encima de pH 5,5 en aguas no distróficas³³ y precipitando en mayor concentración en forma de hidróxidos a mayores valores de pH.
138. Generalmente, la concentración de manganeso es bajo en condiciones aeróbicas como los acuíferos poco profundos y las aguas superficiales, debido a que se encuentra en su forma oxidada estable, normalmente como MnO₂ (Mn IV) insoluble, tendiendo los compuestos de manganeso a sujetarse a partículas o establecerse como sedimentos, los cuales puede ser removidos en mayor fuerza por el incremento de los caudales en las épocas de mayores lluvias.

d. Hierro (Fe)³⁴

139. La concentración de este elemento en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación-reducción (redox), precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros, formación de complejos con materia orgánica y también por la actividad metabólica de animales y plantas.
140. La solubilidad del hierro en el agua es favorecida en condiciones ácidas y reductivas a baja concentración de oxígeno, en donde prevalece los compuestos solubles de Fe⁺² (ion ferroso), excepto el sulfuro ferroso (FeS). En aguas subterráneas suele encontrarse en forma de Fe⁺², aunque puede estar como Fe⁺³ (ion férrico) e hidróxidos de hierro en función del pH, oxígeno disuelto y aniones.

e. Aluminio (Al)³⁵

141. Las concentraciones de aluminio disuelto en aguas naturales son bajas, excepto en aguas de bajo y alto pH o aguas con altas concentraciones de compuestos orgánicos, en las cuales el aluminio del suelo llega a ser más soluble.
142. Las aguas superficiales naturalmente acidificadas con un pH < 4, que incluyen lagos pantanosos, drenaje volcánico, vertientes termales y salinas, y aguas subterráneas ácidas, pueden contener concentraciones de aluminio disuelto. En cambio, en aguas casi neutras, el aluminio se presenta en forma suspendida en compuestos que contienen aluminosilicatos o aluminio absorbido orgánicamente.

³³ Medios acuáticos asociados a lugares pantanosos, normalmente turbosos, en los que la descomposición de la materia orgánica está enlentecida. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/3160_tcm7-24239.pdf, publicado en diciembre de 2006 y revisado el 01 de agosto de 2017.

³⁴ Juan Camilo Gómez Rave. (2009). Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isotopos, como herramienta para definir un modelo conceptual Hidrogeológico, Caso de Aplicación: Acuífero Costero del Municipio de Turbo. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Geociencias y Medio - Facultad de Minas, Medellín. Recuperado el 01 de Agosto de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2407/>

³⁵ Sancha, A. M. (2005). *Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados Para Uso en Riego*. Universidad de Chile, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Recuperado el 01 de Agosto de 2017, de http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_fi nal.pdf.

8.1.4. Evaluación hidroquímica

143. Para realizar la evaluación hidroquímica se ha tenido en cuenta el error de balance iónico, diagrama de Piper, diagrama de Stiff, diagrama de Schöeller – Berkloff y las relaciones iónicas o diagramas binarios.

a) Error de Balance Iónico (EBI)

144. El balance iónico es la verificación de la suma de mili-equivalentes (meq) de aniones (Σan) es aproximadamente igual a la suma de mili-equivalentes de cationes (Σcat).³⁶ Antes de realizar una evaluación hidroquímica se realiza el análisis mediante el cálculo del EBI para verificar la consistencia de los mismos.

145. Dentro de los iones mayoritarios presentes en el agua, se han considerado los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ para la Σcat ; y los aniones HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- para el cálculo de Σan . Ambas concentraciones se expresan en miliequivalentes por litro (meq/L). De esa manera se establece el error de balance iónico de acuerdo a la siguiente ecuación (Appelo *et al.*, 2005).

$$Error\ de\ Balance\ Iónico\ (EBI) = 100 \frac{\Sigma cat - \Sigma an}{\Sigma cat + \Sigma an} \% \quad (8.1)$$

146. Aunque el EBI es un valor en porcentaje, la ecuación (8.1) incorpora un signo para mostrar la predominancia de cargas de cationes (signo positivo) o de aniones (signo negativo). Se considera aceptable un EBI entre -10 y +10 % para aguas dulces. Dicho rango de EBI fue considerado en todos los tipos de agua en los estudios realizados (Mergesa, 2015). No obstante, un EBI del 2 % es inevitable en casi todos los laboratorios, por lo que se debe aceptar un error mayor; no obstante, si el EBI es mayor a 5 %, deberán revisarse los procedimientos, análisis y el muestreo.³⁷

147. Algunas muestras presentan valores de EBI fuera del rango óptimo de ± 10 %, con valores demasiado negativos ($\ll -10$ %). Esto se da en la mayoría de los casos en muestras ácidas con altas concentraciones de metales, resultando un EBI negativo si no se toma en cuenta sobre todo el aluminio (Al^{3+}) y hierro (Fe^{2+}).

148. La acidez y la disolución de metales es normalmente causada por rápida e intensa oxidación de piritas (FeS_2) y otros sulfuros en los acuíferos, tras intrusión de oxidantes como O_2 , y aumento del potencial redox en un ambiente reductor de SO_4^{2-} (potencial redox $Eh \ll 160$ mV).

149. El EBI con valores positivos no son afectados por los metales en el balance iónico, siendo la subestimación de HCO_3^- una de las causas más frecuentes de un EBI demasiado positivo.

150. Otra causa frecuente de un EBI fuera del rango óptimo de ± 10 % son las fortalezas iónicas bajas, debido a las bajas concentraciones de analitos, cerca o bajo el límite

³⁶ Información extraída de <http://gidahatari.com/ih-es/factores-que-influencian-el-balance-ionico>

³⁷ El EBI de 5 % fue usado en los estudios de aguas subterráneas realizados por Shubrha Singh, 2015 y K. Srinivasamoorthy, 2014, entre otros.

de detección, donde se magnifican pequeños errores y así aumentan los errores porcentuales.

b. Diagrama de Piper

151. El concepto de diagrama de Piper fue introducido por Arthur M. Piper en 1944 para el estudio de las propiedades hidrogeológicas (Chong, 2016). Se trata de una herramienta útil para el estudio de la evolución química del agua subterránea y superficial³⁸ y es usado en los siguientes análisis: i) tipo de agua; ii) precipitación o disolución de minerales; iii) mezcla de aguas; iv) intercambio iónico e v) identificación de las reacciones químicas más comunes, que cambian la composición de los iones principales (relación agua-roca).³⁹
152. Este diagrama trilinear consiste en dos triángulos equiláteros (gráficos ternarios) que muestran los porcentajes de las concentraciones en mili-equivalentes (meq/L) de los principales cationes que son Ca^{2+} , Mg^{2+} , $Na^{+} + K^{+}$ (triángulo de la izquierda), y los aniones $HCO_3^{-} + CO_3^{2-}$, SO_4^{2-} y Cl^{-} ⁴⁰ (triángulo de la derecha), como se muestra en la Figura 8-2.

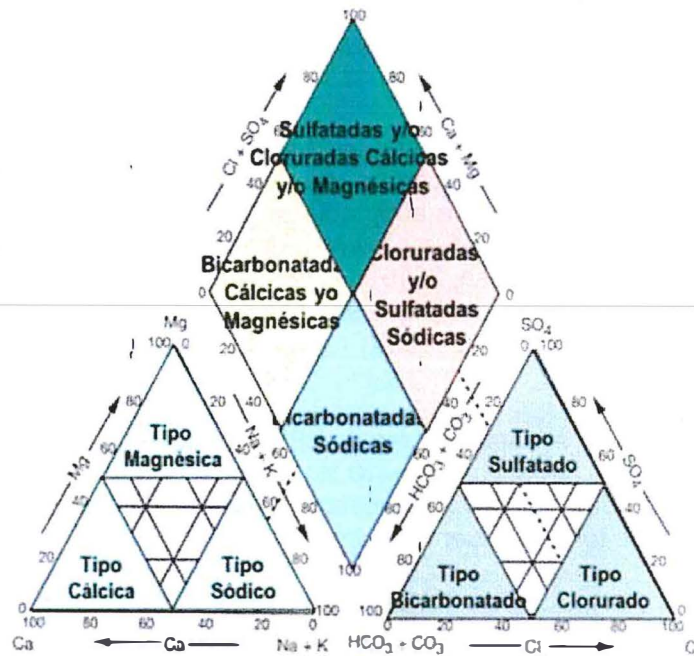


Figura 8-2. Diagrama de Piper
Fuente: Soto, 2013

153. Los puntos en cada triángulo se unen mediante líneas paralelas en dirección a un rombo ubicado por encima y en medio de los triángulos. Este rombo define cuatro facies (otros autores indican más facies) en función de la composición de los

³⁸ El EBI de los cationes y aniones en meq/L del agua a evaluar deben estar en el rango óptimo de $\pm 10\%$.
³⁹ Soto, P. (2013). Diplomado Virtual de Hidrología Subterránea del Centro de Capacitación Minera - CECAMIN. IX. Tratamiento de Datos Químicos I. Lima, Perú.
⁴⁰ En el presente estudio se adicionó el anión NO_3^{-} , que tiene menor influencia en el río Tambo, lagunas del SNLM y los canales de riego, y mayor influencia en la quebrada Rosa María y Manantial Santo Domingo.



A
 K
 1
 2

aniones y cationes, formando a menudo los antecedentes para una terminología descriptiva de la composición química del agua (Appelo *et al.* 2005).

154. El triángulo de los cationes (lado izquierdo), *formado por una zona mixta entre los tres tipos de agua, cálcico, sódico y magnésico*, aumenta los porcentajes en el sentido de las agujas del reloj, mientras que el triángulo de los aniones (lado derecho), *formada por una zona mixta entre los tres tipos de agua, bicarbonatado, clorurado y sulfatado*, en sentido contrario.
155. Los lados del rombo, ubicado en la parte superior del diagrama de Piper, indica en cada uno de sus lados a los cationes: $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ y $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y aniones: $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, cuyos porcentajes se incrementan en dirección al vértice de la línea vertical (vértice superior: $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ y $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ y vértice inferior: $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$).
156. Estos triángulos diferencian las aguas según sus composiciones y así distinguen los diversos tipos de agua de diferentes unidades geológicas e hidrológicas (ver Figura 8-3), entre otros análisis indicados anteriormente.

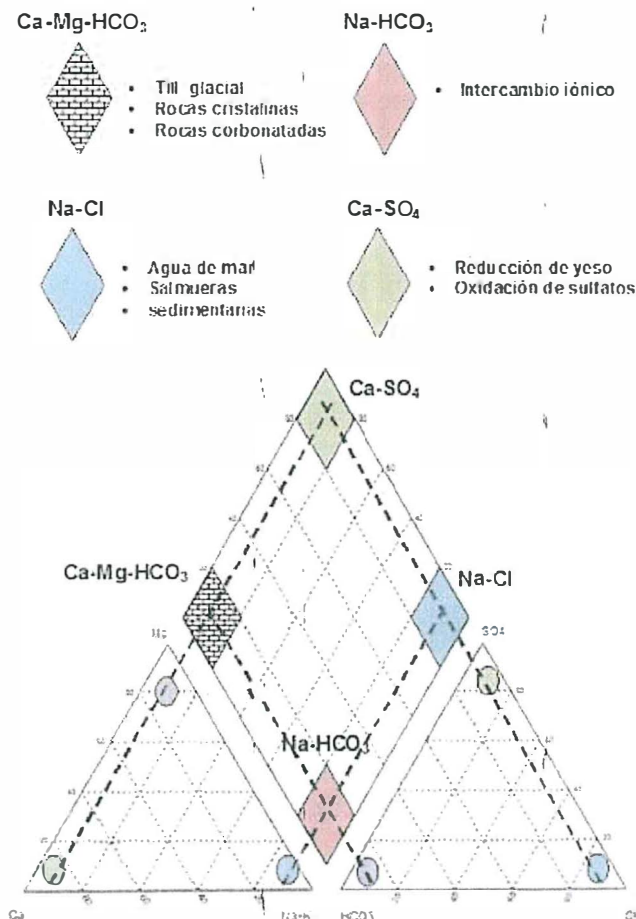


Figura 8-3. Ejemplos de tipos de agua
Fuente: Villegas, 2011

41 Las concentraciones de los cationes CO_3^{2-} no tuvieron influencia significativa en los cuerpos de agua superficial y subterránea en el presente estudio.

MONITOREO Y VIGILANCIA
 VBO
 DIRECCION DE EVALUACION
 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8

c. Diagrama de Stiff

157. El diagrama de Stiff consiste de tres líneas horizontales⁴² y muestra los iones mayoritarios en el agua. En el mismo los cationes están ubicados en el lado izquierdo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$), y los aniones en el lado derecho ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ y Cl^-), tal como se muestra en la Figura 8-4.

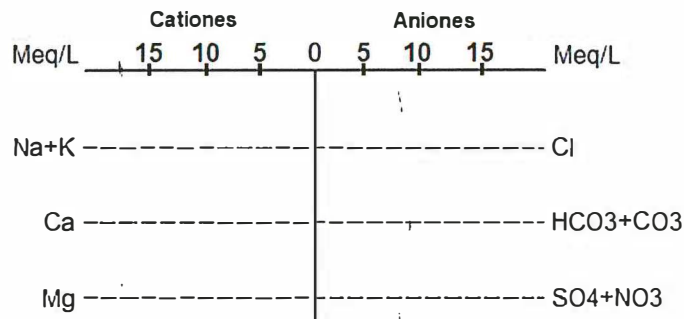


Figura 8-4. Diagrama de Stiff
Fuente: Simler, 2017

158. En la primera se ubican los iones $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (izquierda) y Cl^- (derecha), reflejando la influencia de NaCl , que se encuentra principalmente en el agua de mar o el agua subterránea. En la segunda línea se encuentran el Ca^{2+} (izquierda) y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ (derecha), lo que está destinado a mostrar la disolución de CaCO_3 . La tercera línea muestra el Mg^{2+} (izquierda) y $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ (derecha) presentando el resto de mayores componentes en la mayoría de las aguas.

159. Cuando los valores de cada eje son conectados por líneas, emerge una figura geométrica para cada composición específica de agua. Cuando mayor el área del polígono, mayor la concentración del ion (ver Figura 8-5).

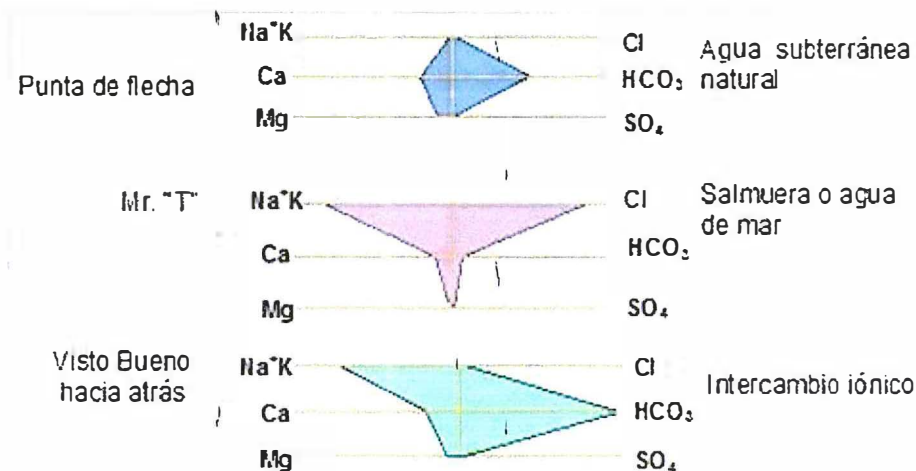


Figura 8-5. Diagrama de Stiff en relación a la mineralización
Fuente: Villegas, 2011.

⁴² Una cuarta línea es opcional que pueden cambiar dependiendo del estudio (Appelo C.A.L, Postma D., 2005). Esta línea comúnmente está formada por hierro (Fe) y nitratos (NO_3) separado de sulfatos (SO_4).



Handwritten blue ink notes and signatures on the left margin.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

160. Los diagramas de Stiff pueden presentarse como numerosos polígonos pequeños distribuidos por coordenadas sobre un mapa conocido como "mapa hidroquímico", para dar una idea visual sobre la distribución de los diferentes tipos de agua.

d. Diagrama de Schöeller - Berkaloff

161. Este diagrama contiene columnas verticales paralelas, espaciadas y divididas en escala logarítmica. A cada columna están asociados los cationes Ca^+ y Mg^{2+} , los aniones SO_4^{2-} y NO_3^- , y las sumas de los cationes y aniones $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, expresada en mg/L; mientras las dos columnas de los extremos se miden en meq/L (ver Figura 8-6).

162. La utilidad de este diagrama es que permite ver la evolución temporal de los iones mayoritarios del agua en una misma línea de flujo que es formada por la unión de los puntos obtenido de cada columna. La Figura 8-7 muestra un ejemplo de un diagrama de Schöeller – Berkaloff.

163. Asimismo, este diagrama determina el intercambio iónico, identifica y compara las facies hidroquímicas dominantes determinadas por el diagrama de Piper en los diferentes tipos de agua (salinas y dulces) y zonas de mezclas como los estuarios (salobres) y aguas subterráneas con intrusión marina.



Handwritten signature in blue ink.

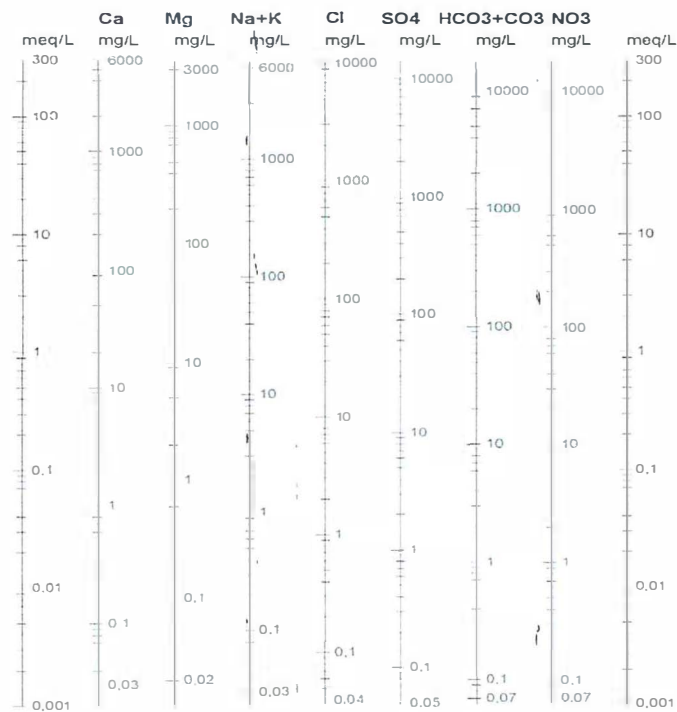


Figura 8-6. Diagrama de Schöeller – Berkaloff
Fuente: Simler, 2017.

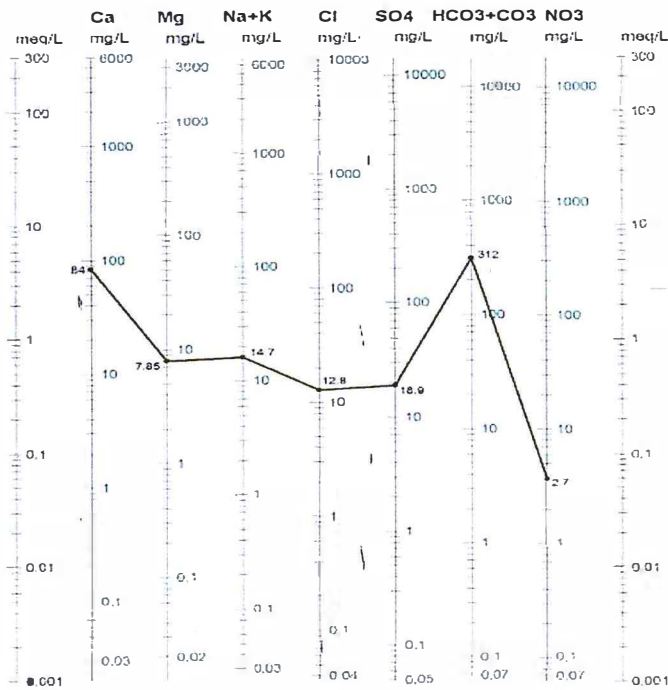


Figura 8-7. Diagrama de Schöeller – Berkaloff para una muestra de agua
Fuente: Villegas, 2011.



l
 a
 a
 A
 K
 7
 d

e. Relaciones iónicas o diagramas binarios

- 164. Las relaciones iónicas completan la caracterización hidrogeoquímica, pudiéndose representar en una gráfica de dos ejes que permite la visualización de la variación de un catión o anión con respecto a otro catión o anión.
- 165. Las relaciones principales se realizan entre los iones Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+} , B^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- , cuyas concentraciones son expresadas en meq/L o mg/L. Asimismo, las relaciones también pueden darse entre la suma o división de iones como por ejemplo $Cl^-+SO_4^{2-}$ vs Na^++K^+ , o en otras unidades como se da para el diagrama de Wilcox, que representa la conductividad ($\mu S/cm$ o mS/cm) vs porcentaje (%) de Na^+ .
- 166. En conjunto, estos gráficos permiten visualizar los efectos de interacción agua roca, mezcla de diferentes tipos de agua (agua dulce - agua de mar), los efectos de interacción agua – roca que dominan la composición química de las aguas subterráneas más que las superficiales (ver Figura 8-8).

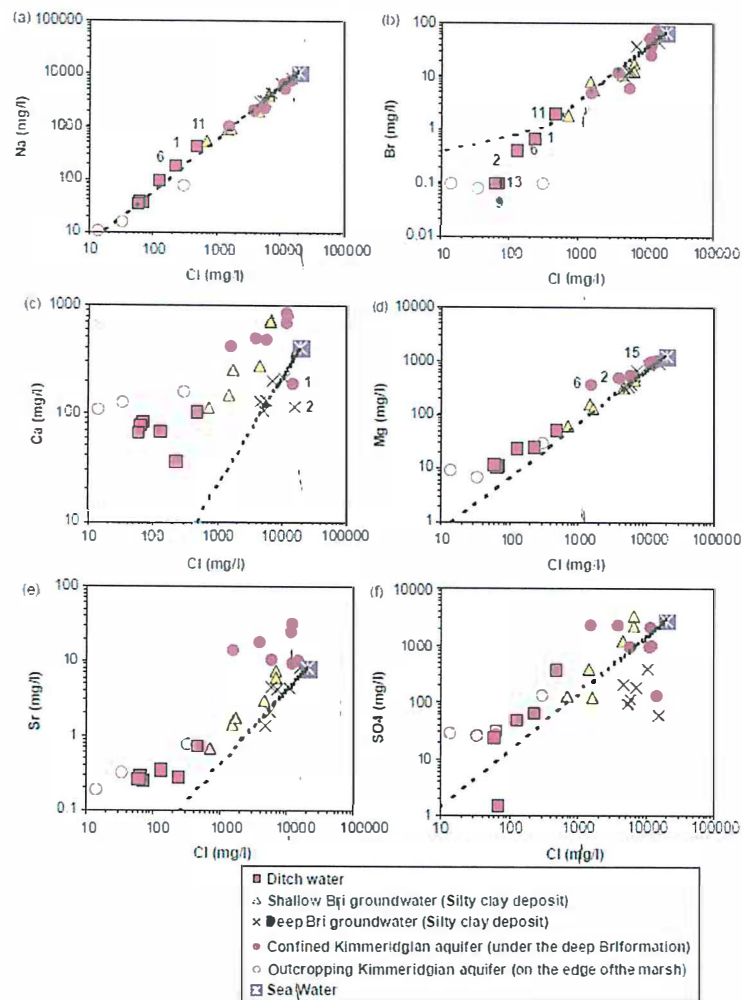


Figura 8-8. Casos de relaciones iónicas
Fuente: Ladouche B., 2005.

167. Por otro lado, los diagramas binarios también analizan la relación de las concentraciones de otros parámetros ambientales, entre los cuales se menciona la relación de los cationes metálicos o aniones con los sólidos disueltos totales (SDT) como los diagramas de variación de Gibbs, los metales suspendidos con los sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT) con la conductividad, entre otros.

8.1.5. Modelación con el software Surfer

168. El software Surfer es un programa procesador bidimensional y tridimensional de interpolación de datos, en modo *raster* o imagen, utilizado ampliamente para el modelamiento 3D del terreno, modelamiento batimétrico, visualización del paisaje, análisis de superficies, cartografía de curvas de nivel, cartografía de superficie 3D, grillado y volumetría, entre otros (Zheng, 2010).

169. Las curvas de nivel son una designación general de una serie equivalente de líneas distribuidas en un mapa, siendo una herramienta comúnmente utilizada para analizar características espaciales de elementos físicamente cuantificables.

MONITOREO Y VIGILANCIA
 VSGO
 DIRECCIÓN SUPERINTENDENTE



Esto puede ser usado para captar las características de la variación especial de los objetivos de la investigación. Las curvas de nivel son ampliamente utilizadas en geografía, hidrología, meteorología y otros campos de la ingeniería de la construcción. En los últimos años el programa Surfer se ha vuelto atractivo debido a que es fácil de usar y rápido en velocidad.

170. Cuando se utiliza el software Surfer para trazar curvas de nivel, es necesario introducir 3 tipos de archivos de datos: niveles, coordenadas de los límites de la figura y base del archivo del mapa. El proceso principal de trazado puede ser subdividido en importación de datos, grillado, blanqueado y superposición de los mapas. En este proceso, los atributos de los parámetros del mapa de contornos, los signos, la coloración y el sistema de coordenadas pueden ser trabajados por separado (Peña, 2008).
171. El programa Surfer permite representar mapas de concentraciones en los sistemas evaluados. Para ello, a cada punto de muestreo, definido por sus coordenadas de posición (x, y), se le asocia la concentración experimental del parámetro evaluado "z". Con las coordenadas citadas (x, y, z), el programa realiza las interpolaciones necesarias hasta obtener un mapa de isolíneas de concentración que permite visualizar la situación ambiental. A partir de los mapas se pueden obtener concentraciones medias, de toda el área o por zonas, y distribuciones superficiales de concentraciones de los parámetros (Baeza A., González F., Miñana A., 2001).

8.1.6. Carga de masa

172. La carga de masa es la cantidad de materia aportada a un cuerpo de agua por otro cuerpo de agua, vertimiento o efluente y se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$\text{Carga de masa (g/s)} = \left(\text{concentración en } \frac{\text{g}}{\text{l}} \right) * (\text{caudal en l/s}) \quad (8.2)$$

173. A diferencia de la concentración expresada en mg/L, la carga de masa permite evaluar la cantidad de masa por unidad de tiempo y mide la capacidad de resiliencia de un cuerpo de agua luego del aporte de un tributario, evaluando la variación de la carga con los puntos evaluados aguas arriba.
174. La producción de la masa en el agua de acuerdo al estudio realizado por Requena S., N., 2014, en relación a la carga sólida en suspensión (Q_{ss}) y cuya ecuación de cálculo es similar a la 9.2⁴³, es diferente con respecto a las unidades de tiempo (los caudales horarios se sobrestiman en relación a los caudales diarios y mensuales), así como los distintos escenarios en relación a un año hidrológico, temporadas de lluvia (creciente) o seca (vaciante o estiaje), etc.
175. Asimismo, dicho Estudio indica que la toma única de muestra puede presentar, con una buena aproximación, el transporte de la materia suspendida en varias

43

Q_{ss} = 0,0864 * Q * C.

Donde: Q_{ss} es la descarga sólida en suspensión diaria en t/día, Q es el caudal medido en m³/s y C es la concentración en sedimentos en suspensión en mg/l.



secciones verticales del cuerpo de agua evaluado⁴⁴, aplicando dicho criterio para el presente estudio en relación al cálculo de la carga de masa de los metales.

8.1.7. Hidrometría

176. El caudal es el volumen del agua que se desplaza en unidad de tiempo a través de una sección o área transversal del curso del agua. El conocimiento de los caudales del agua, medido junto con la concentración de los parámetros en el agua, permite determinar la carga de masa de una sustancia o elemento transportada por un cuerpo lóxico.

177. Para la medición de caudales del agua existen varios métodos de cálculo, entre los cuales podemos mencionar a los que se usaron en el presente estudio.

a) Método del correntómetro

178. Este método estima el caudal del agua por medio de un instrumento llamado correntómetro, que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua por área determinada. El caudal del agua se determina con la siguiente ecuación:

$$Q = \text{Suma} (A_x * V_{\text{media},x}) \quad (8.3)$$

Donde:

$V_{\text{media},x}$: Velocidad media del flujo en el segmento x.
 A_x : Área de la sección del segmento x calculada con la siguiente ecuación:

$$A_x = b_x * h_x \quad (8.4)$$

Donde:

b_x : Ancho del segmento x entre los puntos distanciados regularmente.
 h_x : Altura del segmento x (distancia del espejo del agua al fondo del cauce en el eje central del segmento).

179. Para obtener la velocidad media $V_{\text{media},x}$ del segmento X se debe, en ciertos casos, medir la velocidad a diversas profundidades a lo largo de una vertical o tirante del agua y a partir de la superficie del agua la cual está en función de la altura de la tirante del agua, ver Tabla 8-1.

Tabla 8-1. Profundidades de medición de la velocidad

Tirante del agua	Profundidad de lectura del correntómetro
	cm
<15	d/2
15<d<45	0,6d
>45	0,2d y 0,8d o 0,2d; 0,6d y 0,8d

(d) Altura de la tirante del agua
 Fuente: R.J. N°010-2016-ANA.

⁴⁴ Las técnicas hidrosedimentológicas recomiendan que, durante la determinación de la carga en suspensión, la colecta de las muestras de sólidos en suspensión debe ser realizado en diversas verticales de la sección estudiada; puesto que la cantidad de material transportado en suspensión varía a lo largo de la sección, conforme varía la velocidad de flujo.



180. Para calcular la velocidad media ($V_{media,x}$) de la corriente del agua en el segmento x , se aplica la siguiente ecuación:

$$V_{media,x} = \frac{(v_1 + v_2 + \dots + v_n)}{n} \quad (8.5)$$

Donde:

- v_1, v_2, \dots, v_n : velocidades medidas en diversas profundidades a lo largo de una vertical en el segmento x .
 n : número de mediciones realizadas en el segmento x .

b. Método volumétrico

181. El método consiste en medir el tiempo que demora en llenar con agua un recipiente de volumen conocido. Permite medir pequeños caudales, como los que escurren en surcos de riego, manantial y afloramientos. El caudal se estima mediante la siguiente ecuación:

$$Q (L/s) = \frac{V}{T} \quad (8.6)$$

Donde:

- Q : Caudal
 V : Volumen (L)
 T : Tiempo (s)

8.2. Sedimentos

182. Los sedimentos son todo tipo de partículas que provienen de procesos naturales y/o antrópicos, y que se acumulan en el fondo de un cuerpo de agua siendo de gran valor para el estudio de los ecosistemas acuáticos. En estas sustancias se acumulan compuestos orgánicos persistentes, nutrientes, patógenos y metales pesados⁴⁵, entre otros, siendo estos últimos los más estudiados.
183. Seguidamente se presentan algunos de los parámetros que van a ser tenidos en cuenta para realizar el análisis de la información de calidad de agua y sedimentos, recogida durante la etapa de campo de la presente evaluación.

8.2.1. Pretratamiento y análisis multivariado

184. El análisis multivariado es un conjunto de métodos estadísticos que sirven para analizar simultáneamente una matriz grande de datos conformadas por variables medidas para cada objeto estudiado.
185. En el presente estudio, una matriz de datos correspondientes a los diferentes metales (variables) y puntos de muestreo (observaciones) de sedimentos, será

⁴⁵ El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.*, 2005a). Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en organismos vivos.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

sujeto al análisis multivariado para extraer la información de los puntos de muestreo con similares concentraciones, identificando por tanto patrones.

186. Los cálculos matemáticos y estadísticos realizados en el presente estudio fueron desarrollados con la versión 10.0 del *software* Statistica (StafSoft, 2011) y la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2016.⁴⁶

a) Pretratamiento de datos

187. El análisis multivariado es sensible a los valores atípicos y extremos, por lo que es importante una transformación previa para evitar las anomalías o errores en las distribuciones de cada uno de los parámetros y puntos de muestreo (Ramis G. 2001). Para el pretratamiento de datos del presente estudio, se siguieron los siguientes pasos: a) Manejo de datos por debajo del límite de cuantificación; b) Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks; c) Transformaciones de datos de Box-Cox y d) Autoescalado Z.
188. Cabe mencionar que los valores atípicos y extremos fueron mantenidos en cada parte de los análisis posteriores (multivariado mediante el análisis de factor), tal como fue considerado por Nabeel M. Gazzaz M., 2012.

a.1) Manejo de datos por debajo del límite de cuantificación

189. En ocasiones, los datos resultantes de las evaluaciones ambientales pueden estar por debajo del límite de cuantificación. Estos datos desconocidos son generalmente descritos como no detectables, en vez de valores ceros o ausentes, y se encuentran entre el valor límite y cero.⁴⁷
190. La condición más importante para llevar a cabo el pretratamiento de datos es que la matriz de datos obtenida sea completa, debido a que una matriz incompleta de datos produce resultados inconclusos o erróneos; siendo necesario eliminar o rellenar los espacios vacíos de algún modo (Ramis Ramos G., 2001). De esa manera, se escogió aquellos metales cuyas concentraciones no detectables (debajo del límite de cuantificación) fueran menores al 15 % del total de puntos de muestreo; de acuerdo el método establecido por la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency* (EPA), 2006).
191. Seguidamente, para cada uno de los metales se consideró la mitad de los valores del límite de cuantificación, tal y como fue considerado en el estudio de investigación llevado a cabo por Škrbic B., 2010 y según el método estadístico establecido por la EPA.

a.2) Pruebas de normalidad

192. Este paso se emplea la hipótesis de la distribución normal multivariada o distribución (Render, 2002), en donde se comprueba la normalidad de un grupo

⁴⁶ Diferentes versiones de dicho software estadístico, han sido usadas en diferentes trabajos de investigación: Statistica 6.0 y Microsoft Office Excel 2003 por Shrestha S., Kazama F. (2007); Statistica 6.0 en la plataforma Windows 2000 (Tomasz Kowalkowski, 2006); Statistica versión 6.1 (Möller S., 2013); Statistica versión 8.0 y Microsoft Office Excel 2003 (Cieszynska M., 2012).

⁴⁷ EPA. (2006). *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Environmental Information, Whashington.

MONITOREO Y VIGILANCIA
VOSO
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

J
H
A
K
7
R



de datos a través de la estadística inferencial por medio de diferentes pruebas de normalidad.

193. Se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para determinar si debería aplicarse la transformación de datos. Esta prueba de normalidad es la más poderosa contra toda clase de distribuciones alternativas considerándose en los estudios de Tomasz Kowalkowski (2006) y Azimah Ismail (2006).
194. De esa manera, la prueba de Shapiro-Wilks plantea una hipótesis nula de cada parámetro (metal), antes y después de aplicar la transformación Box-Cox (paso c). La hipótesis es aceptada si el valor de probabilidad (p-valor) es mayor a 0,05; de otra manera, la hipótesis nula es rechazada (Škrbic', B., Durišić'-Mladenovic', N., 2010).
195. Los metales cuyos valores iniciales no tuvieron una distribución normal, no fueron sujetos a una transformación Box-Cox; salvo si el p-valor fue mayor al valor sin que los datos hayan sido transformados y para el calcio debido a su importancia en el presente estudio (p-valor cercano a 0,05).

a.3) Transformaciones de datos

196. Por lo general, los datos ambientales, no siguen una distribución normal (Prakash S. 2007). Sin embargo, los métodos multivariados se basan en la distribución normal de los datos tal como el análisis de factor (AF). La transgresión de la normalidad, tales como la presencia de atípicos y extremos, puede cambiar en los resultados finales.
197. Dentro de las diferentes transformaciones de datos existentes en los estudios ambientales, se utilizó la transformación de Box-Cox, para que los nuevos datos de los metales siguen una distribución normal, lo cual mejora los resultados estadísticos.
198. El procedimiento de la transformación Box-Cox está diseñado para determinar un nuevo valor a partir de los datos iniciales positivos mediante una transformación iterativa y óptima de acuerdo a la ecuación 3 (StafSoft, 2011; Prakash Raj Kannel, 2007; Kurt Varmuza, 2009).

$$X_{\text{Box-Cox}} = \begin{cases} ((x)^{\lambda}-1)/(g^{\lambda-1}) * \lambda & (\text{para } \lambda \neq 0) \\ g * \log(x) & (\text{para } \lambda = 0) \end{cases} \quad (8.7)$$

Donde:

- x : Valor original del parámetro.
- $X_{\text{Box-Cox}}$: Valor transformado del parámetro.
- g : Media geométrica del parámetro.
- λ : Valor a calcular para cada parámetro mediante la estimación de máxima verosimilitud⁴⁸.

⁴⁸

Estimación de máxima verosimilitud (Maximun Likelihood Estimation – MLE) es un método general para estimar el valor óptimo (λ) de un grupo de valores para modelos no lineales con datos que siguen una distribución normal. El buen ajuste se evalúa al encontrar el valor λ que mejor se ajustan a la transformación respectiva con los datos transformados ($X_{\text{Box-Cox}}$) que se aproximan o tenga una distribución normal.



a.4) Autoescalado o transformación Z

199. En el último paso del pretratamiento de datos, cada uno de los datos transformados será sujetos inicialmente al autoescalado o transformación Z (Cieszynska M. 2012) para evitar cualquier efecto de escala de las unidades en las medidas de distancia y obtener una mala clasificación o agrupación debido a los diferentes órdenes de magnitud de los valores numéricos de los parámetros analizados (Shrestha S.*et al.* 2007).
200. Los parámetros fueron estandarizados mediante la aplicación de la ecuación 8.8:

$$z_i = \frac{x - x'}{\sigma} \quad (8.8)$$

Donde:

- x : Valor original del parámetro.
 z : Valor estandarizado.
 x' : Valor promedio del parámetro.
 σ : Desviación estándar.

b. Análisis de factor (AF)

201. Dentro de los diversos métodos o técnicas de análisis multivariado, en el presente estudio se utilizó el análisis de factor (AF), el cual ha sido aplicado en diversos estudios de investigación para caracterizar y evaluar los resultados de los cuerpos de agua superficial continental (agua dulce) y marino.
202. El objetivo del AF es extraer la información significativa (Wang YB, 2015) y reducir la complejidad de los grupos de datos obtenidos (matriz de datos) de los análisis de metales en sedimentos para ofrecer una mejor interpretación y entendimiento de los resultados (Prakash Raj Kannel, 2007; Shrestha S., Kazama F., 2007). Para el análisis de factor se cuenta con los siguientes análisis: b.1) Método de extracción; b.2) Rotación de factores y b.3) Cargas (loadings) y puntuaciones (scores).

b.1) Método de extracción

203. El método de extracción utilizado fue el Análisis de Comunalidades (R^2), donde R es la correlación multivariada entre los parámetros (variables). Esta técnica calculó la matriz de correlación reducida de los parámetros, la cual tiene en su diagonal principal a las llamadas comunalidades, y los respectivos cálculos de los autovalores y autovectores por medio de ecuaciones lineales múltiples.
204. En el método de extracción por el Análisis de Comunalidades (R^2) se determina el eigenvalor (valor característico o autovalor) como una medida de la significancia del factor, siendo los factores extraídos más significantes considerados, aquellos con eigenvalores mayores a 1 conocido como el "criterio de Kaiser" (Shrestha S., Kazama F., 2007; Wang YB, 2015).

b.2) Rotación de factores

MONITOREO Y VIGILANCIA
VBO
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

A
K
7
R



205. La rotación de los factores (ejes) considerada en el presente estudio fue la rotación ortogonal de Varimax, en el cual los factores rotados son conocidos como varifactores. Esta rotación varimax ha sido considerado en la mayoría de los estudios durante la última década.

b.3) Cargas (*loadings*) y puntuaciones (*scores*) de los factores

206. Las cargas de los factores son utilizadas en la evaluación de la relación entre las variables (metales) y los factores extraídos. El valor con fuerte influencia de carga sobre cada metal es 0,7 (valor default del Software utilizado) y el cual fue considerado por Möller S., 2013.
207. Mientras, el valor con influencia moderada es de 0,5 a 0,7, tal como fue considerado en los estudios de Shrestha S; *et al.*, 2007; Fang Huang, 2009 y Wang YB, 2015, con valores mayores a 0,5.
208. En tanto, la puntuación de los factores mide la prevalencia de un factor sobre cada punto de muestreo en relación a todos los puntos (A. Cesar, 2014), por lo que los puntos de muestreo con las más altas puntuaciones tienen mayor influencia con el factor correspondiente.
209. Lo antes mencionado fue indicado en los estudios de Tomasz Kowalkowski, 2006 y Shrestha S., Kazama F., 2007, por lo que en el presente estudio se utilizó los valores de fuerte influencia mayores a 0,7. En el caso de influencia moderada de 0,5 a 0,7, se utiliza en aquellos puntos de muestreo donde tenga un valor absoluto menor a 0,7 del mismo signo o un valor absoluto mayor a 0,7 y de diferente signo.

8.3. Comunidades hidrobiológicas

210. Las comunidades hidrobiológicas se encuentran tanto en ambientes lénticos (lagos, lagunas, embalse, estanques, etc.) como lóticos (ríos, quebradas y arroyos), y están conformadas por diversos organismos relacionados entre sí y con el ecosistema acuático. Todas se caracterizan por su compleja composición, su organización biótica y su estrecha relación con el medio físico acuático del cual son dependientes. Según sus roles en el ecosistema, estas comunidades son clasificadas como productores primarios (microalgas, algas filamentosas), consumidores primarios, secundarios y terciarios (zooplancton, zoobentos y peces) y descomponedores (bacterias, hongos y algunos organismos del zoobentos) (UNMSM-MHN & MINAM, 2014). Estas comunidades hidrobiológicas son definidas a continuación:

a) Plancton

211. Es una comunidad de plantas y animales de tamaño pequeño (<3 cm) adaptados a la suspensión en el mar o en aguas dulces y que está sometidos a movimientos pasivos por el viento (Roldán, 2008). Se distinguen principalmente dos componentes: el **fitoplancton**, que incluye organismos que obtienen su energía por la energía de la luz, y los nutrientes mediante el proceso de fotosíntesis (microalgas) y el **zooplancton** que son los organismos que obtienen su energía ingiriendo otros organismos (componente heterotrófico).



[Handwritten signature]



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

b. Perifiton

212. Se caracteriza por ser una comunidad acuática que crece sobre las piedras, ramas y otras superficies sumergidas. Estos organismos pueden ser bacterias (filamentosas o films), protozoos, rotíferos, algas y otros microorganismos de vida libre que nadan, se deslizan o se fijan entre las superficies sumergidas (Wetzel, 2001). En los análisis de esta comunidad se consideran los grupos de microalgas y microorganismos de vida libre. Debido a que se adhiere al sustrato, se puede integrar de forma física y química a las perturbaciones de la corriente y de los nutrientes, por ello será considerado en las evaluaciones de ambientes lóticos.

c. Macroinvertebrados bentónicos

213. Están constituidos por organismos que habitan en el fondo u orillas de los ecosistemas acuáticos, formando parte de esta comunidad diversos invertebrados (insectos, larvas, crustáceos y gusanos) que viven asociados sustratos de los diferentes ambientes acuáticos (Roldan, 2008).

d. Necton (peces)

214. Se refiere a los organismos que poseen movimiento propio y voluntario para desplazarse en la columna de agua, siendo los más representativos y de importancia ecológica, los peces. La ictiofauna de aguas continentales de América del Sur es la de mayor diversidad comparada con otros continentes. Dicha diversidad está asociada a los diferentes hábitats que originan áreas de endemismo para los peces. En el Perú, la diversidad ictiológica es elevada, representada por más de 60 familias y 1064 especies (Ortega *et al.*, 2012).
215. Por medio de diferentes investigaciones se encontró que los organismos indicadores de la calidad del agua determinan los efectos de los impactos en el ecosistema acuático a través de un tiempo más prolongado. La información biológica generada, a partir de los también llamados bioindicadores, no reemplaza los análisis fisicoquímicos, pero sí reduce costos, por lo que estos estudios son importantes en el muestreo de la calidad del agua. (Chapman, 1996).
216. Las comunidades anteriormente mencionadas serán analizadas mediante su composición, riqueza y abundancia, además de la diversidad alfa y beta. Dichos términos son explicados a continuación.

e. Metales pesados en camarones

217. El efecto de los metales pesados en la biota acuática, según la literatura, provoca cambios en la distribución de las plantas y animales, aguas abajo de la minería. Los organismos acuáticos han desarrollado mecanismos para absorber, metabolizar y excretar elementos tales como el nitrógeno y fósforo; incluso pueden absorber, metabolizar y excretar los metales en las concentraciones que se encuentran naturalmente (Förstner & Wittman, 2012).
218. Estos mecanismos pueden saturarse en altas concentraciones de metales y el índice de absorción puede exceder el índice de pérdidas, razón por la cual los



Handwritten blue ink marks: a checkmark, a signature, and the letters 'A', 'K', '7', and 'R' stacked vertically.



organismos pueden acumular altas concentraciones de metales pesados en sus tejidos (Plume & Logsdon, 1999).

219. Así por ejemplo, si en el curso su vida, un depredador se alimenta de una presa con altas concentraciones de metales; el depredador será incapaz de metabolizar y excretar los mismos, acumulando concentraciones más altas en sus tejidos. Esta biomagnificación a lo largo de la cadena alimenticia se da principalmente para el mercurio, que se acumula en la biota y se biomagnifica en cada uno de los niveles tróficos que constituyen la cadena alimenticia. Por ello, es necesario el estudio y muestreo de los organismos en los cuerpos de agua.

8.4. Aire

220. El aire puro es una mezcla gaseosa compuesta por un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de diferentes compuestos totales como el argón, el dióxido de carbono y el ozono. Entendemos pues, por contaminación atmosférica, cualquier cambio en el equilibrio de estos componentes, lo cual altera las propiedades físicas y químicas del aire
221. El aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos, aunque su contaminación sigue representando una gran amenaza para la salud en todo el mundo.⁴⁹
222. Un contaminante del aire es una sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y al bienestar humano.⁵⁰ Los contaminantes atmosféricos son producidos por fuentes fijas y móviles, pudiendo generar problemas a lo largo de su desplazamiento y dar lugar a contaminantes secundarios (lluvia ácida u ozono).

223. Según el D.S. N° 074-2001-PCM, los estándares primarios de calidad del aire consideran los niveles de concentración máxima de los siguientes contaminantes del aire: Dióxido de azufre (SO₂), material particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM₁₀), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), plomo (Pb) y sulfuro de hidrógeno (H₂S). Dichos parámetros son consignados en la Tabla 8-2.

Tabla 8-2. Parámetros de aire

Grupo	Parámetro
Material particulado	✓ Material particulado respirable de diámetro menor a 10 µm (PM ₁₀)
	✓ Material particulado respirable de diámetro menor a 2,5 µm (PM _{2,5})
Gases	✓ Dióxido de azufre
	✓ Monóxido de carbono
	✓ Dióxido de nitrógeno
	✓ Ozono
Metales pesados	✓ Sulfuro de hidrógeno
	✓ Plomo
Meteorológicos	✓ Dirección del viento
	✓ Velocidad del viento
	✓ Temperatura

⁴⁹ Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Organización Mundial de la Salud. 2006.

⁵⁰ Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. Dirección General de Salud Ambiental (Digesa).



[Handwritten signatures and initials in blue ink]



Grupo	Parámetro
	✓ Humedad relativa
	✓ Precipitación
	✓ Radiación Solar
	✓ Altitud
	✓ Perfil vertical de temperatura
	✓ Nubosidad

Fuente: Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos/ Dirección General de Salud Ambiental (Digesa), 2005.

224. Los contaminantes han de monitorearse en función a la fuente de contaminación. En la Tabla 8-3 se muestran ejemplos de los contaminantes de deberían monitorearse en función a las principales fuentes que pueden originarlos.

Tabla 8-3. Contaminantes de aire en función a las principales fuentes

Fuente	Contaminante
Vehículos (tráfico intenso)	✓ Dióxido de nitrógeno
	✓ Monóxido de carbono
	✓ Dióxido de azufre
	✓ PM ₁₀ / PM _{2,5}
Domicilios / Consumo de leña	✓ PM ₁₀ / PM _{2,5}
	✓ Monóxido de carbono
Industrias y domésticas / Consumo de carbón	✓ PM ₁₀ / PM _{2,5}
	✓ Dióxido de azufre
Pesqueras	✓ Sulfuro de hidrógeno
	✓ PM
Fundición	✓ Dióxido de azufre
Cemento	✓ PM ₁₀ / PM _{2,5}
Generación eléctrica / Consumo de carbón, residual y diésel	✓ Dióxido de azufre
	✓ PM ₁₀ / PM _{2,5}
Generación eléctrica / Consumo de gas	✓ Dióxido de nitrógeno

Fuente: Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos. Dirección General de Salud Ambiental (Digesa), 2005.

225. A continuación, se realiza una breve explicación sobre los contaminantes que van han sido analizados en el presente informe.⁵¹

a) Dióxido de azufre

226. El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, no inflamable y de olor característico que está originado principalmente por las actividades antropogénicas. Es el resultado de la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre que se encuentra en los combustibles fósiles, lo que es llevado a cabo en los procesos industriales, los principales emisores de SO₂, de alta temperatura y de generación eléctrica.
227. Se trata de partículas de origen secundario ya que no son emitidos directamente a la atmósfera, sino que se generan mayoritariamente como resultado de la oxidación de precursores gaseosos (principalmente SO₂). El diámetro de este tipo de partículas suele ser < 1µm (EPA, 1996).
228. Los compuestos de azufre representan aproximadamente el 7-10 % de las emisiones globales a nivel terrestre (IPCC, 1996). Los gases de origen natural

⁵¹ Información extraída de: <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/>



precursores de los sulfatos son esencialmente emitidos a través de emisiones biogénicas y durante las erupciones volcánicas (Andrae y Crutzen, 1997).

229. Los sulfatos de origen no natural, por otra parte, constituyen la fracción principal del material particulado atmosférico, antropogénico, y las emisiones antropogénicas a su vez se encuentran en el origen de entre 60-80 % del azufre en la atmósfera a escala global (Chuang *et al.*, 1997).
230. La formación de aerosoles de sulfato se inicia con la oxidación en fase gaseosa del SO_2 por el radical hidroxilo, para producir ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico producido en fase gaseosa, puede ser rápidamente incorporado a la fase particulada por condensación, debido a su baja volatilidad, y de este modo producir sulfatos en fase sólida.
231. Por otro lado, el sulfato puede actuar como precursor de la formación de sulfato amónico, incrementando los niveles de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$, lo que tiene graves consecuencias sobre la salud.
232. Todo esto puede generar efectos perjudiciales sobre la salud, sobre la biodiversidad, los suelos y los ecosistemas acuáticos y forestales. Por ejemplo, puede ocasionar daños a la vegetación, degradación de la clorofila, reducción de la fotosíntesis y la consecuente pérdida de especies. También puede impactar sobre las edificaciones puesto que puede reaccionar con el vapor de agua, y otros elementos presentes en la atmósfera, oxidándose para formar ácido sulfúrico.

b. Material particulado

233. Este material puede tener origen primario o secundario. El origen de las partículas⁵² es primario cuando estas son emitidas directamente a la atmósfera, ya sea de manera natural (polvo y partículas del suelo, partículas salinas marinas, esporas y pólenes, entre otros) o como consecuencia de la actividad humana, que en ambientes urbanos está asociado especialmente a la circulación de vehículos, procesos de combustión (industriales, calefacción), entre otras. El origen de las partículas es secundario cuando son producidas en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de gases precursores (SO_2 , NO_x , NH_3 y compuestos orgánicos volátiles, principalmente)
234. Los materiales particulados son los contaminantes del aire más importantes en cuanto a peligrosidad para la salud humana (aquellas de un diámetro aerodinámico igual a 10 micras, o inferior, es decir, PM_{10}), ya que pueden ser inhaladas y penetrar así en el sistema respiratorio. Las de menor tamaño ($\text{PM}_{2,5}$, que son las que tienen un tamaño de 2,5 micras de diámetro o inferior) pueden incluso alcanzar los alveolos pulmonares, lo que les permite de este modo llevar sustancias nocivas a zonas muy sensibles y agravar patologías que pueden conducir incluso a una muerte prematura. Para el presente informe, se realizará el análisis únicamente para PM_{10} .
235. Las partículas ultrafinas en suspensión también pueden tener efectos muy diversos sobre el medio ambiente y el clima, dependiendo de su tamaño y

⁵² Según el Sistema Español de Inventario de Emisiones, el foco más influyente de material particulado es la combustión en sectores no industriales, tanto para las PM_{10} como para las $\text{PM}_{2,5}$, seguida por el tráfico rodado (en el caso de las PM_{10}) o por la agricultura (en el de las $\text{PM}_{2,5}$).



Handwritten signature and initials: A, K, 7, 2



composición. Por lo general, pueden afectar al crecimiento vegetal, la fauna (de modo similar a los seres humano), reducen la visibilidad, pueden alterar los patrones de precipitación, etc.

c. Monóxido de carbono (CO)

236. El monóxido de carbono, un gas sin color ni olor emitido como consecuencia de la combustión incompleta de carburantes fósiles y de biocombustibles, puede ser generado a partir de cualquier combustible que contenga carbono, como gas, petróleo, carbón o madera, y que sea quemado en un ambiente de poco oxígeno, como para formar CO₂, lo que es una fuente potencial de CO.
237. Las fuentes principales de emisión de CO son los procesos de combustión en sectores no industriales, seguidos por las actividades del sector agropecuario y por los procesos industriales sin combustión. Es importante la influencia del tráfico rodado.
238. El monóxido de carbono entra al ambiente principalmente desde fuentes naturales y por la combustión de petróleo, este gas puede permanecer en el aire aproximadamente 2 meses. Se degrada en el aire al reaccionar con otras sustancias químicas y se transforma en anhídrido carbónico. En el suelo es degradado a anhídrido carbónico por microorganismos. No se acumula en plantas o en los tejidos de animales (ATSDR, 2016).
239. El CO penetra en el organismo a través de los pulmones, y puede provocar una disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre, lo que afecta a la oxigenación de órganos y tejidos, así como disfunciones cardíacas, daños en el sistema nervioso, dolor de cabeza, mareos y fatiga, efectos que también ocurren en la fauna silvestre.
240. En el clima, contribuye a la formación de gases de efecto invernadero. Su vida media es aproximadamente de tres meses, lo que permite su lenta oxidación para formar CO₂, proceso durante el cual también se genera O₃.

d. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

241. Al igual que los contaminantes anteriores, los óxidos de nitrógeno tienen un origen principalmente antrópico. Como contaminantes, son gases que se emiten en los procesos de combustión relacionados con los vehículos, especialmente de motor diésel y el transporte en general, así como en instalaciones industriales de alta temperatura y de generación eléctrica.
242. Aunque el N₂ es un gas inerte, las altas temperaturas que alcanza hacen que una pequeña parte reaccione con el oxígeno para formar óxidos, principalmente monóxido que se oxida rápidamente en dióxido (Milena A. Vega Moreno, 2010).
243. Los óxidos de nitrógeno engloban tanto al NO como al NO₂. Con el tiempo. El NO se oxida y genera NO₂ secundario. Generalmente, más del 75% de NO₂ en el aire es aportado por tráfico rodado.
244. El NO₂ el que más efectos adversos tiene sobre la salud humana, produciendo inflamación de las vías aéreas, afecciones en los órganos como el hígado, etc.



[Handwritten signature]

También efectos sobre el medio ambiente,) como la acidificación y eutrofización de los ecosistemas, afecciones metabólicas y limitación del crecimiento vegetal.

245. Los óxidos de nitrógeno también contribuyen a la formación de partículas inorgánicas y actúan como precursores de la formación de ozono y otros contaminantes fotoquímicos, lo que agrava las consecuencias sobre la salud y el medio ambiente.
246. El color amarillo en la atmósfera de una ciudad con smog es causado por el NO₂ presente, ya que este gas absorbe parte de la luz visible cerca del límite del violeta y, consecuentemente, la luz solar transmitida a través de la niebla es amarilla (Colin Baird, 2004).

8.5. Suelo

247. El Minam (2013)⁵³ en sus documentos de gestión de suelos, define este como un "...material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad...". Además, también define, que desde el punto de vista agrícola es: "...Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas...".
248. Por otro lado, los suelos tienen algunas propiedades físicas muy importantes tales como la textura, el color, la estructura, el peso, la porosidad, el drenaje y la profundidad, las cuales de acuerdo con su variación le confieren características propias.

8.5.1. Textura del suelo

249. Según R. Honorato (2000), la textura es una expresión cualitativa y cuantitativa del tamaño de las partículas. La expresión cualitativa se refiere al comportamiento que resulta del tamaño y de la naturaleza de los constituyentes del suelo, mientras que la cuantitativa tiene que ver con la expresión porcentual, es decir, se refiere a la proporción relativa en peso de los diferentes tamaños de partículas existentes, expresada como porcentaje de la fracción mineral.
250. En el suelo se pueden distinguir tres tipos de partículas: arcilla, limo y arena. La distinción entre ellas se basa en una distribución arbitraria que asocia a cada fracción propiedades relacionadas al tamaño.
251. El número de combinaciones entre las tres fracciones que determinan la textura es ilimitado; es por eso que la granulometría del suelo, donde hay infinitas posibles combinaciones, ha sido dividida en clases texturales. Cada clase textural representa un grupo de combinaciones de tamaños de partículas con propiedades

53

Minam - Ministerio del Ambiente, publica el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, donde se aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, donde define los términos referentes al término suelo.

que adquieren de acuerdo con la fracción predominante y esto le da un comportamiento determinado.

252. Existen varios tipos de clasificación granulométrica propuestos por distintos organismos a nivel internacional, de los cuales el más usado es el desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norte América (USDA⁵⁴, por sus siglas en inglés), según el cual la clasificación de las partículas es la que se presenta en la Tabla 8-4.

Tabla 8-4. Clasificación granulométrica de las partículas del suelo

Fracción	Diámetro (mm)	Diámetro (µm)
Arena muy gruesa	2,00 - 1,00	2000 - 1000
Arena gruesa	1,00 - 0,50	1000 - 500
Arena media	0,50 - 0,25	500 - 250
Arena fina	0,25 - 0,10	250 - 100
Arena muy fina	0,10 - 0,05	100 - 50
Limo	0,05 - 0,002	50 - 2
Arcilla	< 0,002	< 2

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norte América – USDA.

253. Para la ubicación textural, una vez conocidos los porcentajes de las distintas fracciones, se utiliza en triángulo textural, que se muestra en la Figura 8-9.

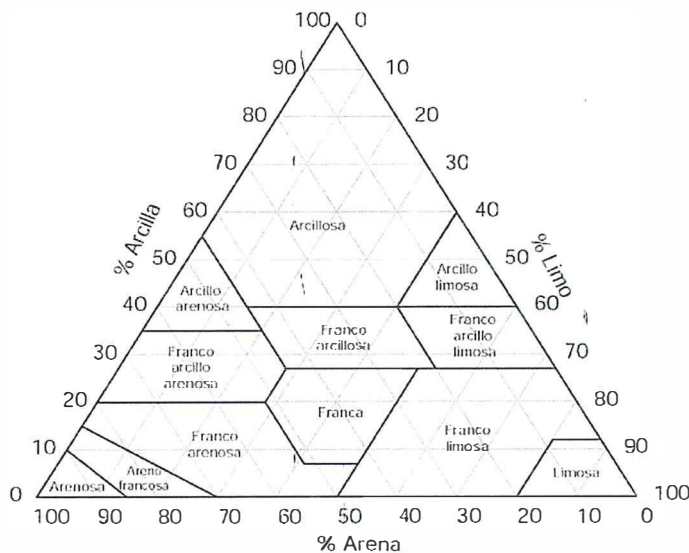


Figura 8-9. Diagrama triangular o triángulo de las clases texturales básicas del suelo

8.5.2. Capacidad de Intercambio Catiónico

254. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de la cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH₄, etc.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica

⁵⁴ United States Department of Agriculture (USDA) es una organización que provee apoyo en temas relacionados con la agricultura, recursos naturales, desarrollo rural y nutrición, entre otros.

la habilidad de suelos para retener cationes, su disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, y su potencial, entre otros. Un suelo con baja CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. La unidad de medición de la CIC es en centimoles de carga por kg de suelo o meq/100 g de suelo (FAO, 2015). En la Tabla 8-5 se presentan los rangos interpretativos para la CIC.

Tabla 8-5. Rangos interpretativos para CIC

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	
Clase	meq/100 g
Muy alta	$CIC \geq 40$
Alta	$25 \leq CIC < 40$
Media	$15 \leq CIC < 25$
Baja	$5 \leq CIC < 15$
Muy Baja	$CIC < 5$

8.5.3. Materia orgánica

255. La materia orgánica del suelo consiste en residuos vegetales y animales en varios estados de descomposición. Niveles adecuados de la misma benefician al suelo en formas diferentes: (1) mejoran la condición física, (2) aumentan la infiltración del agua, (3) mejoran la friabilidad del suelo, (4) disminuyen las pérdidas por erosión y (5) proveen nutrientes a las plantas. La mayoría de los beneficios se deben a sustancias desprendidas como producto de la descomposición en el suelo de los residuos orgánicos (PPIC⁵⁵, 1988). La clasificación de la materia orgánica de acuerdo al porcentaje en que ésta se encuentre en el suelo se observa en la Tabla 8-6.

Tabla 8-6. Nivel de materia orgánica de acuerdo a su porcentaje en el suelo

Materia Orgánica	
Nivel	%
Bajo	Menor a 2
Medio	2 a 4
Alto	Mayor a 4

8.5.4. Niveles de fondo

256. Según Ramos (2002), no existe un criterio común universalmente aceptado para la definición de los niveles de fondo. Sin embargo, diferentes autores como Chen *et al.* (1999), definen al nivel de fondo como el rango de concentración alrededor de la media en suelos no contaminados. Asimismo, el *Model Toxics Control Act* (MTCA, Ch. 173-340-200 WAC), lo define como la concentración de sustancias peligrosas, presentes de forma sistemática en el medio natural, que no han sido influenciadas por actividades humanas localizadas.

257. En ese mismo sentido, Miguel *et al.* (2002) manifiestan que los valores de fondo caracterizan la situación real de los suelos naturales de una región en el momento de su estudio. En consecuencia, dichos valores de fondo describen la distribución de valores de concentración de los diferentes elementos químicos en los suelos de una región no afectada por actividades antrópicas.

55 Siglas en ingles de, Potash y Phosphate Institute of Canada.



8.5.5. Valor de referencia

258. De Miguel *et al.* (2002) denomina al valor de referencia como aquel cuya superación por unidad muestral de la población actual caracterizada sea poco probable y que, por tanto, si no ha habido modificaciones de las condiciones de muestreo, sea también poco probable su superación por unidad muestral obtenida posteriormente.
259. A efectos del presente informe se consideró como valor de referencia la cota superior del percentil 95 % con un 95 % de nivel de confianza; en otras palabras, representa el valor por debajo del cual se encuentra el 95% de los datos de la población con un 95% de nivel de confianza (USEPA, 2013).
260. Bajo esta definición, se tiene la expresión de la cota superior del percentil p-ésimo, el cual permite definir los valores de referencia. Asimismo, la expresión de esta cota dependerá del tipo de distribución a la que se ajusta el conjunto de datos. Así se tiene que para una distribución normal la expresión es la siguiente:

$$C_M = \bar{x} + t_{\alpha, n-1} s / \sqrt{n} \quad (8.9)$$

Donde:

- C_p : Cota superior del percentil p-ésimo.
 \bar{x} : Media aritmética de la muestra de n datos.
 S : Desviación estándar de la muestra de n datos.
 $K_{(n, \alpha, p)}$: Factor de tolerancia para la determinación de la cota superior del percentil p-ésimo, a partir de una muestra de n datos, con un nivel de confianza de $1-\alpha$, basada en la distribución t-Student (Hahn y Meeker, 1991).

261. Por otro lado, cuando el conjunto de datos se ajusta a una distribución log normal, la expresión para determinar la cota superior del percentil 95 % es la siguiente (EPA, 2013):

$$C_p = \exp(\bar{y} + K_{(n, \alpha, p)} * s_y) \quad (8.10)$$

Donde:

- \bar{y} : Media aritmética de los datos transformados logarítmicamente
 s_y : Desviación estándar de n datos transformados logarítmicamente.

262. Asimismo, para un conjunto de datos que se ajuste a una distribución tipo Gamma, que transformando los datos según $Y=X^{1/4}$, esta se aproxima a una distribución normal, presenta la siguiente expresión (USEPA, 2013):

$$C_p = (\bar{y} + K_{(n, \alpha, p)} * s_y)^4 \quad (8.11)$$

Donde:

- \bar{y} : Media aritmética de datos transformados para distribución gamma.
 s_y : Desviación estándar de n datos transformados para distribución gamma.

263. Por otra parte, se tiene el caso que el conjunto de datos no se ajusta a alguna distribución conocida, en esa situación se emplean métodos robustos o no paramétricos.



Handwritten vertical text and signatures on the left margin, including 'VBO' and several illegible signatures.

8.5.6. Asociaciones de suelos

264. Zamora (1972) afirma que la asociación de suelos puede definirse como una agrupación de unidades taxonómicas que ocurren geográficamente asociadas y que guardan entre sí una relación bien de origen (material generador) o bien de posición topográfica.
265. Una asociación de suelos es una unidad de mapa cartográfica que contiene dos o más clases de suelos o áreas misceláneas, cuyos componentes principales no se pueden separar a escalas pequeñas, pero sí a escalas grandes, pues los suelos ocupan porciones geográficas considerables. Esto posibilita establecer las pautas de distribución en el paisaje⁵⁶.

8.6. Tejido vegetal

266. Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000); sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.
267. La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimenticia. La absorción y posterior acumulación dependen de (1) el movimiento de los metales desde la solución suelo a la raíz de la planta; (2) el paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz; (3) el transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde la solución con metales se transporta de la raíz a los tallos, y (4) la posible movilización de los metales desde las hojas hacia los tejidos de almacenamiento usados como alimento (semillas, tubérculos y frutos) por el floema. Después de la absorción por los vegetales están disponibles para los herbívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimenticia (John y Leventhal, 1995).
268. Otro mecanismo de ingreso de sustancias potencialmente tóxicas a las plantas, como los metales pesados, es mediante la absorción foliar. La disponibilidad a través de las hojas de algunos elementos traza provenientes de fuentes aéreas puede tener un impacto significativo en la contaminación de las plantas y también es particular importancia en la aplicación de fertilizantes foliares (Kabata - Pendias, 2000).

9. METODOLOGÍA

269. En esta sección se describe la metodología aplicada durante la EAT en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Ilay, departamento de Arequipa. Dichos métodos fueron desarrollados para los componentes agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas, aire, suelo y tejido vegetal.

⁵⁶ Reglamento para la Ejecución de Levantamientos de Suelos – 2009, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2010-AG. p. 9.

**9.1. Calidad de agua superficial**

270. En los apartados siguientes se muestra información acerca de la evaluación de la calidad del componente agua, describiéndose los puntos de muestreo, los protocolos, equipos y técnicas de análisis, y estándares de comparación.

9.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo

271. Los puntos de muestreo fueron evaluados en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa. Concretamente se ubicaron en el río Tambo, las lagunas del SNLM y el manantial Santo Domingo.

272. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta los canales de las juntas de usuarios que abastecen a la población, sirviendo tanto para el consumo de agua potable como para las diferentes actividades productivas de la zona; dichos canales fueron Ensenada-Mejía-Mollendo, Tambo y Punta de Bombón.

273. Además, se consideraron puntos de muestreo en los recursos hídricos "activos" que se encuentran dentro del área del proyecto minero Tía María, es decir, la quebrada Rosa María y los afloramientos asociados a ésta⁵⁷ (QRmar1 y QRMar2, respectivamente).

274. La ubicación de los puntos de muestreo de agua se consiga en la Tabla 9-1. En el Anexo B3. Mapa de puntos de muestreo, se muestra la ubicación de dichos puntos, información que también se encuentra en el Anexo B4. Hojas de campo.

Tabla 9-1. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad ambiental de agua superficial

N°	CUERPO DE AGUA		CÓDIGO	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Tipo	Nombre		Este	Norte		
1	Río	Tambo	RTamb1	218 955	8 119 620	223	Ubicado en la margen izquierda del río Tambo, a la altura del huaro del centro poblado La Pascana.
2	Río	Tambo	RTamb2	213 482	8 115 143	145	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, aguas abajo del puente Santa Rosa, a la altura del restaurante Tambo de Oro del centro poblado El Fiscal.
3	Río	Tambo	RTamb3	209 962	8 112 966	97	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, aguas arriba de la bocatoma de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo.
4	Río	Tambo	RTamb4	207 821	8 106 908	59	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, al finalizar la primera trocha desde la carretera, la cual cruza

57

Con afloramientos, se hace referencia



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

«Año del Buen Servicio al Ciudadano»

N°	CUERPO DE AGUA		CÓDIGO	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Tipo	Nombre		Este	Norte		
							los cañaverales y arrozales del sector Chacarero.
5	Río	Tambo	RTamb5	204 853	8 103 600	30	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, a la altura del puente Freyre y al frente de la bocatoma de la Junta de Usuarios de Punta de Bombón.
6	Río	Tambo	RTamb6	197 967	8 099 495	15	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, aproximadamente a 300 m antes de su desembocadura en el mar, en el Santuario Lagunas de Mejía.
7	Río	Tambo	RTamb7	231 651	8 115 070	370	Ubicado en la margen izquierda del río Tambo, en el anexo El Carrizal del distrito de Cocachacra y aguas arriba del dique enrocado.
8	Quebrada	Rosa María	QRmar1	202 143	8 117 057	749	Agua entubada de la quebrada Rosa María.
9	Quebrada	Rosa María	QRmar2	201 861	8 117 035	714	Agua entubada del ojo de agua s/n, ubicado en la quebrada Rosa María, en las instalaciones abandonadas de una antigua unidad minera de oro.
10	Manantial	Santo domingo	MSDom1	206 160	8 107 383	45	Ubicado en el medio de la segunda trocha desde la carretera, la cual cruza los cañaverales y arrozales del sector Chacarero
11	Laguna	Mejía	LMej1	193 667	8 103 432	-7	Ubicado en el mirador de la laguna de Mejía.
12	Laguna	Iberia sur	LISur1	195 149	8 101 837	4	Ubicado en el mirador de la laguna Iberia Sur.
13	Laguna	Iberia sur	LISur2	195 627	8 101 417	-3	Ubicado en el mirador al sureste de la laguna Iberia Sur.
14	Laguna	Iberia centro	LICen1	194 637	8 102 351	-5	Ubicado en el mirador de la laguna Iberia Centro.
15	Laguna	Iberia norte	LINor1	194 013	8 103 214	-2	Ubicado en el mirador al noreste de la laguna, en el canal que abastece a la laguna Iberia Norte.
16	Laguna	Iberia norte	LINor2	194 021	8 103 169	0	Ubicado en el medio de la laguna Iberia Norte.
17	Laguna	Boquerón	LBoq1	196 838	8 100 253	-4	Ubicado en el mirador de la laguna Boquerón.
18	Canal	Valle de Tambo	CAT-01	208 707	8 110 437	80	Canal de la Junta de Usuarios del Valle de







N°	CUERPO DE AGUA		CÓDIGO	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Tipo	Nombre		Este	Norte		
							Tambo, en la bocatoma.
19	Canal	Ensenada-Mejía-Mollendo	CAEMM-01	191 976	8 107 277	66	Canal de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo, aproximadamente 400 m aguas arriba de la toma de Sedapar.
20	Canal	Ensenada-Mejía-Mollendo	CAEMM-02	208 989	8 111 680	105	Canal de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo, 700 m aproximadamente después de su desarenador.
21	Canal	Ensenada-Mejía-Mollendo	CAEMM-03*	819 137	8 115 055	52	Canal de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo, punto de toma de agua de Sedapar en el distrito de Mollendo.
22	Canal	Ensenada-Mejía-Mollendo	CAEMM-04	205 234	8 110 983	95	Canal de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo, en el distrito de Deán Valdivia.
23	Canal	Punta de Bombón	CAPB-01	204 791	8 103 053	28	Canal de Junta de Usuarios Punta de Bombón, a 450 m después de su desarenador al costado (derecha) de la carretera Zenen Velásquez a Punta de Bombón.

*Pertenece a la zona 18K

9.1.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis

275. La metodología aplicada para la evaluación de agua superficial y agua de manantiales, se enmarcó en el Capítulo 6: "Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales" del "Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales"⁵⁸. En el mencionado capítulo se establecen los criterios técnicos y lineamientos generales a aplicarse en las actividades de monitoreo de la calidad de agua, como la logística mínima necesaria, el establecimiento de los puntos de muestreo, preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección, seguridad en el trabajo de campo, procedimiento para la toma de muestras, preservación, llenado de la cadena de custodia, almacenamiento, conservación y transporte de muestras, entre otros. Para la selección de los parámetros de campo y los que requieren ser determinados en laboratorio, se consideró los Estándares de Calidad Ambiental (en adelante, ECA)

58

Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. "Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales". Aprobado el 11 de enero de 2016.



para agua, establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM⁵⁹. Referente a la categoría del cuerpo de agua esta fue asignada siguiendo los lineamientos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (en adelante, ANA). Sobre esta base se priorizó los parámetros relacionados con la actividad minera. Asimismo, se consideraron parámetros adicionales que permitieron una mejor interpretación de los resultados

276. El muestreo contó con el aseguramiento de calidad de acuerdo al ítem 6.17, aseguramiento de la calidad del muestreo, del mencionado protocolo. Los controles de calidad se presentan en la Tabla 9-2. El aseguramiento de la calidad de blanco viajero se realizó únicamente para el parámetro metales totales.

Tabla 9-2. Controles de calidad establecidos para agua

Tipo de control	Número de muestras	Total de muestras
Blanco de campo	1	2
Blanco de viaje	1	

277. El muestreo de agua superficial fue puntual. La preservación de las muestras siguió las recomendaciones del laboratorio según parámetro, y conservadas en los respectivos *coolers* manteniendo la cadena de frío. Los equipos y accesorios utilizados durante la evaluación en campo (*in situ*) se muestran en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3. Equipos y accesorios utilizados para el muestreo de calidad ambiental de agua

EQUIPOS	MARCA	MODELO	SERIE	COMPONENTE	UTILIDAD
Multiparámetro	HACH	HQ40d	150500000896	El equipo fue ajustado y verificado antes de realizar los registros de los parámetros de campo; para el ajuste se empleó soluciones buffer de unidades de pH y de conductividad eléctrica.	Medición de parámetros de campo (temperatura)
Sonda de pH	HACH	PHC201	161392618024		
Sonda de conductividad	HACH	CDC401	151272588015		
Sonda de oxígeno disuelto	HACH	LDO101	151262597005		
GPS	Garmin	Montana 680	4HU004984 4HU004985	Memoria externa de 4GB, baterías recargables, cargador, cables USB y mosquetón de aluminio	Registro de coordenadas geográficas en sistema WGS 84 UTM.
Cámara digital	Canon	D30	62051001043 62051001043	Cargador y memoria de 32GB.	Registro fotográfico.
Brazo muestreador o extensor	--	---	-	Dos extensores (varillas), una canastilla y dos fijadores tipo cuello de botella. Todo echo de acero inoxidable	Toma de muestra directa del agua superficial de los ríos y canales
Bomba de vacío	--	H003-A	14060574264	Bomba de succión, mangueras y kitasato.	Filtración del agua superficial mediante filtros de celulosa de 0,45 micras de porosidad

⁵⁹ Decreto que aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones complementarias, aprobado el 6 de junio de 2017.



278. En los puntos de muestreo (ver Tabla 9-1), se realizaron las mediciones de parámetros de campo: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, los cuales fueron registrados usando el equipo multiparamétrico HQ40d, el cual fue previamente calibrado en un laboratorio de calibración acreditado por el INACAL, cuyas características se muestran en la Tabla 9-4; con certificados de calibración en el Anexo B8.

Tabla 9-4. Características de los equipos usados en la evaluación de campo para la calidad de agua superficial

Equipo	Parámetros de medición	Unidad	Rango o límite de lectura	Fecha de calibración
Multiparámetro HQ40d	Temperatura	°C	-10 a 110	02/03/2017
	pH	Unidades de pH	0 a 14	11/03/2017
	Conductividad	mS/cm	0.01 a 200	
	Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	0 a 20	

279. Los parámetros considerados para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales, los cuales se consignan en la Tabla 9-5, fueron seleccionados en función de las actividades productivas del área de estudio. En este caso, se tomaron en cuenta las actividades agrícolas desarrolladas en el valle del Tambo y las actividades que se proyectan desarrollar en el marco del proyecto minero Tía María. Para elección de parámetros, también se tuvo en cuenta los resultados del Informe N° 00123-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI y los parámetros relacionados a las características más representativas de los cuerpos de agua.

Tabla 9-5. Parámetros monitoreados de la calidad ambiental de agua

Matriz	Parámetros	Cantidad de puntos	Observaciones
Agua superficial	pH	23	Parámetros registrados <i>in situ</i> , con el equipo multiparámetro marca HACH - HQ40d.
	Temperatura		
	Oxígeno disuelto		
	Conductividad eléctrica		Parámetros analizados por el laboratorio de ensayo acreditado INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
	Demanda química de oxígeno (DQO)		
	Coliformes termotolerantes o fecales		
	Sólidos suspendidos totales (SST)		Parámetro analizado por el laboratorio de ensayo acreditado AGQ PERÚ S.A.C.
	Sólidos totales disueltos (STD)		
	Pesticidas (organoclorados y organofosforados)		Parámetros analizados por el laboratorio de ensayo acreditado NSF ENVIROLAB S.A.C.
	Metales totales (incluido Hg)		
	Metales disueltos (incluido Hg)		
	Cloruros		
	Sulfuros		
	Sulfatos		
	Nitrógeno amoniacal		
	Nitratos		
Carbonatos			
Bicarbonatos			
Nitrógeno total			

280. Para los análisis de los parámetros físico-químicos (demanda química de oxígeno, cloruros, sulfuros, sulfatos, nitrógeno amoniacal, nitratos, carbonatos,



d
e
A
K
7
R



- bicarbonatos, nitrógeno total, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales), microbiológicos (coliformes termotolerantes) e inorgánicos (metales totales y disueltos), las muestras fueron colectadas en envases de plástico (sometidos a un lavado especial para eliminar trazas que pudieron haberse generado en la fabricación de las mismas), y preservados en campo; el tamaño de los frascos y los preservantes utilizados según el parámetro a evaluar se especifican en los protocolos de cada laboratorio donde se realizó su análisis.
281. Además, en el caso de los sólidos disueltos totales y metales disueltos se procedió al filtrado antes de su envasado y preservación según sea el caso. En tanto, el parámetro orgánico de pesticidas (organoclorados y organofosforados) fue colectado en envases de vidrio ámbar.
282. Las botellas y preservantes para las muestras de agua superficial fueron proporcionadas por los laboratorios Inspectorate Services Perú S.A.C, AGQ PERU S.A.C. y NSF Envirolab S.A.C, acreditados por el INACAL (ver Anexo B9).
283. Finalmente, todas las muestras se almacenaron permanentemente en posición vertical en diferentes coolers (cajas térmicas) con *ice-packs* (hielo gel) y fueron remitidas a los respectivos laboratorios citados en los párrafos anteriores, con las respectivas cadenas de custodia y sus informes de ensayo (ver Anexo B7). Los métodos de ensayo utilizados en el análisis de laboratorio, se detallan en la Tabla 9-6.

Tabla 9-6. Métodos de ensayo utilizados por los laboratorios para el análisis de calidad de agua superficial

Parámetro	Método de Ensayo de Referencia	Técnica Empleada	Laboratorio de Ensayo acreditado
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 52200 C., 22nd Ed.2012	Método de reflujo abierto, Método Tritimétrico	Inspectorate Services Perú S.A.C.
Coliformes termotolerantes	SSMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E, 22nd Ed.2012	Técnica de la fermentación múltiple en tubo para la determinación del grupo de Coliformes fecales. Prueba de coliformes termotolerantes (EC Medium)	
Sólidos totales suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2540D, 22nd Ed.2012	Pesaje de filtro mediante secado en 103 – 105 °C	
Cloruros	EPA Método 325.3 Revisado en Marzo de 1983	Titulación con nitrato de mercurio	NSF Envirolab S.A.C.
Pesticidas	EPA Method 8270D, revisado en mayo de 2014	Determinación de compuestos orgánicos semivolátiles por Cromatografía de gases / Espectrofotometría en masa	
Sulfuros	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500-S=D, 22nd Ed.2012	Método colorimétrico del azul de metileno	
Sulfatos	EPA Method 375.4, revisado en marzo de 1983	Turbidimétrico	
Nitrógeno amoniacal	SMEWW Part 4500-NH3-F, 22nd Ed.2012	Método colorimétrico manual o automatizado de fenato	
Nitratos	EPA Method 352.1, revisado en Marzo 1983	Colorimetría de brucina	
Carbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500 CO2, 22nd Ed.2012	Cálculo de dióxido de carbono y sus formas alcalinas	
Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 CO2, 22nd Ed	Cálculo de dióxido de carbono y sus formas alcalinas	
Nitrógeno total	SM 4500-Norg-B, 22nd Ed 2012	Método de kjeldahl	
Mercurio total y disuelto	EPA Método 245.7 (validado), Febrero 2005	Espectrometría de fluorescencia atómica por vapor frío	



1
2
3
4
5
6
7
8



Parámetro	Método de Ensayo de Referencia	Técnica Empleada	Laboratorio de Ensayo acreditado
Silicio total y disuelto	EPA Método 200.7, Revisado 4.4, Mayo 1994	Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente	
Metales totales y disueltos	EPA Método 200.7, Revisado 4.4, Mayo 1994		
Sólidos totales disueltos	SM 2540 C Ed22	Gravimetría	AGQ PERU S.A.C.

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio.

284. Los equipos y accesorios utilizados durante la evaluación en campo (*in situ*) se muestran en la Tabla 9-7.

Tabla 9-7. Equipos y accesorios utilizados para el muestreo de calidad ambiental de agua

EQUIPOS	MARCA	MODELO	SERIE	OBSERVACIONES
Multiparámetro	HACH	HQ40d	15050000896	El equipo fue ajustado y verificado antes de realizar los registros de los parámetros de campo; para el ajuste se empleó soluciones buffer de unidades de pH y de conductividad eléctrica.
Sonda de pH	HACH	PHC201	161392618024	
Sonda de conductividad	HACH	CDC401	151272588015	
Sonda de oxígeno disuelto	HACH	LDO101	151262597005	
GPS	Garmin	Montana 680	4HU004984 4HU004985	Registro de coordenadas geográficas en sistema WGS 84 UTM.
Cámara digital	Canon	D30,	62051001043 62051001043	Registro fotográfico

285. Previo al muestreo y al registro de los parámetros de campo se realizó el ajuste y verificación de los parámetros de pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto utilizando soluciones buffer de pH (4.00, 7.00 y 10.00 unidades de pH), conductividad eléctrica (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1 413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para rango bajo, y 12 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para rango alto). Los registros de ajuste y verificación de los equipos se presentan en el Anexo B5, mientras que los certificados de calibración de equipos se consignan en el Anexo B8.
286. Los parámetros considerados para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales, los cuales se consignan en la Tabla 9-8, fueron seleccionados en función de las actividades productivas del área de estudio. En este caso, se tomaron en cuenta las actividades agrícolas desarrolladas en el valle del Tambo y las actividades que se proyectan desarrollar en el marco del proyecto minero Tía María. Para elección de parámetros, también se tuvo en cuenta los resultados del Informe N° 00123-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI y los parámetros relacionados a las características más representativas de los cuerpos de agua.

Tabla 9-8. Parámetros monitoreados de la calidad ambiental de agua

Matriz	Parámetros	Cantidad de puntos	Observaciones
Agua superficial	pH	23	Parámetros registrados <i>in situ</i> , con el equipo multiparámetro marca HACH - HQ40d.
	Temperatura		
	Oxígeno disuelto		
	Conductividad eléctrica		
	Demanda química de oxígeno (DQO)			Parámetros analizados por el laboratorio de ensayo acreditado



Matriz	Parámetros	Cantidad de puntos	Observaciones
	Coliformes termotolerantes o fecales		INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
	Sólidos suspendidos totales (SST)		
	Sólidos totales disueltos (STD)		Parámetro analizado por el laboratorio de ensayo acreditado AGQ PERÚ S.A.C.
	Pesticidas (organoclorados y organofosforados)		Parámetros analizados por el laboratorio de ensayo acreditado NSF ENVIROLAB S.A.C.
	Metales totales (incluido Hg)		
	Metales disueltos (incluido Hg)		
	Cloruros		
	Sulfuros		
	Sulfatos		
	Nitrógeno amoniacal		
	Nitratos		
	Carbonatos		
	Bicarbonatos		
	Nitrógeno total		

9.1.3. Estándares de comparación y análisis de datos

287. Para evaluar la calidad de los recursos hídricos, los resultados de los análisis serán comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua aprobados por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.
288. De acuerdo a lo establecido en la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, que aprueba la clasificación de los cuerpos de agua superficiales y marino-costeros, el río Tambo se encuentra dentro de la Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales", en las subcategorías D1 "Riego de vegetales (restringido⁶⁰ y no restringido⁶¹)" y D2 "Bebida de animales" (en adelante, Cat3D1 y Cat3D2, respectivamente).
289. La quebrada Rosa María se consideró en la misma categoría que el río Tambo, esto es, Cat3D1 y Cat3D2 de acuerdo a lo indicado en la Tercera Disposición Complementaria Transitoria del D.S. N° 004-2017-MINAM que indica lo siguiente: "En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad".
290. En cuanto a los canales de riego, al no estar incluidos dentro de ninguna categoría, también fueron considerados en la Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales", ya que captan el agua del río Tambo. En este caso, la comparación es referencial.

⁶⁰ Aguas para riego no restringido son aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (ej. hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo. D.S. N.° 004-2017-MINAM.

⁶¹ Aguas para riego restringido son aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinoa); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa). D.S. N.° 004-2017-MINAM.



291. Para el caso de las Lagunas del SNLM, se asignó la Categoría 4 "Conservación del ambiente acuático", Subcategoría E1 "Lagos y lagunas" (en adelante, **Cat4E1**), tomando en consideración que las lagunas constituyen ecosistemas frágiles;⁶² por lo que es concordante con las "Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua".⁶³
292. En la Tabla 9-9 se detallan los estándares de comparación de la calidad de agua que se emplearon para cada cuerpo de agua, conforme a lo que se ha mencionado previamente.

Tabla 9-9. Estándares de comparación de la calidad de agua

Ubicación	Unidad Hidrográfica	Cuerpos de agua	ECA para agua Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM	
			Categoría de comparación	Subcategoría de comparación
Distritos Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía	Bajo Tambo	Grupo 1: Ambientes lóticos		
		Río Tambo	Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales"	D1 "Riego de cultivos de tallo alto y bajo"
		Quebrada Rosa María		D2 "Bebida de animales"
		Manantial Santo Domingo		
		Canales de Riego: Ensenada Mejía Mollendo, Punta de Bombón y Tambo	Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales" (*)	D1 "Riego de cultivos de tallo alto y bajo"
				D2 "Bebida de animales"
Grupo 2: Ambientes lénticos				
Lagunas: Iberia, Mejía y Boquerón.	Categoría 4 "Conservación del ambiente acuático"	E1 "Lagunas y lagos"		

(*) Comparación referencial

293. En cuanto a los parámetros que no se encuentran en el ECA, solamente los sólidos disueltos totales (SDT) y calcio fueron comparados con los valores guías para la protección de la agricultura - CEQG-WQG (Canadian Environmental Quality Guidelines - Water Quality Guidelines of Agricultural Water Uses) para complementar el comportamiento químico del agua del río Tambo en el estuario, las lagunas del SNLM y afloramientos.

9.2. Calidad de sedimentos

294. En los apartados siguientes se muestra información acerca del muestreo realizado para evaluar la calidad del componente sedimentos consignándose la ubicación

⁶² Ley General del Ambiente N° 28611. Según el numeral 99.2 del Artículo 99°. De los Ecosistemas frágiles, "los ecosistemas frágiles comprenden, entre otros, desiertos, tierras semiáridas, montañas, pantanos, bofedales, bahías, islas pequeñas, humedales, lagunas alto andinas, lomas costeras, bosques de neblina y bosques relictos".

⁶³ D.S. N° 004-2017-MINAM. En su Artículo 3°, numeral 3.4. "Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas".



de los puntos de muestreo, los protocolos, equipos y técnicas de análisis, y estándares de comparación.

9.2.1. Ubicación de los puntos de muestreo

295. Los puntos de muestreo para la evaluación de calidad de sedimentos se localizaron en los mismos puntos de muestreo de calidad de agua, concretamente en los ubicados en el río Tambo y el SNLM (lagunas Mejía, Iberia, y Boquerón), de manera que las coordenadas fueron las mismas. La relación de puntos de muestreo se presenta en la Tabla 9-10, información que también se encuentra en el Anexo C4: Hojas de campo. En el Anexo C3: Mapa de puntos de muestreo, se puede visualizar la ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos.

Tabla 9-10. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad ambiental de sedimentos

N°	CUERPO DE AGUA		CÓDIGO	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Tipo	Nombre		Este	Norte		
1	Río	Tambo	RTamb1	218 955	8 119 620	223	Ubicado en la margen izquierda del río Tambo, a la altura del huaro del centro poblado La Pascana.
2	Río	Tambo	RTamb2	213 523	8 115 232	145	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, aguas abajo del puente Santa Rosa, a la altura del restaurante Tambo de Oro del centro poblado El Fiscal.
3	Río	Tambo	RTamb3	209 951	8 112 945	97	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, aguas arriba de la bocatoma de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo.
4	Río	Tambo	RTamb4	207 797	8 106 922	59	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, al finalizar la primera trocha desde la carretera, la cual cruza los cañaverales y arrozales del sector Chacarero.
5	Río	Tambo	RTamb5	204 853	8 103 600	30	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, a la altura del puente Freyre y al frente de la bocatoma de la Junta de Usuarios de Punta de Bombón.
6	Río	Tambo	RTamb6	197 967	8 099 495	15	Ubicado en la margen derecha del río Tambo, aproximadamente a 300 m antes de su desembocadura en el mar, en el Santuario Lagunas de Mejía.
7	Río	Tambo	RTamb7	231 616	8 115 119	370	Ubicado en la margen izquierda del río Tambo, en el anexo "El Carrizal" del distrito de



[Handwritten signature]



N°	CUERPO DE AGUA		CÓDIGO	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Tipo	Nombre		Este	Norte		
							Cocachacra y aguas arriba del dique enrocado.
8	Laguna	Mejía	LMej1	193 667	8 103 432	-7	Ubicado en el mirador de la laguna de Mejía.
9	Laguna	Iberia sur	LISur1	195 149	8 101 837	4	Ubicado en el mirador de la laguna Iberia Sur.
10	Laguna	Iberia sur	LISur2	195627	8 101 417	-3	Ubicado en el mirador al sureste de la laguna Iberia Sur.
11	Laguna	Iberia centro	LICen1	194 637	8 102 351	-5	Ubicado en el mirador de la laguna Iberia Centro
12	Laguna	Iberia norte	LINor1	194 013	8 103 214	-2	Ubicado en el mirador al noreste de la laguna, en el canal que abastece a la laguna Iberia Norte.
13	Laguna	Iberia norte	LINor2	194 021	8 103 169	0	Ubicado en el medio de la laguna Iberia Norte.
14	Laguna	Boquerón	LBoq1	196 838	8 100 253	-4	Ubicado en el mirador de la laguna Boquerón.

9.2.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis

296. Debido a que no se cuenta con un protocolo nacional aprobado para la toma de muestras de sedimentos, se utilizó a modo referencial, el manual técnico "Métodos para colección, almacenamiento y manipulación de sedimentos para análisis químicos y toxicológicos" de la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos.⁶⁴
297. Este documento da a conocer consideraciones generales en el diseño de muestreos para sedimento, equipos/herramientas de campo y laboratorio, pautas de seguridad, procedimientos de almacenamiento y transporte de muestras, además de asuntos comunes a la manipulación de muestras para análisis químicos y toxicológicos. Asimismo, se utilizó el Procedimiento de Operación Estándar – *Standard Operating Procedure (SOP)*. #2016, Muestreo de Sedimentos, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.⁶⁵
298. Los equipos y accesorios utilizados durante la evaluación en campo (*in situ*) se muestran en la Tabla 9-11. El burreno utilizado para el muestreo de sedimentos contó hasta con tres extensiones de manera se pudieron extraer porciones parciales de sedimento del lecho del cuerpo de agua, las cuales fueron colectadas en bolsas herméticas hasta completar el peso requerido, siguiendo las recomendaciones por el laboratorio acreditado.

⁶⁴ Methods for Collection Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. Office of Science & Technology Office of Water. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-823-B-01-002. Washington, DC 20460. October 2001.

⁶⁵ Environmental Protection Agency (EPA). *Standard Operating Procedure-SOP #2016, Sediment Sampling* https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/r8-src_eh-02.pdf

**Tabla 9-11.** Equipos y accesorios utilizados para el muestreo de calidad ambiental de sedimentos

Equipo	Marca	Modelo	SERIE	Componente	Utilidad
Barreno	AMS	--	BARRE-OEFA-3	Barreno con tres extensiones, dos perforadores, dos llaves, un mango, una escobilla de metal y una maleta de transporte.	Toma de muestra directa de sedimentos hasta una profundidad máxima de 30 cm de los ríos y canales
GPS	GARMIN	OREGON 650	4HU004984 4HU004985	Memoria externa de 4GB, baterías recargables, cargador, cables USB y mosquetón de aluminio	Registro de coordenadas geográficas en sistema WGS 84 UTM.
Cámara fotográfica	CANON	D30	62051001043 62051001043	Cargador y memoria de 32GB.	Registro fotográfico.
Pala polietileno	-	-	-	Herramienta de fácil manipulación	Utilizada para coleccionar el sedimento superficial hasta unos 20 cm.

(-) No corresponde

299. Los parámetros considerados para el análisis de las muestras de sedimentos, las cuales fueron conservadas en coolers para mantener la cadena de frío, se consignan en la Tabla 9-12.

Tabla 9-12. Parámetros monitoreados de la calidad ambiental de sedimentos

Matriz	Parámetros	Cantidad de puntos	Observaciones
Sedimentos	Metales Totales + Mercurio	14	Parámetros analizados por el laboratorio de ensayo acreditado AGQ PERÚ S.A.C.

300. Los sedimentos para el análisis de metales se coleccionaron en bolsas de plástico. Estas muestras se preservaron en refrigeración. Los métodos de ensayo utilizados en el análisis de laboratorio, se detallan en la Tabla 9-13.

Tabla 9-13. Métodos de ensayo utilizados por los laboratorios, para el análisis de calidad de sedimentos

Parámetro	Método de ensayo de referencia	Técnica empleada	Laboratorio de ensayo acreditado
Metales totales	EPA 200.8	Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente	AGQ Perú S.A.C.

Fuente: Informes de ensayo de laboratorio.

301. Finalmente, todas las muestras de sedimentos se almacenaron permanentemente en posición vertical en diferentes coolers con *Ice-Packs* (hielo gel) y fueron remitidas al laboratorio, con las respectivas cadenas de custodia con sus informes de ensayo (ver Anexo C6).

1
2
3
4
5
6
7
8

9.2.3. Estándares de comparación

302. Hasta el momento, no se cuenta con legislación nacional sobre estándares de calidad ambiental para sedimentos. Por ello, los resultados de los parámetros evaluados se compararán, de manera referencial, con aquellos recomendados por las Directrices de Calidad Ambiental de Canadá para Sedimentos en cuerpos de agua dulce⁶⁶ (en adelante, norma canadiense). Estas establecen dos tipos de estándares:

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

303. Los parámetros que se analizaron fueron los metales pesados arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc, cuyos valores ISQG y PEL son consignados en la Tabla 9-14.

Tabla 9-14. Valores estándar para metales de las Directrices de Calidad Ambiental de Canadá para sedimentos en cuerpos de agua dulce

Parámetro	Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)
Arsénico	5,9	17
Cadmio	0,6	3,5
Cromo	37,3	90
Cobre	35,7	197
Mercurio	0,17	0,486
Plomo	35	91,3
Zinc	123	3,5

Fuente: CEQG (*Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables, update 2014*).

9.3. Comunidades hidrobiológicas

304. En los apartados siguientes se muestra información acerca de la evaluación las comunidades hidrobiológicas (fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos, peces y camarones) consignándose el área de estudio, los puntos de muestreo, los protocolos, equipos y técnicas de análisis, y la caracterización hidromorfológica de los puntos de muestreo hidrobiológicos.

9.3.1. Ubicación de los puntos de muestreo

305. Los puntos de muestreo se establecieron los recursos hídricos superficiales más representativos, como son el río Tambo (ambiente lótico) y las lagunas del SNLM (ambiente léntico). La descripción de la ubicación de los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 9-15, lo que se consigna en el Anexo D2. Hojas de campo. En el Anexo D1. Mapa de puntos de muestreo, se puede visualizar la ubicación de los mismos.

⁶⁶ Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life for Fresh Water (CEQG-SQG) - Summary tables, update 2002. Quebec: Canada. Dicha guía fue actualizada en el 2014, según la siguiente web: <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html?lang=en>.



Tabla 9-15. Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas

TIPO DE AMBIENTE	CUERPO DE AGUA	CÓDIGO DEL PUNTO	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
			Este	Norte		
Lótico	Río Tambo	RTamb7	231 616	8 115 119	370	Ubicado en el río Tambo, en la zona llamada Carrizal, aguas arriba del centro poblado El Toro
	Río Tambo	RTamb1	218 955	8 119 620	223	Ubicado en el río Tambo, 15 m aguas abajo del medio del traslado Huaró en el anexo Pascana
	Río Tambo	RTamb2	213 523	8 115 232	145	Ubicado en el río Tambo, a la altura del puente Santa Rosa
	Río Tambo	RTamb3	209 951	8 112 945	97	Ubicado en el río Tambo, en la bocatoma de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo
	Río Tambo	RTamb4	207 797	8 106 922	59	Ubicado en el río Tambo, aproximadamente 5 km aguas arriba del puente Freyre
	Río Tambo	RTamb5	204 853	8 103 600	30	Ubicado en el río Tambo, a la altura del puente Freyre, aproximadamente a 100 m de la bocatoma de la Junta de Usuarios de Punta de Bombón
	Río Tambo	RTamb6	197 967	8 099 495	15	Ubicado cerca de la desembocadura del río Tambo, en el Santuario Nacional Lagunas de Mejía
Léntico	Laguna Mejía	LMej1	193 667	8 103 432	-7	Ubicado en la laguna Mejía, cerca al mirador
	Laguna Iberia Sur	LISur2	195 627	8 101 417	-3	Ubicado en la salida de la laguna Iberia Sur, ubicada al sureste de la laguna
		LISur1	195 149	8 101 837	4	Ubicado en la laguna Iberia Sur
	Laguna Iberia Centro	LICen1	194 637	8 102 351	-5	Ubicado a orillas de la laguna Iberia Centro
	Laguna Iberia Norte	LINor1	194 013	8 103 214	-2	Ubicado en el canal que abastece a la laguna Iberia Norte, al noroeste de la laguna
		LINor2*	194 021	8 103 169	0	Ubicado en la laguna Iberia Norte
Laguna Boquerón	LBoq1	196 838	8 100 253	-4	Ubicado en la laguna Boquerón	

(*) Punto de muestreo no evaluado debido a que no se encontró condiciones favorables para la toma de muestras.

9.3.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis

306. La colecta de muestras de perifiton y macroinvertebrados bentónicos tuvo como base metodológica las técnicas de muestreo descritas en el manual "Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú" (UNMSM-MHN 2014).
307. En el mencionado manual también se listan los equipos y materiales necesarios para llevar a cabo un muestreo hidrobiológico. En el caso de la presente evaluación se emplearon los materiales y equipos que se presentan en la Tabla 9-16.

Tabla 9-16. Equipos y materiales utilizados para el muestreo de las comunidades hidrobiológicas

EQUIPOS	MARCA	MODELO	UTILIDAD	CARACTERISTICAS
GPS	GARMIN	OREGON 650	Medición de coordenadas UTM	--
Cámara fotográfica	CANON	D30	Registro fotográfico	--
Plancton	---	---	Colecta de fitoplancton y zooplancton	Red para el muestro de plancton de 40 µm
Red Surber	---	---	Colecta de muestras de macroinvertebrados bentónicos en ambientes lóticos	Red para el muestro de macroinvertebrados bentónicos de área de muestreo de 0,09 m ² y abertura de malla de 500 µm.
Red Dnet	---	---	Colecta de muestras de macroinvertebrados bentónicos en ambientes lénticos	Red para el muestro de macroinvertebrados bentónicos de área de muestreo de 0,09 m ² y abertura de malla de 500 µm.
Red de Arrastre	---	---	Colecta de muestras de peces	Red de pesca, arrastre hacia la orilla.
Red atarraya	---	---	Colecta de muestras de peces	Red para pesca de 1 cm de tamaño de cocada, con plomada total de 5 kg o 8 kg y diámetro de abertura de 2 y 3m.
Regla	---	---	Medición de longitud (cm) de peces	Material para la medición de talla de peces de 30 cm de longitud.



308. Además de los equipos y materiales listados en la tabla anterior, se utilizaron guantes de látex y etanol al 70% como preservante, los cuales se usaron de forma complementaria para la manipulación, colecta y preservación de las diferentes muestras. Los protocolos usados se basaron en las técnicas de muestreo hidrobiológico y se desarrollaron de acuerdo a lo establecido en el documento "Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú"⁶⁷.

309. Las muestras de perifiton, macroinvertebrados bentónicos y peces fueron analizadas por especialistas de la Dirección de Evaluación del Oefa obedeciendo las directrices del *Standard methods for examination of water and wastewater 22nd* (APHA 2012). En la Tabla 9-17 se detallan las comunidades hidrobiológicas muestreadas, los parámetros analizados y los métodos empleados para el análisis de las muestras, según el parámetro a determinar. Los informes de ensayo se encuentran en el Anexo D4 (D4.1. Fitoplancton y D4.2. Zooplancton).

Tabla 9-17. Comunidades hidrobiológicas y parámetros monitoreados

Parámetro	Cantidad de puntos	Método de ensayo de referencia	Unidad de conteo	Observaciones
Fitoplancton	7	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 200 F, 22nd Ed. 2012	Org/L	Identificado por el laboratorio de ensayo acreditado AGQ PERÚ S.A.C.
Zooplancton	7	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 200 G, 22nd Ed. 2012	Org/L	

⁶⁷ Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú /Departamento de Limnología, Departamento de *Ictiología* - Lima: Ministerio del Ambiente, 2014.



Parámetro	Cantidad de puntos	Método de ensayo de referencia	Unidad de conteo	Observaciones
Perifiton	7	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 300 C, 22nd Ed. 2012	Org/cm ²	Identificado por Oefa
Macroinvertebrados bentónicos	13	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 500 C, 22nd Ed. 2012	Org/m ²	Identificado por Oefa
Peces*	0	--	--	Identificado por Oefa
Parámetro	Cantidad de puntos	Método de ensayo de referencia	Unidad de conteo	Observaciones
Metales totales, incluido Hg (camarones)	2	NTP 324 (ICP-MS)	mg/Kg	Identificado por el laboratorio de ensayo acreditado AGQ PERÚ S.A.C.

(*) No se logró la captura de peces en los puntos de muestreo del río Tambo y del NSLM.

310. Para el desarrollo del presente informe se consideraron variables biológicas como son la composición, riqueza y abundancia, índice de diversidad alfa e índice de diversidad beta, obtenidas en base a los reportes emitidos en los análisis de identificación taxonómica.

9.3.3. Estándares de comparación y análisis de datos

- **Composición, riqueza y abundancia**

311. Por **composición** se entiende el conjunto particular de especies en una comunidad. La **riqueza** se refiere al número de especies diferentes en una comunidad.

312. La **abundancia** constituye el número de individuos de cada especie en una comunidad. Es preciso indicar que la abundancia en la comunidad de plancton se tomará como organismos por ml, en el caso del perifiton será organismos por cm² y en los macroinvertebrados se tomará como organismos por 0,27 m².

313. Se representó la clasificación taxonómica (*phylum*, clase, orden, familia y especie) de las comunidades del plancton (fitoplancton y zooplancton), perifiton (microalgas y microorganismos), macroinvertebrados bentónicos y de peces, evaluados en el río Tambo y en el SNLM. La clasificación taxonómica de perifiton se presenta en el Anexo D5, mientras que la de macroinvertebrados se encuentra en el Anexo D6.

314. La evaluación de la riqueza y la abundancia de las comunidades del plancton (fitoplancton y zooplancton) y perifiton (microalgas y microorganismos) se desarrolló en base a la categoría taxonómica *phylum*. La evaluación de la riqueza y la abundancia de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se desarrolló en base a la categoría taxonómica orden.

- **Diversidad alfa**

315. La diversidad alfa está relacionada al número de especies de un grupo indicador que se encuentra en un determinado punto o área que puede variar mucho de un



Handwritten blue ink signatures and initials, including 'A', 'K', and '7'.



lugar a otro, aún dentro de un mismo tipo de comunidad y en un mismo ecosistema (Moreno & Halffter, 2000).

- Números de Hill (diversidad verdadera)

316. Los índices de diversidad verdadera son modificaciones de los índices comunes de Shannon (H') y Simpson (D) con la finalidad de ajustar la sensibilidad para determinar el comportamiento de la diversidad. En base a esta modificación, se empezó a hacer uso el término "números efectivos de especies", que son las unidades de medición de la diversidad verdadera (Moreno *et al.*, 2011). De ese modo, los datos obtenidos de las comunidades hidrobiológicas se analizan con números efectivos de especies (Hill, 1973; Jost, 2006).
317. Para la evaluación de diversidad de especies (diversidad alfa) se utilizaron los índices de diversidad verdadera (Números de Hill) en base al número de especies de cada punto de muestreo para cada comunidad hidrobiológica.
318. Para ello se usó la variable $N1$ como la modificación del índice Shannon (H') (Jost, 2006) cuya fórmula es:

$$N1 = \exp(H') \quad (9.1)$$

Donde:

H : Índice de Shannon.

319. Por otro lado, se usó la variable $N2$ como la modificación del índice de Simpson (D) (Jost, 2006) cuya fórmula es:

$$N2 = \frac{1}{\text{Índice de Simpson}} \quad (9.2)$$

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

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \quad (9.3)$$

Donde:

J' : Índice de equidad de Pielou
 H' : Índice de diversidad de Shannon-Wiener
 H'_{max} : $\ln(S)$
 S : Número de especies.



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.

- **Diversidad beta**

321. La diversidad beta es el marco conceptual del estudio de las similitudes y las diferencias entre comunidades bióticas. Permite cuantificar la diferenciación taxonómica entre ellas (Moreno y Halffter, 2000).

- Índice de similitud de Bray Curtis

322. Para la evaluación de diversidad beta se utilizó el coeficiente de similitud de Bray Curtis (Bray y Curtis, 1957) en base a la similitud de especies entre puntos de muestreo para cada comunidad hidrobiológica. Este índice es una medida de similitud que enfatiza la importancia de las especies que se tienen en común entre los sitios de muestreo (Pielou, 1984), considerándola como una medida de la diferencia entre las abundancias relativas de cada especie presente. Toma valores entre 0 (ninguna especie en común) y 1 (muestras idénticas) lo que ha demostrado ser más útil para recoger información sobre la estructura de las comunidades que los métodos univariados (Warwick y Clarke, 1995).

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

$$IBC = 1 - \frac{(\sum xi - yi)}{(\sum xi + yi)} \quad (9.4)$$

Donde:

IBC : Índice de Bray Curtis.
xi : Abundancia o densidad de especies *i* en un conjunto 1.
yi : Abundancia de las especies en el otro.

324. Para facilitar el análisis de los valores de similitud de manera visual, se procedió a la elaboración de dendogramas mediante la unión de pares promedio (Sokal y Michener, 1958; Crisci y López, 1983) utilizando el programa estadístico PAST (Hammer *et al.*, 2001). Esta gráfica resume la similitud de las especies entre dos estaciones de muestreo.

- **Indicadores biológicos de referencia para la calidad de agua**

325. La calidad del agua se puede medir a través de los índices biológicos, los cuales son una expresión numérica que relaciona atributos o características de las poblaciones, comunidades y ecosistemas con los diferentes tipos de actividades humanas que se realizan en una zona, de tal manera que permitan evaluar su impacto sobre el ambiente (Karr & Chu, 1999; Peralta, 2007). Estos índices consideran la sumatoria de los grados de sensibilidad o tolerancia de las familias de macroinvertebrados bentónicos en el ecosistema acuático será tomado como referente en el análisis de resultados.

326. Con la lista taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos se analizó la calidad de los hábitats acuáticos de la zona evaluada a través del índice Biological Monitoring Working Party, adaptado para Colombia, denominado como BMWP/Col, según Roldan, 2003. Este índice utiliza las valoraciones asignadas a familias.



Handwritten blue signature and initials.



327. Las valoraciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados, para la obtención del índice BMWP/Col, son las que se indican en la Tabla 9-18, mientras que la calidad de las aguas de acuerdo a la valoración del índice BMWP/Col (de las familias registradas) se presenta en la Tabla 9-19.

Tabla 9-18. Valoraciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col

Familias	Puntuación
Anomalopsychidae, Atriplectidae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Epheméridae, Euthyplociidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Velidae	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydrópsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae	1

Fuente: Roldán, 2003

Tabla 9-19. Calidad de las aguas de acuerdo a la valoración del índice BMWP/Col

Clase	Calidad	valor	Significado	Color
I	Buena	> 150; 101 - 120	Aguas muy limpias. Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	Azul
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16 - 35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy critica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldán, 2003

9.4. Calidad de aire

328. En los apartados siguientes se muestra información acerca de la evaluación de la calidad del componente aire, la ubicación de los puntos de muestreo, los protocolos, equipos y técnicas de análisis, y estándares de comparación.

9.4.1. Ubicación de los puntos de muestreo

329. Las estaciones de muestreo de calidad de aire, fueron ubicados en los estadios de los distritos de Cocachacra y Deán Valdivia, estos distritos se caracterizan por ser una zona agrícola con predominancia de gramíneas como maíz y arroz.
330. Para la determinación y ubicación de los puntos de muestreo se consideraron factores como la accesibilidad al punto de muestreo, puntos de abastecimiento eléctrico y seguridad del equipo evaluador. Adicionalmente, para la ubicación de



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

los puntos de muestreo, se tuvieron en cuenta las áreas despejadas y sin obstáculos dentro de los distritos de Cocachacra y Deán Valdivia.

331. En la Tabla 9-20 se indica el código, ubicación y referencia de los puntos de muestreo de calidad de aire en los distritos mencionados, pudiéndose visualizar en el Anexo E1. Mapas de puntos de muestreo.

Tabla 9-20. Ubicación de los puntos de muestreo de calidad ambiental de aire

CÓDIGO	Coordenadas UTM WGS84 Zona 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Este	Norte		
AIR-01	205 628	8 108 403	85	Ubicado en el interior del estadio municipal de Cocachacra.
AIR-02	199 695	8 102 097	81	Ubicado en el interior del estadio municipal de Deán Valdivia.
MC-01	206 193	8 108 419	87	Ubicado en la azotea del local de la municipalidad de Cocachacra.

9.4.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis

332. Con respecto a los métodos y criterios utilizados para la evaluación ambiental de la calidad del aire, se consideró lo señalado en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos de la Dirección General de Salud Ambiental (Digesa)⁶⁸. Este protocolo establece los procedimientos y criterios técnicos para la instalación y operación de sistemas de monitoreo de calidad de aire, así como el manejo de los datos una vez colectados.

333. Los parámetros de la calidad del aire que se midieron en la presente evaluación fue material particulado con diámetro menor o igual a 10 micras (PM₁₀). La determinación de metales en PM₁₀ se realizó en laboratorio acreditado utilizando un espectrómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). En el caso de los gases se midieron dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO), utilizando equipos analizadores automáticos.

334. Asimismo, se instaló una estación meteorológica para la medición de velocidad y dirección de viento, temperatura, humedad relativa y presión barométrica en los puntos de muestreo AIR-01 (del 8 al 13 de mayo) y MC-01 (18 de abril al 8 de mayo). La Tabla 9-21 contiene la descripción de los equipos, parámetros y métodos de análisis utilizados. Los certificados de calibración de equipos se encuentran en el Anexo E4.

Tabla 9-21. Características de los equipos accesorios y otros materiales utilizados en las estaciones de muestreo de calidad de aire

EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS	OBSERVACIONES
PM ₁₀ (Alto Volumen)	Thermo	G10557	•P9329X •P9306X	Material particulado menor o igual a 10 micras (PM ₁₀)	NTP 900.030 (Separación inercial (gravimetría))	Analizado Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C.

⁶⁸ El Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de Datos fue aprobado el 7 de setiembre de 2005, mediante Resolución Directoral N° 1404/2005/DIGESA/SA. Dirección General de Salud Ambiental (Digesa).

Tabla 9-22. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire

Parámetro	Periodo	Forma del estándar		Norma
		Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formato	
Material particulado menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	150	No exceder más de 3 vez al año	Decreto Supremo N° 074-2001-PCM
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	10 000	Promedio móvil	
	1 hora	30 000	No exceder más de 1 vez al año	
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	No exceder más de 24 vez al año	Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM
Dióxido de azufre (SO_2)	24 horas	20	Media aritmética	
Metales	24 horas	(a)	-	

(a) Los valores de los AAQC con los que se comparan referencialmente los resultados obtenidos de cada metal se muestran en la Tabla 10-24.

337. Los resultados de PM_{10} y SO_2 (valores actualizados) también fueron comparados con los valores establecidos en el Estándar Nacional de Calidad del Aire (ECA), aprobado mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM el 7 de junio de 2017, que se encuentra actualmente vigente (ver Tabla 9-23). Cabe resaltar que el mencionado decreto supremo fue aprobado después de ejecutado el muestreo de calidad de aire (del 8 al 13 de mayo de 2017).

Tabla 9-23. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire vigente

Parámetro	Periodo	Forma del estándar		Norma
		Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formato	
Material particulado menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	100	No exceder más de 7 veces al año	Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM
Dióxido de azufre (SO_2)	24 horas	250	No exceder más de 7 veces al año	

338. La información referente a los análisis de laboratorio se presenta en el Anexo E5. Cadenas de custodia e informes de ensayo.

9.5. Calidad de suelo

339. En los apartados siguientes se muestra información acerca de la evaluación de la calidad del componente suelo, concretamente de la ubicación de los puntos de muestreo, los protocolos, equipos y técnicas de análisis, y estándares de comparación.

9.5.1. Ubicación de los puntos de muestreo

340. El área de estudio comprende los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia y Mejía, provincia de Islay, departamento de Arequipa.
341. Para determinar los puntos de muestreo de suelo de nivel de fondo, se consideró el tipo de suelo, la capacidad de uso mayor de suelos y la geología. Asimismo, se tuvo en cuenta el uso actual de los suelos, ya que, en algunos casos, existen zonas de uso agrícola que tienen distintos tipos de suelo y geología, pero donde se siembra el mismo tipo de cultivo.
342. En total fueron evaluadas 38 muestras compuestas (cinco submuestras, las submuestras fueron tomadas en un radio de 20 a 30 metros del punto central), las cuales se ubicaron en suelo agrícola, suelo dentro del área de influencia del





EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS	OBSERVACIONES
Metales Totales en PM ₁₀				Metales totales	EPA IO-3.4 1999 (Espectrometría ICP-OES)	
Analizador de SO ₂	Thermo	450i	•1009241443 •1009241444	Dióxido de azufre (SO ₂)	Fluorescencia ultravioleta (método automático)	-
Analizador de NO ₂	Ecotech	Serinus 40	•12-1507 •12-1511	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Quimioluminiscencia (método automático)	-
Analizador de CO	Thermo	48i	•1009241441 •1009241442	Monóxido de carbono (CO)	Fotometría ultravioleta (método automático)	-
Estación meteorológica	Campbell	CR1000	•25511	<ul style="list-style-type: none"> •Velocidad y dirección de viento. •Humedad relativa. •Temperatura ambiente. •Presión barométrica. 	-	-
GPS	Garmin	Montana 680	-	-	Registro de coordenadas geográficas en sistema WGS 84 UTM.	-
Cámara digital	Canon	D30	•62051001043 •62051001043	-	Registro fotográfico	-

(-) No aplica



9.4.3. Estándares de comparación y análisis de datos

335. Los resultados de la evaluación de los parámetros atmosféricos SO₂, NO₂, CO y PM₁₀ fueron comparados con los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad del Aire (ECA), aprobados mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM y Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, ambos asociados al IGA del proyecto minero Tía María.
336. Los resultados obtenidos para plomo se compararon de manera referencial con el valor para 24 horas establecido en los Criterios de Calidad Ambiental del Aire de Ontario – Canadá (AAQC)⁶⁹, debido a que la normativa nacional en el caso del plomo solo considera una metodología de medición mensual y anual, más no diaria (ver Tabla 9-22). En el caso de los demás metales, los resultados también fueron comparados referencialmente con los AAQC de Ontario, puesto que no se cuenta con valores establecidos como Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la normativa nacional.

⁶⁹ Los Criterios de Calidad Ambiental del Aire de Ontario AAQC (versión de abril 2012) fueron desarrollados por el Ministerio del Ambiente de Ontario y en ellos se establecen estándares para un gran número de agentes tóxicos del aire. El AAQC se define como la concentración deseable de un contaminante en el aire, basado en la protección contra los efectos adversos a la salud y el ambiente. El término "ambiente" es usado para reflejar la calidad del aire en general, independientemente de la ubicación o la fuente de un contaminante.



proyecto minero Tía María y suelo dentro del SNLM, como detalla las Tablas 9-24, 9-25 y 9-26, en las que se consigna la codificación y coordenadas de los puntos de muestreo de niveles de fondo, información que también se encuentra en el Anexo F2. Mapa de puntos de muestreo y Anexo F3. Hojas de campo.

Tabla 9-24. Ubicación de los puntos de muestreo para nivel de fondo en suelo agrícola

Código	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Este	Norte		
SUE-Agri 1	180 762	8 114 428	3	Suelo agrícola con cultivo de cebolla, ubicado en el distrito de Mollendo.
SUE-Agri 2	180 644	8 114 337	3	Suelo agrícola con cultivo de cebolla, ubicado en el distrito de Mollendo.
SUE-Agri 3	180 721	8 114 202	3	Suelo agrícola con cultivo de cebolla, ubicado en el distrito de Mollendo.
SUE-Agri 4	181 484	8 114 190	3	Suelo agrícola con cultivo de granado de la variedad Wonderful, ubicado en el distrito de Mollendo.
SUE-Agri 5	181 603	8 114 453	3	Suelo agrícola con cultivo de maíz, ubicado en el distrito de Mollendo.
SUE-Agri 6	181 728	8 114 347	3	Suelo agrícola con cultivo de maíz, ubicado en el distrito de Mollendo.
SUE-Agri 7	184 992	8 112 004	18	Suelo agrícola con cultivo de olivo, ubicado en el distrito de Mejía.
SUE-Agri 8	184 819	8 112 183	18	Suelo agrícola con cultivo de olivo, ubicado en el distrito de Mejía.
SUE-Agri 9	197 501	8 105 863	38	Suelo agrícola con cultivo de olivo, ubicado en el distrito de Deán Valdivia.
SUE-Agri 10	197 296	8 105 788	17	Suelo agrícola con cultivo de olivo, ubicado en el distrito de Deán Valdivia.
SUE-Agri 11	207 461	8 106 884	28	Suelo agrícola con cultivo de arroz, ubicado en el distrito de Cocachacra.
SUE-Agri 12	207 513	8 106 944	50	Ubicado en el distrito de Cocachacra, donde se observó cultivo de arroz.
SUE-Agri 13	203 606	8 105 515	50	Ubicado en el distrito de Cocachacra, donde se observó cultivo de arroz.
SUE-Agri 14	203 711	8 105 584	50	Ubicado en el distrito de Cocachacra, donde se observó cultivo de arroz.

Tabla 9-25. Ubicación de los puntos de muestreo para nivel de fondo en suelo ubicado en el área de influencia del proyecto minero Tía María

CÓDIGO	COORDENADAS UTM DATUM WGS 84 ZONA 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Este	Norte		
SUE-PYT 1	206 429	8 111 354	227	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 2	208 992	8 113 514	257	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 3	204 118	8 120 537	1 007	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 4	201 165	8 118 776	968	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 5	201 093	8 119 237	996	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 6	202 755	8 118 473	973	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 7	203 574	8 121 080	1 009	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María

CÓDIGO	COORDENADAS UTM DATUM WGS 84 ZONA 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Este	Norte		
SUE-PYT 8	203 139	8 121 673	1 000	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 9	202 892	8 121 867	999	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 10	202 106	8 123 080	976	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 11	201 012	8 124 328	983	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María
SUE-PYT 12	199 051	8 126 076	1 006	Ubicado en el distrito de Cocachacra, en el área de influencia del proyecto minero Tía María

Tabla 9-26. Ubicación de los puntos de muestreo para nivel de fondo en suelo ubicado en el SNLM

CÓDIGO	COORDENADAS UTM DATUM WGS 84 ZONA 19K		ALTITUD m s.n.m.	DESCRIPCIÓN
	Este	Norte		
SUE-SNLM 1	193 546	8 103 364	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 2	193 574	8 103 416	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 3	193 752	8 103 212	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 4	193 775	8 103 239	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 5	194 272	8 102 623	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 6	194 295	8 102 649	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 7	194 920	8 101 974	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 8	194 937	8 101 993	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 9	195 614	8 101 337	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 10	195 629	8 101 360	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 11	196 724	8 100 242	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.
SUE-SNLM 12	196 745	8 100 258	0	Ubicado en el SNLM, en el distrito de Mejía.

343. Como se ha mencionado anteriormente, dentro del área del proyecto donde se establecieron puntos de muestreo, se encuentran las siguientes asociaciones de suelos: Fluvisol éútrico – Regosol éútrico (FLe-RGe), Leptosol lítico – Afloramiento lítico (LPq-R), Solonchak háúplico Leptosol éútrico (SCh-LPe).

9.5.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis

344. Los puntos de muestreo para nivel de fondo fueron establecidos siguiendo los lineamientos establecidos en las guías y protocolos citados en la Tabla 9-27.

Tabla 9-27. Guías y/o protocolos utilizados para establecer los puntos de muestreo de suelo

Componente ambiental	Guía y/o protocolo	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Suelo	Guía para Muestreo de Suelos (Sección 1.3. Tipos de muestreo, sección 5. Determinación de puntos de muestreo y anexo N° 2 del documento)	Perú	Ministerio del Ambiente – MIINAM	R.M. N° 085-2014-MINAM.	2014
	Manual de Lineamientos y Procedimientos para la elaboración y evaluación de Informes de Identificación de Sitios Contaminados (Parte A del manual)	Perú	Ministerio del Ambiente – MIINAM	-	2015



345. El muestreo se realizó siguiendo un patrón de rejillas regulares; este modelo puede variar de acuerdo con la pendiente, la presencia de afloramientos rocosos, el relieve del suelo (e.g. zonas escarpadas) u otro factor que pueda afectar el muestreo, en concordancia con la "Guía para Muestreo de Suelos", aprobada mediante la Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM.
346. El barreno fue utilizado para extraer muestras de suelo a una profundidad de muestreo de 0 a 30 cm. De esta manera, conforme a la guía en mención, se determinó realizar un muestreo compuesto⁷⁰ de cinco sub-muestras representativas para la conformación de una muestra, las cuales fueron colectadas en un recipiente de polietileno en el que se realizó la mezcla de las mismas. Cada muestra homogenizada fue colectada en bolsas de polietileno con cierre hermético.
347. Cada uno de los puntos de muestreo fue referenciado mediante el uso de un navegador terrestre de posicionamiento global y registrado con cámara fotográfica. Los equipos utilizados para la evaluación de calidad ambiental de suelo se muestran en la Tabla 9-28.

Tabla 9-28. Equipos utilizados para el muestreo de calidad ambiental de suelo

EQUIPOS	MARCA	MODELO	SERIE	OBSERVACIONES
GPS	GPS	Garmin	Oregón 650	30D046668
Cámara digital	Cámara digital	Canon	D30	3051001196
Barreno	...	...	...	Herramienta de fácil manipulación para colectar el suelo superficial hasta unos 20 cm.

348. El muestreo contó con el aseguramiento de la calidad aplicándose duplicado de muestra, que fue realizado en los puntos SUE-Agri9, SUE-SNLM8 y SUE-SNLM9.
349. Para la selección de los parámetros para la evaluación del nivel de fondo de suelos, se priorizó aquellos relacionados con las futuras actividades de explotación y beneficio de yacimientos mineros del proyecto minero Tía María, así como parámetros adicionales que permitirían la interpretación de los resultados. Dichos parámetros se presentan en la Tabla 9-29.

Tabla 9-29. Parámetros y cantidad de puntos de muestreo para la evaluación de calidad de suelo

Parámetro	Cantidad de puntos de muestreo				Observaciones
	Área de influencia del proyecto minero Tía María	SNLM	Parcelas agrícolas	Total	
Metales totales	12	12	14	38	Evaluado por el laboratorio de ensayo acreditado AGQ PERÚ S.A.C.
Textura	12	12	14	38	
Cromo hexavalente	0	0	14	14	
Cianuro libre	0	0	14	14	
Materia orgánica	0	0	14	14	
Cationes solubles	0	0	14	14	

⁷⁰ Para el muestreo de nivel de fondo, la Guía de Muestreo para Suelos propone que las muestras deben ser compuestas y recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes, pero con características similares al área de estudio. 11pp; 26pp.



350. Como se ha mencionado, se tomaron como referencia los lineamientos establecidos en la "Guía para Muestreo de Suelos", el cual determina evaluar metales y metaloides. Dichos parámetros se consignan en la Tabla 9-30, donde se detallan la lista de los 35 metales y sus métodos de análisis empleados por AGQ Perú S.A.C., así como los límites de cuantificación del laboratorio para cada parámetro. La información relacionada al laboratorio se encuentra en el Anexo F5. Cadenas de custodia e informes de ensayo.

Tabla 9-30. Métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para cianuro libre, cromo hexavalente y metales totales

PARÁMETRO	METALES TOTALES		
	PNT	Técnica	Rango (mg/kg PS) *
Cianuro libre	EPA 9013-A/SM 4500 CN-, F	Electrometría	0,3 – 1 000
Cromo hexavalente	PP-205	Espect ICP-OES	0,1 – 250
Aluminio (Al) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,15 – 50 000
Antimonio (Sb) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,0017 – 1 000
Arsénico (As) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,40 – 5 000
Bario (Ba) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,030 – 5 000
Berilio (Be) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,001 – 1 000
Bismuto (Bi) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,008 – 2 000
Boro (B) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,180 – 2 000
Cadmio (Cd)	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,0007 – 1 000
Calcio (Ca) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	8 – 100 000
Cerio (Ce) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,0005 – 1 000
Cobalto (Co) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,003 – 1 000
Cobre (Cu) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,03 – 10 000
Cromo (Cr) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,1 – 1 000
Estaño (Sn) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,01 – 2 000
Estroncio (Sr) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,004 – 2 000
Fosforo (P) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,8 – 50 000
Hierro (Fe) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,006 – 100 000
Litio (Li) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,01 – 2 000
Magnesio (Mg) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,1 – 50 000
Manganeso (Mn) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	3 – 10 000
Mercurio (Hg) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,03 – 1 000
Molibdeno (Mo) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,003 – 1 000
Níquel (Ni) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,09 – 1 000
Plata (Ag) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,006 – 1 000
Plomo (Pb) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,006 – 5 000
Potasio (K) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	8 – 50 000
Selenio (Se) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,004 – 2 000
Sodio (Na) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	1 – 50 000
Talio (Tl) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,0002 – 1 000
Titanio (Ti) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,06 – 2 000
Torio (Th) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,0001 – 1 000
Uranio (U) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,0002 – 1 000
Vanadio (Va) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,6 – 1 000
Wolframio (W) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,0017 – 2 000
Zinc (Zn) total	EPA 200.8	Espect ICP-MS	0,17 – 10 000

* El rango mínimo se corresponde con el Límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos

PNT: Procedimiento normalizado de trabajo / ND: No determinado

PS: Peso seco

Fuente: AGQ Perú S.A.C.

351. Los métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para metales totales se muestran en la Tabla 9-31.

**Tabla 9-31.** Métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para parámetros de calidad de suelos en el presente estudio

PARÁMETRO	Calidad de suelos		
	PNT	Técnica	Rango
Análisis textural %			
Arcilla	PEC-018	Densitometría	0,00 – 100 %
Arena	PEC-018	Densitometría	0,00 – 100 %
Limo	PEC-018	Densitometría	0,00 – 100 %
Análisis textural	PEC-018	Densitometría	0,00 – 100 %
Fertilidad			
Calcio disponible	PEC-009	Espect ICP-0ES	0,13 – 49,9 meq/100g
Magnesio disponible	PEC-009	Espect ICP-0ES	0,02 – 82,3 meq/100g
Potasio disponible	PEC-009	Espect ICP-0ES	0,03 – 25,6 meq/100g
Sodio disponible	PEC-009	Espect ICP-0ES	0,05 – 43,5 meq/100g
Materia orgánica total	PEC-012	Gravimetría	0,01 – 100 %

PNT: Procedimiento normalizado de trabajo / ND: No determinado

Fuente: AGQ Perú S.A.C.

9.5.3. Estándares de comparación

352. Los resultados obtenidos del muestreo de suelos fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Suelos (en adelante, ECA para Suelos) de uso agrícola⁷¹, los cuales se detallan en la Tabla 9-32.

Tabla 9-32. Estándares de comparación nacional e internacional en calidad de suelos

PARÁMETROS	Estándares de Calidad Ambiental para Suelos
	Suelo de uso agrícola (mg/kg MS)
Mercurio (Hg)	6,6
Arsénico (As)	50
Bario (Ba)	750
Cadmio (Cd)	1,4
Cromo VI	0,4
Plomo (Pb)	70
Cianuro libre	0,9

9.5.4. Análisis estadístico para la determinación de los niveles de fondo y valor de referencia

353. Para la expresión del **nivel de fondo** se empleó un intervalo entre los cuales se puede afirmar que, excepto para ocurrencias de fenómenos poco frecuentes en el muestreo realizado, está incluido el valor verdadero del estimador en estudio. Por este motivo, en lo que se refiere a valores de fondo, interesa esencialmente la cota superior⁷² de dicho intervalo para la media. Esta cota debe garantizar con un elevado grado de confianza para que el valor verdadero del estimador correspondiente a los sedimentos muestreados sea inferior a la misma. Por ello, el grado de confianza elegido para el presente estudio ha sido el del 95%.
354. Cuando el conjunto de datos sigue una distribución Normal, la expresión de la cota superior de la media permite definir los valores de fondo para cada elemento evaluado, la cual viene dada por la USEPA, 2013:

⁷¹ Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

⁷² Es el límite superior de un intervalo de confianza de un parámetro de interés, por ejemplo, la cota superior de la media.



[Handwritten signatures and initials in blue ink]

$$C_M = \bar{x} + t_{\alpha, n-1} s / \sqrt{n} \quad (9.5)$$

Donde:

- C_M : Cota superior de la media de n datos.
- n : Tamaño de la muestra.
- \bar{x} : Media aritmética de la muestra de n datos.
- S : Desviación estándar de la muestra de n datos.
- $t_{\alpha, n-1}$: Percentil 100(1- α)-ésimo de la distribución t-Student de n-1 grados de libertad.

355. Por otro lado, cuando el conjunto de datos no se ajusta a una distribución ajusta a una distribución log normal, la expresión para determinar la cota superior de la media es la siguiente (USEPA, 2013).

$$C_M = \exp(\bar{y} + 0,5s_y^2 + s_y H_{1-\alpha} / \sqrt{n-1}) \quad (9.6)$$

Donde:

- \bar{y} : Es la media aritmética de la muestra de los datos transformados logarítmicamente.
- s_y : Desviación estándar de la muestra de n datos transformados logarítmicamente.
- $H_{1-\alpha}$: Es el estadístico H propuesto por Land (1975)

356. Además, para los conjuntos de datos que se ajustaron a una distribución Gamma, el valor de la cota superior de la media se determinó dependiendo del tamaño de la muestra, es así que para $n \leq 50$ se tiene la siguiente expresión (USEPA, 2013).

$$C_M = \frac{2nk\bar{x}}{\chi_{2nk}^2(\alpha)} \quad (9.7)$$

Y para el caso para $n > 50$, el valor de la cota superior viene dada por:

$$C_M = \frac{2nk\bar{x}}{\chi_{2nk}^2(\beta)} \quad (9.8)$$

Donde:

- C_M : Cota superior de la media.
- n : Tamaño de la muestra.
- k : Parámetro de forma de la distribución Gamma.
- \bar{x} : Media aritmética de la muestra de n datos.
- χ_{2nk}^2 : Estadístico Chi cuadrado con 2nk grados de libertad.
- α : Nivel de significancia.
- β : Nivel de significancia ajustado.

357. Por otro lado, hay conjuntos de datos que no se ajustan a ninguno de los tipos de distribución vistos anteriormente; para estos casos en particular, se realizó una estimación no paramétrica de la cota superior de la media a partir del conjunto de datos disponibles. En estos casos, la cota superior de la media se calculó empleando el método *bootstrap* propuesto por Efron (1981), el cual es un método



Handwritten signature and initials in blue ink, including a large 'A' and 'K'.



no paramétrico que utiliza técnicas de remuestreo⁷³ para reducir el sesgo en las estimaciones y construir intervalos de confianza aproximados para los parámetros tales como la media y los percentiles (USEPA, 2013).

358. En cuanto al **valor de referencia**, a efectos del presente informe se consideró como tal la cota superior del percentil 95 % con un 95 % de nivel de confianza; en otras palabras, representa el valor por debajo del cual se encuentra el 95% de los datos de la población con un 95% de nivel de confianza (USEPA, 2013).
359. Bajo esta definición, es que se tiene la expresión de la cota superior del percentil p-ésimo, el cual permite definir los valores de referencia. Asimismo, cabe resaltar que la expresión de esta cota dependerá del tipo de distribución a la que se ajusta el conjunto de datos. De este modo se tiene que para una distribución normal la expresión es la siguiente:

$$C_p = \bar{x} + K_{(n,\alpha,p)} * s \quad (9.9)$$

Donde:

- C_p : Cota superior del percentil p-ésimo.
 \bar{x} : Media aritmética de la muestra de n datos.
 s : Desviación estándar de la muestra de n datos.
 $K_{(n,\alpha,p)}$: Factor de tolerancia para la determinación de la cota superior del percentil p-ésimo, a partir de una muestra de n datos, con un nivel de confianza de 1- α , basada en la distribución t-Student (Hahn y Meeker, 1991)

360. Por otro lado, cuando el conjunto de datos se ajusta a una distribución log normal, la expresión para determinar la cota superior del percentil 95 % es la siguiente (EPA, 2013):

$$C_p = \exp(\bar{y} + K_{(n,\alpha,p)} * s_y) \quad (9.10)$$

Donde:

- \bar{y} : Media aritmética de los datos transformados logarítmicamente.
 s_y : Desviación estándar de n datos transformados logarítmicamente.

361. Asimismo, para un conjunto de datos que se ajuste a una distribución tipo Gamma, que transformando los datos según $Y=X^{1/4}$, esta se aproxima a una distribución normal, presenta la siguiente expresión (USEPA, 2013):

$$C_p = (\bar{y} + K_{(n,\alpha,p)} * s_y)^4 \quad (9.11)$$

Donde:

- \bar{y} : Media aritmética de datos transformados para distribución gamma.
 s_y : Desviación estándar de n datos transformados para distribución gamma.

⁷³ El método bootstrap es una técnica de remuestreo que no requiere el supuesto de normalidad y acepta muestras de cualquier tamaño para la estimación de intervalos. Esta técnica permite estimar la variabilidad de la muestra a través de la toma de sucesivas muestras con reemplazo, de la muestra original. Fuente: Intervalos de confianza bootstrap del índice de biodiversidad de Shannon. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2001, 18: 222-234.



362. Por otra parte, se tiene el caso que el conjunto de datos no se ajusta a alguna distribución conocida, situación en la que se emplean métodos robustos o no paramétricos.

9.5.5. Uso actual del suelo y clasificación de tierras por su Capacidad de Uso Mayor (CUM)

363. Para el desarrollo de este informe se considera de forma referencial, la clasificación del suelo por su Capacidad de Uso Mayor (CUM), realizado por la ex Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales – ONERN (1982)⁷⁴.

364. La Tabla 9-33, muestra los símbolos de CUM del suelo, para áreas del estudio: áreas de nivel de fondo (NF).

Tabla 9-33. Clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor para las áreas de estudio

N°	NF (Códigos del estudio)	Símbolo de CUM del suelo	Calidad agrológica	Descripción
Áreas para niveles de fondo				
1	SUE-SNLM 1-12, SUE-AGRI 1-4, SUE-AGRI 7-14	A1s(r)-C2s(r)	Alta y media	Cultivo en limpio – Cultivo permanente. Requiere riego continuo
2	SUE-AGRI 5-6, SUE-PYT 1-3, SUE-PYT 7-9	Xse(le)	baja	Protección, laderas de montaña con afloramiento líticos
3	SUE-PYT 4-6	Xse-Pse (t*)	baja	Protección, pastos temporales
4	SUE-PYT 10-12	Xse-C3s(r)-A3s(r)	baja	Protección, tierras de cultivo en limpio, requiere de riego continuo

9.6. Evaluación del contenido de metales totales en tejido vegetal

365. En los apartados siguientes se muestra información acerca de la evaluación contenido de metales totales en autoridad, consignándose la ubicación de los puntos de muestreo, los protocolos, equipos y técnicas de análisis.

9.6.1. Ubicación de los puntos de muestreo

366. Para la determinación de los puntos de muestreo en la zona, se tuvieron en cuenta criterios como tipo de cultivo, tipo de tejido vegetal a evaluar, áreas de cultivo en etapa de madurez y facilidades de acceso a los terrenos de cultivos por parte de los propietarios.

367. Los puntos de muestreo de tejido vegetal se establecieron en los cultivos con mayor representatividad del área del proyecto, es decir, olivo, maíz, granado, cebolla y arroz. En la Tabla 9-34 se detalla la ubicación de dichos puntos, estando representados en el Anexo G2. Mapa de puntos de muestreo.

⁷⁴

En 1982, la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales – ONERN, publica el mapa de clasificación de tierras del Perú y su respectiva memoria descriptiva

**Tabla 9-34.** Red de puntos de muestreo para la evaluación de metales en tejido vegetal

N° de Punto	Punto de muestreo evaluado	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19K		Descripción del punto de muestreo
		Norte	Este	
1	TEJ-VEG 1	8 114 423	180 728	Cultivo de cebolla, en el distrito de Mollendo (hortaliza)
2	TEJ-VEG 2	8 114 341	181 726	Cultivo de maíz, en el distrito de Mollendo (en tallo y hojas – forraje)
3	TEJ-VEG 3	8 114 149	181 503	Cultivo de granado Wolderfull, en el distrito de Mollendo (fruto)
4	TEJ-VEG 4	8 112 123	185 026	Cultivo de olivo, en el distrito de Mejía (fruto)
5	TEJ-VEG 5	8 105 854	197 507	Cultivo de olivo, en el distrito de Deán Valdivia (fruto)
6	TEJ-VEG 6	8 102 375	199 754	Cultivo de arroz, en el distrito Cocachacra (grano)
7	TEJ-VEG 7	8 105 917	203 597	Cultivo de arroz, en el distrito Cocachacra (grano)

9.6.2. Protocolo y técnicas de análisis

368. El análisis de tejido vegetal en el cultivo de olivo y granado se realizó en el fruto; en la cebolla se efectuó en el bulbo; y en el cultivo de arroz tuvo lugar en los granos. Estos tejidos fueron seleccionados para el análisis puesto que son consumidos por las personas; asimismo, en los cultivos de maíz el análisis se realizó en las hojas y tallos debido a que durante el muestreo no presentaban mazorca y, además, estos órganos son usados para la alimentación de ganado.
369. Para realizar el muestreo de frutos se tomó como referencia el Reglamento (CE) N° 333/2007 de 28 de marzo de 2007 (DOL 88 de 29.3.2007) sobre métodos de muestreo y análisis de la comisión de las Comunidades Europeas.
370. El análisis de las muestras de tejido vegetal fue realizado por el laboratorio ALS-Corplab, encontrándose la información del mismo en el Anexo G5. Cadenas de custodia e informes de ensayo. En la siguiente Tabla 9-35 se especifica la metodología realizada.

Tabla 9-35. Metodología para el análisis de muestras de tejido vegetal

Muestras de tejido vegetal		
Parámetros	Método de referencia	Descripción
Mercurio en tejido vegetal por CVAAS	ALS-MET-TEJ-CVAAS (Basado en EPA Method 200.3:1991, EPA Method 245.7)	Mercurio en tejido por ICPMS
Metales por ICP-MS en tejido vegetal	EPA METHOD 200.2 – abril 1991	<i>Procedure for spectrochemical determination of total recoverable elements in biological tissues</i>

Fuente: Informes de ensayo 20202/2017 ALS CORLAB

10. RESULTADOS Y ANÁLISIS

371. Los resultados y el análisis de los componentes agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas, aire, suelo y tejido vegetal, son descritos a continuación.
372. Para la evaluación de agua superficial, sedimentos y suelo, se han utilizado análisis hidroquímicos y métodos estadísticos, como ya fue indicado en el marco conceptual.



Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large signature at the top and several smaller initials below it.



10.1. Calidad de agua

373. Los resultados de calidad de agua a nivel superficial de los 23 puntos de muestreo y el análisis de los mismos, se han separado en 4 ítems para llegar a un mejor entendimiento: 10.1.1. *Evaluación de la calidad ambiental*, 10.1.2. *Comportamiento de los metales disueltos y suspendidos*, 10.1.3. *Evaluación hidroquímica* y 10.1.4. *Hidrometría y caracterización*.
374. Los resultados correspondientes al río Tambo y a los canales de riego, las relaciones iónicas y diagramas hidroquímicos han sido representados a través de gráficos, mientras los afloramientos, el balance iónico y el porcentaje de metales disueltos y suspendidos han sido consignados en tablas. Para una mejor visualización de los gráficos, estas se encuentran en mayor escala en el Anexo B2, en el cual se pueden diferenciar a mayor detalle los resultados de cada cuerpo de agua (río Tambo, afloramientos y lagunas del SNLM) y canales de riego.
375. Las imágenes correspondientes a cada punto de muestreo se presentan en el Anexo B6. Registro fotográfico.

10.1.1. Evaluación de la calidad ambiental

376. En esta sección del informe se muestran los parámetros correspondientes al río Tambo, lagunas del SNLM, canales de riego y afloramientos (quebrada Rosa María y manantial Santo Domingo) que excedieron los valores establecidos en los ECA - agua, en concreto la Cat3D1 y Cat3D2, para el río Tambo, afloramientos y los canales de riego.
377. Asimismo, se muestran los parámetros de las lagunas del SNLM que excedieron los valores establecidos en la Cat4E1 de los ECA - agua. Además, a través de las figuras consignadas, se compara los resultados obtenidos del muestreo en las lagunas y los canales de riego, con respecto a los encontrados en el río Tambo, de manera que se pueda realizar un mejor análisis.
378. Para los resultados del río Tambo, lagunas del SNLM, los afloramientos y canales de riego, las concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) y calcio, también se comparan de manera referencial con la Guía Canadiense (CEQG-WQG).
379. Las concentraciones de otros parámetros, evaluados y no indicados en esta sección, como pesticidas (organofosforados y organoclorados), y nutrientes principales como el nitrógeno en sus diversas formas (nitratos, nitrógeno total y amoniacal), no excedieron los ECA - agua, Cat3D1 y Cat3D2, ni los valores indicados en la Guía Canadiense (CEQG-WQG).
- a) **Río Tambo y canales de riego**
380. Como se puede observar en las Figuras 10-1 a 10-5 que se presentan a continuación, en el punto de muestreo RTamb6 del río Tambo (a 300 m de la desembocadura en el mar) la conductividad y la concentración de cloruros excedieron los ECA (agua), Cat3D1. Asimismo, las concentraciones de manganeso y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fueron superiores a los ECA (agua), Cat3D1 y Cat3D2. El valor referencial de los CEQG-WQG fue superado para los sólidos disueltos totales (SDT).



[Handwritten signature]
K
1
2



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Situación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

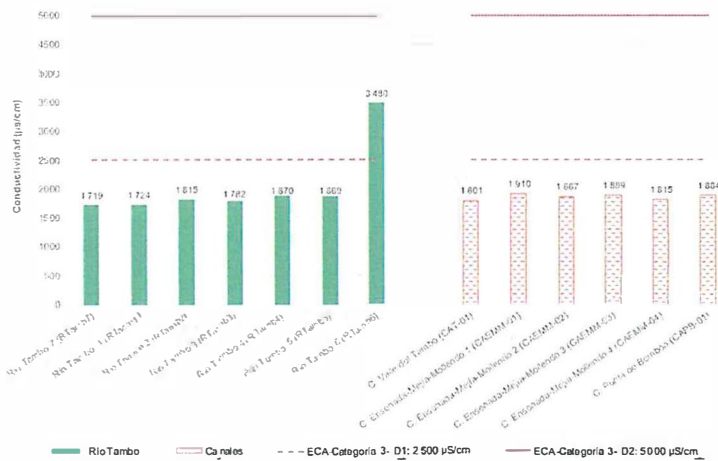


Figura 10-1. Resultados de conductividad en el río Tambo y los canales de riego

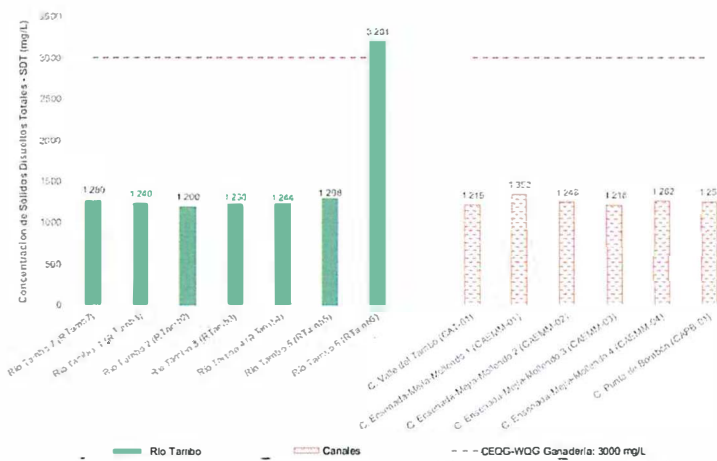


Figura 10-2. Resultados de sólidos disueltos totales (SDT) en el río Tambo y los canales de riego

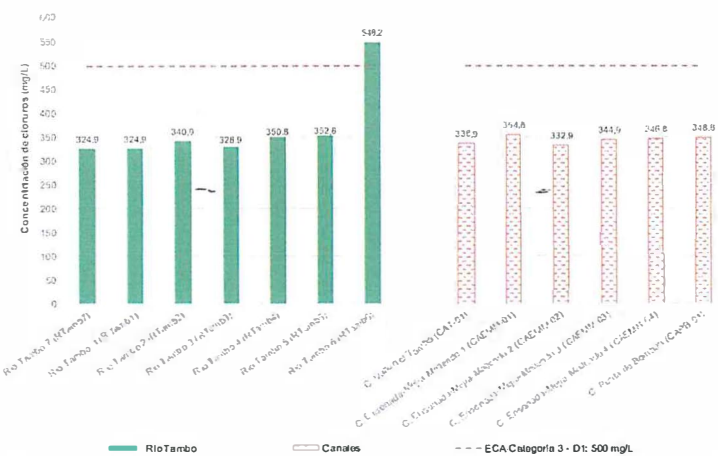


Figura 10-3. Resultados de cloruros en el río Tambo y los canales de riego

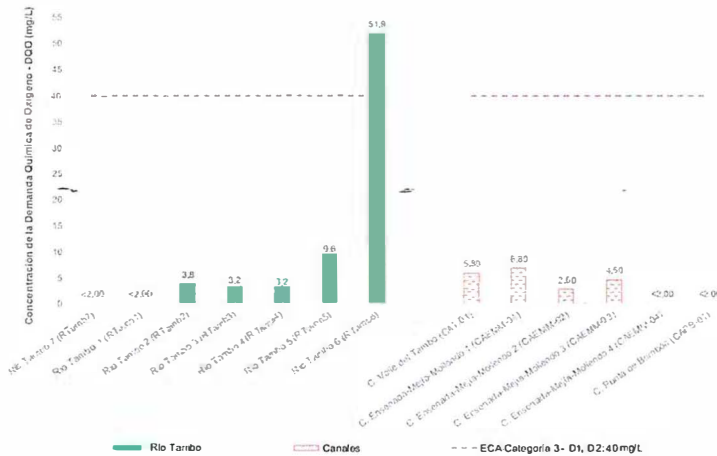


Figura 10-4. Resultados de la DQO en el río Tambo y los canales de riego



Vertical handwritten signature in blue ink.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

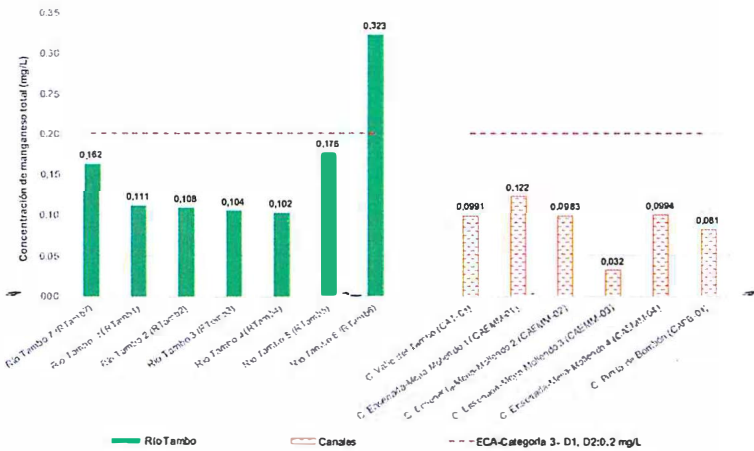


Figura 10-5. Resultados de manganeso total en el río Tambo y los canales de riego

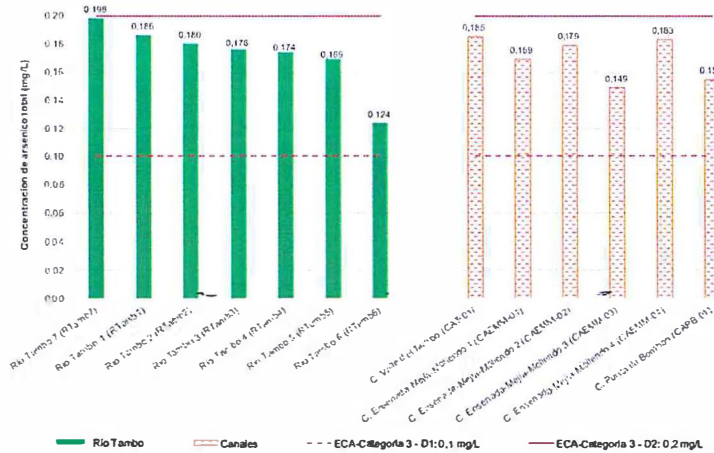


Figura 10-6. Resultados de arsénico total en el río Tambo y los canales de riego

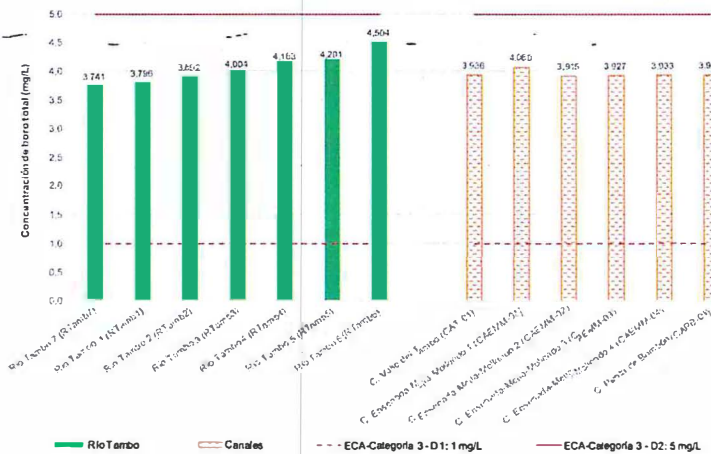


Figura 10-7. Resultados de boro total en el río Tambo y los canales de riego



Handwritten signature and date '2014'.

381. Para el caso del arsénico y del boro, ver Figuras 10-6 y 10-7, se excedieron los ECA (agua), Cat3D1, para los 7 puntos de muestreo ubicados en el río Tambo (desde el anexo "El Carrizal" hasta 300 m de la desembocadura al mar) y los 6 puntos ubicados en los canales de riego del Valle del Tambo.

b) Río Tambo y lagunas del SNLM

382. De acuerdo a lo observado en la Figura 10-8, en la laguna Boquerón (Lboq1) y laguna Iberia norte 1 (LINor1) se registraron concentraciones de oxígeno disuelto por debajo del ECA (agua), Cat4E1. En tanto, en el punto de muestreo RTamb6 del río Tambo, la concentración de oxígeno disuelto se encontró por debajo de los ECA - agua, Cat3D2.

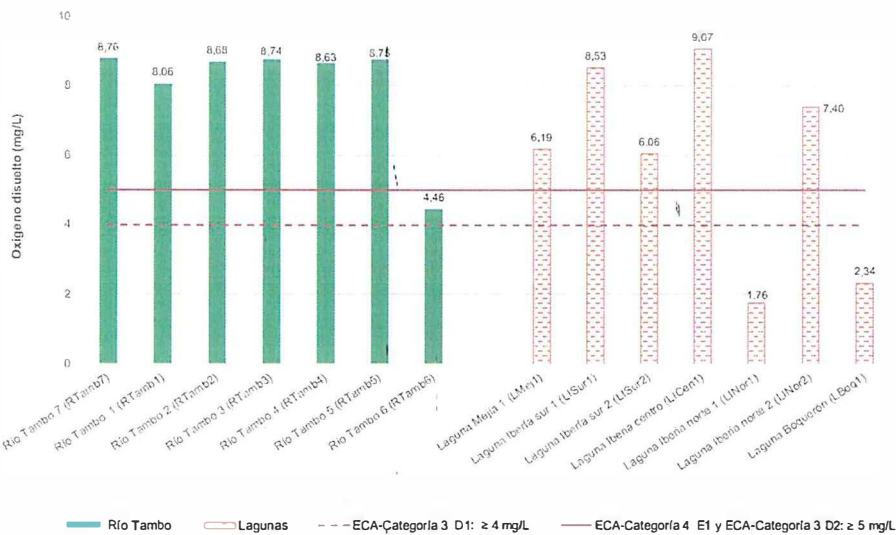


Figura 10-8. Resultados de oxígeno disuelto (OD) en el río Tambo y las lagunas del SNLM

383. En cuanto a la conductividad, en la Figura 10-9 se observa en todas las lagunas se superó el ECA (agua), Cat4E1, registrándose el menor valor en la laguna Iberia norte 1. Estas lagunas, a manera referencial, registraron valores de conductividad que excedieron el valor de los ECA (agua), Cat3D1 y Cat3D2, excepto para las lagunas Iberia norte (LINor1 y LINor2) que excedieron solamente los valores de la Cat3D1.

384. Por otro lado, a manera comparativa se muestra que en todos los puntos de muestreo del río Tambo se registraron menores valores de conductividad que en las lagunas del SNLM, encontrándose el mayor valor en el punto RTamb6, el cual excedió el ECA -agua, Cat3D1.

MONITOREO Y VIGILANCIA
 VOTO
 DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

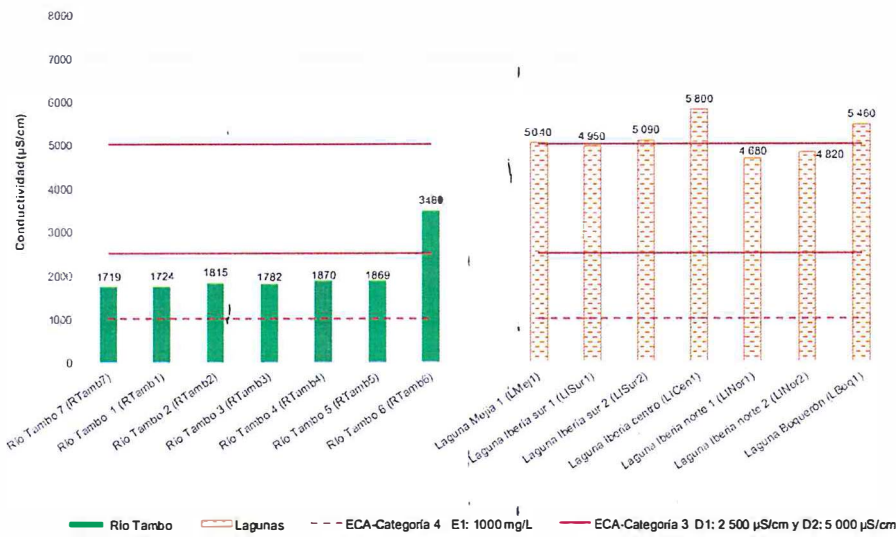


Figura 10-9. Resultados de conductividad en el río Tambo y las lagunas del SNLM

385. En caso de los sólidos disueltos totales (SDT), según lo consignado en la Figura 10-10, todas las lagunas del SNLM, Mejía, Iberia y Boquerón, registraron concentraciones que excedieron el valor referencial de los CEQG-WQG para riego el consumo del ganado, mientras que las lagunas Boquerón e Iberia (sur 2 y centro) excedieron para el riego de los cultivos más tolerantes.

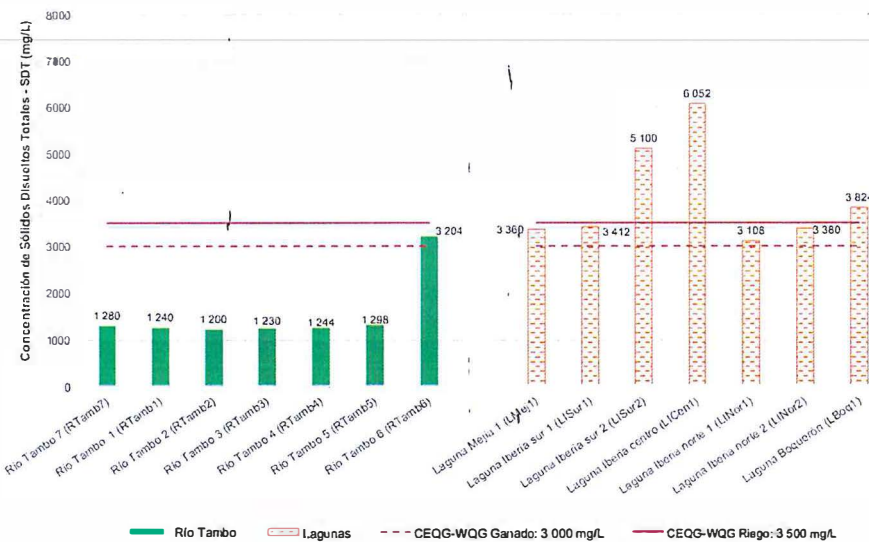


Figura 10-10. Resultados de Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el río Tambo y las lagunas del SNLM

c) Afloramientos

386. De acuerdo a lo indicado en la referencia, en los puntos QRMar1 y QRMar2 de la quebrada Rosa María se excedieron los ECA - agua, Cat3D1 y Cat3D2, para conductividad, Cat3D2 para

MONITOREO Y FISCALIZACIÓN
 OEFA
 DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

magnesio, Cat3D1 para boro y cloruros; y referencialmente el valor de los CEQG-WQG para SDT para riego de los cultivos más tolerantes y consumo del ganado.

Tabla 10-1. Resultados que excedieron los ECA para agua y las Guías de Calidad Ambiental de Canadá en los afloramientos

Parámetros	Nombre de cuerpo de agua superficial	Quebrada Rosa María 1 (QRMar1)	Quebrada Rosa María 2 (QRMar2)	Manantial Santo Domingo (MSDom1)	ECA-Cat3			CEQG-WQG*	
					D1		D2	R	G
					ANR	AR	BA		
Oxígeno Disuelto	mg/L	6,34	1,21*	5,17	>=4	>=5	...	...
Conductividad	µs/cm	10 060	8 930	2 400	2 500	5 000	...	...
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	6 520	6 150	1 732	**	**	3 500	3 000	
Cloruros	mg/L	2 631,0	2 591,0	412,6	500	**	...	...
Sulfatos	mg/L	1 301,0	956,4	319,5	1000	1000	...	...
N-Nitratos	mg/L	41,31	139,50	9,97	100	100	...	...
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	37,8	40,4	<2,0	40	40	...	...
Boro	mg/L	2,451	2,162	5,164	1	5	...	...
Calcio	mg/L	1 031	864,1	182,8	**	**	...	1000	
Magnesio	mg/L	469,6	424,6	30,88	**	250	...	...

ECA-Cat.3: Estándares de Calidad Ambiental para agua en la Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales", subcategorías D1 "Riego de Vegetales" y D2 "Bebida de Animales".

SDT: Sólidos Disueltos Totales, DQO: Demanda Química de Oxígeno, ANR: Agua para riego no restringido, AR: Agua para riego restringido, BA: Bebida de Animales, R: Riego (valor para cultivos más tolerantes) y G: Consumo del ganado. * CEQG (Guías de Calidad Ambiental de Canadá)-WQG (Guías de Calidad de Agua) para la protección de la agricultura, actualizado al 2014.

** Parámetro que no aplica para esta Subcategoría.

■ : Resultado que excede el valor de los ECA para agua, Categoría 3, Subcategoría D1.

■ : Resultado que excede referencialmente el valor de las CEQG-WQG para el ganado o para riego.

■ : Resultado que excede los ECA para agua, Categoría 3, Subcategorías D1 y D2; Subcategoría D2 para magnesio; o que se encontró por debajo de los valores establecidos en los ECA para agua Categoría 3, Subcategorías D1 y D2 para oxígeno disuelto.

387. Asimismo, se excedió el valor establecido en los ECA - agua para sulfatos, Cat3D1 y Cat3D2, en el punto QRMar1, y para N-Nitratos en QRMar2.

388. En QRMar2, la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) excedió los ECA - agua, Cat3D1 y Cat3D2, mientras que el oxígeno disuelto estuvo por debajo de lo establecido en tales categorías. En QRMar1, la concentración de calcio excedió el valor establecido en CEQG-WQG para consumo del ganado.

389. En el manantial Santo Domingo, solamente la concentración de boro excedió los ECA - agua, Cat3D1 y Cat3D2.

10.1.2. Comportamiento de los metales disueltos y suspendidos

390. Previamente al análisis llevado a cabo en sección, se determinó la concentración de metales suspendidos por medio de la diferencia de las concentraciones de los metales totales y disueltos, lo que servirá para luego evaluar, por un lado, la relación entre los metales disueltos y suspendidos, y por otro la relación de los metales suspendidos con los sólidos suspendidos totales.



[Handwritten signature and initials in blue ink]

10.1.2.1. Relación entre los metales disueltos y suspendidos

391. En esta subsección se consignan los porcentajes de los metales disueltos y suspendidos (relación de cada metal disuelto con su homónimo de metal total) en el río Tambo, canales de riego, lagunas del SNLM y afloramientos (quebrada Rosa María y manantial Santo Domingo).
392. De los resultados obtenidos, se destacaron aquellos metales cuyos porcentajes fueron predominantes (mayores al 50 %), agrupándolos por colores: anaranjado de 50 a 75 %, rojo claro de 75 a 90 % y verde claro de 90 a 100 %.
393. En las Tablas 10-2 al 10-5 se muestran los metales que predominaron en su forma disuelta en el río Tambo, canales de riego y lagunas del SNLM: arsénico, bario, boro, calcio, estroncio, litio, magnesio, potasio, sodio y silicio. Estos mismos, además de fósforo, zinc y manganeso, también se encontraron mayoritariamente en los afloramientos.
394. Cabe resaltar que en las lagunas del SNLM y el manantial Santo Domingo, el porcentaje de arsénico disuelto (<90%), es mayor que en el río Tambo y los canales de riego. En el caso del boro (<90%), es mayor en las lagunas del SNLM, el manantial Santo Domingo y la quebrada Rosa María (QRMar2).
395. En las Tablas del 10-6 al 10-9 se muestran los metales con mayor porcentaje en forma suspendida en el río Tambo, los canales de riego, las lagunas del SNLM y el manantial Santo Domingo.
396. En el río Tambo predominan en forma suspendida el aluminio, cobre, hierro, fósforo, titanio y zinc, que a su vez también se encuentran en los canales de riego además del manganeso. En las lagunas del SNLM predominan en forma suspendida el aluminio (excepto en el punto de la laguna de Mejía, LMej1), el hierro y el fósforo.
397. En el río Tambo y los canales de riego, el aluminio y el hierro se encuentran mayormente en forma suspendida (< 90%); sin embargo, en el punto CAEMM-01 de la Junta de Usuarios Ensenada-Mejía-Mollendo predomina la forma disuelta. En el caso de los afloramientos, el aluminio suspendido solo se registra en el manantial Santo Domingo (MSDom1) mientras que el hierro se encuentra en la quebrada Rosa María (QMar1) y manantial Santo Domingo (MSDom1).
398. En el punto CAEMM-01 el cobre, hierro, zinc y manganeso predominan en su forma disuelta, teniendo un comportamiento similar en el punto LBoq1 para el hierro y fósforo.



1
2
3
4
5
6
7
8



Tabla 10-2. Metales en mayor porcentaje en forma disuelta en el río Tambo

Punto de Muestreo	Unidad	Arsénico		Bario		Boro		Calcio		Estroncio		Litio		Magnesio		Potasio		Sodio		Silicio	
		Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.
RTamb1	%	19	81	12	88	10	90	8	92	8	92	8	92	7	93	11	89	8	92	4	96
RTamb2	%	18	82	17	83	10	90	2	98	3	97	4	96	3	97	7	93	4	96	7	93
RTamb3	%	11	89	7	93	16	84	9	91	8	92	9	91	7	93	12	88	10	90	3	97
RTamb4	%	15	85	10	90	10	90	1	99	7	93	8	92	5	95	11	89	9	91	3	97
RTamb5	%	12	88	7	93	13	87	1	99	4	96	4	96	3	97	8	92	6	94	4	96
RTamb6	%	12	88	9	91	11	89	0	100	3	97	4	96	4	96	0	100	14	86	11	89
RTamb7	%	22	78	23	77	11	89	1	99	1	99	1	99	0	100	6	94	3	97	11	89

Sus.: Forma suspendida y Dis.: Forma disuelta.

Tabla 10-3. Metales en mayor porcentaje en forma disuelta en los canales de riego

Punto de Muestreo	Unidad	Arsénico		Bario		Boro		Calcio		Estroncio		Litio		Magnesio		Potasio		Sodio		Silicio	
		Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.
CAT-01	%	17	83	11	89	15	85	9	91	8	92	10	90	8	92	3	97	8	92	26	74
CAEMM-01	%	6	94	12	88	14	86	4	96	10	90	10	90	8	92	14	86	9	91	7	93
CAEMM-02	%	13	87	11	89	13	87	0	100	3	97	3	97	2	98	7	93	5	95	8	92
CAEMM-03	%	9	91	8	92	12	88	1	99	4	96	5	95	3	97	9	91	6	94	5	95
CAEMM-04	%	11	89	15	85	11	89	4	96	1	99	1	99	1	99	5	95	1	99	9	91
CAPB-01	%	8	92	4	96	15	85	9	91	6	94	8	92	5	95	10	90	8	92	4	96

Tabla 10-4. Metales en mayor porcentaje en forma disuelta en las lagunas del SNLM -

Punto de Muestreo	Unidad	Arsénico		Bario		Boro		Calcio		Estroncio		Litio		Magnesio		Potasio		Sodio		Silicio	
		Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.
LMej1	%	3	97	2	98	0	100	3	97	4	96	7	93	13	87	1	99	5	95	1	99
LISur1	%	8	92	4	96	3	97	3	97	4	96	4	96	3	97	3	97	5	95	5	95
LISur2	%	0	100	5	95	6	94	5	95	6	94	5	95	5	95	2	98	7	93	1	99
LICen1	%	1	99	4	96	1	99	1	99	3	97	3	97	1	99	2	98	2	98	1	99
LINor1	%	9	91	4	96	2	98	5	95	8	92	13	87	7	93	2	98	1	99	5	95
LINor2	%	5	95	26	74	2	98	5	95	9	91	5	95	11	89	11	89	26	74	4	96
LBoq1	%	3	97	3	97	3	97	6	94	7	93	7	93	4	96	6	94	7	93	6	94

Sus.: Forma suspendida y Dis.: Forma disuelta.

Tabla 10-5. Metales en mayor porcentaje en forma disuelta en los afloramientos (quebrada Rosa María y manantial Santo Domingo)

Punto de Muestreo	Unidad	Arsénico		Bario		Boro		Calcio		Estroncio		Litio		Magnesio		Potasio		Sodio		Silicio		Fósforo		Zinc		Manganeso			
		Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.		
QRmar1	%	<L.C	<L.C	11	89	12	88	17	83	1	99	9	91	16	84	11	89	19	81	13	87	17	83	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	33	67
QRmar2	%	<L.C	<L.C	8	92	7	93	23	77	1	99	16	84	25	75	11	89	24	76	7	93	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C	0	100		
MSDom1	%	1	99	4	96	7	93	1	99	0	100	2	98	1	99	3	97	5	95	2	98	17	83	43	57	45	55		

<L.C: Menor al límite de Cuantificación.

Sus.: Forma suspendida y Dis.: Forma disuelta.

Rango de colores de los porcentajes

0-50 %	<50-75 %	<75-90 %	<90-100 %



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-6. Metales en mayor porcentaje en forma suspendida en el río Tambo

Punto de Muestreo	Unidad	Aluminio		Cobre		Hierro		Fósforo		Titanio		Zinc	
		Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto
RTamb1	%	97	3	90	10	99	1	83	17	80	20	94	6
RTamb2	%	99	1	98	2	100	0	86	14	91	9	95	5
RTamb3	%	94	6	88	12	95	5	83	17	92	8	87	13
RTamb4	%	93	7	85	15	95	5	80	20	88	13	89	11
RTamb5	%	93	7	84	16	94	6	80	20	75	25	85	15
RTamb6	%	97	3	78	23	98	2	64	36	94	6	70	30
RTamb7	%	96	4	92	8	97	3	89	11	98	2	93	7

Tabla 10-7. Metales en mayor porcentaje en forma suspendida en los canales de riego

Punto de Muestreo	Unidad	Aluminio		Cobre		Hierro		Fósforo		Titanio		Zinc		Manganeso	
		Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.
CAT-01	%	96	4	91	9	98	2	83	17	89	11	90	10	60	40
CAEMM-01*	%	16	84	12	88	42	58	71	29	94	6	16	84	22	78
CAEMM-02	%	93	7	86	14	95	5	83	17	92	8	89	11	58	42
CAEMM-03	%	95	5	87	13	98	2	80	20	90	10	90	10	91	9
CAEMM-04	%	96	4	91	9	98	2	90	10	91	9	85	15	90	10
CAPB-01	%	95	5	85	15	98	2	75	25	75	25	91	9	58	42

*No tiene el mismo comportamiento en aluminio, cobre, hierro, zinc y manganeso.

Sus.: Suspendido y Dis.: Disuelto.

Tabla 10-8. Metales en mayor porcentaje en forma suspendida en las lagunas del SNLM

Punto de Muestreo	Unidad	Aluminio		Hierro		Fósforo	
		Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto
LMej1*	%	27	73	62	38	83	17
LISur1	%	89	11	90	10	80	20
LISur2	%	92	8	88	12	80	20
LICen1	%	82	18	83	17	75	25
LINor1	%	65	35	62	38	83	17
LINor2	%	89	11	94	6	75	25
LBoq1**	%	60	40	1	99	13	87

*No tiene el mismo comportamiento en aluminio, **No tiene el mismo comportamiento en hierro y fósforo.

Tabla 10-9. Metales en mayor porcentaje en forma suspendida en los afloramientos (quebrada Rosa María y manantial Santo Domingo)

Punto de Muestreo	Unidad	Aluminio		Hierro	
		Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto
QRmar1	%	<L.C	<L.C	57	43
QRmar2	%	<L.C	<L.C	<L.C	<L.C
MSDom1	%	96	4	96	4,11

<L.C: Menor al límite de Cuantificación.

Rango de colores de los porcentajes

0-50 %	<50-75 %	<75-90 %	<90-100 %

399. Finalmente, de acuerdo a los resultados indicados en las Tablas 10-10 y 10-11, los metales que presentaron un comportamiento heterogéneo tanto para su forma suspendida y disuelta, fueron el manganeso en el río Tambo y lagunas del SNLM, y el zinc en las lagunas del SNLM.

Tabla 10-10. Metales en porcentajes variables en el río Tambo

Punto de Muestreo	Unidad	Manganeso	
		Suspendido	Disuelto
RTamb1	%	48	52
RTamb2	%	87	13
RTamb3	%	48	52
RTamb4	%	67	33
RTamb5	%	76	24
RTamb6	%	43	57
RTamb7	%	42	58

Tabla 10-11. Metales en porcentajes variables en las lagunas del SNLM

Punto de Muestreo	Unidad	Manganeso		Zinc	
		Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto
LMej1	%	41	59	0	100
LISur1	%	98	2	<L.C	<L.C
LISur2	%	79	21	43	57
LICen1	%	97	3	30	70
LINor1	%	14	86	100	0
LINor2	%	92	8	25	75
LBoq1	%	4	96	79	21

<L.C: Menor al límite de Cuantificación.

Rango de colores de los porcentajes

0-50 %	<50-75 %	<75-90 %	<90-100 %

10.1.2.2. Relación de metales con sólidos (disueltos y suspendidos)

400. En esta subsección se presentan las gráficas de dispersión en las que se muestra la relación de los sólidos disueltos totales (SDT) con los metales disueltos y los sólidos suspendidos totales (SST) con los metales suspendidos. Además, se muestra la relación de los SDT con la conductividad.
401. En base a dichos gráficos, se calculan las relaciones lineales (medición de la proporcionalidad) respectivas. Esto es indicado por el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson o coeficiente de determinación (R^2) mayor a 0,90.
402. Previo al análisis del R^2 , se determinaron aquellos puntos de muestreo que disminuyen el coeficiente respectivo. De esa manera, se determinó que los puntos RTamb6, MSDom1, QRmar1 y QRMar2 disminuyen el valor R^2 de los metales disueltos con los SDT.
403. Para el valor R^2 que indica la relación de la conductividad con los SDT y la relación de los metales suspendidos con los SST, no se consideraron los puntos RTamb6



A
K
7
R



y CAEMM-01, puesto que disminuyeron el valor de dicho coeficiente. Asimismo, en esta evaluación no se consideró la quebrada Rosa María (excepto QRMar1) por tener concentraciones menores al límite de cuantificación para aluminio e hierro total con respecto a los SST.

404. Con lo mencionado anteriormente, se realizó el cálculo del R^2 que indica la relación de los metales disueltos con los SDT, resultando algunos metales con valores mayores a 0,9 (ver Figuras del 10-11 al 10-15).
405. Dichos resultados son: 0,9414 para arsénico; 0,9678 para boro; 0,9819 para magnesio; 0,9577 para potasio y 0,9424 para sodio, por lo que el magnesio disuelto es el metal más correlacionado con los SDT.
406. Cabe señalar que el arsénico disuelto tiene pendiente negativa, contrariamente a los demás metales de pendiente positiva, lo que significa que el río Tambo y los canales de riego tienen mayor concentración que las lagunas del SNLM.
407. Asimismo, el coeficiente de determinación (R^2) de la conductividad con los sólidos disueltos totales fue 0,9965 (ver Figura 10-16), lo que indica una buena correlación, con mayores valores de conductividad y SDT en la quebrada Rosa María.
408. Finalmente, el R^2 referente a la relación entre metales suspendidos y los sólidos suspendidos totales fue mayor a 0,9 (ver Figuras 10-17 y 10-18) fueron: 0,9329 para aluminio y 0,9113 para hierro. De dichos resultados, se observa que la mayor concentración de los citados metales en forma suspendida se registraron en RTamb7 (inicio del valle agrícola en el anexo "El Carrizal").



Handwritten signature in blue ink.

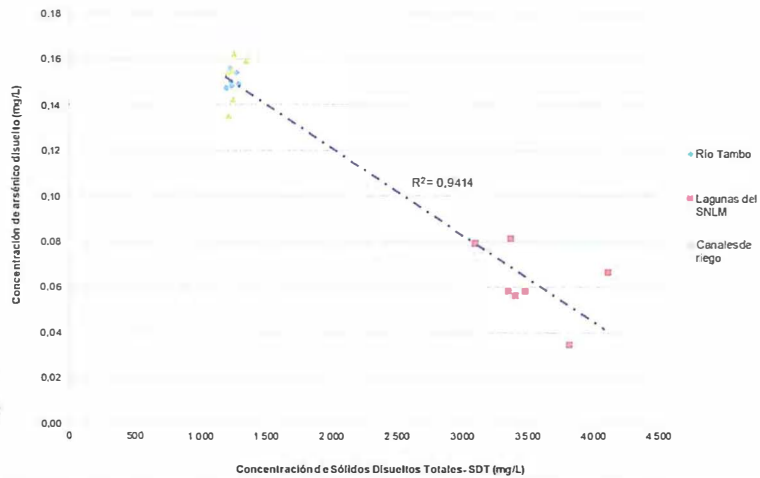


Figura 10-11. Relación entre arsénico disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)

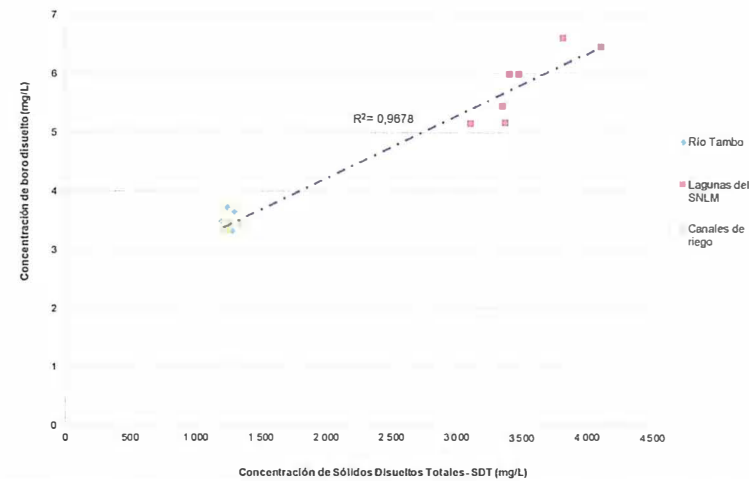


Figura 10-12. Relación entre boro disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)

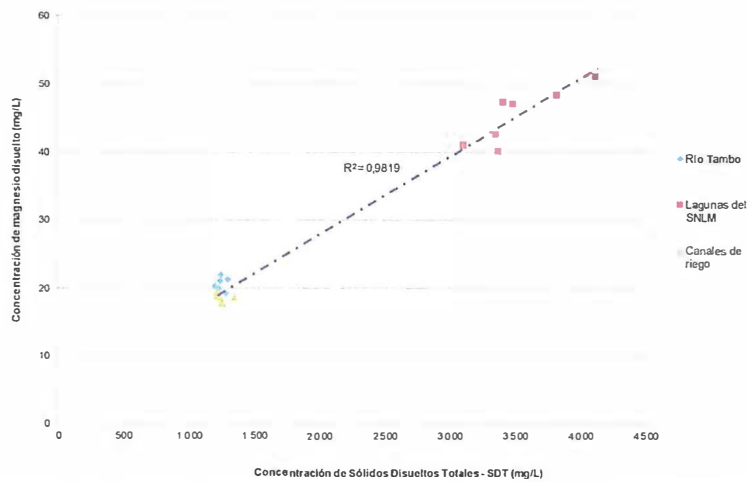


Figura 10-13. Relación entre magnesio disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)

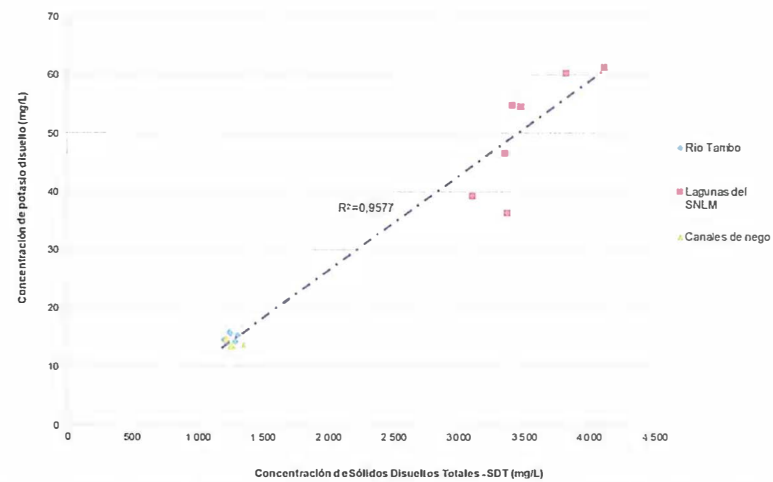


Figura 10-14. Relación entre potasio disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)



Handwritten blue notes and signatures on the left margin.

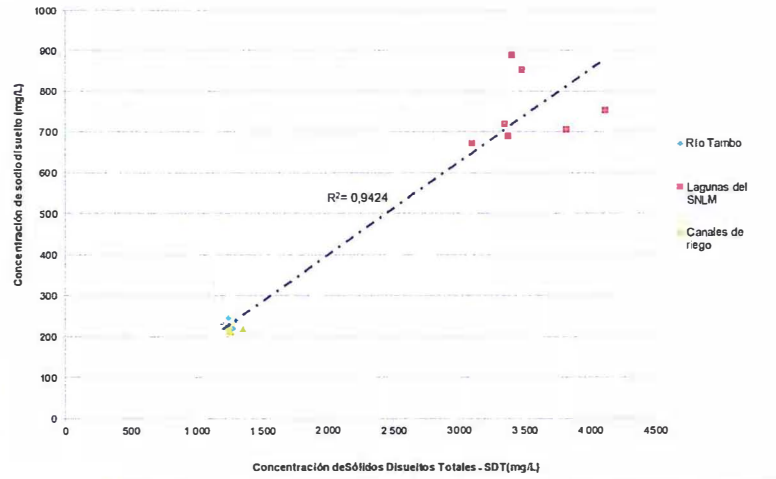


Figura 10-15. Relación entre sodio disuelto y sólidos disueltos totales (SDT)

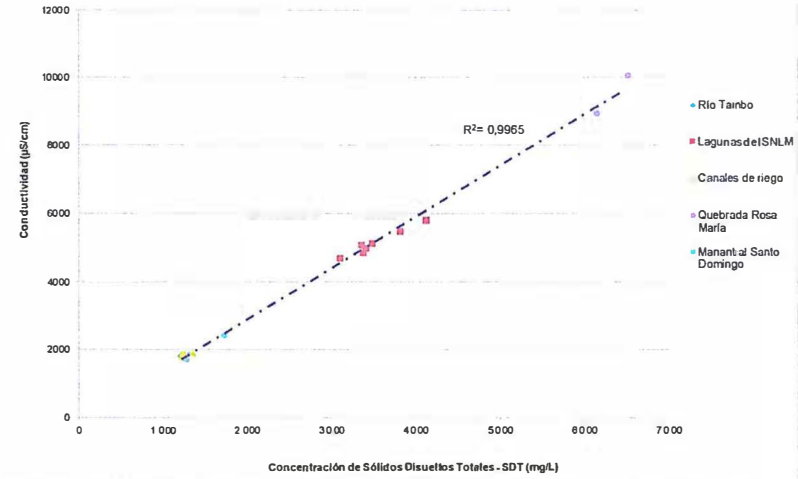


Figura 10-16. Relación entre la conductividad y sólidos disueltos totales (SDT)

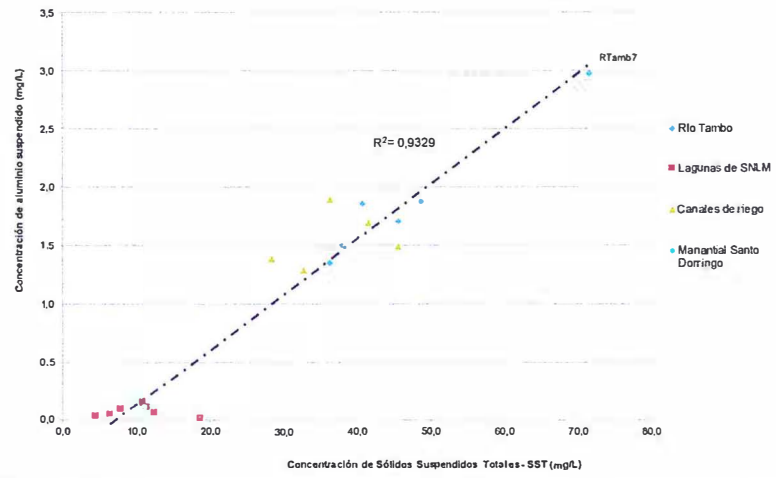


Figura 10-17. Relación entre aluminio suspendido y sólidos disueltos totales (SDT)

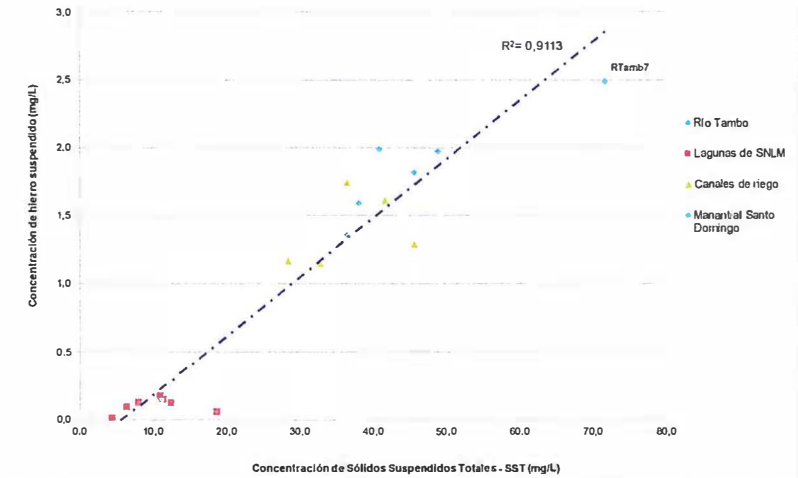


Figura 10-18. Relación entre hierro suspendido y sólidos disueltos totales (SDT)



l
77
8
A
K
7
24

10.1.3. Evaluación hidroquímica

409. Antes de realizar la evaluación hidroquímica se evalúa el cálculo del error de balance iónico y luego la representación a través de los diagramas hidroquímicos y el análisis de las relaciones iónicas, como se muestra en las subsecciones que se presentan a continuación.
410. Para la evaluación del balance iónico y los diagramas hidroquímicos, los cuerpos de agua superficial (río Tambo, canales de riego y lagunas del SNLM), las concentraciones en meq/L se calcularon y graficaron en base a los metales totales, mientras que los afloramientos (quebrada Rosa María y manantial Santo Domingo) se calcularon y graficaron en base a los metales disueltos. En tanto, las relaciones iónicas⁷⁵, tanto los cuerpos de agua superficial como los afloramientos (de manera referencial) se graficaron en base a los metales totales.

10.1.3.1. Error de Balance iónico (EBI)

411. El EBI se ha calculado para los aniones nitratos (NO_3^{-2})⁷⁶, sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-) y bicarbonatos (HCO_3^-), y los cationes calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+) mediante la fórmula indicada en la ecuación 8.1 de la Sección 8.1.4. *Evaluación hidroquímica*, y cuyo valor máximo permitido es del 10% acorde a Megersa D. *et. al.*, 2015.⁷⁷
412. Según la Tabla 10-12, QRMAR1, (quebrada Rosa María) fue el único punto de muestreo que presentó un EBI igual al 10 %.
413. En tanto, en 3 puntos de muestreo registraron un valor absoluto del EBI mayor al 5 % y menor al 10 %, los cuales fueron: la laguna Iberia Norte 2 con 9,4 %, laguna Boquerón con -7,1 %, canal de riego del Valle de Tambo (CAT-01) con 8,2 % y canal de riego Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-04) con -7,0 %. Cabe indicar que en los 7 puntos de muestreo del río Tambo se registró un valor absoluto del EBI menor al 5 %, siendo el máximo registrado en el anexo El Carrizal con 4,6 %.
414. Cabe señalar que el EBI calculado de las concentraciones de los metales totales en el agua superficial tuvieron las mayores variaciones en seis de 20 puntos de muestreo que realizado mediante las concentraciones disueltas, ver Tabla B1.7 del Anexo B1, superando ligeramente el valor de $\pm 10\%$ en Laguna Boquerón con -10,4 %, siendo los otros cinco puntos de muestreo las Lagunas Mejía e Iberia norte 1, y los canales de riego Valle de Tambo (CAT-01) y Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-01 y CAEMM-04) y Punta de Bombón (CAPB-01).

⁷⁵ La pendiente de la línea de agua de mar (0,86) para la relación iónica entre los cloruros y sodio fue calculada en base a los resultados de agua de mar de Mollendo colectada frente a la desembocadura del río Tambo c, lagunas del SNLM y el distrito de Punta de Bombón a nivel superficial: AM-01 (S), AM-02 (S) y AM-04 (S) indicadas en el Informe N° 00123-2016-OEFA-DE-SDLB-CEAI: "Evaluación Ambiental de la cuenca del río Tambo durante el año 2016", calculándose referencialmente las concentraciones de cloruros y sulfatos, manteniendo los porcentajes iónicos del agua de mar con una salinidad aproximada de 35 UPS (Unidad Práctica de Salinidad) ó 35 g/L.

⁷⁶ Las concentraciones del ion Nitrato (NO_3^{-2}) se calculó de la multiplicación de las concentraciones del N-Nitratos obtenidos por el laboratorio NSF Inassa Envirolab S.A.C. por 4,43 (relación entre la masa molecular del Nitrato (NO_3^{-2}) = 62,0049 y la masa atómica del N-Nitratos (N- NO_3^{-2}) = 14,0067).

⁷⁷ Megersa Olumama Dinka, W. L. (2015), Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 444-456. doi:10.1016/j.ejrh.2015.02.007.



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-12. Error de balance iónico del río Tambo, quebrada rosa maría, lagunas del SNLM, manantial santo domingo y canales de riego

Punto de Muestreo	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	ΣCat	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	ΣAn	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	ΣCa	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	ΣAn	EBI
	Concentración (mg/L)										Concentración (meq/L)										%
Río Tambo 1 (RTamb1)	103,0	22,44	17,84	248,0	391,3	123	324,9	260,1	2,04	710,0	5,1	1,8	0,46	10,8	18,2	2,0	9,2	5,4	0,033	16,6	4,6%
Río Tambo 2 (RTamb2)	97,1	20,80	15,55	238,7	372,1	120	340,9	270,1	2,92	733,9	4,8	1,7	0,40	10,4	17,3	2,0	9,6	5,6	0,047	17,3	0,2%
Río Tambo 3 (RTamb3)	106,6	21,35	15,95	244,6	388,5	133	328,9	277,2	3,85	743,0	5,3	1,8	0,41	10,6	18,1	2,2	9,3	5,8	0,062	17,3	2,4%
Río Tambo 4 (RTamb4)	111,0	23,14	17,37	269,6	421,1	143	350,8	277,0	3,45	774,3	5,5	1,9	0,44	11,7	19,6	2,3	9,9	5,8	0,056	18,1	4,1%
Río Tambo 5 (RTamb5)	105,9	21,97	16,46	255,8	400,1	141	352,8	255,0	3,23	752,1	5,3	1,8	0,42	11,1	18,6	2,3	10,0	5,3	0,052	17,6	2,8%
Río Tambo 6 (RTamb6)	123,3	29,86	22,18	403,8	579,1	197	548,2	344,0	5,58	1094,8	6,2	2,5	0,57	17,6	26,7	3,2	15,5	7,2	0,090	25,9	1,5%
Río Tambo 7 (RTamb7=)	90,3	19,25	15,14	226,9	351,6	120	324,9	261,4	2,48	709,0	4,5	1,6	0,39	9,9	16,3	2,0	9,2	5,4	0,040	16,6	-0,8%
Quebrada Rosa María 1*	851,7	395,0	69,2	1231,0	2546,9	144	2631,0	1301,0	182,9	4258,9	42,5	32,5	1,77	53,5	130,3	2,4	74,2	27,1	2,949	106,6	10,0%
Quebrada Rosa María 2*	666,1	319,5	54,1	823,8	1863,5	136	2591,0	956,4	617,5	4300,9	33,2	26,3	1,38	35,8	96,7	2,2	73,1	19,9	9,960	105,2	-4,2%
Manantial Santo Domingo*	181,2	30,7	18,1	304,2	534,2	268	412,6	319,5	44,1	1043,8	9,0	2,5	0,46	13,2	25,3	4,4	11,6	6,7	0,712	23,4	3,9%
Laguna Mejía	158,1	48,46	46,84	757,3	1010,7	340	981,7	734,1	1,73	2057,5	7,9	4,0	1,20	32,9	46,0	5,6	27,7	15,3	0,028	48,6	-2,7%
Laguna Iberia sur 1	111,7	48,86	56,46	931,0	1148,0	238	1094,0	671,7	0,58	2004,3	5,6	4,0	1,44	40,5	51,5	3,9	30,9	14,0	0,009	48,8	2,8%
Laguna Iberia sur 2	114,7	49,20	55,50	914,8	1134,2	251	1037,0	679,9	1,24	1969,1	5,7	4,0	1,42	39,8	51,0	4,1	29,2	14,2	0,020	47,5	3,5%
Laguna Iberia centro	121,3	51,24	62,50	767,9	1002,9	251	1056,0	646,9	1,90	1955,8	6,1	4,2	1,60	33,4	45,3	4,1	29,8	13,5	0,031	47,4	-2,3%
Laguna Iberia norte 1	137,8	44,19	39,67	677,3	-899,0	273	677,7	-761,8	0,75	1713,3	6,9	3,6	1,01	29,5	41,0	4,5	19,1	15,9	0,012	39,5	1,9%
Laguna Iberia norte 2	135,4	44,91	40,74	924,8	1145,9	206	907,7	663,9	0,66	1778,3	6,8	3,7	1,04	40,2	51,7	3,4	25,6	13,8	0,011	42,8	9,4%
Laguna Boquerón	131,6	50,21	64,09	756,2	1002,1	360	1131,0	689,6	1,06	2181,7	6,6	4,1	1,64	32,9	45,2	5,9	31,9	14,4	0,017	52,1	-7,1%
Canal de riego del Valle de Tambo (CAT-01)	98,58	21,02	15,11	246,3	381,0	135	336,9	158,1	3,14	633,1	4,9	1,7	0,39	10,7	17,7	2,2	9,5	3,3	0,051	15,1	8,2%
Canal de riego Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-01)	92,19	20,15	15,88	238,8	367,0	135	354,8	268,6	2,30	760,7	4,6	1,7	0,41	10,4	17,1	2,2	10,0	5,6	0,037	17,8	-2,3%
Canal de riego Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-02)	86,62	18,89	14,74	224,7	345,0	133	332,9	156,2	4,07	626,2	4,3	1,6	0,38	9,8	16,0	2,2	9,4	3,3	0,066	14,9	3,7%
Canal de riego Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-03)	87,59	19,42	15,59	237,2	359,8	122	344,9	240,5	2,30	709,7	4,4	1,6	0,40	10,3	16,7	2,0	9,7	5,0	0,037	16,8	-0,3%
Canal de riego Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-04)	84,77	17,81	14,26	213,8	330,6	127	346,8	276,1	3,36	753,3	4,2	1,5	0,36	9,3	15,4	2,1	9,8	5,7	0,054	17,7	-7,0%
Canal de riego de Punta de Bombón (CAPB-01)	92,71	18,73	14,85	228,3	354,6	141	348,8	282,7	3,90	776,4	4,6	1,5	0,38	9,9	16,5	2,3	9,8	5,9	0,063	18,1	-4,7%

Ca²⁺: Calcio total, Mg²⁺: Magnesio total, K⁺: Potasio total, Na⁺: Sodio total, HCO₃⁻: Bicarbonatos, Cl⁻: cloruros, SO₄²⁻: sulfatos y NO₃⁻: Nitratos.

ΣCat: Suma de cationes, ΣAn: Suma de aniones y E.B.I.: Error de Balance iónico.

*El Balance iónico se calculó en base a los metales disueltos por ser afloramientos.

: EBI mayor al 5 % y menor o igual al 10%.

10.1.3.2. Diagramas hidroquímicos

415. Los diagramas hidroquímicos sirven para ver la interacción simultánea entre aniones (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^-) y cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) mediante diagramas triangulares que se proyectan en un rombo central conocido como diagrama de Piper.

416. También se presentan los diagramas compuestos por tres ejes paralelos conocidos como diagramas de Stiff, cuyo análisis se realiza en base al grado de mineralización (ancho de la gráfica de Stiff) separados en cuatro rangos de valores hidroquímicos predominantes con respecto a los iones cloruros (Cl^-) y/o sodio (Na^+) en meq/L: de 0 a 15, de 15 a 20, de 20 a 30, 30 a 40 y de 40 a 80.

a. Diagrama de Piper

417. Los resultados mostrados en la Figura 10-19 indican que el río Tambo, el manantial Santo Domingo y las lagunas del SNLM son aguas de facie cloruradas sódicas al estar ubicadas en el sector de sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas, mientras que la quebrada Rosa María se encuentra en el sector de aguas sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas.

418. Con respecto a la quebrada Rosa María, los dos puntos de muestreo evaluados se encuentran en el triángulo catiónico (zona mixta), que muestra que corresponde a aguas de facie cloruradas mixtas (sódicas-cálcicas) de acuerdo a los porcentajes de cationes que presenta:

- QRMar1: 41,1 % de Na^+ , 32,6% de Ca^{2+} y 24,9 % Mg^{2+} .
- QRMar2: 37,0 % de Na^+ , 34,4 % de Ca^{2+} y 27,2 % de Mg^{2+} .

419. La laguna Iberia norte 1 se encuentra en triángulo aniónico (zona mixta), correspondiendo a aguas de facie cloruradas-sulfatadas sódicas, según los porcentajes de aniones que registra:

- LINor1: 48,4 % de Cl^- y 40 % SO_4^{2-} .

420. En relación al río Tambo en la zona del estuario (300 metros antes de su desembocadura al mar), de acuerdo al diagrama de Piper en el sector Cloruradas y/o Sulfatadas Sódicas; se separa ligeramente de los demás puntos de muestreo del río Tambo debido principalmente a que la zona de estuario (río Tambo 6) tiene mayor porcentaje de Na^+ y menor que las lagunas del SNLM.

421. Finalmente, los resultados de los puntos ubicados en los canales de riego CAT-01 (Valle de Tambo) y CAEMM-02 (Ensenada-Mejía-Mollendo), cerca de la captación del río Tambo y luego del desarenador, difieren de lo encontrado en los demás puntos del canal Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-01, CAEMM-03 y CAEMM-04) y Punta de Bombón (CAPB-01), debido a que tienen un menor porcentaje de sulfatos.



Handwritten signature and initials in blue ink.

b. Diagramas de Stiff

422. De acuerdo a la Figura 10-20, a continuación, se muestran los cuerpos de agua con los siguientes rangos de mineralización, en base a las concentraciones de los iones Cl^- y/o Na^+ , lo que es mostrado en el mapa hidroquímico de los puntos de muestreo evaluados (ver Figura 10-21):

- 0 a 15 meq/L: Canales de riego Ensenada-Mejía Mollendo, Punta de Bombón y Valle de Tambo (9,7 como promedio Cl^- y 10,1 de Na^+), río Tambo (9,6 como promedio Cl^- y 10,9 de Na^+) y manantial Santo Domingo (11,6 como promedio de Cl^- y 13,2 de Na^+).
- 15 a 20 mg/L: Punto de muestreo RTamb6, antes de su desembocadura en el mar (15,5 para Cl^- y 11,1 para Na^+).
- 20 a 30 meq/L: Laguna Iberia Norte 1 (19,1 para Cl^- y 29,5 para Na^+).
- 30 a 40 meq/L: Lagunas del SNLM (29,2 para Cl^- y 26,6 para Na^+).
- 40 a 80 meq/L: Quebrada Rosa María (73,6 para Cl^- y 44,47 para Na^+).

423. Con respecto a los resultados anteriores, se debe indicar que los cuerpos con menores valores de mineralización fueron el río Tambo y los canales de riego, los cuales registraron valores promedios similares de cloruros, mientras que el río Tambo registró mayor valor promedio de sodio.

424. En caso del manantial Santo Domingo, este registró mayor mineralización que el río Tambo (solamente sodio en RTamb6) y los canales de riego, pero menores a las lagunas del SNLM y la quebrada Rosa María.

425. En tanto, en el punto RTamb6 se registró mayor valor de mineralización que en los demás puntos de muestreo del río Tambo (desde el anexo "El Carrizal" hasta el Puente Freyre), canales de riego y manantial Santo Domingo (solo para cloruros), pero menor a las lagunas del SNLM y la quebrada Rosa María.

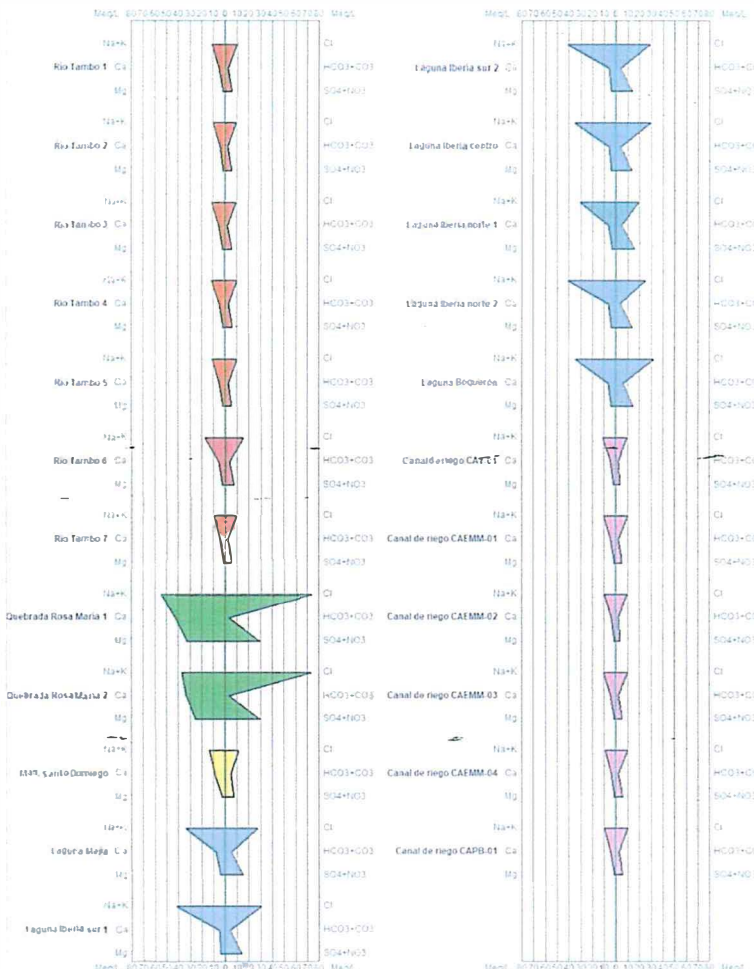
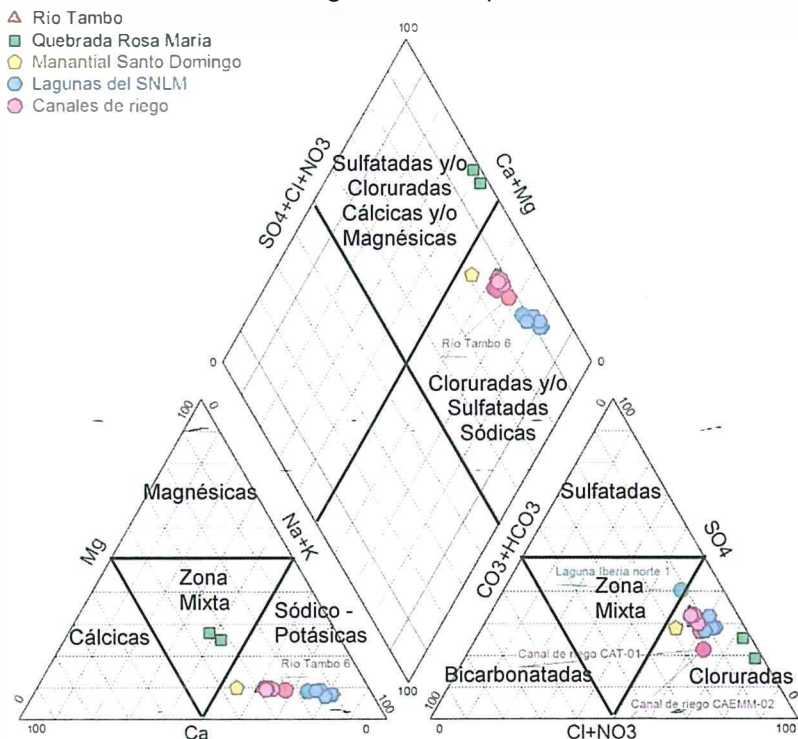
426. Finalmente, el agua de la quebrada Rosa María es la más mineralizada, con las mayores concentraciones de todos los iones, principalmente el sodio y cloruro, excepto el bicarbonato.



Handwritten signature and initials in blue ink.

Diagramas de Stiff

Diagrama de Piper



B. L. A. T. B. B. S.

Figura 10-19. Diagrama de Piper del río Tambo, quebrada Rosa María, manantial Santo Domingo, lagunas del SNLM y canales de riego

Figura 10-20. Diagramas de Stiff del río Tambo, quebrada Rosa María, manantial Santo Domingo, lagunas del SNLM y canales de riego



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

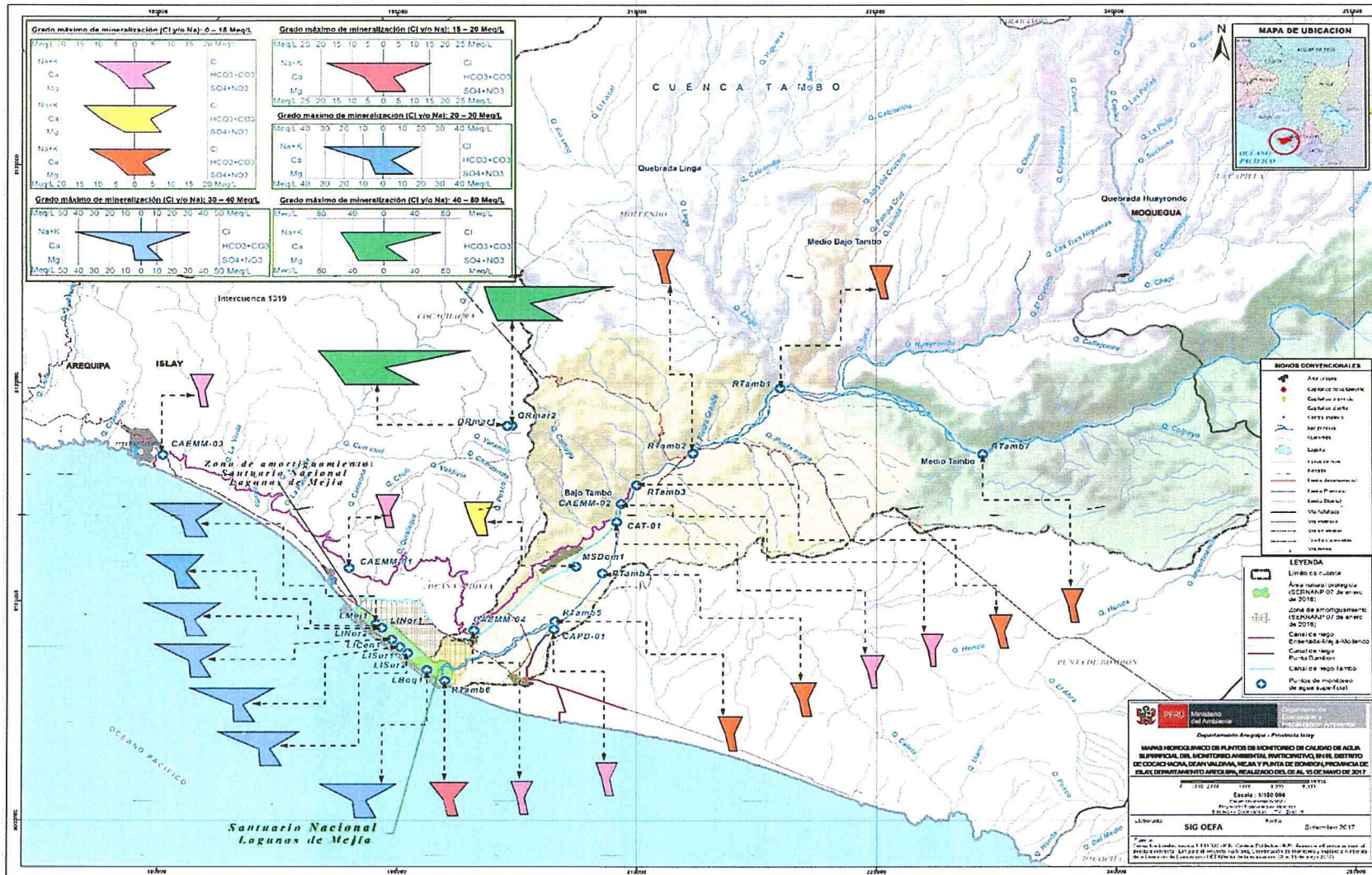


Figura 10-21. Mapa hidroquímico del río Tambo, canales de riego, quebrada Rosa María, manantial Santo Domingo y lagunas del SNLM



Handwritten blue ink notes and signatures on the left margin.

c. Diagramas de Schöeller Berkaloff

427. De acuerdo a lo indicado en la Figura 10-22, en el punto RTamb6 se registraron mayores concentraciones de los cationes calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), y de la suma de sodio y potasio ($\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$), así como de los aniones cloruros (Cl^{-}), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos ($\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-}$) y nitratos (NO_3^{-}).
428. De acuerdo a lo indicado en la Figura 10-23, en la que se evalúan los afloramientos y el manantial Santo Domingo tiene un comportamiento diferente al de la quebrada Rosa María, registrando mayores concentraciones de bicarbonatos (HCO_3^{-}) que está.
429. En tanto, la quebrada Rosa María mostró similares concentraciones de cloruros (Cl^{-}) y bicarbonatos (HCO_3^{-}) y diferentes concentraciones de nitratos (NO_3^{-}), siendo la concentración en QRmar2 mayor que en QRmar1. Para el resto de iones principales la diferencia fue menor, siendo más baja en QRmar2.
430. Con respecto al SNLM, la Figura 10-24 muestra que la laguna Iberia norte 1 registró menor concentración de Cl^{-} que las demás, las cuales se diferencian en los nitratos (NO_3^{-}).
431. Finalmente, la Figura 10-25 muestra que los canales de riego CAT-01 (Valle de Tambo) y el canal Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-02) registraron menores concentraciones de sulfatos (SO_4^{2-}) que los demás, concretamente Punta de Bombón (CAPB-01) y Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-01, CAEMM-03 y CAEMM-04), los cuales tienen similares concentraciones de los otros cationes, excepto para los nitratos (NO_3^{-}) para los que se observa una ligera diferencia.
432. Para mayor detalle en cuanto a la visualización de las Figuras 10-22 al 10-25 ver Figuras B2.32 a B2.35 anexo B2.

10.1.3.3. Relaciones iónicas

433. En esta subsección se establece la relación del anión cloruro (Cl^{-}) con el anión sulfato (SO_4^{2-}) y los cationes siguientes: sodio (Na), estroncio (Sr) y boro (B), de manera que se puedan diferenciar o agrupar los puntos de muestreo en razón a la proporcionalidad y concentración de los citados iones.
434. De acuerdo a la Figura 10-26, en el río Tambo y los canales de riego, la relación de Cl^{-} y Na fue cercana a la pendiente de disolución de la halita ($m= 1,0$), con un valor máximo de 1,18 y mínimo de 0,95, respectivamente; mientras que en las lagunas del SNLM (excepto la laguna Boquerón), manantial de Santo Domingo y el punto RTamb6 se registró una pendiente mayor a 1,0 (halita) con valores de 1,12 a 1,57.
435. Para mayor detalle en cuanto a la visualización de las Figuras 10-26 al 10-29 ver Figuras B2.36 a B2.39 anexo B2.



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin, including a large 'A' and other illegible characters.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



Handwritten signatures and initials in blue ink.

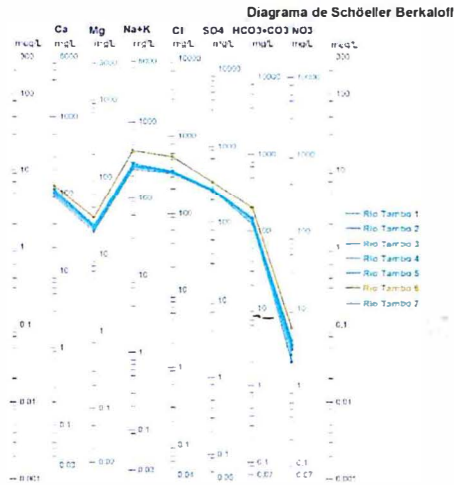


Figura 10-22. Diagrama de Schöeller Berkloff en el río Tambo

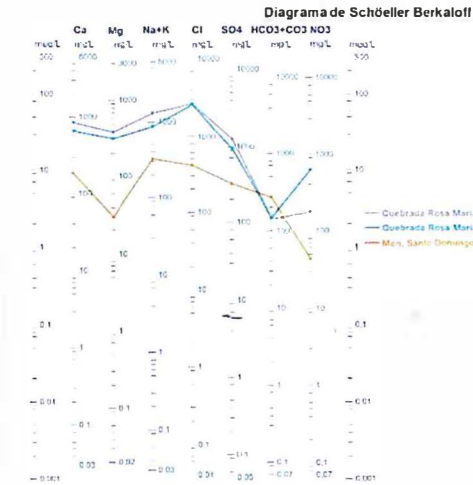


Figura 10-23. Diagrama de Schöeller Berkloff en los afloramientos

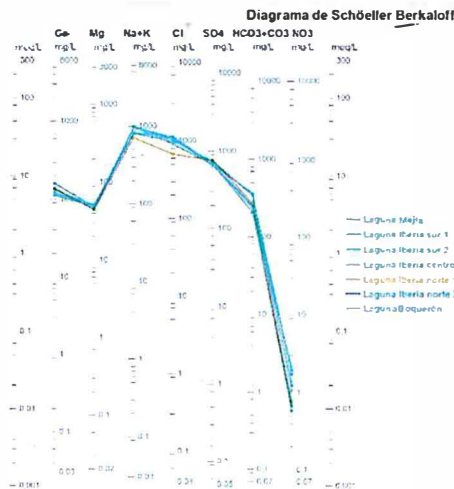


Figura 10-24. Diagrama de Schöeller Berkloff en las lagunas del SNLM

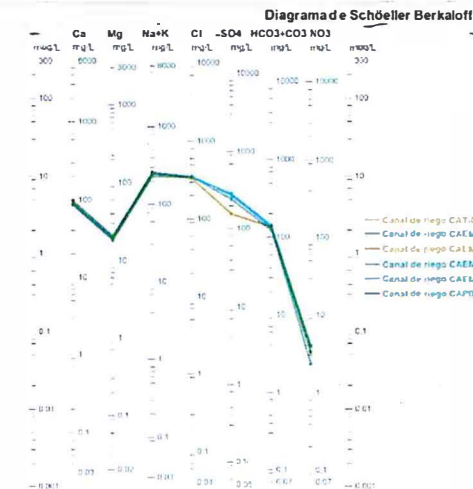


Figura 10-25. Diagrama de Schöeller Berkloff en los canales de riego

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



[Handwritten signatures and initials in blue ink]

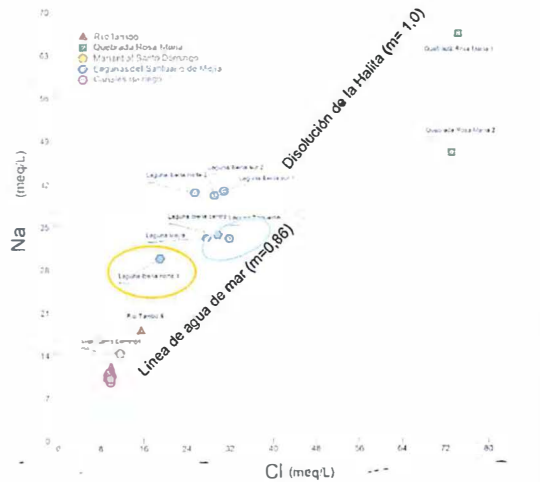


Figura 10-26. Relación cloruros (Cl⁻) – sodio (Na)

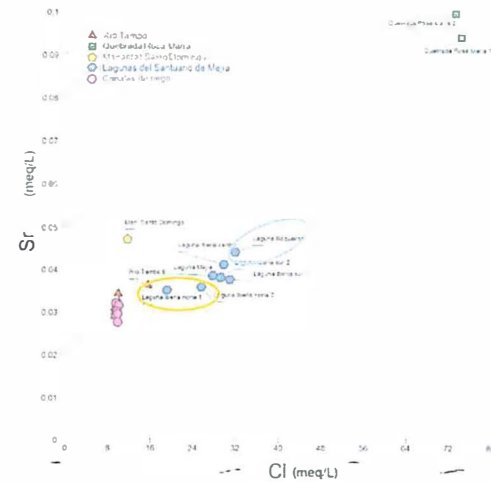


Figura 10-27. Relación cloruros (Cl⁻) – estroncio (Sr)

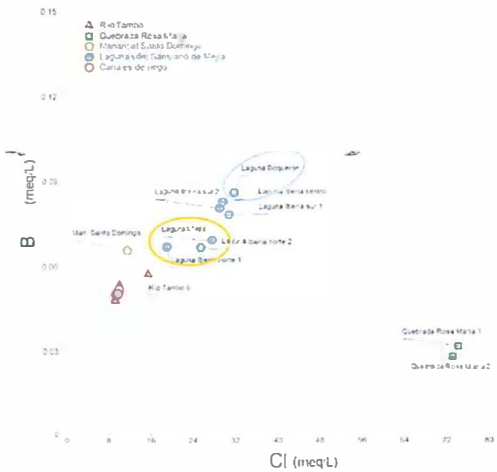


Figura 10-28. Relación cloruros (Cl⁻) - boro (B)

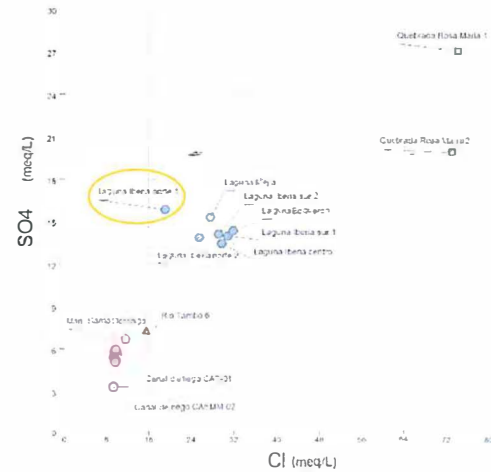


Figura 10-29. Relación cloruros (Cl⁻) - sulfatos (SO₄²⁻)

436. En tanto, la quebrada Rosa María presentó una pendiente entre 1,0 (halita) y 0,86 (relación iónica de las muestras de agua de mar de Mollendo colectadas frente a la desembocadura del río Tambo con el mar, y las lagunas del SNLM en el distrito de Punta de Bombón); fue 0,89 para QRmar1 y menor a 0,64 (inferior al agua de mar, de 0,86). Por lo tanto, se deduce que la quebrada Rosa María registró mayor proporción de Cl^- que Na^+ que los demás cuerpos de agua, y que las lagunas del SNLM tienen mayor proporción de sodio que cloruros (a excepción de la laguna Boquerón).
437. Cabe indicar que la relación de Cl^- y Na^+ ($m=1,03$) en la laguna Boquerón es similar a la disolución de la halita ($m= 1,00$); mientras que la laguna Iberia norte (LINor1 y LINor2) tienen la mayor pendiente (con 1,54 y 1,57, respectivamente), lo que refleja mayor proporción de Na^+ con respecto los Cl^- .
438. Para el caso de la relación entre Cl^- y Sr , la Figura 10-27 indica que quebrada Rosa María registró las mayores concentraciones (seguida por el manantial Santo Domingo) en relación a los demás cuerpos de agua, mientras las menores concentraciones de ambos parámetros se registraron en el río Tambo (excepto el punto RTamb6) y los canales de riego.
439. Cabe resaltar que, entre las lagunas del SNLM, la laguna Boquerón registró la mayor concentración de Sr y Cl^- , mientras que la laguna Iberia Norte (1 y 2) registró la menor concentración de Sr (similar al punto RTamb6) y Cl^- .
440. En caso del B, la Figura 10-28 indica que quebrada Rosa María registró las menores concentraciones en comparación a los demás cuerpos de agua, mientras que las mayores concentraciones se registraron en la laguna de SNLM.
441. La laguna Boquerón registró mayor concentración de B que el resto de lagunas, mientras que las lagunas Iberia Norte (1 y 2) y Mejía registraron menor concentración (similar al manantial Santo Domingo) de B.
442. El río Tambo y los canales de riego registraron concentraciones menores de B que el manantial Santo Domingo y las lagunas del SNLM, y mayores que en la quebrada Rosa María, siendo RTamb6 el punto donde se obtuvo la de mayor concentración de B.
443. La Figura 10-29 muestra que la quebrada Rosa María registró las mayores concentraciones de SO_4^{2-} con respecto a los demás cuerpos de agua. Mientras, las lagunas del SNLM registraron mayores concentraciones que el río Tambo, los canales de riego y el manantial Santo Domingo.
444. Cabe resaltar que las lagunas Iberia norte 1 y Mejía registraron las mayores concentraciones de SO_4^{2-} del SNLM y que el punto de muestreo RTamb6 registró la mayor concentración con respecto a los demás puntos de muestreo del río Tambo, los canales de riego y el manantial Santo Domingo.
445. Finalmente, los canales de riego CAT-01 (Valle de Tambo) y CAEMM-02 (Ensenada-Mejía-Mollendo) registraron las menores concentraciones de SO_4^{2-} que todos los cuerpos de agua evaluados.



Handwritten blue notes and signatures on the left margin, including a large 'A' and other illegible marks.

10.1.4. Hidrometría y caracterización

- 446. En esta sección se realiza la medición de caudal mediante el método de correntómetro (ver ecuación 8.3) para el análisis de los canales de riego a tres diferentes profundidades (0,2d, 0,6d y 0,8d) en un solo tirante de agua, y el manantial Santo Domingo a una sola profundidad (0,6d) por triplicado. Mientras, el método volumétrico (ver ecuación 8.6) se realizó para la evaluación del caudal en la quebrada Rosa María por triplicado a diferentes tiempos proporcionales.
- 447. La caracterización fue realizada en el manantial Santo Domingo, en donde se calculó las longitudes de las secciones transversales en los primeros metros del canal (ancho y alto) y el agua (ancho y profundidad), así como registros de datos biológicos (peces y flora).

a. Medición de caudal

- 448. Los caudales fueron calculados mediante el método del correntómetro, para los canales de riego y el manantial, consignándose los resultados en la tabla 11-13. En el punto CAEMM-03, aguas arriba del punto de captación de Sedapar (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa S.A.) en el distrito de Mollendo, no fue calculado debido al poco caudal registrado.
- 449. Cabe señalar que el agua en los puntos CAEMM-01 y CAPB-01 cubre un área de forma trapezoidal con dos bases, a1 (menor) y a2 (mayor), y el cálculo de su área se determinó con el promedio de ambas. Por otro lado, el agua de los demás canales de riego cubre un área de forma rectangular (ver Tabla 10-13).

Tabla 10-13. Datos para el cálculo de los caudales de los canales de riego y el manantial Santo Domingo

Tipo	Nombre	Código	Tirante de agua (d)	Ancho	V1 (0,2d)	V2 (0,6d)	V3 (0,8d)	V _m	Caudal (Q)
			m	m	m/s				m ³ /s
Canal de riego	Ensenada-Mejía-Mollendo	CAEMM-01	0,6	a1:1,25 a2: 2,0	1	0,9	0,7	0,86	0,84
		CAEMM-02	1,1	1,91	1	1,2	2,1	1,43	3,00
		CAEMM-03	No evaluado						
		CAEMM-04	1,08	2,28	0,9	0,8	0,7	0,8	1,97
	Valle de Tambo	CAT-01	1,1	2,63	0,7	0,7	0,6	0,67	1,94
	Punta de Bombón	CAPB-01	0,67	a1:1,12 a2: 1,66	1,3	1,1	1,4	1,26	1,17
Manantial	Santo Domingo	MSDom1*	0,35	0,36	0,3*			0,30	0,04

*Promedio de tres mediciones realizadas a una profundidad de 0,6d.

- 450. De acuerdo a los resultados, el canal de riego con mayor caudal (3,00 m³/s) es el que pertenece a la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo en el distrito de Cocachacra (CAEMM-02) a 700 m después de su desarenador (ver Fotografía 10-2).
- 451. Este caudal disminuye a 1,97 m³/s en el canal de riego (CAEMM-01) que pasa por la parte alta del poblado de La Curva en el distrito de Deán Valdivia (ver Fotografía 10-3) y luego sigue disminuyendo a 0,84 m³/s (CAEMM-04) en el distrito de Mejía, aproximadamente a 400 m aguas arriba de la toma de la EPS Sedapar (ver Fotografía 10-1).

A
 7
 2

- 452. En tanto, el caudal del canal de riego de la Junta de Usuarios del Valle de Tambo (1,94 m³/s), cerca al puente Pampa Blanca y a 850 m de su punto de captación y 350 m del desarenador (ver Fotografía 10-4), es menor y similar al canal de riego de Ensenada-Mejía-Mollendo en el distrito de Cocachacra (3,00 m³/s) y en el poblado de La Curva en el distrito de Deán Valdivia (1,97 m³/s) respectivamente.
- 453. Para el caso del caudal del canal de riego de la Junta de Usuarios de la Punta de Bombón (1,17 m³/s), (ver Fotografía 10-5), es mayor solamente canal de riego de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo (0,84 m³/s) aproximadamente a 400 m aguas arriba de la toma de Sedapar.
- 454. Con respecto al caudal del manantial Santo Domingo (0,04 m³/s), (ver Fotografía 11-6), su valor es 20 veces menor al mínimo caudal registrado en el canal de riego Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-01) con 0,84 m³/s.
- 455. Por otro lado, el caudal de la quebrada Rosa María (ver Fotografías 10-7 y 10-8), cuyas aguas afloran del subsuelo, en el punto de muestreo ubicado en el ámbito de las instalaciones abandonadas de una antigua unidad minera de oro (QRMar2) con 0,0262 L/s fue menor que el agua del punto QRMar1 con 0,1530 L/s, ver Tabla 10-14..

Tabla 10-14. Datos para el cálculo de los caudales de la quebrada Rosa María

Tipo	Nombre	Código	Réplica	Volumen	Tiempo	Caudal (Q)	
				L	s	L/s	
Afloramiento	Quebrada Rosa María	QRMar2	1	0,450	17,18	0,026	0,0262
			2	0,600	22,56	0,027	
			3	0,825	32,04	0,026	
		QRMar1	1	0,625	4,13	0,151	0,1530
			2	0,825	5,10	0,162	
			3	1,000	6,85	0,146	

b. Caracterización del manantial Santo Domingo

- 456. El manantial Santo Domingo se encuentra en el valle de Tambo, sector denominado "Chacarero" en el distrito de Cocachacra, en medio de plantaciones de caña de azúcar. La demarcación de este manantial (ver Figura 10-30) está basada en las siguientes coordenadas calculadas mediante GPS en campo (Datum WGS84, Zona 19K):
 - Punto 1: E: 206 415/N: 8 107 670 (afloramiento del agua, nacimiento del manantial).
 - Punto 2: E: 206 160/N: 8 107 383 (salida del agua a las plantaciones, donde se tomaron muestras de agua superficial y calculo el caudal).



Fotografía 10-1. Canal de riego Ensenada Mejía-Mollendo (CAEMM-01)



Fotografía 10-2. Canal de riego Ensenada Mejía-Mollendo (CAEMM-02)



Fotografía 10-3. Canal de riego Ensenada Mejía-Mollendo (CAEMM-04)



Fotografía 10-4. Canal de riego del Valle de Tambo (CAT-01)



J
A
K
28



Fotografía 10-5. Canal de riego Punta de Bombón (CAPB-01)



Fotografía 10-6. Manantial Santo Domingo (MSDom)



Fotografía 10-7. Quebrada Rosa María (QRMar1)



Fotografía 10-8. Quebrada Rosa María (QRMar2)

MONITOREO Y VIGILANCIA
VISO
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

867428

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

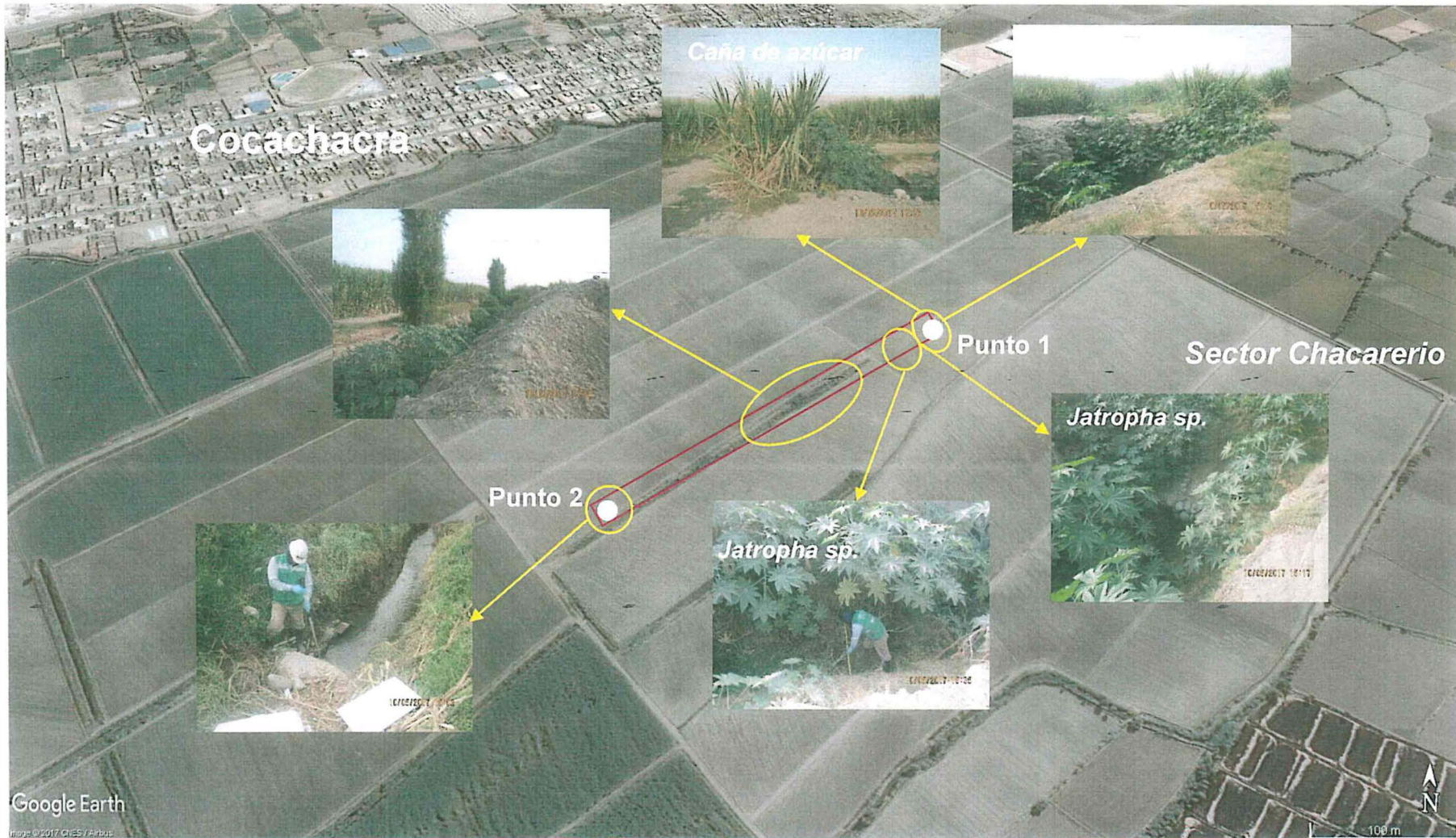


Figura 10-30. Esquema de la ubicación del manantial Santo Domingo



Handwritten signature and date: 26/11/2017

- 457. De acuerdo a lo observado de la Figura 10-30, en la naciente del manantial Santo Domingo (siendo la longitud total del canal de 394 m) se observan plantaciones de caña de azúcar. Los primeros 10 m desde su naciente (punto 1) están cubiertos principalmente de arbustos del género *Jatropha sp.* de 1,5 a 2 m junto con otros arbustos de menor tamaño y pasto o césped en proceso de marchitamiento debido a la temporada seca.
- 458. En el tramo del canal del manantial Santo Domingo, a partir de los 10 m de su naciente hasta 5 m antes de llegar a la parte final del canal (punto 2), se observó mayor cantidad de vegetación arbustiva y arbórea, y finalmente predomina la vegetación herbácea con restos de caña cortada en el punto 2.
- 459. De otro lado, en los primeros 6 m del manantial Santo Domingo, se calculó las dimensiones de 4 secciones transversales (ancho y altura) del canal del manantial Santo Domingo y 3 secciones transversales (ancho y profundidad) del agua que recorre el canal (ver Figura 10-31).

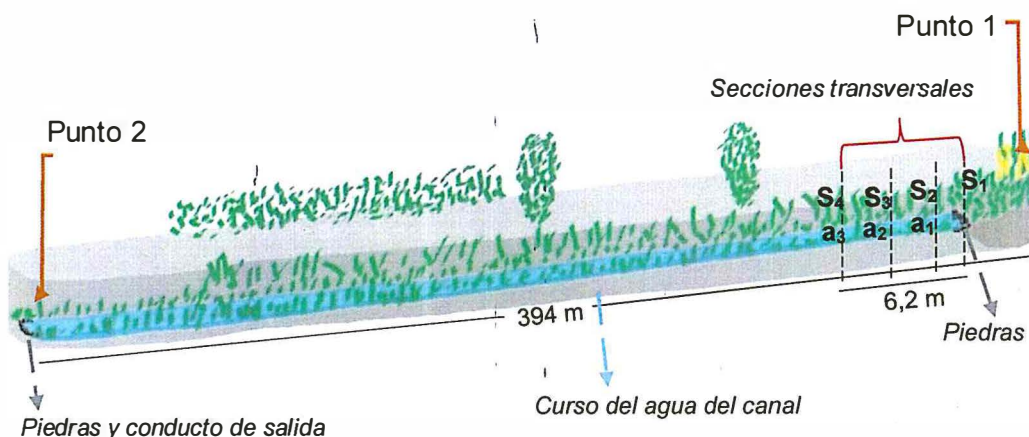


Figura 10-31. Esquema del canal y el curso del agua del manantial Santo Domingo

- 460. Con respecto a lo anterior, las cuatro secciones transversales del canal fueron determinados a una cierta distancia de la sección inicial (S₁), cuyos resultados se indican en la Tabla 10-15.

Tabla 10-15. Resultados de las secciones transversales del canal

Nombre	Sección (S)	Distancia del punto de origen	Altura	Ancho
		M		
Canal del manantial Santo Domingo	1	0,0	1,35	3,97
	2	0,5	1,73	5,65
	3	4,3	2,70	4,40
	4	6,2	2,70	5,38

- 461. Con respecto a las 3 secciones transversales del agua que recorre el canal del manantial Santo Domingo, fueron determinadas a las mismas distancias que los canales, cuyos resultados se indican en la Tabla 10-16.

[Handwritten signature and initials]

Tabla 10-16. Resultados de las secciones transversales del agua del canal del manantial Santo Domingo

Nombre	Sección (a)	Distancia del punto de origen	Profundidad	Ancho
		M		
Agua del canal del manantial Santo Domingo	1	0,5	0,016	0,170
	2	4,3	0,010	0,080
	3	6,2	0,030	0,100

462. En la naciente del manantial Santo Domingo, el afloramiento del agua está protegido por piedras ovaladas acuñadas por el río, el cual está cubierto de pasto o césped en proceso de marchitamiento y arbustos del género *Jatropha sp.* Asimismo, se observan algas filamentosas de color verde flotando debido al poco flujo de agua (caudal) que permite su crecimiento (ver Fotografía 10-9).



Fotografía 10-9. Naciente del manantial Santo Domingo

463. En el agua de dicho afloramiento, se registraron pequeños peces del género *Poecilia sp.* (ver Fotografía 10+10). Estos peces son usados en los acuarios (ornamentales) y son muy tolerantes a la temperatura (20 a 30 °C), viviendo a bajas concentraciones de oxígeno disuelto y pH de 5,5 a 8,5; por lo que pueden colonizar diversos ambientes (Meffe, G. K. and Snelson, F.F., 1989).



Fotografía 10-10. Peces del género *Poecilia sp.* en el manantial Santo Domingo



Handwritten blue text on the left margin: 'l', 'B', 'A', 'K', '7', 'd'.

10.2. Calidad de sedimentos

464. Para una mejor comprensión de este capítulo, se consideró evaluar los resultados de los siete puntos de muestreo del río Tambo y de los siete puntos de las lagunas del SNLM en conjunto. La ubicación de dichos puntos puede verse en el Anexo C5. Registro fotográfico.

10.2.1. Evaluación de la calidad ambiental

465. En esta subsección se muestran las concentraciones de los metales pesados, incluyendo al metaloide arsénico, las cuales excedieron referencialmente los valores establecidos en la Guía Canadiense (CEQG-SQG).
466. De acuerdo a lo indicado en la Figura 10-32, en cinco puntos de muestreo del río Tambo y siete puntos de las lagunas del SNLM, se registraron concentraciones de arsénico que excedieron el valor PEL de la CEQG-SQG. Dichos puntos fueron: RTamb7 (anexo El Carrizal), RTamb2 (altura del Puente Santa Rosa), RTamb4, RTamb5 y RTamb6; así como los puntos ubicados las lagunas Mejía, Iberia y Boquerón.
467. En los puntos de muestreo RTamb1, (altura del huaro del centro poblado La Pascana) y RTamb3 (aguas arriba de la bocatoma de la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada-Mejía-Mollendo), se registraron concentraciones de arsénico que excedieron el valor ISQG de la CEQG-SQG.
468. Según lo observado en la Figura 10-33, la concentración de cadmio del punto RTamb5 (altura del Puente Freyre) excedió el valor ISQG, mientras los demás puntos de muestreo no excedieron el citado valor.
469. La Figura 10-34 muestra que en la laguna Boquerón y cuatro puntos del río Tambo (RTamb4, RTamb5, RTamb6 y RTamb7) se registraron concentraciones de cobre que excedieron el valor ISQG.
470. Finalmente, de acuerdo a lo observado en la Figura 10-35, la concentración de plomo del punto RTamb5 excedió el valor ISQG.



1
A
K
7
d

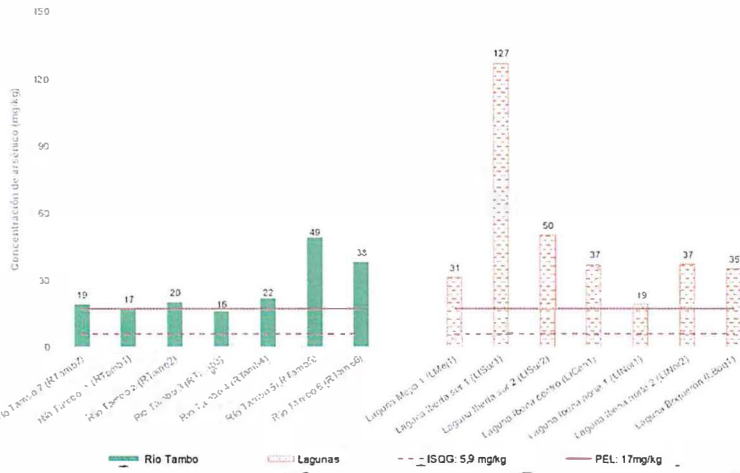


Figura 10-32. Resultados de arsénico en sedimentos del río Tambo y las lagunas del SNLM

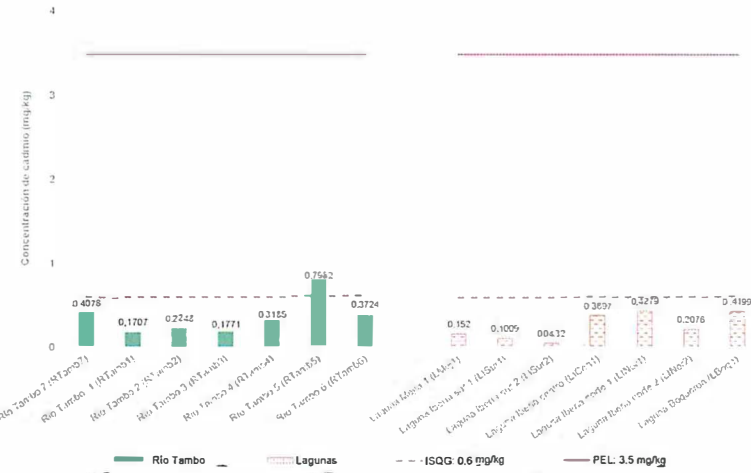


Figura 10-33. Resultados de cadmio en sedimentos del río Tambo y las lagunas del SNLM

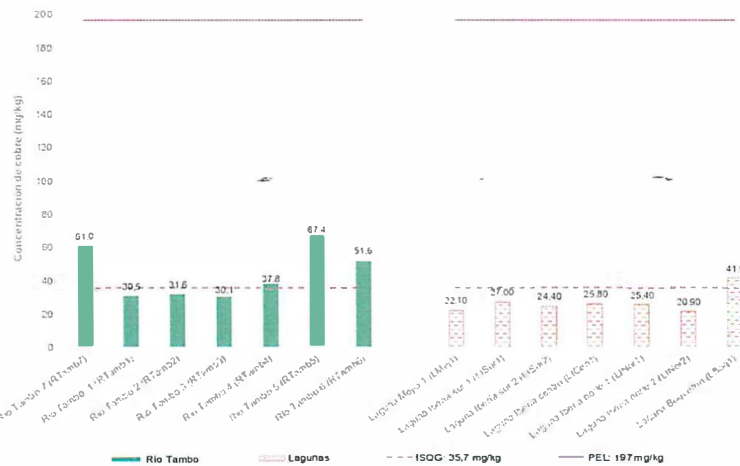


Figura 10-34. Resultados de cobre en sedimentos del río Tambo y las lagunas del SNLM

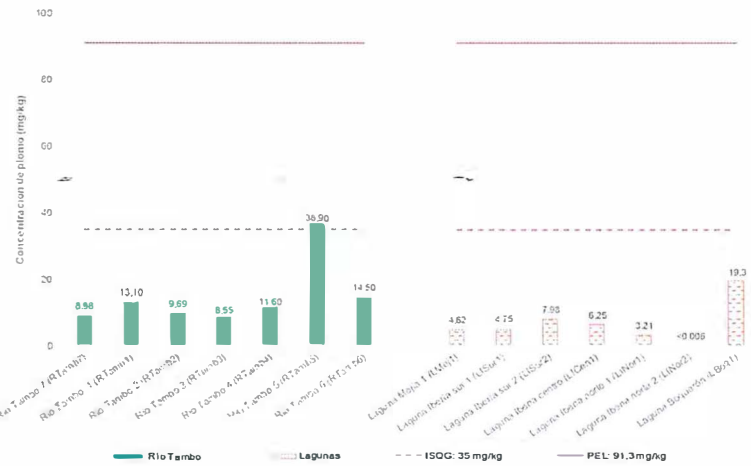


Figura 10-35. Resultados de plomo en sedimentos del río Tambo y las lagunas del SNLM



1
 R
 P
 A
 V
 2

10.2.2. Evaluación del comportamiento de los metales

471. En esta subsección, se realizó el Análisis de Factor (AF), previo tratamiento de los datos obtenidos (ver sección 8.2.1.1.), para determinar los agrupamientos de los metales (incluyendo los metaloides: antimonio, arsénico, boro) con mayores concentraciones en las lagunas del SNLM y el río Tambo. Dicha evaluación permitirá determinar las agrupaciones de los metales, cuyas concentraciones excedieron los valores establecidos en la Guía Canadiense (CEQG-WQG), con otros metales que se encuentran en los sedimentos.
472. Para la evaluación del Análisis de Factor (AF), ver Sección 8.2.1.2, no se consideraron los metales cuyas concentraciones, por debajo del límite de cuantificación, fuesen menores al 15 % del total de puntos de muestreo según el método establecido por la EPA. De esa manera, se excluyeron los metales berilio, bismuto, mercurio, plata y talio, para las evaluaciones posteriores.
473. Seguidamente, se realizó la prueba o test de normalidad de Shapiro-Wilks sobre los metales restantes (antimonio, cerio, cobalto, fósforo, hierro, níquel, sodio y zinc), obteniéndose que el p-valor fueron mayor a 0,05 (95 % de confianza) en nueve metales (ver Tabla C1.3 del Anexo C).
474. En relación a lo anterior, se aplicó la transformación de Box-Cox en todos los metales para obtener datos con distribución normal univariada y así realizar el AF, se obtuvo un p-valor menor a 0,05 en cuatro metales (ver Tabla C1.3 del Anexo C). De dicho grupo de metales, se consideró para la evaluación del AF al calcio (p-valor: 0,03933) por ser de importancia para la evaluación y tener un p-valor cercano a 0,05 y no se consideraron al estaño, selenio y torio.
475. Posteriormente, se realizó el AF sobre 27 metales, por el cual se obtuvo cuatro varifactores o grupos de metales con una explicación de datos o varianza de 87,5 % (ver Tabla C1.4 del Anexo C); tomando en cuenta el criterio de Kaiser o del eigenvalor mayor a 1, registrando los agrupamientos de los parámetros (cargas o loadings) y las influencias de los factores para cada punto de muestreo (puntuaciones o scores) indicadas en las Tablas C1.5 y C1.6 del Anexo C respectivamente.
476. Según las Tablas 10-17, 10-18, 10-19 y 10-20, los metales antimonio, bario, cobre, cerio, uranio y wolframio no se encuentran asociados fuertemente a ninguno de los cuatro varifactores debido a que el valor absoluto de las cargas (loadings) no fueron mayores a 0,7 (fuerte influencia).
477. No obstante, estos metales se incluyen en algún varifactor de acuerdo a las cargas de influencia moderada (entre 0,5 y 0,7), por lo que tenemos lo siguiente:
- Varifactor 1: Antimonio
 - Varifactor 3: Cobre.
 - Varifactores 2 y 3: Cerio, uranio y wolframio.
 - Varifactor 4: Bario.
478. En tanto, los metales cadmio y zinc tienen fuerte influencia en el Varifactor 1 y influencia moderada en el Varifactor 3.



Handwritten signature in blue ink, possibly reading 'A K 7 d'.



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-17. Resultados de los agrupamientos mediante el análisis de factor para el Varifactor 1

Punto de muestreo	Unidad	Varifactor1							
		Cobalto	Cromo	Fósforo	Hierro	Titanio	Vanadio	Níquel	Antimonio*
Río Tambo 1	mg/kg	7,09	9,5	669	17 033	660	55	7,71	0,9395
Río Tambo 2		7,66	9,1	564	16 465	647	54	7,9	0,9607
Río Tambo 3		8,04	13	600	21 607	874	79	8,53	0,9313
Río Tambo 4		7,7	10	575	17 366	666	57	8,11	1,033
Río Tambo 5		11,8	15	701	24 936	493	64	13,6	2,04
Río Tambo 6		8,56	13	684	21 760	714	68	9,93	1,29
Río Tambo 7		15,8	24	860	39 062	1 506	138	12,9	1,45
Laguna Mejía		6,36	9,9	720	16 375	735	57	5,79	<0,0017
Laguna Iberia sur 1		13,4	22	859	35 001	1 563	114	11,5	2,436
Laguna Iberia sur 2		14,1	26	866	43 117	1 636	154	12,2	1,167
Laguna Centro		7,68	12	816	20 707	839	83	6,78	0,3347
Laguna Iberia norte 1		4,84	8,7	579	10 723	492	44	5,65	<0,0017
Laguna Iberia norte 2		3,18	7,3	400	5 070	233	35	3,14	0,0486
Laguna Boquerón		15,9	26	884	39 270	1 440	137	14,3	0,9274

*Metal que tiene influencia moderada con el varifactor (valor de carga entre 0,5 y 0,7)

: Concentración de puntos de muestreo agrupados por el Análisis de Factor.

: Concentración mayor en al menos el valor de un punto de muestreo agrupado por el Análisis de Factor.

Tabla 10-18. Resultados de los agrupamientos mediante el análisis de factor para el Varifactor 2

Punto de muestreo	Unidad	Varifactor 2							
		Boro	Calcio	Estroncio	Molibdeno	Sodio	Litio	Magnesio	Arsénico
Río Tambo 1	mg/kg	3,57	8 036	42	0,85	490	7,13	3 695	17
Río Tambo 2		4,01	7 358	43	0,8	546	7,67	3 939	20
Río Tambo 3		3,9	7 368	40	0,71	499	7,14	3 747	16
Río Tambo 4		4,79	8 002	47	0,837	633	7,46	3 623	22
Río Tambo 5		~11,5*	12 657*	~97*	1,55*	1 165*	19,7	6 641	49
Río Tambo 6		6,57	9 806	62	0,849	1 071	10,2	4 442	38
Río Tambo 7		5,1	8 934	41	0,637	496	7,56	4 496	19
Laguna Mejía		34,9	43 785	250	3,91	1 575	8,86	4 237	31
Laguna Iberia sur 1		42,9	29 547	171	17,4	1 815	13,3	5 646	127
Laguna Iberia sur 2		20,2	38 682	194	4,16	1 465	11,5	4 555	50
Laguna Centro		51,2	96 123	607	9,41	2 517	16,4	8 019	37
Laguna Iberia norte 1		28,4	76 049	359	6,49	1 574	7,99	4 509	19
Laguna Iberia norte 2		64,7	>100 000	1 308	5,92	2 960	10,2	7 275	37
Laguna Boquerón		19,9	18 229	105	2,25	2 203	19,7	6 920	35

*Negrita y cursiva es el punto de muestreo del río Tambo con mayor concentración

: Concentración de puntos de muestreo agrupados por el Análisis de Factor.

: Concentración mayor en al menos el valor de un punto de muestreo agrupado por el Análisis de Factor.

Tabla 10-19. Resultados de los agrupamientos mediante el análisis de factor para el Varifactor 3 y Varifactores 1 y 3

Punto de muestreo	Unidad	Varifactor 3				Varifactor 1 y 3	
		Aluminio	Plomo	Potasio	Cobre*	Cadmio***	Zinc***
Río Tambo 1	mg/kg	5 888	13,1	758	30,5	0,1707	46,1
Río Tambo 2		6 341	9,69	852	31,6	0,2248	49,4
Río Tambo 3		5 970	8,55	809	30,1	0,1771	51,6
Río Tambo 4		6 247	11,6	821	37,8	0,3185	56,4
Río Tambo 5		14 223	36,9	1 958	67,4	0,7982	121
Río Tambo 6		8 365	14,5	1 169	51,6	0,3724	74,4
Río Tambo 7		6 509	8,98	788	61,0	0,4078	92,9
Laguna Mejía		4 628	4,62	995	22,1	0,1520	37,2
Laguna Iberia sur 1		6 238	4,75	1 132	27,0	0,3697	74,8
Laguna Iberia sur 2		6 292	7,98	1 228	24,4	0,4279	84,4
Laguna Centro		5 859	6,25	1 120	25,8	0,2076	45,3
Laguna Iberia norte 1		4 054	3,21	1 059	25,4	0,1009	28,5
Laguna Iberia norte 2		2 123	<0,006	607	20,9	0,0432	15
Laguna Boquerón		10 167	19,3	1 910	41,5	0,4199	99,8

*Metal que tiene fuerte influencia (valor de carga mayor a 0,7) con el Varifactor 1.

**Metal que tiene influencia moderada (valor de carga entre 0,5 y 0,7) con el Varifactor 3.

: Concentración de puntos de muestreo agrupados por el Análisis de Factor.

: Concentración mayor en al menos un valor cuyo punto de muestreo esta agrupado por el Análisis de Factor.

Tabla 10-20. Resultados de los agrupamientos mediante el análisis de factor para el Varifactor 4 y Varifactores 2 y 3

Punto de muestreo	Unidad	Varifactores 2 y 3			Varifactor 4	
		Cerio*	Uranio*	Wolframio*	Manganeso	Bario*
Río Tambo 1	mg/kg	18,26	0,3417	0,1078	291	69,4
Río Tambo 2		18,53	0,3087	0,1505	328	76,3
Río Tambo 3		18,52	0,4570	0,1119	311	92,9
Río Tambo 4		17,46	0,3833	0,1259	301	89,7
Río Tambo 5		26,61	0,7005	0,1284	582	200
Río Tambo 6		19,74	0,4434	0,1493	376	154
Río Tambo 7		15,43	0,1105	0,1073	449	78,3
Laguna Mejía		7,962	0,047	0,0791	307	56,4
Laguna Iberia sur 1		8,675	0,1067	0,058	405	56
Laguna Iberia sur 2		7,884	0,1248	<0,0017	443	68,9
Laguna Centro		6,432	0,0615	0,0246	379	78,9
Laguna Iberia norte 1		4,925	0,0305	0,1649	294	71,1
Laguna Iberia norte 2		0,0428	0,0199	<0,0017	560	95,1
Laguna Boquerón		15,75	0,1176	0,1341	558	82,1

*Metal que tiene influencia moderada (valor de carga entre 0,5 y 0,7) con los varifactores 2 y 3.

: Concentración de puntos de muestreo agrupados por el Análisis de Factor.

: Concentración mayor en al menos un valor cuyo punto de muestreo esta agrupado por el Análisis de Factor.

479. Con respecto a los metales que tuvieron valores absolutos de las cargas (*loadings*) mayores a 0,7 (fuerte influencia), se tiene que están agrupados de la siguiente manera:

- Varifactor 1: Cobalto, cromo, fósforo, hierro, níquel, titanio y vanadio.
- Varifactor 2 (negativo): Boro, calcio, estroncio, litio, magnesio, molibdeno, sodio y arsénico.
- Varifactor 3: Aluminio, plomo y potasio.
- Varifactor 4: Manganeso.

480. Los cuatro varifactores influyen en los siguientes puntos de muestreo evaluados:

- Varifactor 1: RTamb7 (anexo "El Carrizal") del río Tambo y las lagunas Iberia sur y Boquerón.
- Varifactor 2: Lagunas del SNLM (excepto magnesio en la laguna Mejía y arsénico en laguna Iberia norte 1).
- Varifactor 3: RTamb5 (altura del "Puente Freyre"), RTamb6 (300 antes de la desembocadura en el mar) y laguna Boquerón.
- Varifactor 4: RTamb5, RTamb6, RTamb7 y laguna Iberia norte 2.
- Varifactores 2 y 3: Río Tambo y la laguna Boquerón.

481. Algunos metales con valor de carga mayor a 0,7 (fuerte influencia de cada varifactor) no cumplen con el agrupamiento debido a que registran los siguientes puntos de muestreo con mayor concentración que aquellos agrupados por el AF:

- Varifactor 1 para níquel en el punto de muestreo RTamb5 del río Tambo.
- Varifactor 2 en RTamb5 para litio, magnesio y arsénico, y en RTamb6 para litio y arsénico.
- Varifactor 3 para potasio en la laguna Iberia sur 2.
- Varifactor 4 para manganeso en la laguna Boquerón.

482. Para el caso de los metales cuyo valor de carga fue mayor a 0,5 y menor a 0,7 (influencia moderada), en los siguientes puntos de muestreo se registraron concentraciones de metales mayores a aquellos metales agrupados por el AF:

- Antimonio, para el varifactor 1, en el punto de muestreo RTamb5.
- Cobre para el varifactor 3 en RTamb7.
- Cadmio y zinc para el varifactor 1 y 3, en RTamb7.
- Uranio y wolframio, para los varifactores 2 y 3, en las lagunas Iberia sur 2 y norte 1, respectivamente.

483. En relación a las concentraciones de los metales que excedieron los valores ISQG y PEL establecidos por la guía canadiense (CEQG-SQG), y tomando en cuenta los varifactores (grupos) resultantes del AF indicados en las Tablas 10-17 a 10-20, en las Figuras 10-36 a 10-39 se muestra la distribución espacial de concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y adicionalmente el boro por la importancia de la evaluación; cuyas mayores concentraciones de los metales se registraron en los siguientes cuerpos de agua superficial:

- Arsénico: Lagunas del SNLM (excepto Laguna Iberia norte 1) y puntos de muestreo RTamb5 y RTamb6 del río Tambo (ver Figura 10-36).
- Cadmio: Lagunas Iberia sur y Boquerón y puntos de muestreo RTamb5, RTamb6 y RTamb7 del río Tambo (ver Figura 10-37).
- Cobre: Laguna Boquerón y puntos de muestreo RTamb5, RTamb6 y RTamb7 del río Tambo (ver Figura 10-38).
- Plomo: Laguna Boquerón y puntos de muestreo RTamb5 y RTamb6 del río Tambo (ver Figura 10-39).
- Boro: Lagunas del SNLM (ver Figura 10-40).

484. Para aquellos metales que no excedieron los valores ISQG o PEL, las Figuras del Anexo C2 muestran que las mayores concentraciones de níquel (ver Figura C2.7), zinc (ver Figura C2.8) y el cromo (ver Figura C2.9) y se registraron en las lagunas Iberia sur y Boquerón y el río Tambo en el anexo El Carrizal y a la altura del Puente



Handwritten blue signature or initials.



Freyre, mientras solamente el zinc en el río Tambo, 300 antes de la desembocadura en el mar.

485. Por otro lado, en las Figuras de los otros metales indicados en el Anexo C2. que no tienen valores establecidos por la guía canadiense (CEQG-SQG), se indica la distribución de las concentraciones de los metales aluminio (ver Figura C2.5), hierro (ver Figura C2.6), cerio (ver Figura C2.10), uranio (ver Figura C2.11), bario (ver Figura C2.12) y manganeso (ver Figura C2.13).
486. En resumen, podemos resaltar que el boro tiene el mismo comportamiento que el calcio, estroncio, molibdeno y sodio (metales relacionados a la salinidad), los cuales registraron mayores concentraciones en las lagunas del SNLM.
487. Mientras el cerio, uranio y wolframio registraron mayores concentraciones en el río Tambo y las lagunas más cercanas al río Tambo (laguna Boquerón); adicionalmente en LINor2 para uranio y LINor1 para wolframio.



Handwritten signature and initials in blue ink.

Distribución de arsénico (mg/kg) en la cuenca Tambo y las lagunas del SNLM

Legenda

- As < 23 mg/kg
- As > 30 mg/kg
- Lagunas del SNLM
- Río Tambo



Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2017 DigitalGlobe
Image © 2017 CNES / Airbus

Figura 10-36. Distribución de concentraciones de arsénico en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM

MONITOREO Y VIGILANCIA
VOTO
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

Handwritten signature and date: 8/2/17



Handwritten signature in blue ink

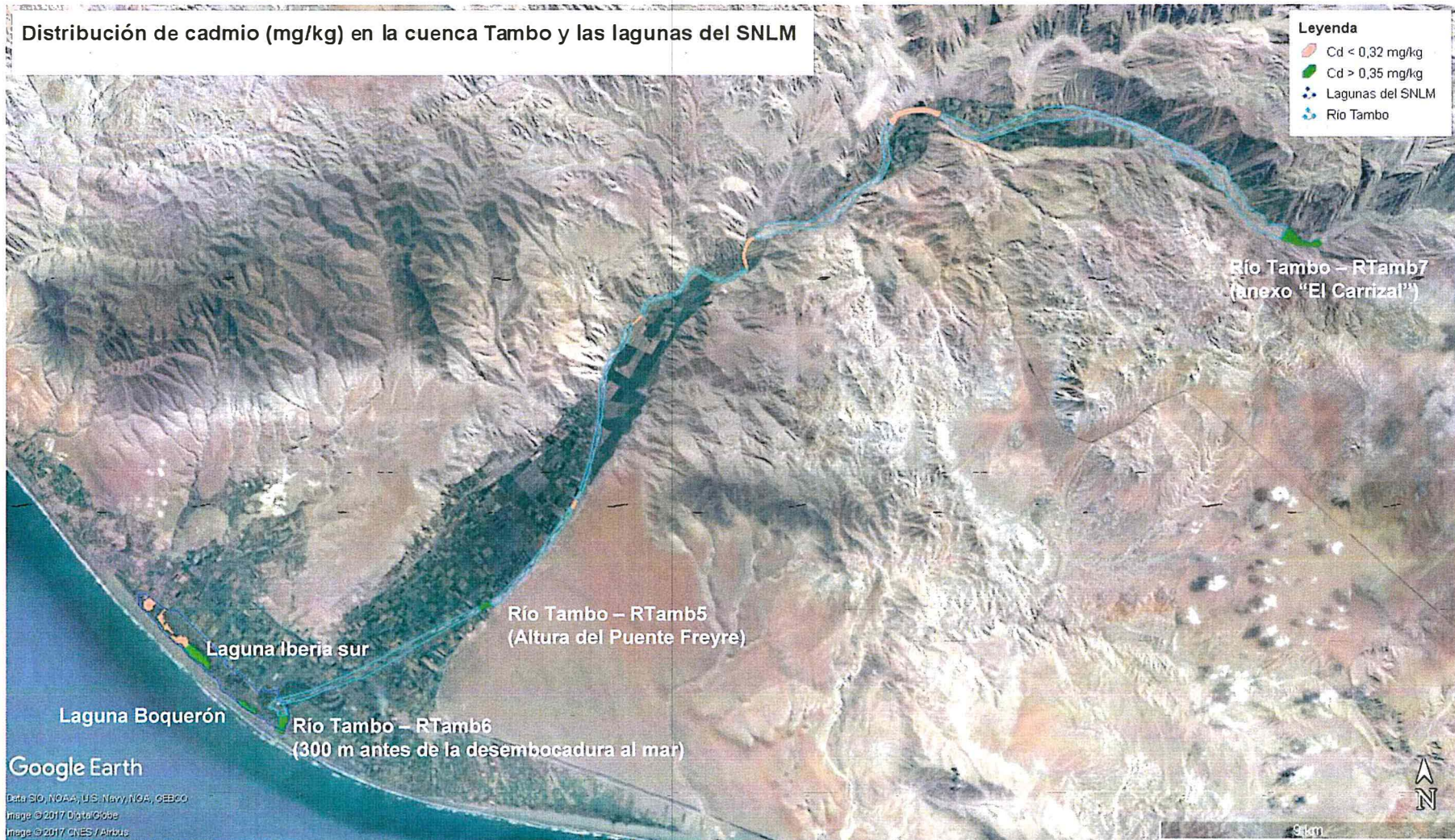


Figura 10-37. Distribución de concentraciones de cadmio en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM



Handwritten signature or initials in blue ink.



Figura 10-38. Distribución de concentraciones de cobre en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM



Handwritten signature in blue ink.

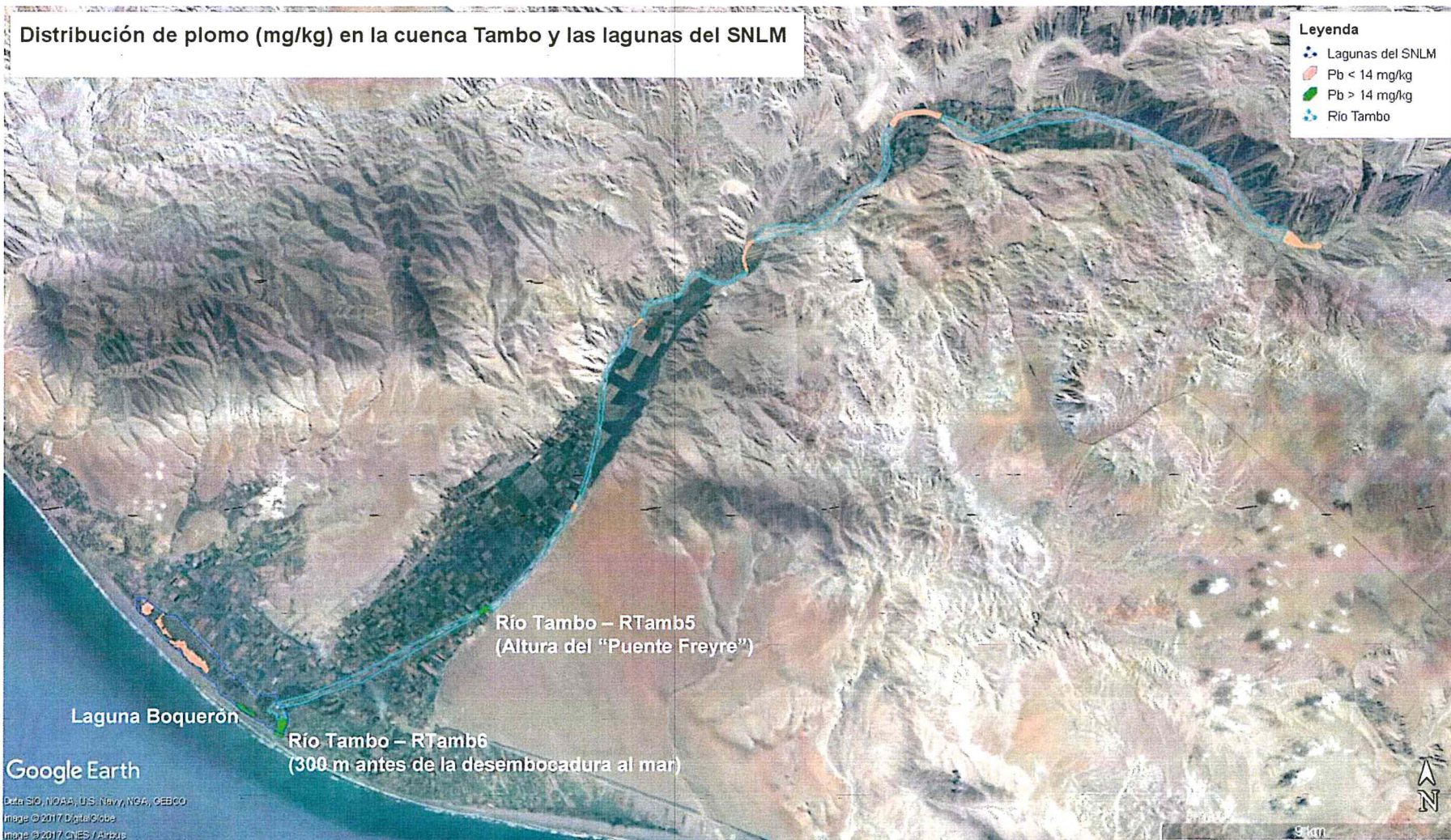


Figura 10-39. Distribución de concentraciones de plomo en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM

Distribución de boro (mg/kg) en la cuenca Tambo y las lagunas del SNLM



Figura 10-40. Distribución de concentraciones de boro en sedimentos en la cuenca del río Tambo y lagunas del SNLM



[Handwritten signatures and initials in blue ink]

10.3. Comunidades hidrobiológicas

488. En esta sección se presentan y analizan los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología descrita, con el propósito de alcanzar los objetivos planteados en lo que respecta a las comunidades hidrobiológicas.
489. Se realizó la evaluación de las comunidades hidrobiológicas de acuerdo al tipo de ambiente evaluado. En ambiente lótico, se consideró los puntos de muestreo del río Tambo y se tomaron 7 muestras de perifiton (microalgas y microorganismos), 7 de macroinvertebrados bentónicos, 7 de peces y 2 de camarones. Por otro lado, en ambiente léntico se consideró a los puntos de muestreo en el SNLM y se tomaron en cuenta las comunidades de plancton (7 fitoplancton y 7 zooplancton), 7 de macroinvertebrados bentónicos y 7 de peces. Es preciso indicar que, en el caso de peces en el río Tambo y en el SNLM se intentó la pesca; sin embargo, no se obtuvo éxito en la captura.
490. En la Tabla 10-21 se presentan las comunidades hidrobiológicas colectadas en cada punto de muestreo. Las imágenes referentes a dichos puntos se presentan en el Anexo D3. Registro fotográfico.

Tabla 10-21. Comunidades hidrobiológicas evaluadas por punto de muestreo

Punto de muestreo			Muestreo de comunidades hidrobiológicas					Metales en camarones
			Fito	Zoo	Perifiton	MIB	Peces	
1	Río Tambo	RTamb 7	--	--	X	X	*	--
2		RTamb 1	--	--	X	X	*	--
3		RTamb 2	--	--	X	X	*	--
4		RTamb 3	--	--	X	X	*	--
5		RTamb 4	--	--	X	X	*	X
6		RTamb 5	--	--	X	X	*	X
7		RTamb 6	--	--	X	X	*	--
8	Santuario Nacional Lagunas de Mejía	LMej 1	X	X	--	X	*	--
9		LINor 1	X	X	--	X	*	--
10		LINor 2	X	X	--	X	*	--
11		LICen 1	X	X	--	X	*	--
12		LISur 1	X	X	--	X	*	--
14		LISur 2	X	X	--	X	*	--
15		LBoq 1	X	X	--	X	*	--

Nota: (–): No evaluado. Fito: Fitoplancton. Zoo: Zooplancton. MIB: Macroinvertebrados bentónicos (*): Se intentó la pesca, pero no hubo captura de peces.

10.3.1. Plancton

10.3.1.1. Fitoplancton

- Composición, riqueza y abundancia de especies

491. La comunidad de fitoplancton estuvo compuesta por 27 especies, 19 familias, 17 órdenes y 9 clases distribuidas en 6 phyla: Bacillariophyta con 11 especies, Cyanobacteria con 6 especies, Chlorophyta con 5 especies, Euglenophyta con 3 especies, y Charophyta y Miozoa con 1 especie cada una. El registro completo se detalla en el Anexo D4.1.
492. La riqueza de microalgas en los puntos de muestreo ubicados en el SNLM se detalla en la Figura 10-41. La riqueza varió desde 6 especies en el punto LMej 1



A
K
7
2

hasta 14 especies en el punto LINor 1. Además, en los puntos LISur 1 y LBoq 1 se observaron 9 especies. La mayor riqueza correspondió a los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria en la mayoría de los puntos de muestreo.

- 493. La mayor composición a nivel de phyla se observó en la laguna Iberia norte (puntos LINor1 y LInor2) que presentó 5 de los seis phyla registrados en la zona de estudio. Por otro lado, la menor composición se registró en los puntos LMej 1, LICen 1, LISur 2 y LBoq 1 encontrándose 3 phyla en cada punto.
- 494. Se observa que la riqueza de microalgas en cada punto es variable; posiblemente estén asociadas a la incidencia de la luz solar en el agua, lo que influye fuertemente en la proliferación de ciertas especies, en especial el phyla Chlorophyta.

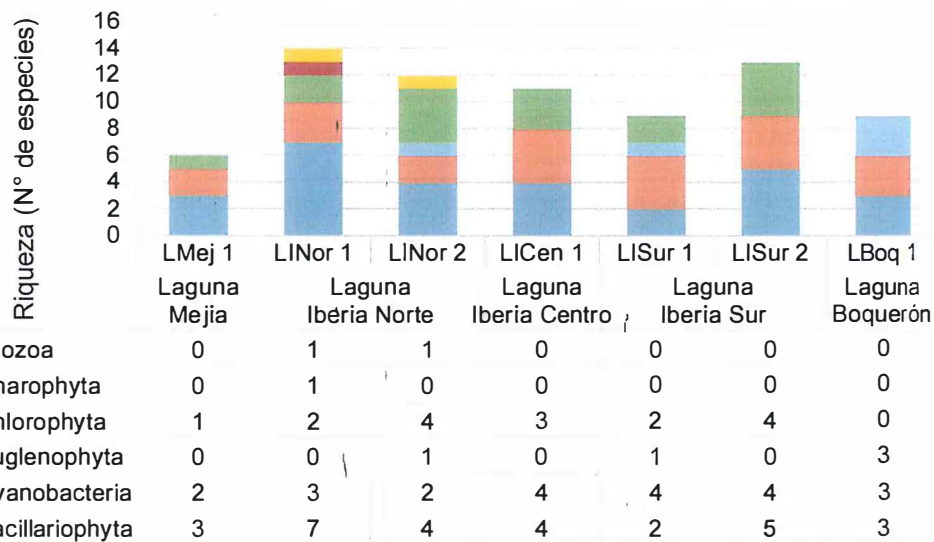


Figura 10-41. Composición y riqueza de fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM

- 495. La abundancia total del fitoplancton fue de 12 234 org. En la Figura 10-42 se aprecia que la abundancia del fitoplancton está compuesta principalmente por 3 phyla, Chlorophyta, Cyanobacteria y Bacillariophyta, donde el phylum Chlorophyta fue el más abundante con 7 570 org, encontrándose que en el punto LINor 2 se registró la mayor abundancia con 3 942 org. Asimismo, en este mismo punto se registró la mayor abundancia con 4 035 org.
- 496. Por otro lado, los phyla Cyanobacteria y Bacillariophyta registraron una abundancia de 2722 y 1936 org, respectivamente. En general, los phyla Cyanobacteria y Chlorophyta tienden a ser dominantes en la Laguna Iberia (norte, centro y sur).
- 497. Se observa una gran abundancia del phylum Clorophyta en el punto LINor 2, en especial la especie *Ankistrodesmus cf. acicularis*, lo que podría estar asociado a una alta cantidad de nutrientes y desencadenaría en un ambiente eutrofizado.

VOTO

498. Es importante indicar que las especies más abundantes fueron *Ankistrodesmus* cf. *acicularis* con 7 472 org, seguido de *Nitzschia* sp. con 1 713 org, una Cyanobacteria no identificada con 1 590 org. y *Merismopedia* sp. con 1 020 org.

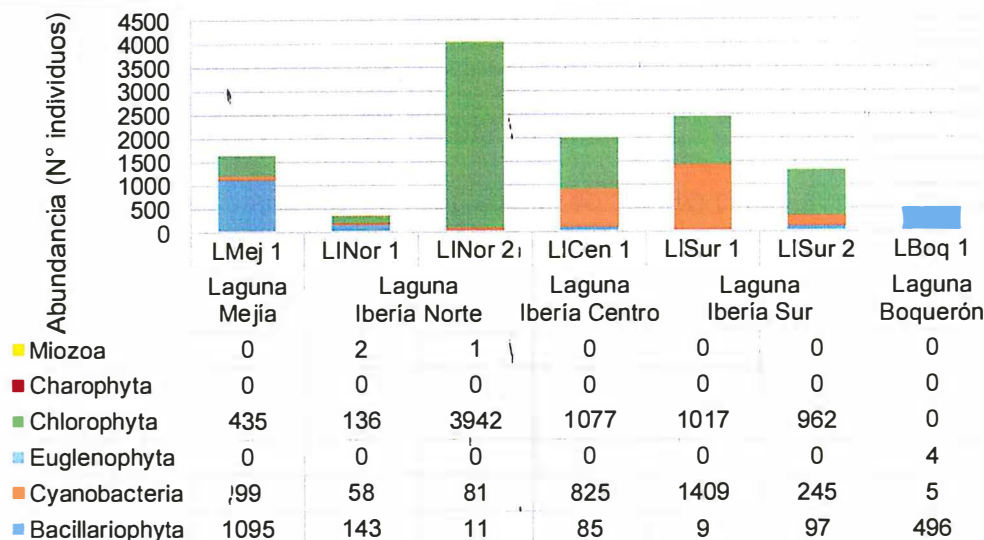


Figura 10-42. Abundancia de fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM

• Diversidad alfa

499. En base a los resultados de diversidad y abundancia, en la Tabla 10-22 se detallan los valores de equidad de Pielou y los índices de diversidad de Hill (N1 y N2) para cada punto de muestreo.

500. Los valores de la equidad de Pielou variaron desde 0,1 (LINor 2) hasta 0,6 (LMej 1), lo cual indica valores bajos de equidad; por ende, tienen una distribución heterogénea de abundancia de organismos por punto de muestreo.

501. El número de Hill N1 varió desde 1,2 especies efectivas en el punto LINor 2 hasta 4,2 especies efectivas en LINor1. Por otro lado, el número de Hill N2 varió desde 1,1 hasta 3,3 especies efectivas en los mismos puntos de muestreo antes mencionados. En el punto LINor 2 se observó la dominancia de la clorofita *Ankistrodesmus* cf. *acicularis* y en LINor 1 se presentaron 3 especies dominantes (*Nitzschia* sp., *Ankistrodesmus* cf. *acicularis* y *Phormidium* sp.).

Tabla 10-22. Diversidad alfa del fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM

Diversidad / puntos de monitoreo	J'	N1	N2
LMej 1	0,6	2,7	2,1
LINor 1	0,5	4,2	3,3
LINor 2	0,1	1,2	1,1
LICen 1	0,5	3,0	2,5
LISur 1	0,5	3,2	3,0
LISur 2	0,4	2,6	1,8
LBoq 1	0,3	2,0	1,6

■ : Valores máximos de índices de diversidad alfa

■ : Valores mínimos de índices de diversidad alfa



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

- Diversidad beta

502. El análisis de similaridad de Bray Curtis se llevó a cabo con el uso del software PAST (PALEontological STATistics) procediéndose a elaborar un diagrama de cluster, cuyos resultados se detallan en la Figura 10-43.
503. De acuerdo con dicho gráfico, se observa la formación de dos agrupaciones con una similitud del 50 %, conformado por los puntos de la laguna Iberia y Mejía (LISur 1, LISur 2, LICen 1, LINor1, LINor 2 y LMej 1) y la laguna Boquerón (LBoq 1) evidenciándose que la composición de especies de fitoplancton encontradas en la Laguna de Mejía (LMej 1) están bastante relacionadas con la composición de especies de la laguna Iberia (LICen 1, LISur 1, LISur 2, LINor1 y LINor 2); mientras que con respecto a la laguna Boquerón (LBoq 1) son bastante diferentes.
504. Por otro lado, se observa una segunda agrupación con una similitud del 75% y lo conforman los puntos de muestreo LICen 1, LISur 1, LISur 2. En cuanto a las especies de fitoplancton, las especies también guardan una similitud de hasta un 50% con los otros tres puntos LMej 1, LINor1 y LINor 2, lo que estaría reflejando la presencia de un canal que posiblemente separan a estos puntos de muestreo. Todos estos puntos de muestreo son más disímiles con el punto LBoq 1, ubicado en la laguna Boquerón ya que es el punto más alejado y podría guardar mayor relación con la desembocadura del río.

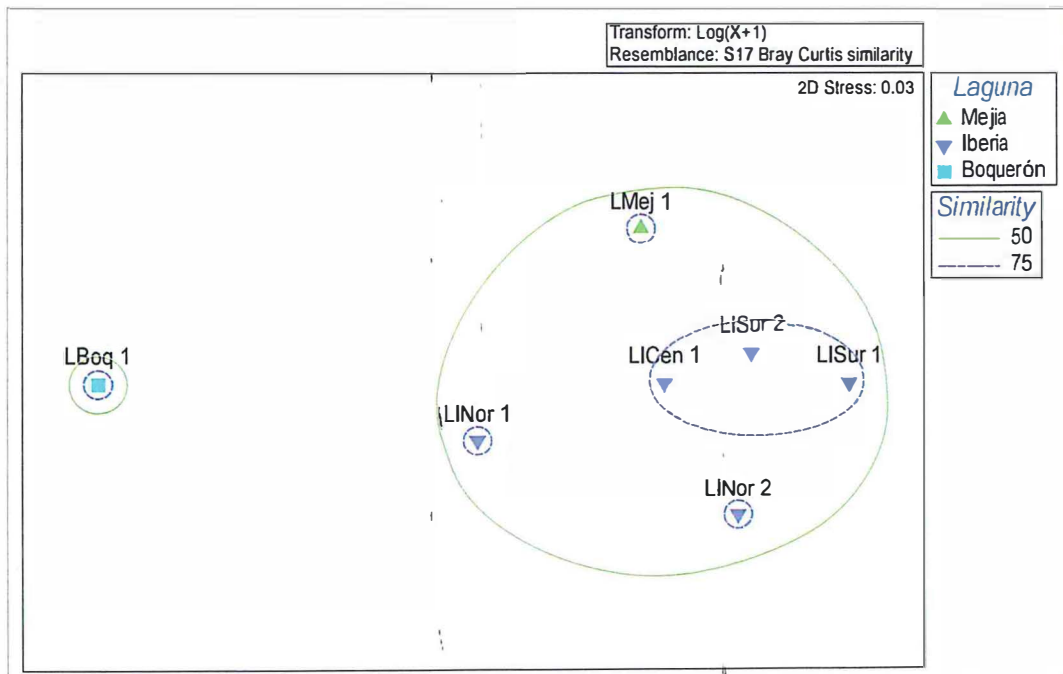


Figura 10-43. Similitud de Bray Curtis del fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM

- Análisis de correspondencia canónica (ACC)

505. Se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) para determinar las variables abióticas que se estarían relacionando con la distribución de especies y que se consignan en la Tabla 10-23.



AK 7 2

506. Las especies muestran una varianza acumulada explicada de 93,71 %. Las especies que se relacionaron significativamente con el Eje 1 fueron *Nitzschia sp.*, *Plagiotropis sp.*, *Cyclotella sp.*, *Scenedesmus sp.* y están más relacionadas con el pH, temperatura y oxígeno; mientras que *Nitzschia cf. reversa*, *Merismopedia sp.*, *Chroococcus sp.*, Cyanobacteria (no identificada a nivel de especie), *Anabaena sp.*, *Phacus sp.* y *Ankistrodesmus cf. acicularis* se relacionaron con el Eje 2 y la conductividad.

Tabla 10-23. Resumen de análisis de variables extraídos de Análisis de Correspondencia Canónica en los puntos de muestreo del SNLM

Análisis de especies y parámetros		Eje 1	Eje 2
Valor propio (Eigenvalue)		0,45	0,19
Varianza de especies	Varianza explicada (%)	65,99	27,72
	Varianza acumulada explicada (%)	65,99	93,71
Especies	<i>Nitzschia sp.</i>	1,9997	0,387017
	<i>Nitzschia cf. reversa</i>	3,42247	5,33103
	<i>Plagiotropis sp.</i>	-0,999391	0,989404
	<i>Cyclotella sp.</i>	1,04498	-1,03136
	<i>Merismopedia sp.</i>	-1,23883	1,45579
	<i>Chroococcus sp.</i>	-0,830745	1,51341
	<i>Cyanobacteria 1 ND</i>	-1,12289	1,28234
	<i>Anabaena sp.</i>	0,532724	2,29987
	<i>Phacus sp.</i>	2,2903	4,24341
	<i>Scenedesmus sp.</i>	0,412107	-0,0449268
	<i>Ankistrodesmus cf. acicularis</i>	-0,117769	-0,654902
Puntos de muestreo	LMej_1	1,20451	0,121093
	LISur_1	-0,720004	0,516707
	LISur_2	-0,154593	-0,180325
	LICen_1	-0,44998	0,217114
	LINor_1	0,94044	0,0406787
	LINor_2	-0,127993	-0,607575
	LBoq_1	2,33105	1,58296
Parámetros fisicoquímicos	pH	-0,641245	-0,0342734
	Temperatura	-0,53776	0,186395
	Oxígeno Disuelto	-0,81741	-0,396364
	Conductividad	0,0556993	0,475641

507. En la Figura 10-44 se observa que el eje 1 se relaciona con el pH, temperatura y oxígeno disuelto; mientras que el eje 2 está más relacionado con la conductividad.

508. En cuanto a especies, tenemos que la especie *Plagiotropis sp.* se relaciona directamente con el pH, temperatura y oxígeno disuelto; es decir que a medida que el pH, oxígeno disuelto y temperatura disminuyen, la especie también disminuye y de manera inversa. Por otro lado, se observó que *Nitzschia sp.* esta bastante relacionada con el eje 1 con un valor de 1,99 registrandose una relación inversa con la concentración de oxígeno disuelto; es decir, que a medida que la concentración de oxígeno disminuya la abundancia de *Nitzschia sp.* se incrementara.

509. Por otro lado, las especies *Nitzschia cf. reversa*, *Anabaena sp.*, *Chroococcus sp.*, *Merismopedia sp.* y *Phacus sp.* Cyanobacteria_1 se relacionan de manera positiva con la conductividad; es decir, si la conductividad aumenta estas especies aumentan, lo que podría indicar que estas son bastante tolerantes a aguas salinas por la concentración de metales; sin embargo, las especies *Ankistrodesmus cf. acicularis* y *Cyclotella sp.* están relacionadas de manera inversa con la conductividad, lo que nos indicaría que estas están presentes en aguas ligeramente salinas. Es importante indicar que el género *Cyclotella* está siendo usado como un indicador del incremento de acidificación en lagos (Battarbee, 1984).
510. Además, se observa que la laguna Boquerón está más relacionada con la conductividad. Por otro lado, los puntos de muestreo LISur 1, LISur 2, LICen 1 y LINor 2, se relacionan directamente con el pH y presentan aguas alcalinas; mientras que los puntos LNor 1 y LMej 1 se relacionan con pH ácido.

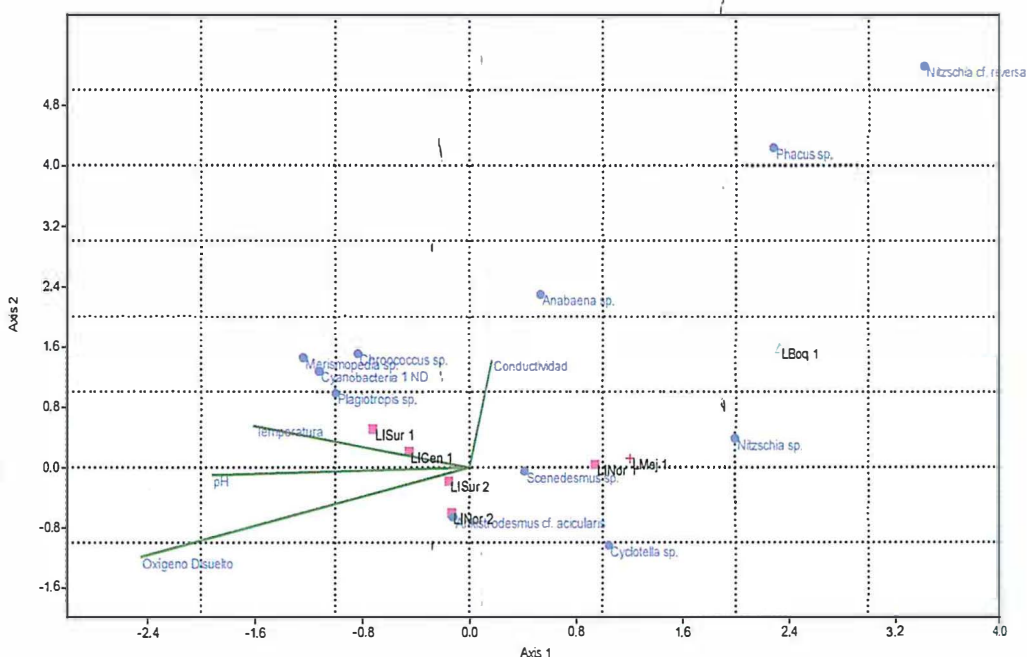


Figura 10-44. Análisis de correspondencia canónica del fitoplancton en los puntos de muestreo del SNLM

10.3.1.2. Zooplancton

- Composición, riqueza y abundancia de especies

511. La composición y riqueza de zooplancton en las muestras colectadas en las siete estaciones de muestreo del SNLM se detallan en la Figura 10-45. La comunidad del zooplancton estuvo compuesta por un total de 23 especies, pertenecientes a 14 familias, 9 órdenes y 6 clases distribuidas en 6 phyla: Rotífera con 13 especies, Arthropoda con 4 especies, Protozoa y Ciliophora con 2 especies cada una, Gastrotrichia y Nematoda con una especie cada una. Es importante indicar que 4 de estas especies han sido identificadas al menor nivel (phylum y clase) de acuerdo a la bibliografía. El registro completo se detallará en el Anexo D4.2.

y
 A
 K
 1
 R

512. La riqueza de especies en los puntos de muestreo varió desde 8 especies en los puntos LINor 2 y LISur 1 hasta 14 especies en el punto LMej 1. Los puntos de muestreo con riqueza \geq a 9 especies fueron: LBoq 1 con 9 especies, LISur 2 con 10 especies, LICen 1 con 12 especies y LINor 1 con 13 especies.
513. El máximo número de phyla observado por punto de muestreo fue de 5 en los puntos LMej1, LINor 1 y LCen1, mientras que el mínimo número se registró en los puntos LINor 2 y LBoq 1. El grupo de mayor frecuencia fueron los rotíferos, que se observaron en todos los puntos de muestreo.

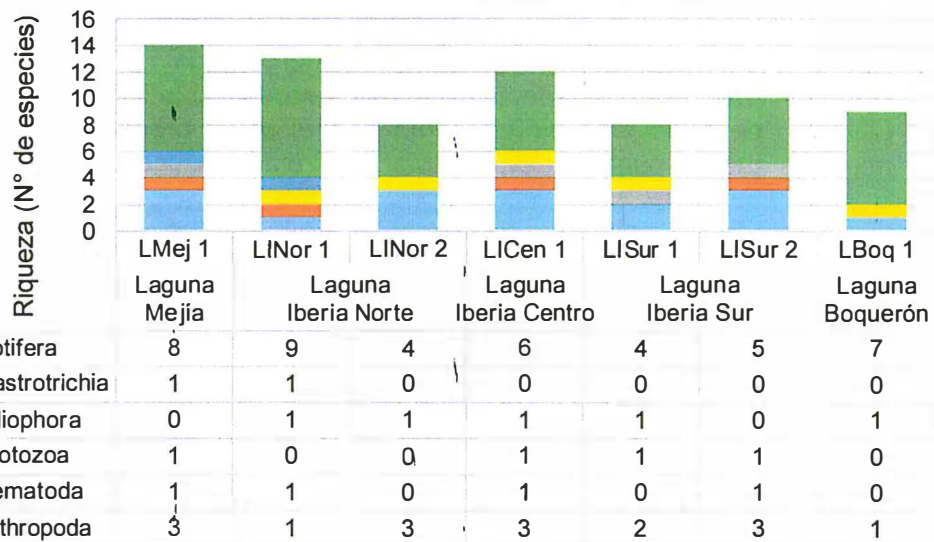


Figura 10-45. Composición y riqueza de zooplancton en los puntos de muestreo del SNLM

514. La abundancia total de organismos del zooplancton fue de 3560 org. En la Figura 10-46 se aprecia que la abundancia del zooplancton está compuesta principalmente por 3 phyla: Rotífera, Ciliophora y Arthropoda, donde el phylum Rotífera fue el más abundante con 2420 org, encontrándose que en el punto LINor 2 se registró la mayor abundancia con 1159 org, siendo la especie de mayor abundancia *Brachionus* sp. Por otro lado, los phyla Ciliophora y Arthropoda registraron una baja abundancia con 697 y 419 org, respectivamente.



A
 R
 7
 2

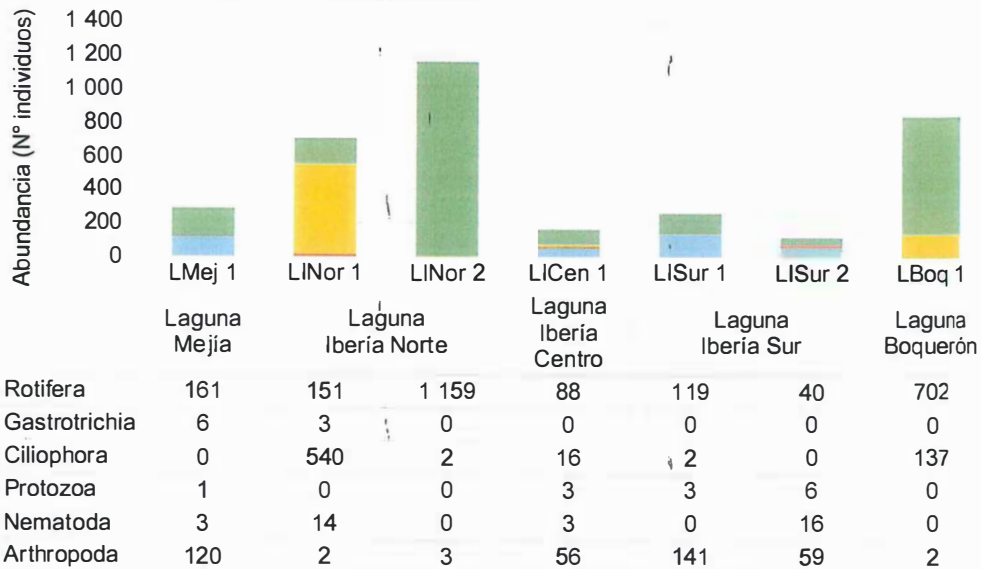


Figura 10-46. Abundancia de zooplancton en los puntos de muestreo del SNLM

515. Los phyla Rotífera, Ciliophora y Arthropoda tienden a ser dominantes en la laguna Iberia (norte, centro y sur). Dentro de estos phyla las especies más abundantes fueron *Brachionus* sp. con 1 911 org, seguido de *Vorticella* sp. con 561 org y por último un Arthropoda identificado como larva nauplio con 338 org.

516. La alta abundancia de la especie *Brachionus* sp. (familia Brachionidae) en los puntos LINor 2 (1115 org) y LBoq 1 (650 org) podría estar asociada a su tolerancia a diversos factores ecológicos como indica Gomez-Marquez *et al*, 2013.

- Diversidad alfa

517. En base a los resultados de diversidad y abundancia, en la Tabla 10-24 se detallan los valores de equidad de Pielou y los índices de diversidad de Hill (N1 y N2) para cada punto de muestreo.

518. Se observa que los valores de la equidad de Pielou variaron desde 0,1 (LINor 2) hasta 0,76 (LMej 1, LISur 2); los valores por encima de 0,5 indican una distribución homogénea de abundancia de organismos por punto de muestreo.

519. El número de Hill N1 varió desde 1,22 especies efectivas en el punto LINor 2 hasta 7,37 especies efectivas en LMej 1. Por otro lado, el número de Hill N2 varió desde 1,09 hasta 5,69 especies efectivas en las mismas estaciones de muestreo antes mencionadas. En el punto LINor 2 se observó predominancia del rotífero *Brachionus* sp., mientras que en LMej 1 se presentaron siete especies dominantes (larva nauplio, *Filinia* sp., *Polyarthra* sp., *Cyclopoida* 1, *Brachionus* sp., Rotífera 1 y *Anuraeopsis* sp.).

Tabla 10-24. Índices de diversidad del zooplancton en los puntos de muestreo del SNLM

Diversidad / puntos de monitoreo	J'	N1	N2
LMej 1	0,76	7,37	5,69
LISur 1	0,60	3,50	2,72
LISur 2	0,76	5,74	4,02

MONITOREO Y VIGILANCIA
VOTO
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN
1
24
24
24
24
24

Diversidad / puntos de monitoreo	J'	N1	N2
LICen 1	0,73	6,18	4,88
LINor 1	0,39	2,69	1,69
LINor 2	0,10	1,22	1,09
LBoq 1	0,34	2,11	1,60

Valores máximos de índices de diversidad alfa

Valores mínimos de índices de diversidad alfa

• Análisis de similitud

520. El análisis de similitud de Bray Curtis se llevó a cabo con el uso del software PAST (PAleontological STATistics) dando como resultado dos grupos con similitudes de 40% y 60%, como se observa en la Figura 10-47.

521. El primer grupo lo conforman LMej 1, LISur 1, LISur 2, LICen 1, LINor1, LINor 2 y LBoq 1 con una similitud del 40 %, encontrándose como especies comunes a larva nauplio, Rotífera 1 y *Brachionus sp.* Además, se observa que la composición de especies de zooplankton encontradas en los puntos LISur 1, LISur 2 y LICen 1 está bastante relacionada con la composición de especies de los puntos LINor1, LINor 2 y LMej 1, mientras que en comparación a la laguna Boquerón (LBoq 1) es bastante diferentes.

522. Por otro lado, se observa que los puntos de muestreo LICen 1, LISur 1 y LISur 2 tienen una similitud de hasta un 60% en cuanto a las especies de zooplankton; asimismo, las especies guardan una similitud de hasta un 40% con los otros tres puntos LMej 1, LINor1 y LINor 2, lo que podría estar relacionado a la presencia de un canal que separan a estos puntos de muestreo. Todos estos puntos de muestreo son más disímiles con el punto LBoq 1, ya que es la laguna más alejada del sistema de lagunas del SNLM.



A
K
7
2

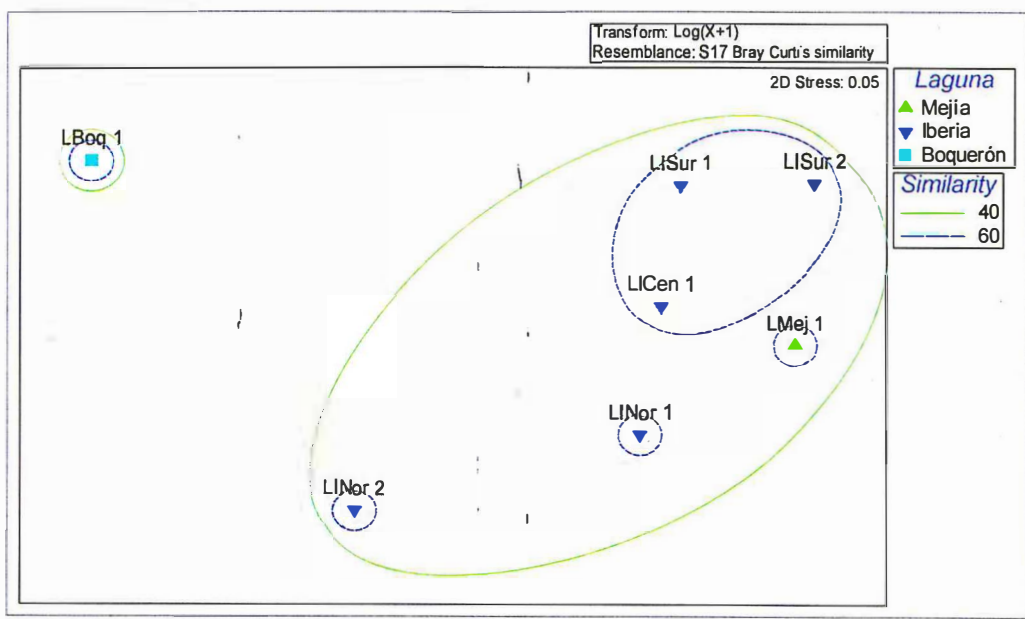


Figura 10-47. Similitud de Bray Curtis del zooplankton en los puntos de muestreo del SNLM

10.3.2. Perifiton

523. Esta comunidad está compuesta por microalgas y microorganismos, cuya evaluación en el río Tambo se presenta a continuación.

10.3.2.1. Microalgas

- Composición, riqueza y abundancia de especies

524. Se registraron un total de 53 especies agrupadas en 28 familias, 17 órdenes y 5 clases pertenecientes a 5 phyla: Bacillariophyta con 41 especies, Cyanobacteria con 7 especies, Chlorophyta con 3 especies y Ochrophyta y Charophyta con una especie cada una. El registro completo se detalla en el Anexo D5.1.

525. La riqueza de especies en los puntos de muestreo, como se observa en la Figura 10-48, varió desde 16 especies en RTamb 6 hasta 22 especies en RTamb 4. En los puntos de muestreo RTamb 3 y RTamb 7 se encontraron 17 especies, mientras que 20 especies que fueron registradas en los puntos RTamb 2 y RTamb 5.

526. La mayor composición a nivel de phyla se observó en el punto RTamb 1 que presentó 4 de los 5 phyla registrados en la zona de estudio. Por otro lado, la menor composición se registró en los puntos RTamb 4 y RTamb 5 registrándose 2 phyla en cada punto de muestreo. Además, en el punto RTamb 1 se encontró al phylum Ochrophyta, siendo *Characiopsis sp.* la única especie, mientras que en RTamb 6 se registró al phylum Charophyta, con la especie *Closterium kuetzingii*.

527. En general, en el río Tambo los phyla Bacillariophyta, Cyanobacteria y Chlorophyta tienden a ser más frecuentes. La mayor riqueza correspondió al phylum Bacillariophyta con 41 especies, encontrándose el mayor número de especies en todos los puntos de muestreo.

528. Sin embargo, se observa una ligera disminución de especies en el punto RTamb 3, lo que podría estar asociado a la afectación en el río por la presencia de muros de concreto y captación de agua. Siguiendo el recorrido por el río Tambo, en el punto RTamb 4 se incrementó el número de especies, especialmente las Bacillariophyta, pero disminuye el número de phyla de 3 a 2.

529. Por otro lado, se observó una disminución de especies en el punto RTamb 6; sin embargo, se incrementó un nuevo phylum (Charophyta) que posiblemente esté asociado a las condiciones de salinidad en este punto ya que es el más cercano a la desembocadura del río en el Océano Pacífico.

530. En el punto RTamb 4 se registró el mayor número de especies con 22 especies, donde 20 corresponden al phylum Bacillariophyta; seguido del punto de muestreo RTamb 1 con 21 especies, mientras que el menor número se registró en el punto RTamb 6 con 16 especies.

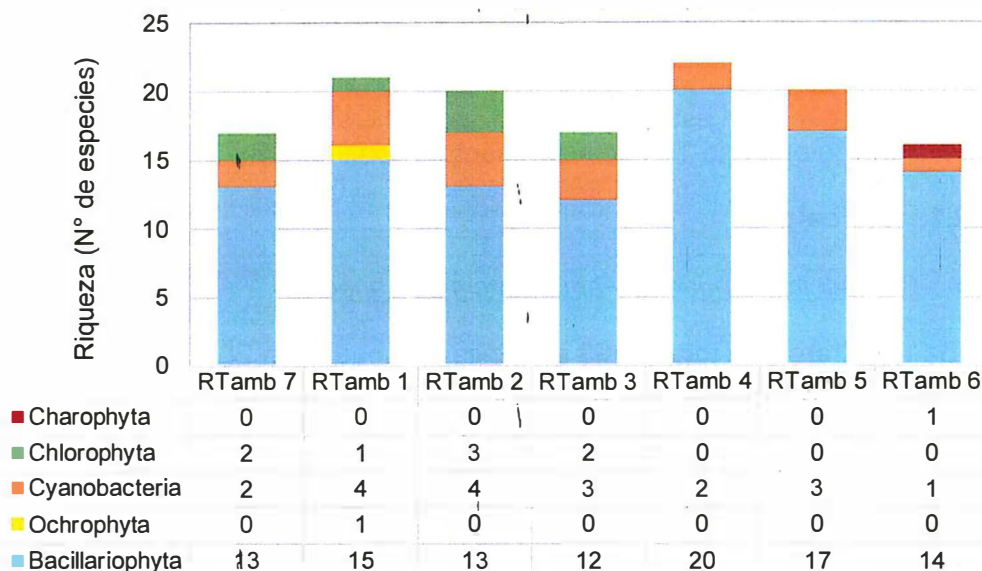


Figura 10-48. Composición y riqueza de microalgas en los puntos de muestreo del río Tambo


 P
 P
 P
 P
 P
 K
 ?
 R

- 531. La abundancia total de organismos de las microalgas fue de 526 200 org, como se puede observar en el Anexo D5.1. En la Figura 10-49 se aprecia que la abundancia de microalgas está compuesta principalmente por 3 phyla, Bacillariophyta, Cyanobacteria y Chlorophyta, donde el phylum Bacillariophyta fue el más abundante con 369 000 org. Los valores de abundancia variaron desde 45 000 org en el punto RTamb6, hasta 105 100 org en el punto RTamb 1.
- 532. La especie más abundante *Leptolyngbya, sp. 1* con 80 000 org perteneciente al phylum Cyanobacteria y está presente en todos los puntos de muestreo, mientras que las especies *Characiopsis sp.* (Ochrophyta) y *Closterium kuetzingii* (Charophyta) registraron 3000 org cada una en los puntos RTamb 1 y RTamb6, respectivamente.
- 533. Si bien el phylum Bacillariophyta es el phylum más abundante, se tiene registrada una notable abundancia de Cyanobacterias en especial de *Leptolyngbya sp.* posiblemente asociado a su comportamiento como un importante fijador de nitrógeno (García, 2005).

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

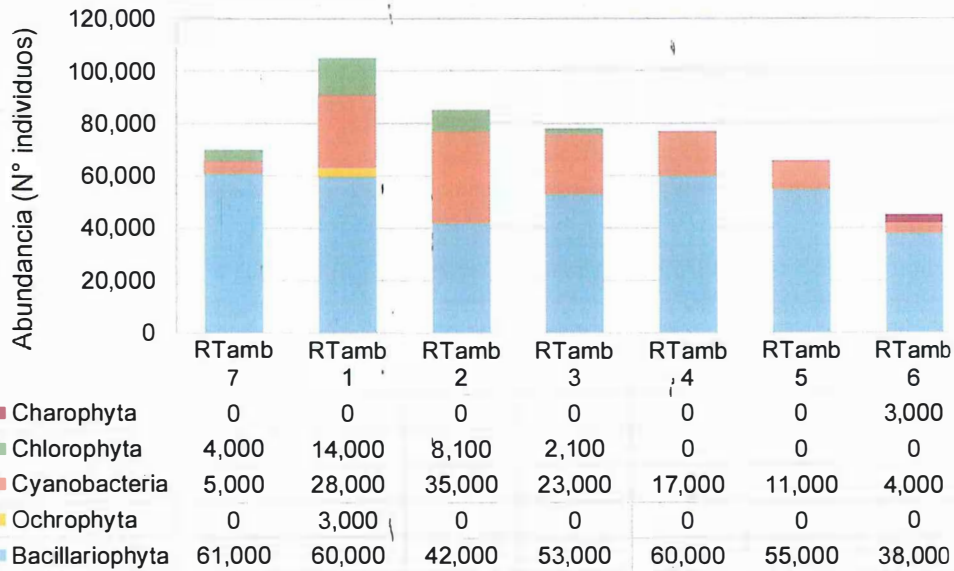


Figura 10-49. Abundancia de microalgas en los puntos de muestreo del río Tambo

534. De acuerdo con la Figura 10-50, se puede observar 18 especies de microalgas que están presentes en más de tres puntos de muestreo. De estas especies, 15 corresponden al phylum Bacillariophyta, 2 a Cyanobacteria y solo una a Chlorophyta, siendo las más abundante *Leptolyngbya* sp. y *Surirella minuta* con 80 000 org y 77 000 org, respectivamente y que están presentes en todos los puntos de muestreo.

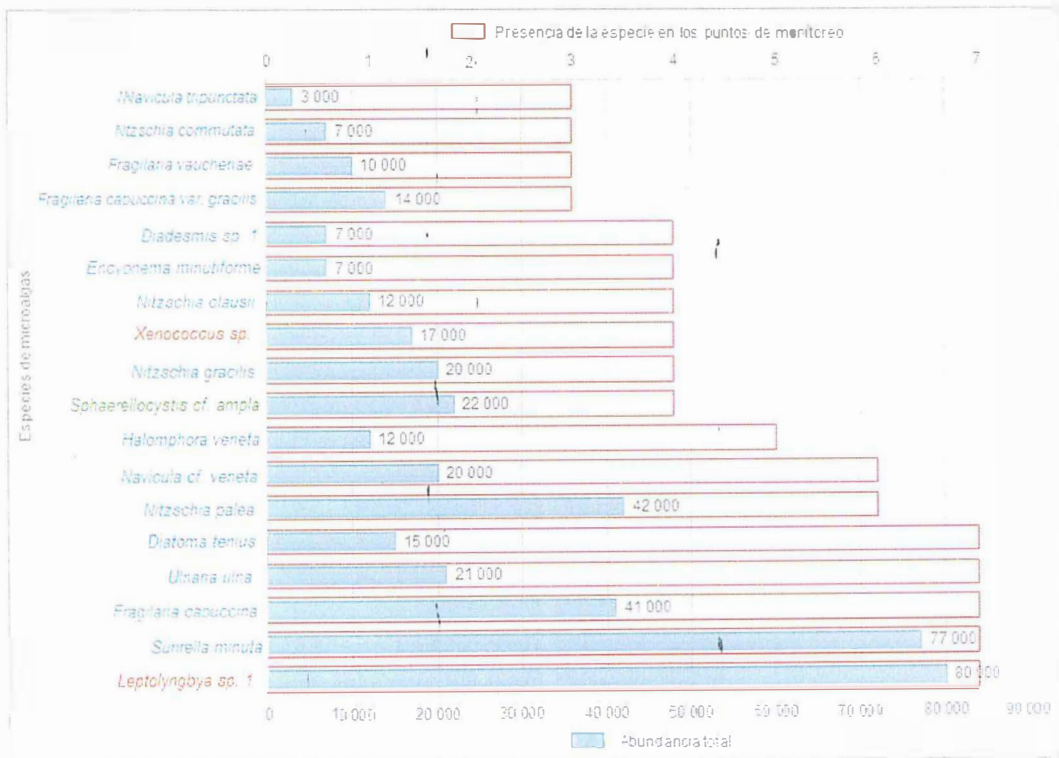


Figura 10-50. Relación de la abundancia y presencia de especies de microalgas de los puntos de muestreo del río Tambo

MONITOREO Y VIGILANCIA
 OEFA
 DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN
 S
 A
 K
 1
 2

- Diversidad alfa

535. Con base en los resultados de diversidad y abundancia se detallan los valores de equidad de Pielou y los índices de diversidad de Hill (N1 y N2) para cada punto de muestreo que son presentados en la Tabla 10-25.
536. Los valores de la equidad de Pielou variaron desde 0,85 (RTamb 1) hasta 0,91 (RTamb 5 y RTamb 6), lo cual indica valores altos de equidad, lo que significa una distribución homogénea de las abundancias de los organismos registrados en los puntos de muestreo.
537. El número de Hill N1 varió desde 11,2 especies efectivas en el punto RTamb 3 hasta 16,1 especies efectivas en RTamb 4. Por otro lado, el número de Hill N2 varió desde 8,7 hasta 12,6 especies efectivas en los mismos puntos de muestreo antes mencionados.
538. Asimismo, se observa una ligera disminución de especies en el punto RTamb 3, lo que podría estar asociado a la presencia de muros de concreto y captación de agua, mientras que en el punto RTamb 4 y RTamb 5 los valores se incrementan; sin embargo, en el punto RTamb 6 se observó una ligera disminución de especies que posiblemente esté asociado a la cantidad de sales que ingresa al río por encontrarse este punto cerca de la desembocadura.

Tabla 10-25. Índices de diversidad alfa encontrados en los puntos de muestreo del río Tambo

Diversidad / puntos de monitoreo	J'	N1	N2
RTamb 7	0,90	12,6	10,3
RTamb 1	0,85	13,3	9,8
RTamb 2	0,86	13,3	10,0
RTamb 3	0,85	11,2	8,7
RTamb 4	0,90	16,1	12,6
RTamb 5	0,91	15,4	12,5
RTamb 6	0,91	12,3	10,1

: Valores máximos de índices de diversidad alfa

: Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

539. La evaluación de parámetros comunitarios del análisis del índice de similitud de Bray Curtis se realizó con el uso del software PAST (PAleontological STatistics). Los resultados indican la conformación de tres grupos con una similitud del 50 % como se muestra en la Figura 10-51.



1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100

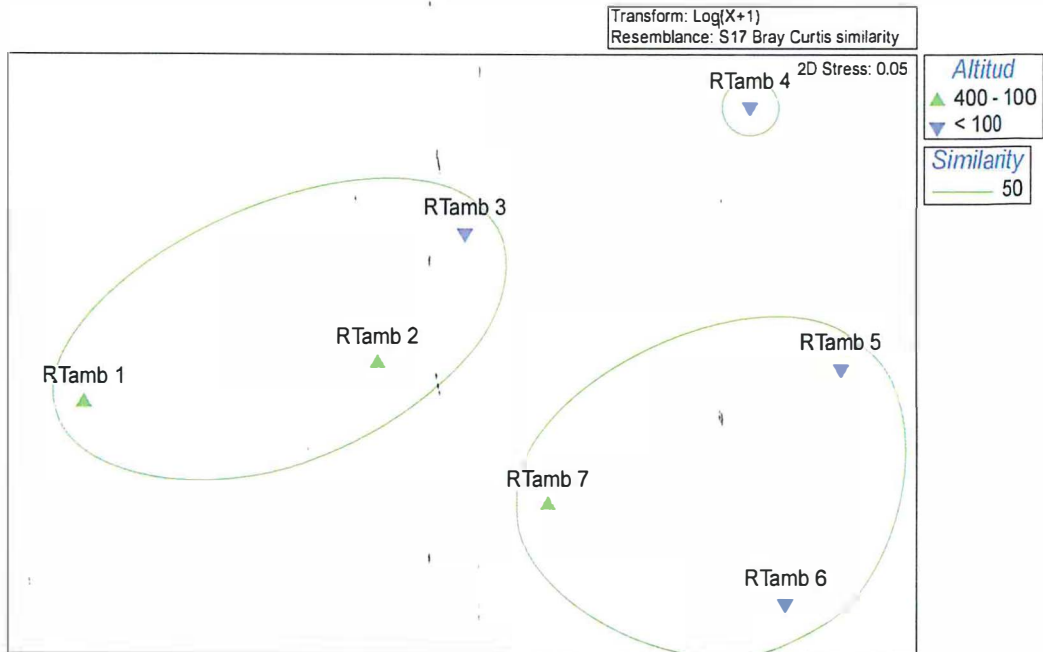


Figura 10-51. Análisis de similitud de Bray Curtis de microalgas en los puntos de muestreo del río Tambo

- 540. El primer grupo está conformado por los puntos RTamb 1, RTamb 2 y RTamb 3 encontrándose a *Nitzschia palea*, *Surirella minuta*, *Fragilaria capuccina*, *Ulnaria ulna*, *Diatoma tenuis*, *Leptolyngbya sp. 1* y *Sphaerello cystis cf. ampla* como especies en común.
- 541. El segundo grupo lo conforman los puntos RTamb 5, RTamb 6 y RTamb 7 registrándose en común a nueve especies: *Nitzschia gracilis*, *Nitzschia palea*, *Navicula cf. veneta*, *Surirella minuta*, *Fragilaria capuccina*, *Fragilaria capuccina var. gracilis*, *Ulnaria ulna*, *Diatoma tenuis* y *Leptolyngbya sp. 1*.
- 542. El punto de muestreo RTamb 4 representa el tercer grupo y se registraron 6 especies propias del punto, las cuales son: *Rlanothidium lanceolatum*, *Gomphonema subclavatum*, *Navicula erifuga*, *Navicula angusta*, *Nupela decipiens*, *Sellaphora pupula*.

10.3.2.2. Microorganismos

- 543. Se encontraron dos especies *Microchlamys sp.* y *Spumochlamys sp.* pertenecientes a los phyla Amoebozoa y Cercozoa. El registro completo de especies se detalla en el Anexo D5.2.

10.3.3. Macroinvertebrados bentónicos

- 544. A continuación, se consignan los resultados de macroinvertebrados bentónicos de la cuenca baja del río Tambo.



Handwritten signature and vertical text in blue ink.

10.3.3.1. Macroinvertebrados bentónicos en la cuenca baja del río Tambo

• Composición, riqueza y abundancia de especies

545. Se identificaron un total de 22 especies distribuidas en 2 phyla (Arthropoda y Mollusca) conformadas por 15 familias y 7 órdenes, sobresaliendo Diptera y Ephemeroptera con 7 especies cada uno. El resto de órdenes tuvieron una presencia ≤ 5 especies como se muestra en la Figura 10-52. El registro completo de especies se detalla en el Anexo D5.2.

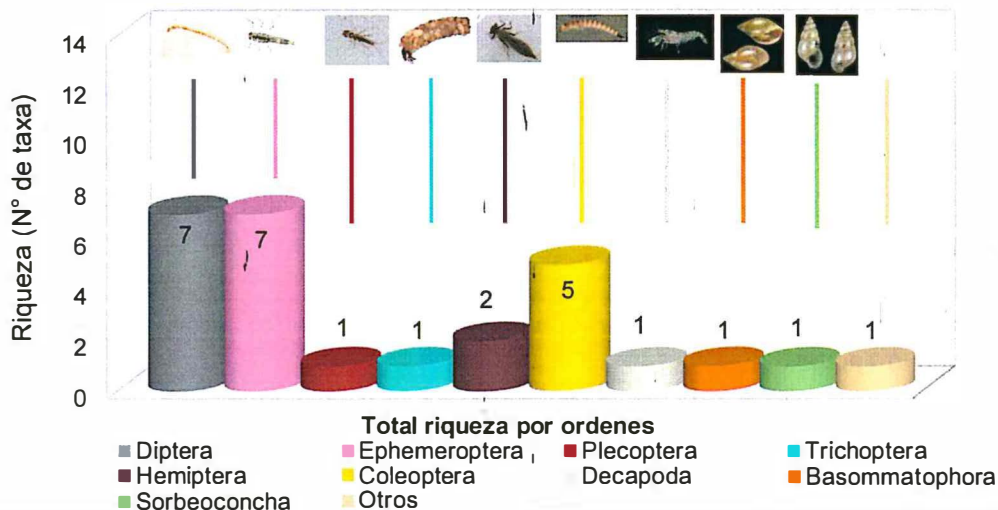


Figura 10-52. Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos del río Tambo



Handwritten notes in blue ink: 'A', 'd', 'A', 'R', 'e', 'p', 'e', 't', 'a', 't', 'o', 'r', 'e', 's'.

546. En la Figura 10-53 se muestra la riqueza de los puntos de muestreo evaluados. La mayor riqueza se registró en el punto de muestreo RTamb1 con 10 taxa, seguido de los puntos RTamb5 y RTamb6, en los que se encontraron 7 taxa. En los puntos RTamb7 y RTamb3 se registró la menor riqueza con 3 taxa cada uno.

547. Se observa que hay un incremento de especies en el punto RTamb1, lo que puede estar asociado al incremento de nutrientes, por la presencia de vegetación ribereña, que favorece la proliferación de ciertos órdenes como el Diptera con las familias Chironomidae y Simuliidae; Ephemeroptera con Leptohyphidae; Hemiptera con Gerridae y Coleóptera con Staphilinidae. Los dípteros de la familia Simuliidae son representantes de aguas muy limpias, mientras que dípteros de la familia Chironomidae habitan más las aguas contaminadas. (Fernández y Domínguez, 2001).

548. Seguidamente en el punto RTamb 2 se observó una disminución de especies registrándose los órdenes Diptera, Trichoptera y Ephemeroptera, los cuales están asociados a aguas limpias y altas concentraciones de oxígeno disuelto. Esto nos estaría indicando que el punto RTamb 2 se encuentra en condiciones favorables, pero posiblemente la fuerte corriente que se registró al tomar la muestra haya influido en la captura de más especies.

549. En los puntos RTamb3, RTamb4 y RTamb5 las especies registradas se mantuvieron; solo en el caso del punto RTamb6 la riqueza disminuyó a 5 especies,

probablemente a causa del incremento en la conductividad, lo cual incrementa por la salinidad, ya que se evidenció la presencia de *Cryphios caementarius*, especie bastante tolerante a cambios en la salinidad.

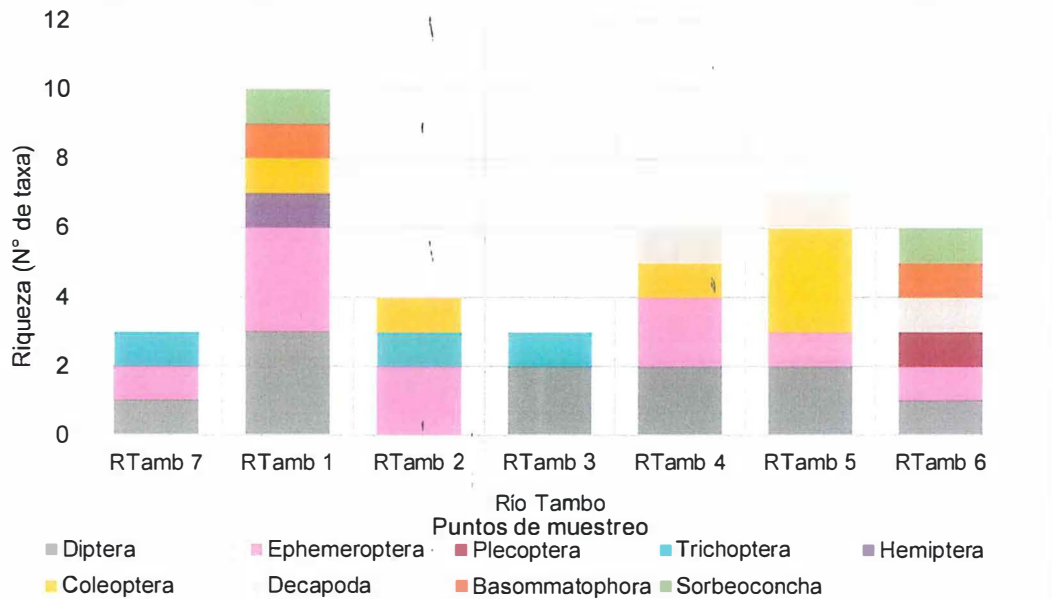


Figura 10-53. Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del río Tambo

550. La abundancia de macroinvertebrados bentónicos por orden son presentados en la Figura 10-54. Se encontró que el orden Díptera fue el más abundante con 76 org, seguido del orden Coleóptera con 73 org. Los órdenes Ephemeroptera y Decápoda registraron 20 y 21 org, respectivamente. Los órdenes restantes registraron \leq de 8 org.

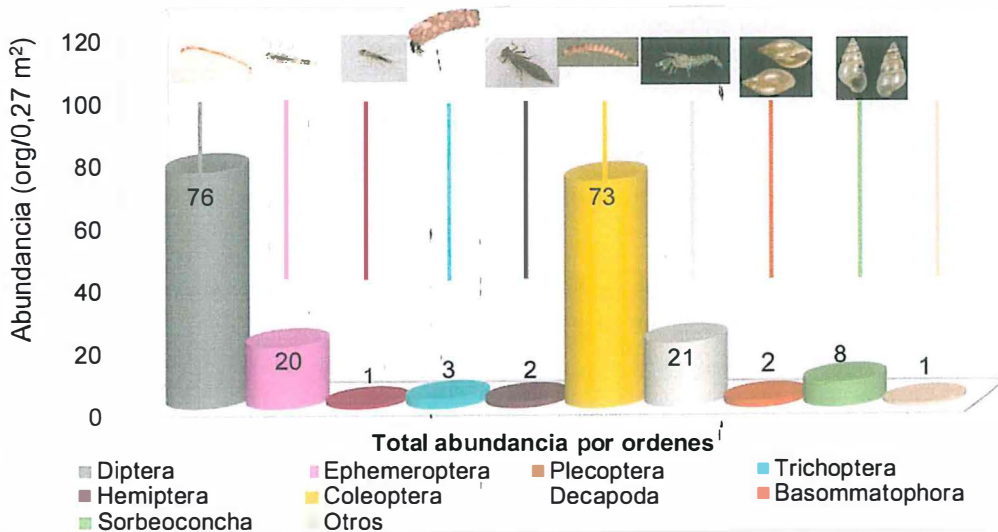


Figura 10-54. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos del río Tambo

551. La abundancia de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo son presentados en la Figura 10-55. Se encontró que el orden Díptera (familia Baetidae) estuvo presente en todos los puntos de muestreo y además, se registró



Handwritten blue notes and signatures on the left margin.

que el orden Coleoptera fue el más abundante en el punto RTamb1 con 80 org de la familia Staphilinidae, mientras que en el punto RTamb3 y RTamb4 el orden más abundante fue Ephemeroptera.

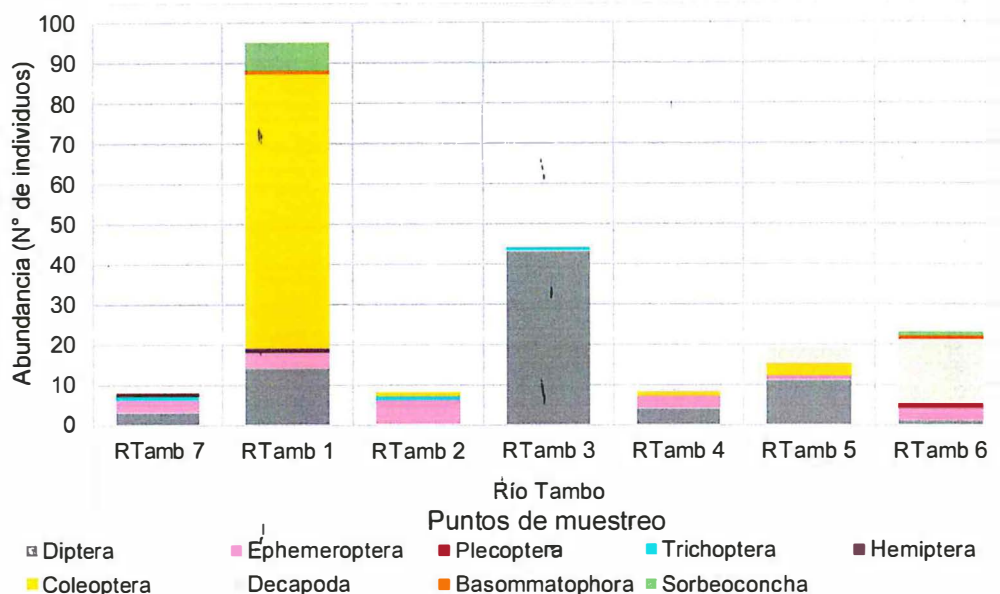


Figura 10-55. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del río Tambo



Handwritten blue notes and signatures on the left margin.

552. Los coleópteros acuáticos son importantes en las cadenas y redes tróficas. Muchas especies son fuente de alimento para peces y anfibios, otras son importantes como predadores, y otras especies se alimentan de algas o de detrito orgánico. La importancia de otras especies radica en su utilidad como bioindicadores de calidad de aguas; si bien grupos como los efemerópteros, tricópteros y plecótros suelen ser más utilizados, los coleópteros están ganando reconocimiento para evaluar ambientes acuáticos (Bournaud *et al.*, 1992; Ribera y Foster, 1992; García Criado y Fernández Alaez, 1995; Bowles *et al.*, 2003; Miserendino y Archangelsky, 2006).

- Diversidad alfa

553. En base a los resultados de diversidad y abundancia, en la Tabla 10-26 se detallan los valores de equidad de Pielou y los índices de diversidad de Hill (N1 y N2) en cada punto de muestreo.

554. Los valores de la equidad de Pielou variaron desde 0,26 (RTamb 4) hasta 0,92 (RTamb 7), donde los valores mayores a 0,5 representan una distribución homogénea de la abundancia de organismos por punto de muestreo.

555. Los valores del número de Hill N1 variaron desde 1,8 especies efectivas en el punto RTamb 4 hasta 5,3 especies efectivas en RTamb 5. Por otro lado, el número de Hill N2 varió desde 1,3 hasta 3,8 especies efectivas en los mismos puntos de muestreo antes mencionados.

Tabla 10-26. Índices de diversidad alfa encontrados en los puntos de muestreo del río Tambo

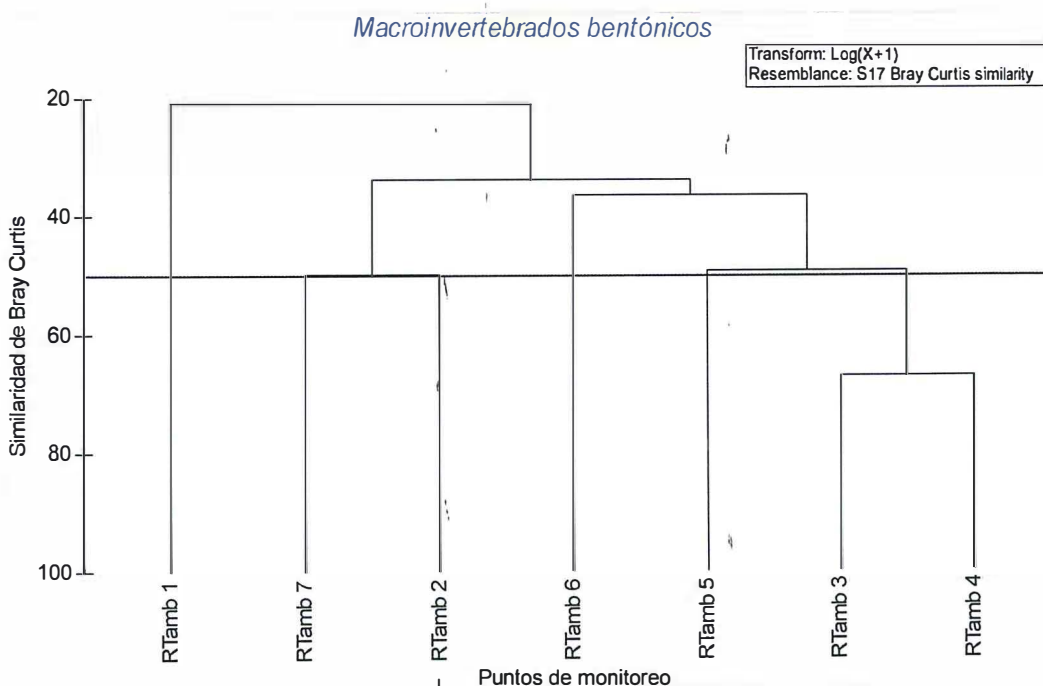
Diversidad / puntos de monitoreo	J'	N1	N2
RTamb 7	0,92	3,6	3,3
RTamb 1	0,47	2,8	1,8
RTamb 2	0,67	2,1,	1,7
RTamb 3	0,55	3,4	2,4
RTamb 4	0,26	1,8	1,3
RTamb 5	0,80	5,3	3,8
RTamb 6	0,59	2,9	2,0

: Valores máximos de índices de diversidad alfa

: Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

556. Con el uso del software PAST (PAleontological STatistics) se realizó el análisis del índice de similitud de Bray Curtis dando como resultado la conformación de un grupo con una similitud del 70 %, como se muestra en la Figura 10-60. Este grupo estuvo conformado por los puntos RTamb 3 y RTamb 4. Además, se puede notar que el punto RTamb 5 presenta una similitud del 49 % respecto de los dos puntos anteriores. Por otro lado, en la figura se aprecia otro grupo conformado por los puntos RTamb 2 y RTamb 7, con una similitud del 50%.


Figura 10-56. Similitud de Bray Curtis de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del río Tambo


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

10.3.3.2. Macroinvertebrados bentónicos en las lagunas del SNLM

- Composición, riqueza y abundancia de especies

557. Los valores de riqueza o número de taxa₁ (especies) de los macroinvertebrados bentónicos fueron analizados por orden y son presentados en la Figura 10-57. El orden Díptera registró la mayor riqueza con 5 taxa. Los otros órdenes registraron dos o menos taxa.

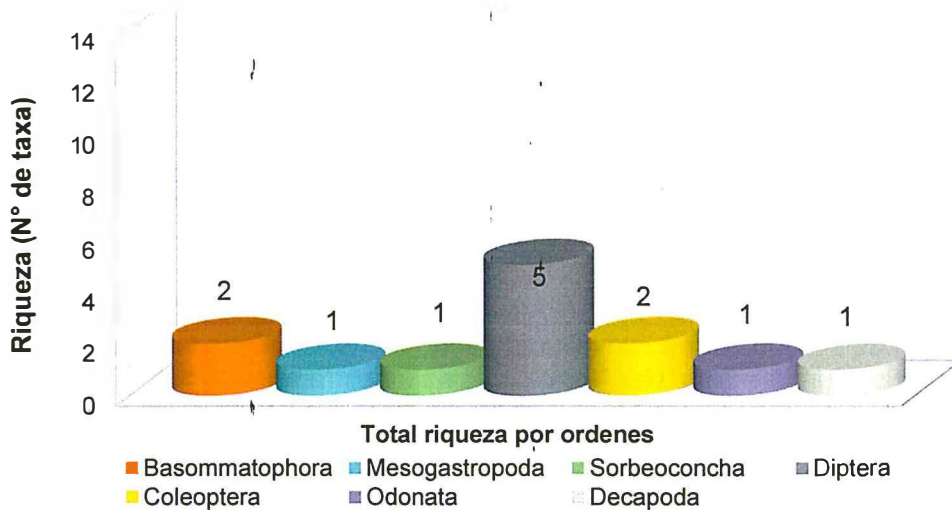


Figura 10-57. Composición y riqueza de los macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del SNLM

558. Los valores de riqueza o número de taxa (especies) de los macroinvertebrados bentónicos fueron analizados por orden y punto de muestreo y son presentados en la Figura 10-58. La mayor riqueza se registró en el punto LINor 1 con 10 taxa, seguido el punto LMej 1 con 6 especies, mientras que la menor riqueza se encontró en LBoq 1 con solo 2 taxa. Es importante indicar que no se colectaron muestras de macroinvertebrados bentónicos en el punto LINor 2 debido a la ausencia de orilla, dificultando la toma de muestra.



Handwritten signature in blue ink.

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

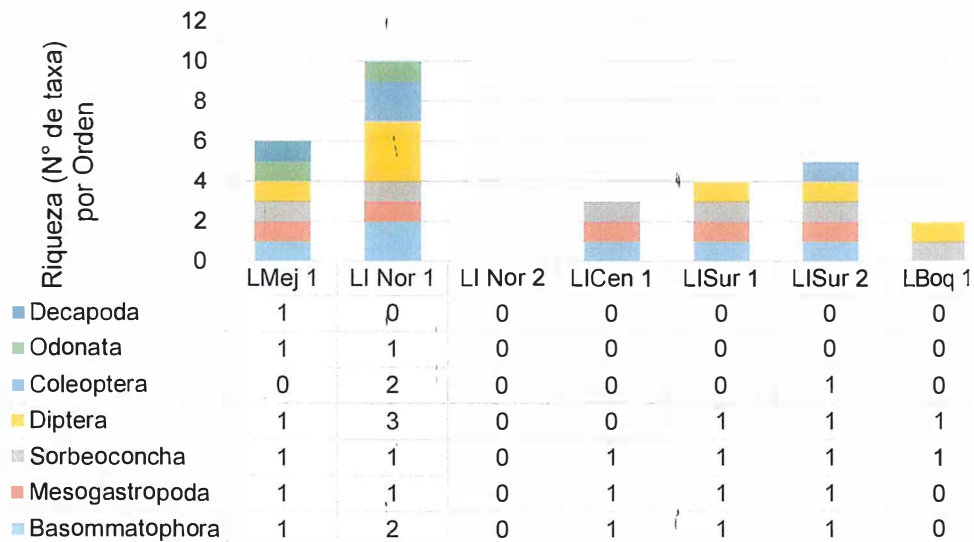


Figura 10-58. Composición y riqueza de los macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del SNLM

559. La abundancia total de org fue de 7607 org y estuvo conformada principalmente por el orden Sorbeoconcha. En la Figura 10-59 se observa una alta abundancia del orden Sorbeoconcha, encontrándose la mayor abundancia en el punto LISur 2 con 3745 org, seguido de 1569 org en el punto LICen 1; mientras la menor abundancia se registró en el punto LBoq 1 con 15 org.

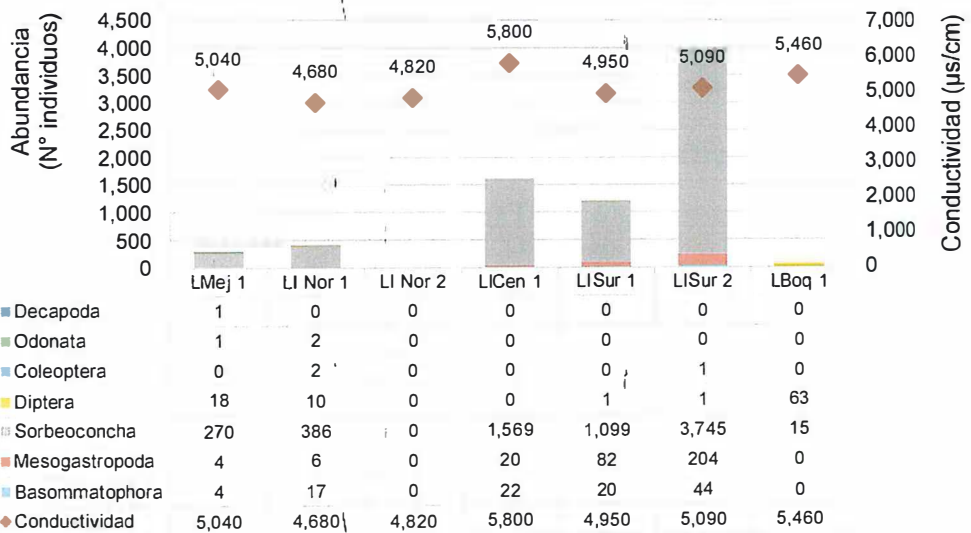


Figura 10-59. Relación de la abundancia de macroinvertebrados bentónicos y la conductividad en los puntos de muestreo del SNLM

560. Dentro del orden Sorbeoconcha, la especie más dominante es *Heleobia sp.* Según la literatura (Cazzaniga, 2011), el género *Heleobia* es bastante tolerante a cambios en la salinidad, por ende, es bastante resistente a altos valores en la conductividad, a lo que podría estar atribuida su proliferación en el punto de muestreo LISur 2 ya que se registró una alta conductividad.



Handwritten signature and date: 1/11/19



- Diversidad alfa

561. Con respecto a los resultados de diversidad y abundancia, los valores de equidad de Pielou y los índices de diversidad de Hill (N1 y N2) en cada punto de muestreo, se detallan en la Tabla 10-27.
562. Los valores de la equidad de Pielou variaron desde 0,13 (LICen 1) hasta 0,71 (LBoq 1), donde los valores mayores a 0,5 representan una distribución homogénea de las abundancias de organismos por punto de muestreo, es decir, que en el punto LBoq 1 las abundancias de las especies están distribuidas de manera homogénea.
563. El número de Hill N1 varió desde 1,15 especies efectivas en el punto LICen 1, hasta 1,63 especies efectivas en LBoq 1. Por otro lado, el número de Hill N2 varió desde 1,05 hasta 1,45 especies efectivas en los mismos puntos de muestreo antes mencionados.

Tabla 10-27. Índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del SNLM

Diversidad / puntos de monitoreo	J'	N1	N2
LMej 1	0,23	1,51	1,21
LINor 1	0,19	1,56	1,20
LICen 1	0,13	1,15	1,05
LISur 1	0,24	1,40	1,19
LISur 2	0,17	1,31	1,13
LBoq 1	0,71	1,63	1,45

■: Valores máximos de índices de diversidad alfa

■: Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

564. Con el uso del software PAST (PAleontological STatistics) se realizó el análisis del índice de similaridad de Bray Curtis como se observa en la Figura 10-60.
565. Los puntos de muestreo LICen 1, LISur 1 y LISur 2 tienen una similitud de un 70% en cuanto a la composición de especies de macroinvertebrados bentónicos; asimismo, las especies guardan una similitud de hasta un 50% con los puntos LMej 1 y LINor 1.



566. El agrupamiento de los puntos de muestreo en cuanto a su composición de especies podría estar asociada a la presencia de un canal que estaría aportando nutrientes que favorecen a ciertas especies. Por otro lado, todos estos puntos de muestreo son más disímiles con el punto LBoq 1, ya que es corresponde a la laguna más aislada en el lado sur.

Macroinvertebrados bentónicos

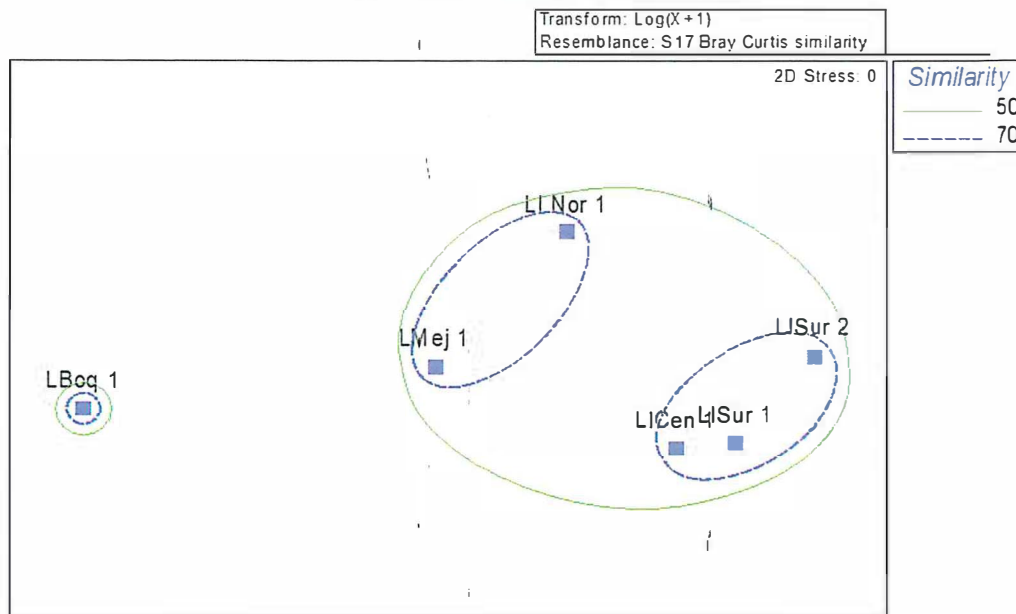


Figura 10-60. Similitud de Bray Curtis de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo del SNLM

10.3.4. Peces

567. A pesar de los intentos realizados con la red de arrastre tanto en el río Tambo y las lagunas del SNLM no se logró la captura de ejemplares de peces. Sin embargo, en el informe N° 123-2016-OEFA-DE-SDLB-CEAI se evidenció la presencia de dos especies de peces en la parte baja del río Tambo, capturados con red de arrastre. Estas especies están distribuidas en dos órdenes. El orden Cyprinodontiformes, estuvo representado por la familia Poeciliidae con la especie *Poecilia reticulata*; el orden Mugiliformes fue representado por la familia Mugilidae con la especie *Mugil cephalus*. La primera es una especie introducida, por lo tanto, es bastante tolerante a cambios en el ambiente; la segunda es tolerante a cambios de salinidad ya que es una especie periférica, que ingresa del ambiente marino a condiciones menos salobres. Es preciso indicar que se registró al género *Poecilia* en el manantial Santo Domingo ubicado cerca a las zonas de cultivo.

10.3.5. Indicadores biológicos de referencia para la calidad de agua

568. Según el índice BMWP/Col, la calidad biológica encontrada en el río Tambo varió entre dudosa y crítica como se muestra en la Figura 10-66. En el punto RTamb 1 se registró el valor más alto (45), donde se encontraron macroinvertebrados que indicaron aguas moderadamente contaminadas. Por otro lado, el menor valor (16) se encontró en el punto RTamb 7, registrándose macroinvertebrados que indicaron aguas muy contaminadas. Es importante indicar que cerca de los puntos



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.

de muestreo evaluados en el río Tambo se observó la presencia de población cercana y zonas de cultivo.

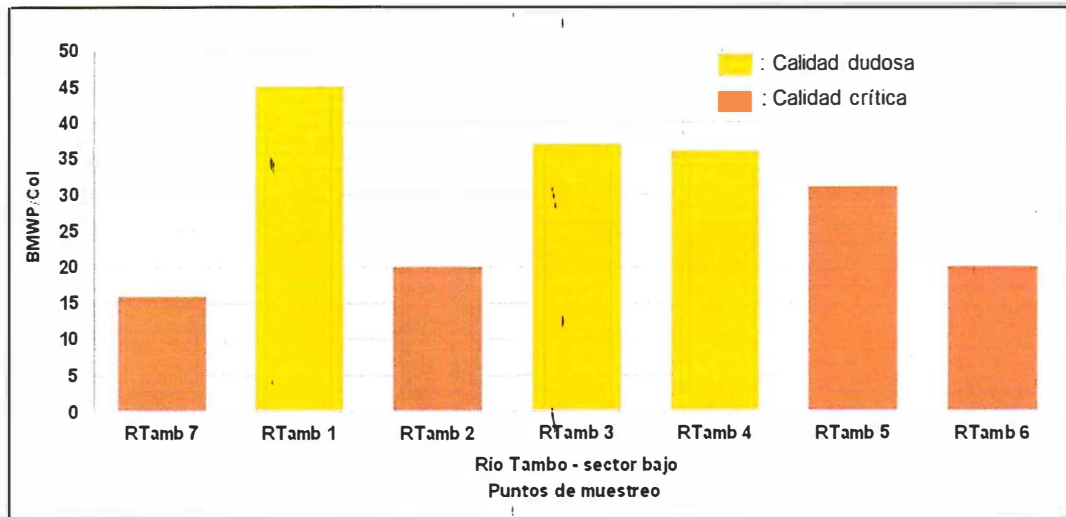


Figura 10-61. Variación de la calidad biológica según el índice BMWP/Col

10.3.6. Metales en camarones

569. Se tomaron muestras de tejido de la especie *Cryphiops caementarius*, conocida comúnmente como camarón de río. Las muestras provinieron de los puntos de muestreo RTamb 4 y RTamb 5, ambas ubicadas en el río Tambo. Cada muestra tuvo un peso de 500 gr, entre cefalotórax, abdomen y apéndices de cada uno de los ejemplares y fue analizada por el laboratorio AGQ Perú SAC.
570. Como se observa en la Tabla 10-28, los valores de arsénico registraron concentraciones de 6,423 para RTamb4 y 6,576 para RTamb5.

Tabla 10-28. Resultados de concentraciones de arsénico en camarones en los puntos de muestreo en el río Tambo

Parámetro	Unidades	Río Tambo	
		RTamb4	RTamb5
Arsénico Total	mg/kg	6,423	6,576
Cadmio Total	mg/kg	<0,0100	<0,0100
Mercurio Total	mg/kg	<0,010	<0,010
Plomo Total	mg/kg	<0,010	2,35

571. Los resultados obtenidos respecto al contenido metálico en las muestras de Camarones, fueron determinados de manera referencial y a solicitud de la población, a fin de utilizar dicha información en posteriores trabajos de vigilancia ambiental del sector competente.

10.4. Calidad de aire

572. A continuación, se consignan los resultados de calidad de aire y el análisis de los parámetros meteorológicos y de los gases y el material particulado.
573. Para mayor información de las zonas donde se ubicaron los puntos de muestreo, las imágenes de los mismos se encuentran en el Anexo E3. Registro fotográfico.



1
 H
 B
 S
 H
 6
 2

10.4.1. Análisis de parámetros meteorológicos

574. La Tabla 10-29 muestra los valores de los parámetros meteorológicos obtenidos en los puntos de muestreo AIR-01 y MC-01. Como se puede observar, la velocidad del viento promedio osciló entre 1,2 y 1,5 m/s, con velocidades máximas que se encontraron entre 3,4 y 4,0 m/s.

Tabla 10-29. Parámetros meteorológicos

Estadístico	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Presión barométrica (mmHg)	Velocidad (m/s)
Punto de muestreo AIR-01				
Mínimo	15,4	47,3	746,0	0,0
Máximo	28,2	87,9	751,7	3,4
Promedio	22,2	69,5	749,1	1,2
Punto de muestreo MC-01				
Mínimo	15,9	47,7	746,3	0,0
Máximo	26,7	85,6	751,9	4,0
Promedio	21,6	69,2	749,1	1,5

575. En las Figuras 10-62 y 10-63 se presentan las rosas de los vientos realizadas con el programa WRPLOT View. Como puede observarse, la predominancia de los vientos en el punto de muestreo AIR-01 fue sur-suroeste, mientras que en el punto MC-01 fue suroeste.

576. En ambos casos, esto indicaría que los vientos se dirigen desde el distrito de Punta de Bombón hacia el distrito de Cocachacra.



1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 0

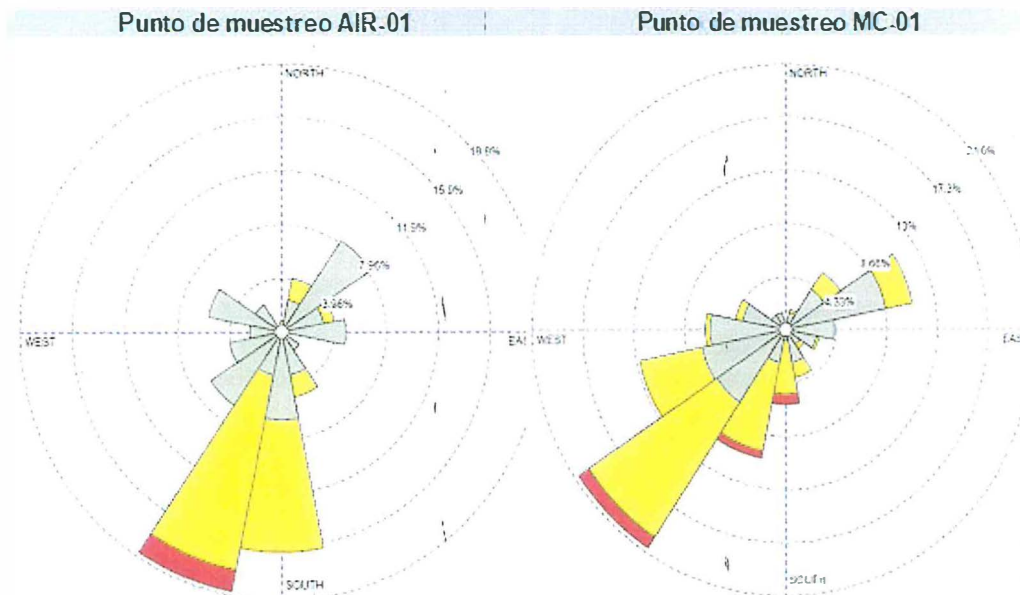


Figura 10-62. Rosas de viento de los puntos de muestreo

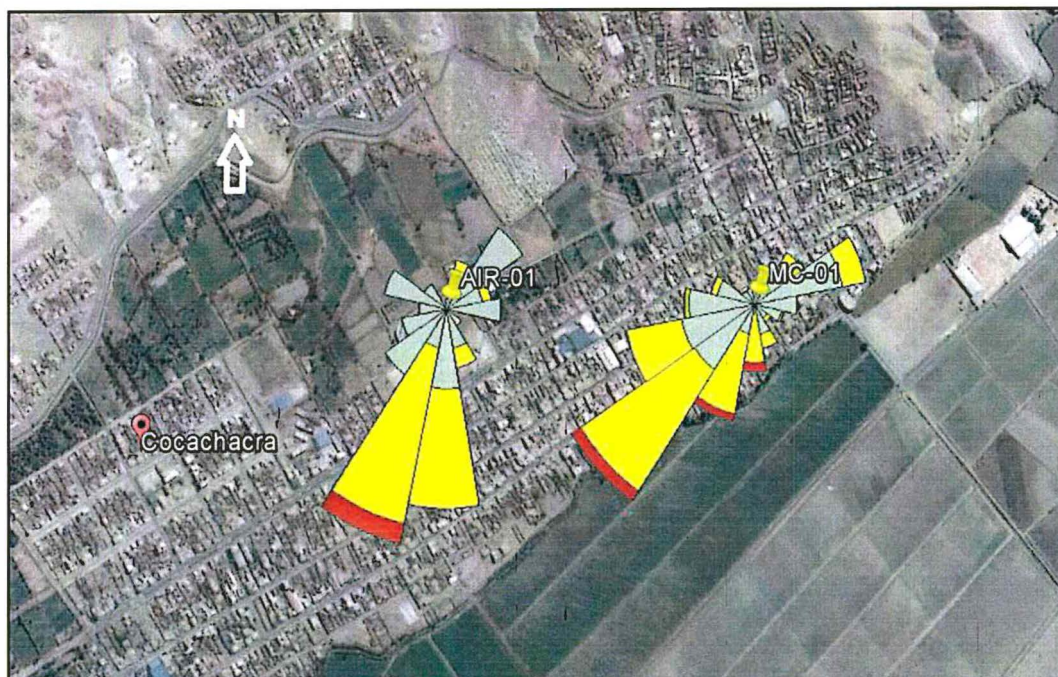


Figura 10-63. Ubicación de los puntos de muestreo AIR-01 y MC-01, y sus rosas de viento



10.4.2. Análisis de gases y material particulado con el ECA del IGA

577. Los resultados de la evaluación de los parámetros atmosféricos SO_2 , NO_2 , CO y PM_{10} fueron comparados con los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad del Aire (ECA), aprobados mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM y Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, ambos asociados al IGA del proyecto minero Tía María.
578. En la presente sección se analizan las concentraciones promedio diarias resultantes de los parámetros SO_2 , y PM_{10} , y adicionalmente las concentraciones horarias de NO_2 y promedio móvil de 8 horas del CO .
579. Es importante resaltar que en el punto de muestreo AIR-01, el día 10 de mayo de 2017 se tuvo problemas de sobrecalentamiento de los cables eléctricos que alimentaban los muestreadores de alto volumen, por lo que no se cuenta con las concentraciones de PM_{10} del 10 al 11 de mayo de 2017. A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

10.4.2.1. Dióxido de azufre (SO_2)

580. Las Figuras 10-64 y 10-65 muestran los resultados obtenidos para las concentraciones promedio diarias de dióxido de azufre (SO_2) en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02.

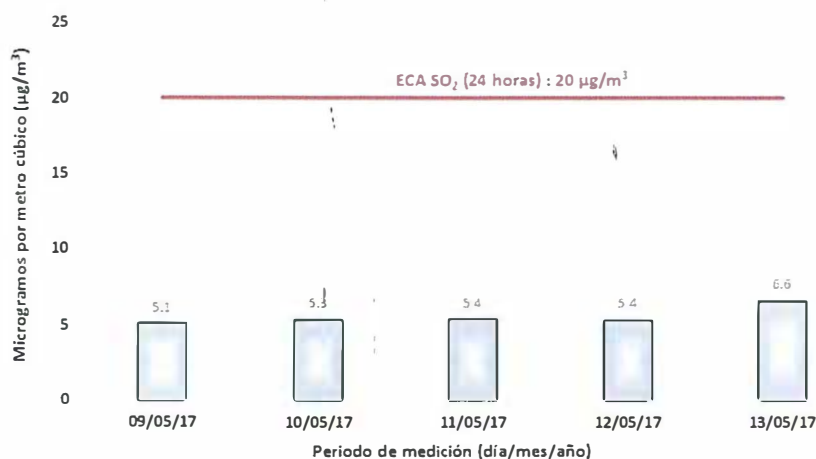


Figura 10-64. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en el punto AIR-01

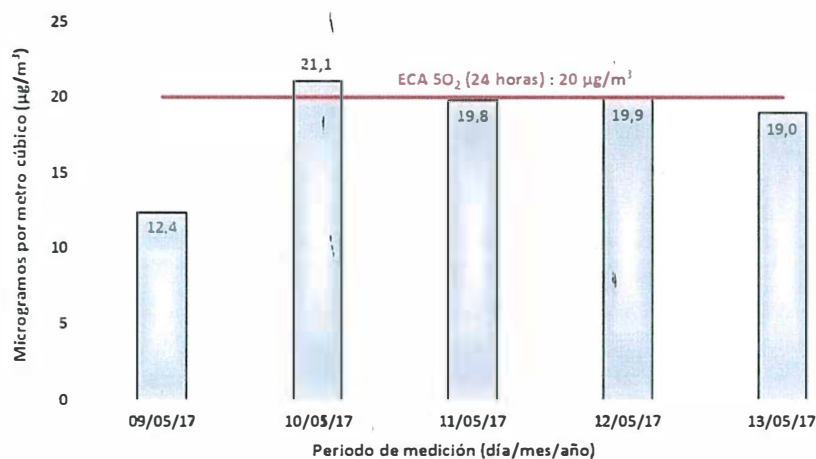


Figura 10-65. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en el punto AIR-02



Handwritten notes in blue ink, including a vertical list of symbols: a vertical line, a horizontal line, a diagonal line, a cross, a circle, and a square.

581. Las concentraciones de SO₂ en el punto de muestreo AIR-01 se encontraron en conformidad con el ECA y fueron inferiores a las concentraciones del punto de muestreo AIR-02, en el que la concentración máxima fue de 21,1 µg/m³, registrada el 10 de mayo de 2017.

582. La concentración de SO₂ reportada el 10 de mayo de 2017 en el punto de muestreo AIR-02, no cumplió con el ECA para SO₂ (20 µg/m³) para un periodo de 24 horas, según lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM.

10.4.2.2. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

583. Las Figuras 10-66 y 10-67 contienen los resultados obtenidos para las concentraciones horarias de NO₂ en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02.

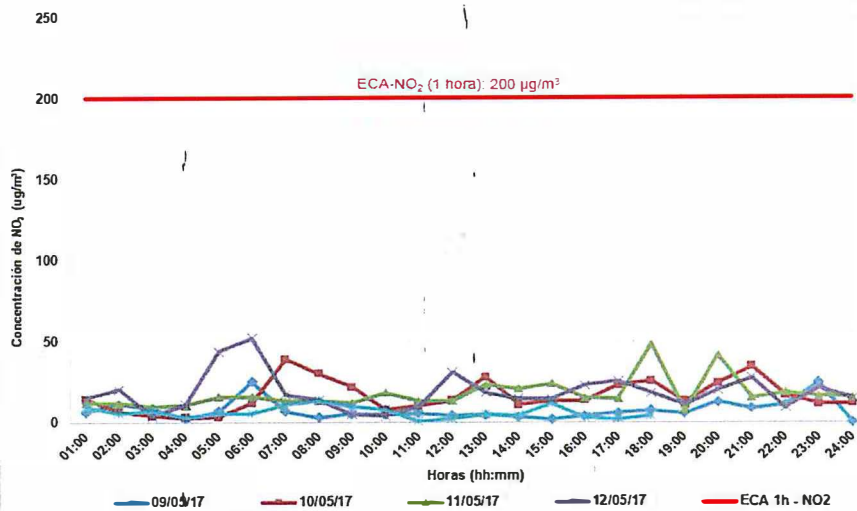


Figura 10-66. Concentraciones horarias de NO₂ en el punto de muestreo AIR-01

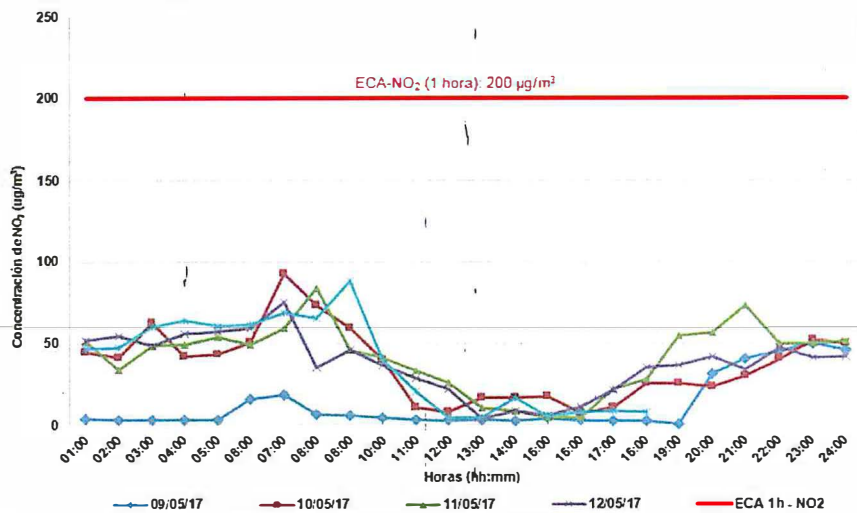


Figura 10-67. Concentraciones horarias de NO₂ en el punto de muestreo AIR-02



Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large 'A' and 'D'.

584. Las concentraciones de NO₂ reportadas en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02 se encontraron en conformidad con el ECA para NO₂ igual (200 µg/m³) para un periodo de 1 hora, según lo establecido en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, encontrándose todas ellas por debajo de 100 µg/m³.

585. Es importante resaltar que en el punto de muestreo AIR-02 (ubicado en el distrito de Deán Valdivia), se obtuvieron concentraciones mayores en relación al punto de muestreo AIR-01 (ubicado en el distrito de Cocachacra).

10.4.2.3. Monóxido de carbono (CO)

586. Las Figuras 10-68, y 10-69 muestran los resultados obtenidos para las concentraciones horarias de CO en los puntos AIR-01 y AIR-02, mientras que las Figuras 10-75 y 10-76 muestran el promedio móvil de 8 horas de CO en los mismos puntos.

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

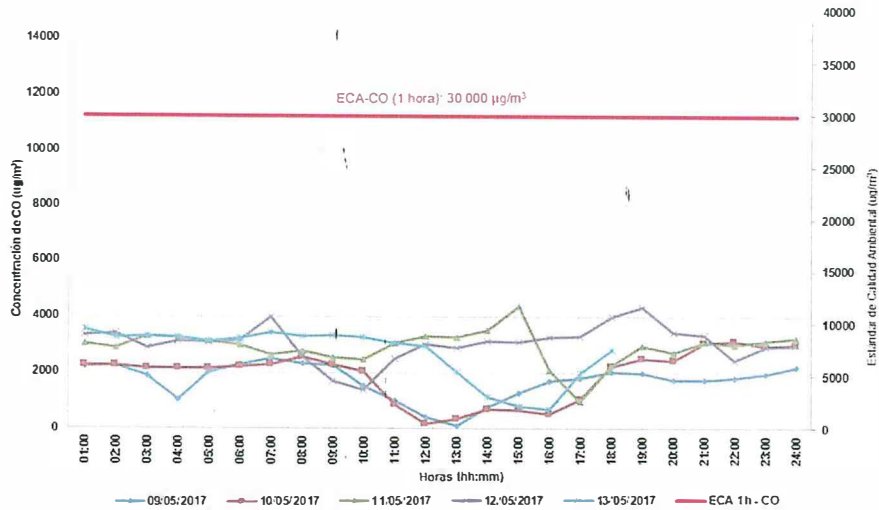


Figura 10-68. Concentraciones horarias de CO en el punto de muestreo AIR-01

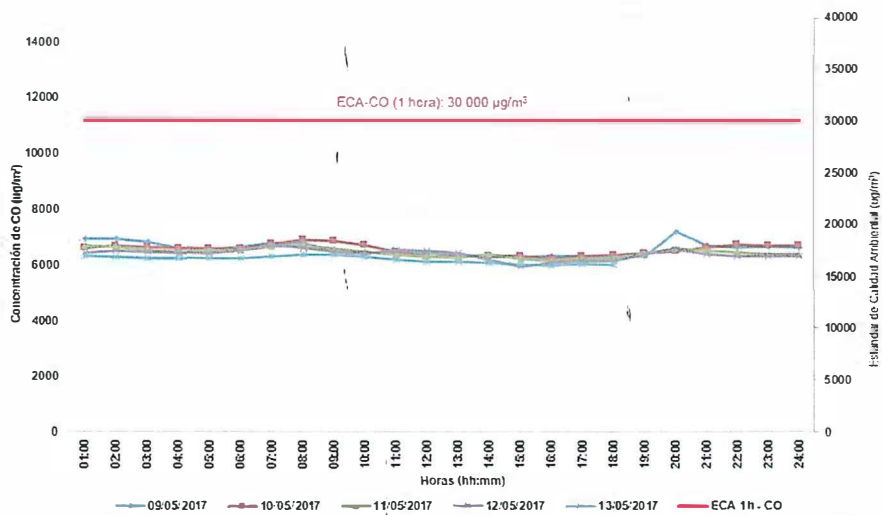


Figura 10-69. Concentraciones horarias de CO en el punto de muestreo AIR-02

587. Tal como se observa en las Figuras 10-70 y 10-71, las concentraciones obtenidas en los dos puntos de muestreo cumplieron el ECA ($30\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) para periodos de 1 hora, establecido en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. Es importante mencionar que todas las concentraciones de CO obtenidas durante el proceso de muestreo de calidad de aire fueron inferiores a $7\ 300\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Handwritten signatures in blue ink.

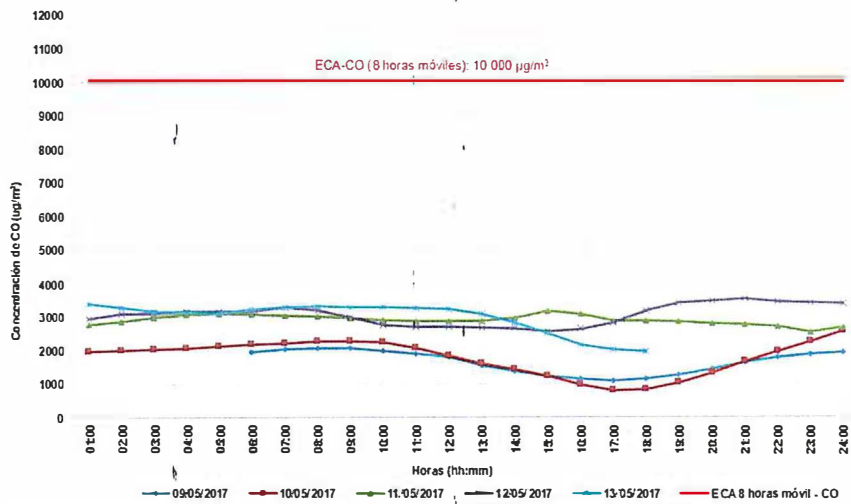


Figura 10-70. Concentraciones promedio móviles de 8 horas de CO en el punto de muestreo AIR-01



Handwritten notes and signatures in blue ink, including a large '1' and several illegible marks.

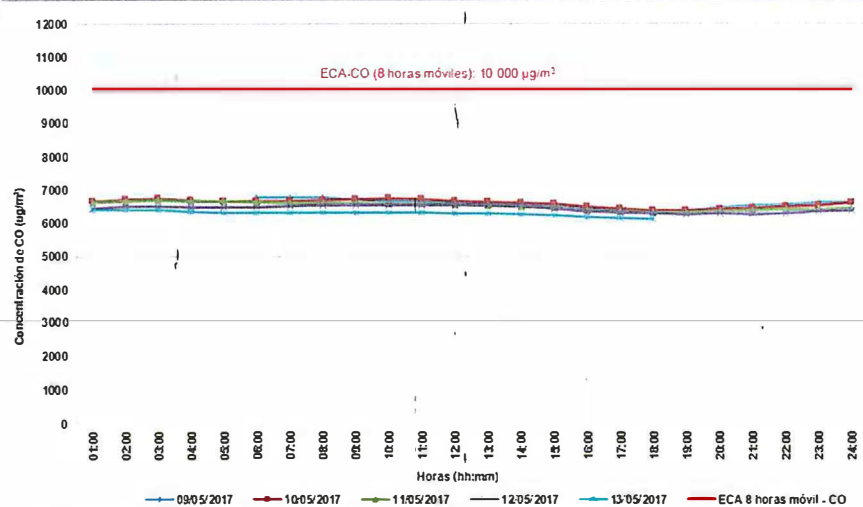


Figura 10-71. Concentraciones promedio móviles de 8 horas de CO en el punto de muestreo AIR-02

588. Las concentraciones de CO reportadas en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02 no exceden los valores del ECA correspondiente a 10 000 µg/m³, referente a las concentraciones promedio móvil de 8 horas (Decreto Supremo N° 074-2001-PCM).

589. Cabe resaltar que se cumple la misma relación de concentración de los dos gases mencionados entre los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02, es decir, las concentraciones horarias de CO del punto de muestreo AIR-02 son mayores a las del punto de muestreo AIR-01.

10.4.2.4. Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀)

590. Los resultados obtenidos para las concentraciones diarias de PM₁₀ en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02 son presentados en las Figuras 10-72 y 10-73, respectivamente.

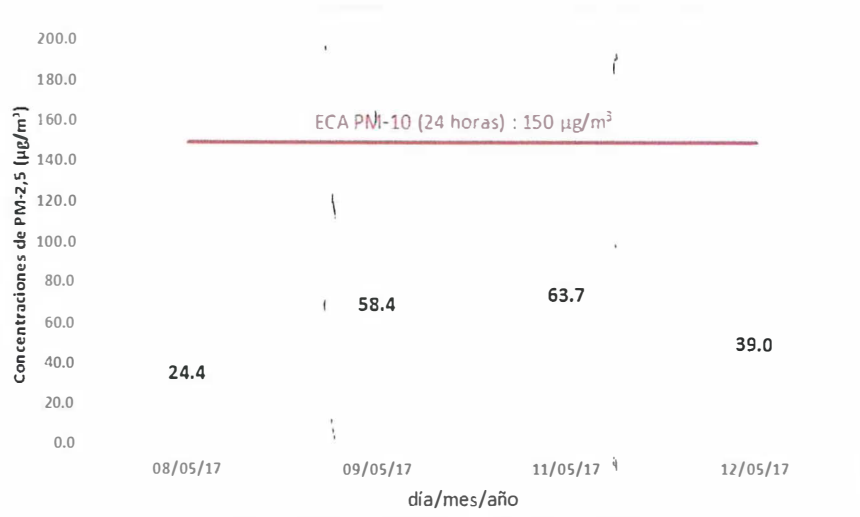


Figura 10-72. Concentraciones diarias de PM₁₀ en AIR-01

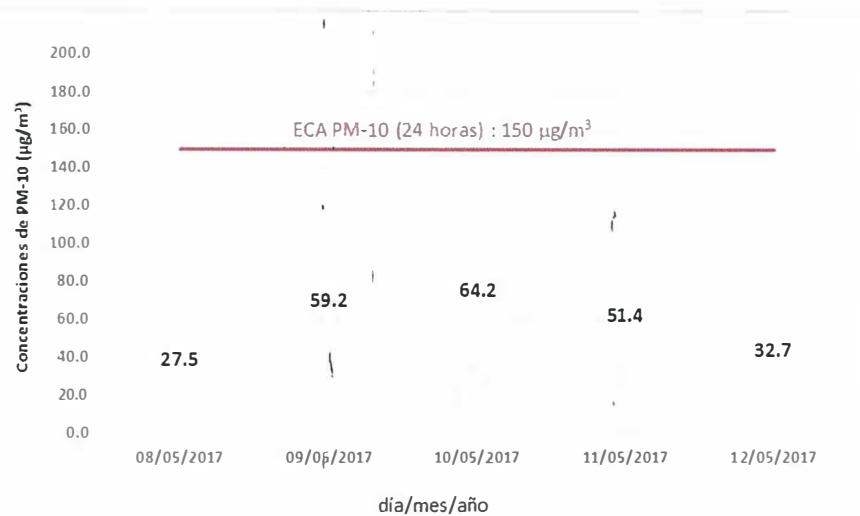


Figura 10-73. Concentraciones diarias de PM₁₀ en AIR-02

591. Las concentraciones reportadas en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02, se encontraron en conformidad con el ECA para PM₁₀ (150 µg/m³) para un periodo de 24 horas, según el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. La máxima concentración registrada fue de 64,2 µg/m³ en el punto de muestreo AIR-02.
592. Durante la ejecución de la evaluación de calidad de aire del 8 al 13 de mayo se observaron en los alrededores de los dos puntos de muestreo se observaron vías sin asfaltar, que por acción de los vientos y paso de vehículos sobre dichas vías es una fuente de material particulado y que influenciaría sobre los resultados de PM₁₀. Adicionalmente mencionar la quema de tallos y hojas de los cultivos de arroz que hubo durante el desarrollo de la evaluación ambiental temprana, fueron fuente de emisiones gaseosas (humos), el cual contribuyo en la generación de material particulado fino, a su vez el incremento del PM₁₀.



J
 A
 A
 K
 S
 S

10.4.2.5. Metales en PM₁₀

593. Las Tablas 10-30 y 10-31 contienen las concentraciones de metales determinados en PM₁₀ correspondiente a los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02.

Tabla 10-30. Concentraciones de 24 horas de metales pesados en AIR-01

Elemento	Símbolo	Periodo de muestreo				AQQC* (µg/m ³)
		Del 08/05/17 al 09/11/17	Del 09/05/17 al 10/11/17	Del 11/05/17 al 12/11/17	Del 12/05/17 al 13/11/17	
		Concentración de metales (µg/m ³)				
Plata	Ag	0,00005	0,00011	<0,00001	0,00007	1
Aluminio	Al	0,24246	0,70570	0,47641	0,40327	-
Arsénico	As	0,00344	0,00620	0,00695	0,00890	0,3
Bario	Ba	0,00362	0,01124	0,00794	0,00687	10
Berilio	Be	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007	0,01
Cadmio	Cd	0,00071	0,00073	0,00094	0,00397	0,025
Cobalto	Co	0,00022	0,66534	0,00036	0,00037	0,1
Cromo	Cr	<0,05904	<0,05986	<0,06053	<0,06055	0,5
Cobre	Cu	0,08219	0,05629	0,04047	0,04982	50
Manganeso	Mn	0,01154	0,0350	0,02431	0,02103	0,2
Molibdeno	Mo	0,00129	0,00153	0,00083	0,00097	120
Niquel	Ni	<0,00192	<0,00195	<0,00197	0,00238	0,1
Plomo	Pb	0,00503	0,00796	0,01402	0,01274	0,5
Antimonio	Sb	<0,00042	0,00055	0,00055	0,00051	25
Selenio	Se	0,00026	<0,00007	<0,00007	<0,00205	10
Talio	Tl	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006	-
Vanadio	V	0,00283	0,00603	0,00394	0,00761	2
Zinc	Zn	0,01214	0,03040	0,01902	0,01640	120
Uranio	U	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,15
Mercurio	Hg	0,00010	0,00013	<0,00001	<0,00001	2
Boro	B	< 3,8	0,00794	0,01356	0,00665	120
Estaño	Sn	0,00034	0,00049	0,00059	0,00043	10
Stroncio	Sr	0,00415	0,00999	0,00824	0,00567	120
Titanio	Ti	0,01053	0,03620	0,02403	0,02120	120

* Ambient Air Quality Criteria. Criterios de calidad de aire establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá. Abril de 2012.

Nota: los valores precedidos por el símbolo "<" (menor que), son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio.

Tabla 10-31. Concentraciones de 24 horas de metales pesados en AIR-02

Elemento	Símbolo	Periodo de muestreo					AQQC* (µg/m ³)
		Del 08/05/17 al 09/11/17	Del 09/05/17 al 10/11/17	Del 10/05/17 al 11/11/17	Del 11/05/17 al 12/11/17	Del 12/05/17 al 13/11/17	
		Concentración de metales (µg/m ³)					
Plata	Ag	0,00005	0,00008	0,00003	<0,00001	0,00005	1
Aluminio	Al	0,21009	0,51104	0,50950	0,46492	0,28427	-
Arsénico	As	0,00469	0,00526	0,00617	0,00718	0,00840	0,3
Bario	Ba	0,00448	0,00874	0,01028	0,00823	0,00481	10
Berilio	Be	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007	0,01
Cadmio	Cd	0,00113	0,00066	0,00095	0,00061	0,00238	0,025

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Elemento	Símbolo	Periodo de muestreo					AQQC* (µg/m ³)
		Del 08/05/17 al 09/11/17	Del 09/05/17 al 10/11/17	Del 10/05/17 al 11/11/17	Del 11/05/17 al 12/11/17	Del 12/05/17 al 13/11/17	
		Concentración de metales (µg/m ³)					
Cobalto	Co	0,00054	0,00039	0,00037	0,00039	0,00020	0,1
Cromo	Cr	<0,06127	<0,06136	<0,06116	<0,06121	<0,06113	0,5
Cobre	Cu	0,08029	0,06960	0,07742	0,07216	0,10730	50
Manganeso	Mn	0,01207	0,0231	0,02168	0,02328	0,01318	0,2
Molibdeno	Mo	0,00194	0,00170	0,00189	0,00171	0,00201	120
Niquel	Ni	0,00289	<0,00200	0,00269	<0,00199	0,00324	0,1
Plomo	Pb	0,02501	0,00773	0,00699	0,00517	0,00963	0,5
Antimonio	Sb	<0,00043	<0,00043	0,00099	0,00047	<0,00043	25
Selenio	Se	0,00081	0,00121	0,00165	0,00089	0,00171	10
Talio	Tl	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006	-
Vanadio	V	0,00330	0,00634	0,00982	0,00495	0,00679	2
Zinc	Zn	0,01173	0,01702	0,02222	0,01811	0,01276	120
Uranio	U	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,15
Mercurio	Hg	0,00007	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	2
Boro	B	0,00307	0,00467	0,00459	0,00786	0,00445	120
Estaño	Sn	0,00026	0,00021	0,00041	0,00045	0,00035	10
Stroncio	Sr	0,00412	0,01077	0,01013	0,00843	0,00457	120
Titanio	Ti	0,00966	0,02729	0,02707	0,02210	0,01436	120

* *Ambient Air Quality Criteria*. Criterios de calidad de aire establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá. Abril de 2012.

Nota: los valores precedidos por el símbolo "<" (menor que), son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio.



594. Las concentraciones de metales determinadas en PM₁₀, de los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02, cumplieron con el respectivo estándar referencial de Calidad Ambiental del Aire de Ontario.

10.4.3. Comparación con el ECA vigente

595. En la presente sección se analizan los resultados obtenidos de las concentraciones promedio diarias de los parámetros SO₂ y PM₁₀, contrastados con el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, aprobado el 7 de junio de 2017.

f
29
A
R
9
2

10.4.3.1. Dióxido de azufre (SO₂)

596. Las Figuras 10-74 y 10-75 contienen los resultados obtenidos para las concentraciones promedio diarias de dióxido de azufre (SO₂) en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02.

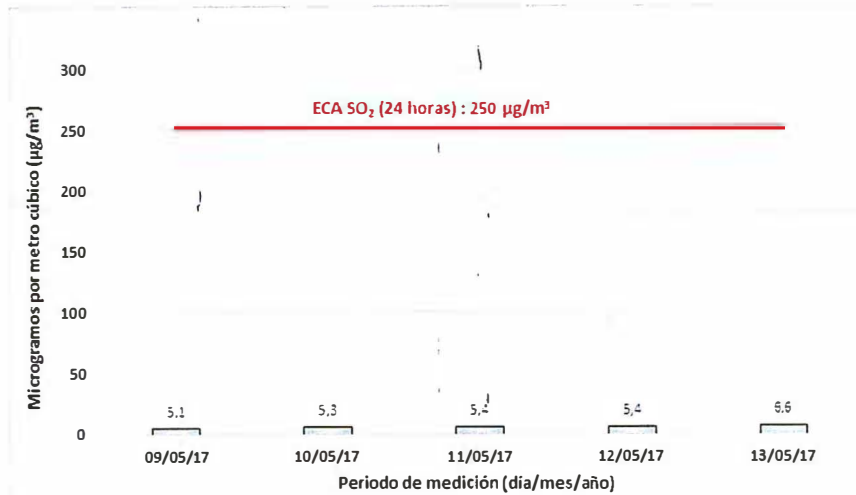


Figura 10-74. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en el punto de muestreo AIR-01

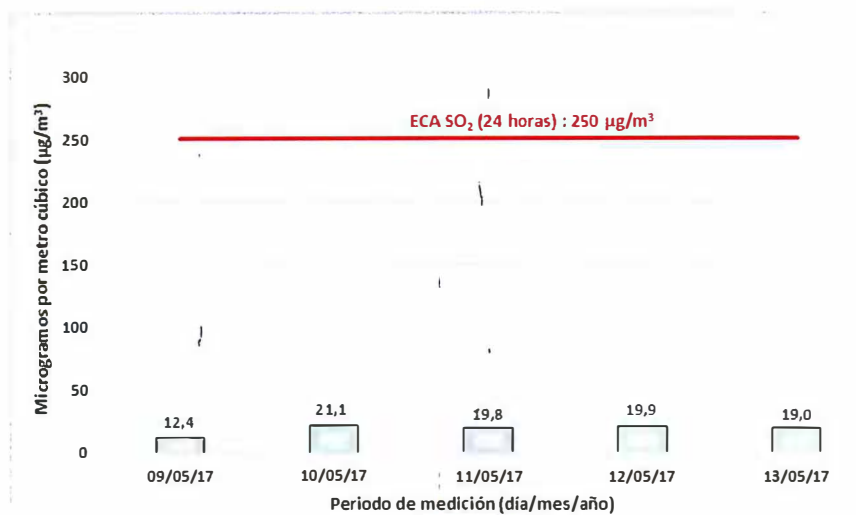


Figura 10-75. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en el punto de muestreo AIR-02

597. Las concentraciones de SO₂ reportadas en los dos puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02 se encuentran en conformidad con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para SO₂ igual a 250 µg/m³ para un periodo de 24 horas, según lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Cabe resaltar que el actual decreto supremo es menos estricto, en el sentido que el valor del ECA aumento 230 µg/m³, en comparación al decreto supremo derogado.



Handwritten signatures and initials in blue ink.

10.4.3.2. Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀)

598. Los resultados obtenidos para las concentraciones diarias de PM₁₀ en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02 son presentados en las Figuras 10-76 y 10-77, respectivamente.

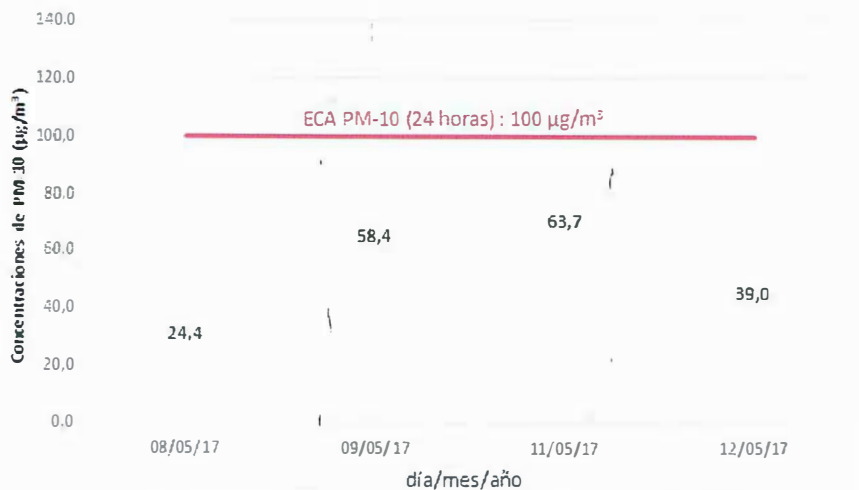


Figura 10-76. Concentraciones promedio diarias de PM₁₀ en el punto de muestreo AIR-01

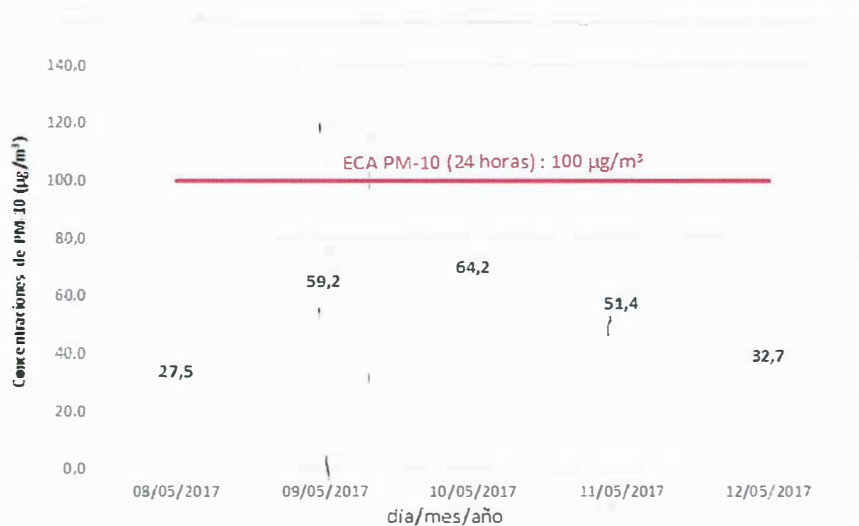


Figura 10-77. Concentraciones promedio diarias de PM₁₀ en el punto de muestreo AIR-02

599. Las concentraciones reportadas en los dos puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02, se encuentran en conformidad con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para PM₁₀ igual a 100 µg/m³ para un periodo de 24 horas, según el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Es preciso mencionar que el actual decreto supremo es más estricto, en el sentido que el valor del ECA disminuyó 50 µg/m³, en comparación al decreto supremo derogado.



Handwritten notes and signatures in blue ink, including a large 'A' and other illegible marks.

10.5. Calidad de suelo

600. A continuación, se presentan los resultados de calidad de suelos obtenidos durante la ejecución de la EAT en el ámbito del proyecto minero Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía.

10.5.1. Resultados de los parámetros físico-químicos

601. Para fortalecer los criterios en el análisis, se han tomado en cuenta los resultados de los parámetros físico-químicos evaluados, tales como la textura, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, dado que estos parámetros se encuentran directamente relacionados con la cantidad y comportamiento de los metales en el suelo.

602. Seguidamente se presentan tablas en las que se consignan estos parámetros para muestreo de suelos de uso agrícola, muestreo dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María y dentro del SNLM.

603. Las imágenes referentes a los puntos de muestreo se consignan en el Anexo F4. Registro fotográfico.

a. Puntos de muestreo en suelos de uso agrícola

604. En la Tabla 10-32, se consignan las proporciones porcentuales de las partículas minerales por punto de muestreo, obtenidas del análisis mecánico que realizó el laboratorio acreditado para la determinación de la clase de textura de los suelos de uso agrícola cultivados dentro de la presente evaluación.

605. En dicha tabla se aprecia que, según las proporciones de arena, limo y arcilla, los suelos son de texturas grueso moderado, ya que 11 de los 14 puntos evaluados presentan textura franco – arenosa, mientras que dos de ellos tienen textura franca y solo una presenta textura franco – limosa. Un suelo franco, según Scalone (2015), es aquel que, debido a su textura, tiene las mayores posibilidades de tener o poder adquirir una buena estructura y de poder satisfacer las exigencias medias del crecimiento vegetal.

Tabla 10-32. Resultados de análisis textural en suelos de uso agrícola

Parámetros	Arcilla	Arena	Limo	Análisis textural
Unidades	%	%	%	
Sue-Agri1	20	40	40	Franca
Sue-Agri2	15	45	40	Franca
Sue-Agri3	15	65	20	Franco-Arenosa
Sue-Agri4	15	60	25	Franco-Arenosa
Sue-Agri5	10	55	35	Franco-Arenosa
Sue-Agri6	10	70	20	Franco-Arenosa
Sue-Agri7	15	60	25	Franco-Arenosa
Sue-Agri8	10	70	20	Franco-Arenosa
Sue-Agri9	15	55	30	Franco-Arenosa
Sue-Agri10	10	75	15	Franco-Arenosa
Sue-Agri11	10	60	30	Franco-Arenosa
Sue-Agri12	10	70	20	Franco-Arenosa
Sue-Agri13	10	75	15	Franco-Arenosa
Sue-Agri14	30	30	40	Franco-Arcillosa



Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large '1' and several other marks.

606. En la Tabla 10-33, se muestran los valores de capacidad de intercambio catiónico hallados, los cuales, al ser comparados de manera referencial con los rangos interpretativos de la Tabla 8-5, se tiene lo siguiente: 11 de los puntos de muestreo de suelos evaluados se ubicaron dentro del rango de CIC muy alta ($CIC \geq 40$) y alto ($25 \leq CIC < 40$), dos puntos presentaron una CIC media ($15 \leq CIC < 25$) y solo un punto presentó una CIC baja ($5 \leq CIC < 15$). Se debe resaltar que estos suelos, al poseer mayormente una CIC alta a muy alta, presentan una reserva de nutrientes para poder reponer aquellos que fueron extraídos por las raíces o lixiviados (fuera de la rizósfera).
607. De los resultados de materia orgánica total en suelos mostrados en la Tabla 10-32 y comparados con los niveles de materia orgánica de acuerdo a su porcentaje de la Tabla 8-6 se tiene que 10 puntos de muestreo presentan un nivel de contenido de materia orgánica alto ($> 4\%$), mientras que en 4 puntos se tiene que el contenido es de nivel medio (2% a 4%). Al presentar estos suelos alto contenido de materia orgánica se puede inferir que estos suelos son aptos para cultivos.

Tabla 10-33. Resultados de parámetros de fertilidad en suelos de uso agrícola cultivados

Puntos de muestreo	Complejo de cambio				CIC (meq/100g)	Materia orgánica total %
	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	Na (meq/100g)		
SUE-AGRI1	28,3	3,96	1,35	4,77	38,38	4,26
SUE-AGRI2	34,1	6	1,47	7,54	49,11	6,72
SUE-AGRI3	27,2	4,04	1,4	3,25	35,89	4,64
SUE-AGRI4	14	2,47	1,27	1,55	19,29	2,81
SUE-AGRI5	15,2	3,18	1,29	3,41	23,08	3,16
SUE-AGRI6	23	4,23	7,42	8,58	43,23	4,22
SUE-AGRI7	9,13	2,08	1,17	1,84	14,22	2,04
SUE-AGRI8	21,5	3,96	2,01	4,13	31,6	4,46
SUE-AGRI9	30,1	4,77	2,33	3,08	40,28	4,72
SUE-AGRI10	27,1	5,05	2,5	2,78	37,43	4,52
SUE-AGRI11	39,7	5,41	2,11	3,08	50,3	5,79
SUE-AGRI12	33,7	5,61	1,7	2,45	43,46	3,93
SUE-AGRI13	27	3,95	1,1	2,77	34,82	4,25
SUE-AGRI14	23,9	4,37	1,28	2,62	32,17	4,71



1
28
d
A
K
9
2

608. La Tabla 10-34 se presentan los resultados de parámetros fisicoquímicos en suelos de uso agrícola. De la comparación de los parámetros fisicoquímicos con los ECA (suelo agrícola), se encontró que en los puntos de muestreo SUE-AGRI 11, SUE-AGRI 12 y SUE-AGRI 13, excedieron el valor del ECA – Suelo de uso agrícola para arsénico.

Tabla 10-34. Resultados de parámetros fisicoquímicos en suelos de uso agrícola

Parámetros	Cianuro libre	Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Cromo Hexavalente	Mercurio total	Plomo Total
Unidades	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
Sue-Agri1	< 0,3	36	152	0,3974	< 0,1	< 0,03	25,6
Sue-Agri2	< 0,3	47	165	0,5195	< 0,1	< 0,03	27,5
Sue-Agri3	< 0,3	34	107	0,5387	< 0,1	< 0,03	26,3
Sue-Agri4	< 0,3	32	94,8	0,257	< 0,1	< 0,03	18,8
Sue-Agri5	< 0,3	34	95,3	0,3441	< 0,1	< 0,03	28,6
Sue-Agri6	< 0,3	42	102	0,2452	< 0,1	< 0,03	16,2
Sue-Agri7	< 0,3	26	80	0,2493	< 0,1	< 0,03	19,3
Sue-Agri8	< 0,3	50	109	0,3289	< 0,1	< 0,03	23



Parámetros	Cianuro libre	Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Cromo Hexavalente	Mercurio total	Plomo Total
Unidades	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
Sue-Agri9	< 0,3	45	157	0,656	< 0,1	< 0,03	37,1
Sue-Agri10	< 0,3	43	156	0,5531	< 0,1	< 0,03	34,8
Sue-Agri11	< 0,3	52	193	0,5223	< 0,1	< 0,03	29,8
Sue-Agri12	< 0,3	53	203	0,5057	< 0,1	< 0,03	28,3
Sue-Agri13	< 0,3	55	195	0,694	< 0,1	< 0,03	50,8
Sue-Agri14	< 0,3	47	180	0,4493	< 0,1	< 0,03	26,6
ECA para suelos de uso agrícola	0,9	50	750	1,4	0,4	6,6	70

b. Puntos de muestreo dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María

609. Según los resultados mostrados en la Tabla 10-35, los suelos dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María, se caracterizan por tener casi las mismas proporciones los porcentajes de arena y limo, lo cual le brinda una textura franca.

Tabla 10-35. Resultados de análisis textural en suelos dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María

Parámetros	Arcilla	Arena	Limo	Análisis textural
Unidades	%	%	%	
SUE-PYT 1	10	45	45	Franca
SUE-PYT 2	10	50	40	Franca
SUE-PYT 3	10	45	45	Franca
SUE-PYT 4	10	50	40	Franca
SUE-PYT 5	10	45	45	Franca
SUE-PYT 6	15	45	40	Franca
SUE-PYT 7	15	45	40	Franca
SUE-PYT 8	10	50	40	Franca
SUE-PYT 9	10	50	40	Franca
SUE-PYT 10	10	45	45	Franca
SUE-PYT 11	15	45	40	Franca
SUE-PYT 12	15	35	50	Franco-Limosa

610. En la Tabla 10-36 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos comparados con los valores del ECA (suelo de uso agrícola), en donde la concentración de ningún metal supera los ECA.

Tabla 10-36. Resultados de parámetros fisicoquímicos en suelos dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María

Parámetros	Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Mercurio total	Plomo Total
Unidades	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
SUE-PYT 1	9,8	76,1	0,2623	<0,03	8,02
SUE-PYT 2	9,5	122	0,2647	<0,03	9,65
SUE-PYT 3	4,7	136	0,26	<0,03	9,54
SUE-PYT 4	5,8	166	0,2635	<0,03	7,59
SUE-PYT 5	7,6	229	0,2768	<0,03	11,4
SUE-PYT 6	5,8	151	0,3015	<0,03	7,62
SUE-PYT 7	6,8	107	0,2059	<0,03	4,78
SUE-PYT 8	25	134	0,3029	<0,03	8,44
SUE-PYT 9	9,4	157	0,3026	<0,03	9,58
SUE-PYT 10	11	80,6	0,1724	<0,03	5,36

Parámetros	Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Mercurio total	Plomo Total
Unidades	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
SUE-PYT 11	10	58,8	0,1626	<0,03	4,19
SUE-PYT 12	15	66,1	0,1599	<0,03	4,12
ECA para suelos de uso agrícola	50	750	1,4	6,6	70

c. Puntos de muestreo dentro del área del SNLM

611. Según la Tabla 10-37, los resultados de textura en el SNLM, indican que los suelos que se encuentran entre la playa y la laguna tienen textura arenosa. La vegetación de grava y junco presente en esta zona se desarrolla por lo general sobre una capa de materia orgánica.

Tabla 10-37. Resultados de análisis textural en suelos en el área del SNLM

Parámetros	Arcilla	Arena	Limo	Análisis textural
Unidades	%	%	%	
SUE-SNLM-1	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-2	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-3	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-4	0	95	5	Arenosa
SUE-SNLM-5	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-6	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-7	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-8	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-9	0	95	5	Arenosa
SUE-SNLM-10	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-11	0	100	0	Arenosa
SUE-SNLM-12	0	100	0	Arenosa

612. En la Tabla 10-38 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos comparados con los valores del ECA (suelo de uso agrícola), en donde la concentración de ningún metal supera los ECA.

Tabla 10-38. Resultados de parámetros fisicoquímicos en suelos en el SNLM

Parámetros	Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Mercurio total	Plomo Total
Unidades	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
SUE-SNLM-1	6,9	87,5	0,2242	<0,03	5,28
SUE-SNLM-2	5	58,6	0,1624	<0,03	3,69
SUE-SNLM-3	2,6	66,1	0,3842	<0,03	8,2
SUE-SNLM-4	3,3	65,2	0,3305	<0,03	20,6
SUE-SNLM-5	<0,40	54,5	0,5448	<0,03	7,52
SUE-SNLM-6	6	62,1	0,2351	<0,03	5,94
SUE-SNLM-7	4,9	57,6	0,3218	<0,03	6,68
SUE-SNLM-8	7,7	66,8	0,2609	<0,03	7,13
SUE-SNLM-9	5,6	56,7	0,3040	<0,03	7,27
SUE-SNLM-10	<0,40	54,8	0,5837	<0,03	6,64
SUE-SNLM-11	3,4	159	1,092	<0,03	17,9
SUE-SNLM-12	2,3	77,7	0,8435	<0,03	12,9
ECA para suelos de uso agrícola	50	750	1,4	6,6	70



Handwritten blue notes and signatures on the left margin.

10.5.2. Resultados de la evaluación y determinación del nivel de fondo – NF y valor de referencia - VR

613. Las fichas estadísticas que comprenden tablas y figuras para la determinación de nivel de fondo (ver el Anexo F6. Fichas estadísticas para determinación de niveles de fondo) habiendo sido obtenidas mediante el análisis estadístico para cada elemento (metales y metaloides). En las referidas tablas se detallan los datos estadísticos más resaltantes de la población muestral, mientras que las figuras muestran los histogramas, diagramas de cajas y bigotes, así como, los gráficos de normalidad.
614. En la Tabla 10-39 se presentan los resultados de los valores de nivel de fondo, determinados según los procedimientos descritos en el párrafo anterior y en el apartado 9.5.3. *Análisis estadístico para la determinación de los niveles de fondo y valor de referencia.*

Tabla 10-39. Valores de nivel de fondo de metales para el área de estudio del proyecto minero Tía María

Metales totales (mg/kg PS)	Área de muestreo de suelos						ECA para suelo agrícola (Decreto Supremo N° 002- 2013- MINAM)
	Suelo agrícola (cultivos)		Suelos dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María		Suelos dentro del Santuario Nacional Lagunas de Mejía		
	Nivel de fondo	Valor de referencia	Nivel de fondo	Valor de referencia	Nivel de fondo	Valor de referencia	
Aluminio	13 846	16 705	7 100	8 061	16 748	23 599	--
Antimonio	1,691	2,145	N.D.	N.D.	0,844	1,922	--
Arsénico	46,78	58,88	5,285	9,238	13,61	27,84	50
Bario	162,3	220,5	88,41	159	149,3	236,7	750
Berilio	0,484	0,608	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	--
Bismuto	0,187	0,238	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	--
Boro	20,19	27,12	18,51	29,99	62,54	107,6	--
Cadmio	0,517	0,717	0,641	1,016	0,273	0,303	1,4
Calcio	9 605	13 096	7 045	8 520	48 360	98 591	--
Cerio	25,32	28,41	14,41	16,18	29,85	43,47	--
Cobalto	12,14	14,08	20,11	34,51	14,6	22,06	--
Cobre	46,93	60,28	24,57	31,89	71,74	112	--
Cromo	26	37,69	43,02	83,01	19,97	28,67	--
Estaño	0,415	0,7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	--
Estroncio	100,3	128,3	39,01	46,7	324,5	568,9	--
Fósforo	1 653	2 450	1 135	1 587	1 735	3 016	--
Hierro	32 284	42 329	60 289	111 369	25 432	33 329	--
Litio	23,48	30,25	9,953	12,23	20,45	34,37	--
Magnesio	9 798	13 678	5 143	5 787	9 601	14 563	--
Manganeso	571,7	682	438,2	691,2	679	1 222	--
Mercurio	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6,6
Molibdeno	0,987	1,205	N.D.	N.D.	0,599	1,26	--
Níquel	15,04	18,06	15,96	26,25	14,54	22,71	--
Plomo	32,18	44,03	12,61	25,21	8,773	13,03	70



l
 28
 @
 A
 K
 9
 2



Metales totales (mg/kg PS)	Área de muestreo de suelos						ECA para suelo agrícola (Decreto Supremo N° 002- 2013- MINAM)
	Suelo agrícola (cultivos)		Suelos dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María		Suelos dentro del Santuario Nacional Lagunas de Mejía		
	Nivel de fondo	Valor de referencia	Nivel de fondo	Valor de referencia	Nivel de fondo	Valor de referencia	
Plata	0,0787	0,117	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	--
Potasio	2 409	3 057	1 378	1 832	4 260	5 454	--
Selenio	2,527	3,269	0,0288	0,0543	0,0121	0,0184	--
Sodio	1 244	1 896	1 681	2 620	8 491	17 285	--
Talio	0,22	0,296	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	--
Titanio	1 097	1 887	2 431	4 343	1 035	1 289	--
Torio	4,263	6,212	0,0308	0,0395	0,0573	0,0897	--
Uranio	0,818	1,082	0,159	0,305	0,0751	0,0988	--
Vanadio	127,4	220,6	258,8	508,9	75,07	99,15	--
Wolframio	0,16	0,206	0,107	0,222	0,0619	0,121	--
Zinc	114,5	153,6	104,6	170,4	69,52	98,68	--

N.D.: No determinado, dado que los valores reportados por el laboratorio fueron inferiores al límite de cuantificación de su método de análisis por lo que no se puede realizar el análisis estadístico.

615. En la Tabla 10-39 se muestran los resultados de los niveles de fondo comparados con los valores del ECA (suelo de uso agrícola), que ninguno de los valores de nivel de fondo de los metales que tiene ECA para suelo, superan el valor establecido.

10.6. Tejido vegetal

616. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la toma de muestras de tejido vegetal. Las imágenes que muestran la ubicación de los puntos de muestreo se presentan en el Anexo G4. Registro fotográfico.

10.6.1. Relación entre los parámetros de textura y fertilidad del suelo con el análisis de tejido vegetal

617. La Tabla 10-40 muestra la relación existente entre los parámetros de suelo y análisis de tejido vegetal.

Tabla 10-40. Relación entre parámetros de suelo y análisis de tejido vegetal

Puntos de muestreo	Textura	MOT %	CIC
TEJ-VEG 1	Franca	4,26	38,38
TEJ-VEG 2	Franco-Arenosa	4,22	43,23
TEJ-VEG3	Franco-Arenosa	2,81	19,26
TEJ-VEG4	Franco-Arenosa	4,46	31,60
TEJ-VEG5	Franco-Arenosa	4,72	40,28
TEJ-VEG 6	Franco-Arenosa	4,52	37,43
TEJ-VEG 7	Franco-Arenosa	4,52	37,43

618. Por lo general, los suelos agrícolas cultivados presentan condiciones adecuadas para el crecimiento vegetal ya que, en la mayoría de los puntos evaluados, tienen



Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large '1' and several illegible marks.

una capacidad de intercambio catiónico superior a los 30 meq/100g, con porcentaje de materia orgánica mayor al 4% y textura franco arenosa.

10.6.2. Evaluación de metales en tejido vegetal

619. En la Tablas 10-41 se muestran los resultados del análisis del laboratorio acreditado para arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel y plomo en los frutos, hortalizas, cereales y pienso (hojas y tallo de maíz).

Tabla 10-41. Resultados metales totales en tejido vegetal

Parámetros (mg/kg)	TEJ-VEG 1	TEJ-VEG 2	TEJ-VEG 3	TEJ-VEG 4	TEJ-VEG 5	TEJ-VEG 6	TEJ-VEG 7
	11/05/2017 14:25	11/05/2017 16:45	11/05/2017 16:58	8/05/2017 16:52	9/05/2017 12:00	13/05/2017 11:20	13/05/2017 12:50
Mercurio	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Aluminio	<10	<10	<10	<10	<10	58	<10
Antimonio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Arsénico	0,5	<0,1	0,4	0,6	0,8	0,6	0,2
Bario	1,7	2	0,2	0,2	0,3	2,1	1,5
Berilio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bismuto	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Boro	31	14	141	127	92	25	21
Cadmio	0,11	0,29	0,04	<0,02	<0,02	0,21	0,09
Calcio	2 810	2 745	448	977	733	655	375
Cobalto	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	0,02
Cobre	5,2	2,7	8,8	4,8	9,5	6,5	3,7
Cromo	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,7	0,5
Estaño	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Estroncio	37,36	39,41	3,73	10,74	8,08	4,89	2,63
Fosforo	2 894	2 520	1 488	1 720	2 255	2 620	1 913
Hierro	<50	<50	<50	<50	<50	102	<50
Litio	1,2	<0,5	<0,5	12,3	6,5	0	<0,5
Magnesio	1 187	1 986	603	369	434	1 162	924
Manganeso	13,6	23,2	7,8	3,8	4,4	174,6	60,1
Molibdeno	<0,4	0,5	0,5	<0,4	<0,4	<0,4	0,4
Níquel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,3
Plata	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Plomo	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	<0,05
Potasio	18 859	35 069	11 133	17 338	21 239	4 573	4 208
Selenio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sodio	778	41	279	465	1265	457	34
Talio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Titanio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	1,8	0,6
Uranio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Vanadio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zinc	21,9	67,4	12,1	7,1	10,2	18,6	14,4



[Handwritten signatures and initials in blue ink]

620. Cabe señalar que las concentraciones de metales encontradas en los frutos evaluados, servirán de conocimiento y referencia para posteriores trabajos de vigilancia ambiental.

11. DISCUSIONES

621. En la presente sección se discuten brevemente los resultados obtenidos para los diferentes componentes ambientales analizados.

11.1. Calidad de agua

622. A continuación, se analizan los resultados referentes a calidad de agua se explica el comportamiento de los mismos cuerpos de agua superficial (río Tambo, y lagunas del SNLM), afloramientos y canales de riego, complementándose con

estudios anteriores de las entidades del estado como el INRENA, ANA y Oefa, y de la línea base del EIA-d del Proyecto Minero Tía María de Southern Perú Copper Corporation (SPCC), Sucursal del Perú (ver resumen de calidad de agua y sedimentos en los Anexos H1 y H2 respectivamente).

- **Salinidad**

623. El estuario es la zona donde el agua dulce de un río costero se mezcla con agua salina del mar, incrementándose las concentraciones de los elementos relacionados a la salinidad⁷⁸. Por ello, el valor de la conductividad, las concentraciones de los sólidos disueltos totales (SDT) y cloruros son mayores en el estuario del río Tambo (a 300 metros antes de su desembocadura al mar) que el río Tambo que recorre todo el valle agrícola de la cuenca del río Tambo y sus canales de riego de las diferentes Junta de Usuarios.
624. Este aumento de las concentraciones y valores de los citados parámetros hace que el agua del río Tambo excedieran valores de los ECA (agua), Cat3D1 y Cat3D2 y la guía canadiense (CEQG-WQG); (ver Figuras 11-1 11-2 y 11-3).
625. De otro lado, el incremento de las concentraciones de la DQO en el estuario se debe a la presencia de compuestos oxidables que interfieren con el análisis de la misma, como son los cloruros (Cl⁻), con una concentración 548,2 mg/L, y la materia orgánica⁷⁹ presente en el agua de mayor salinidad tanto en forma disuelta, coloidal y particulada, que abarca diversos organismos vivos como sus restos, y los nutrientes (fósforo y nitrógeno) y minerales de arcilla y óxidos, *ver Sección 8.1.1*.
626. Los parámetros fisicoquímicos relacionados con la salinidad (conductividad, SDT, cloruros y DQO) en el río Tambo (a excepción del estuario) y los canales de riego, fueron menores que en las lagunas del SNLM. Cabe indicar que la mayor concentración de la DQO en las citadas lagunas se debe, al igual que en el estuario, a la presencia de cloruros y materia orgánica en un ambiente de origen salino.
627. Por lo mencionado previamente, y de la comparación de los parámetros con los ECA (agua), Cat3D1 y Cat3D2 y CEQG-WQG, las aguas de las lagunas del SNLM excedieron los ECA-Agua Cat3D1. Mientras, los valores de conductividad de las lagunas Iberia sur 2 y Centro; SDT de las lagunas Iberia sur 2, Centro y Boquerón; y ambos parámetros (conductividad y SDT) para la laguna Boquerón, indican que excedieron los ECA-Agua Cat3D2.
628. En relación a la comparación con la Cat4E1 para los resultados de las lagunas del SNLM, los valores de conductividad excedieron el valor de los citados ECA. Estos resultados indican que las lagunas (ubicadas en el litoral peruano) tienen relación con cuerpos de agua de mayor salinidad como los estuarios (que son comparados con la Cat4E3), puesto que tienen mayor valor de conductividad y concentraciones de SDT y cloruros, en relación a otras lagunas en diferentes entornos ambientes como selva, costa y sierra comparados con la Cat4E1.

⁷⁸ El cambio de salinidad depende del nivel de la marea del mar y la fuerza de descarga del río.

⁷⁹ De acuerdo al Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI, los resultados de la DQO que detecta la materia orgánica biodegradable en el agua de mar fueron menores al límite de cuantificación (<5 mg/L).

629. Las Figuras 11-1 y 11-2 muestran los modelos hidrogeológicos de dos perfiles diferentes, perpendiculares a las lagunas (A-A' y B-B' respectivamente). Como puede observarse, el afloramiento de agua dulce o continental del acuífero de la cuenca del río Tambo proviene principalmente de la infiltración de aguas utilizadas en la actividad agrícola⁸⁰, las cuales disuelven los sedimentos de origen o depósito marino (Qh-m) de las lagunas del SNLM, que contiene sales con presencia principalmente de sodio y cloruro (ver sección 11.2. Sedimentos).

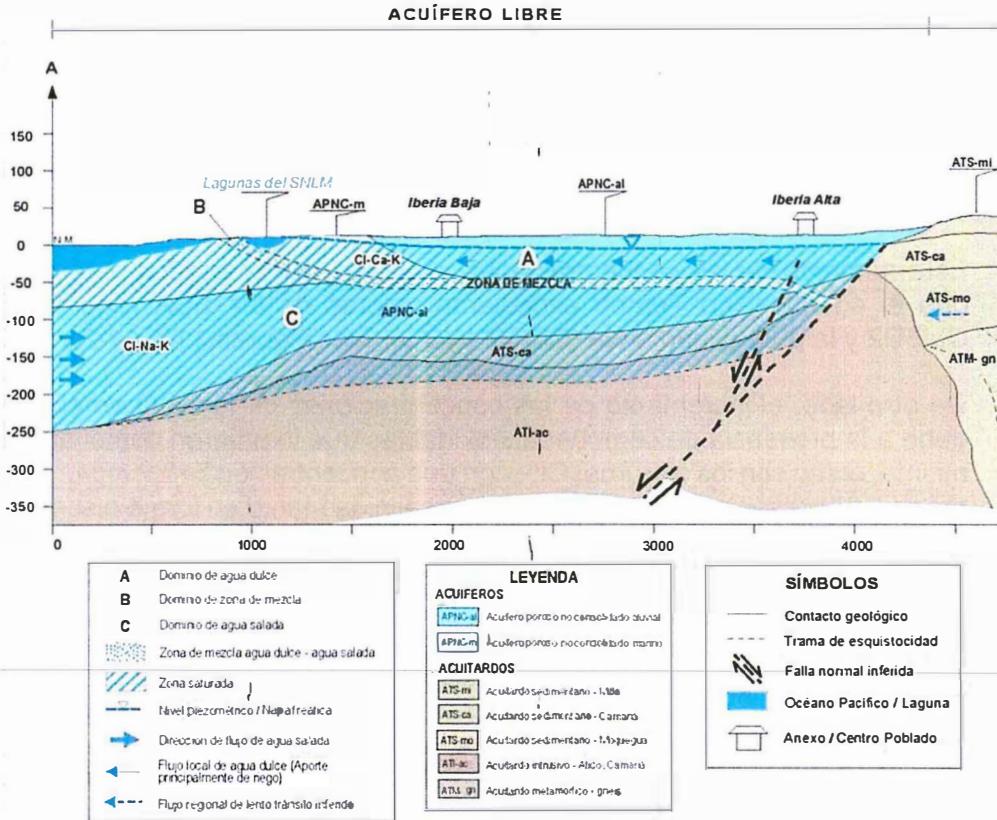


Figura 11-1. Acuífero libre en el modelo hidrogeológico conceptual 2D A-A' de las lagunas del SNLM

Fuente: Modificado del Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI



Handwritten signatures and initials in blue ink.

⁸⁰ Citado en el Plan Maestro del Santuario Nacional Lagunas de Mejía 2015-2019 aprobado mediante Resolución Presidencial N°238-2015-SERNANP el 29 de octubre de 2015.

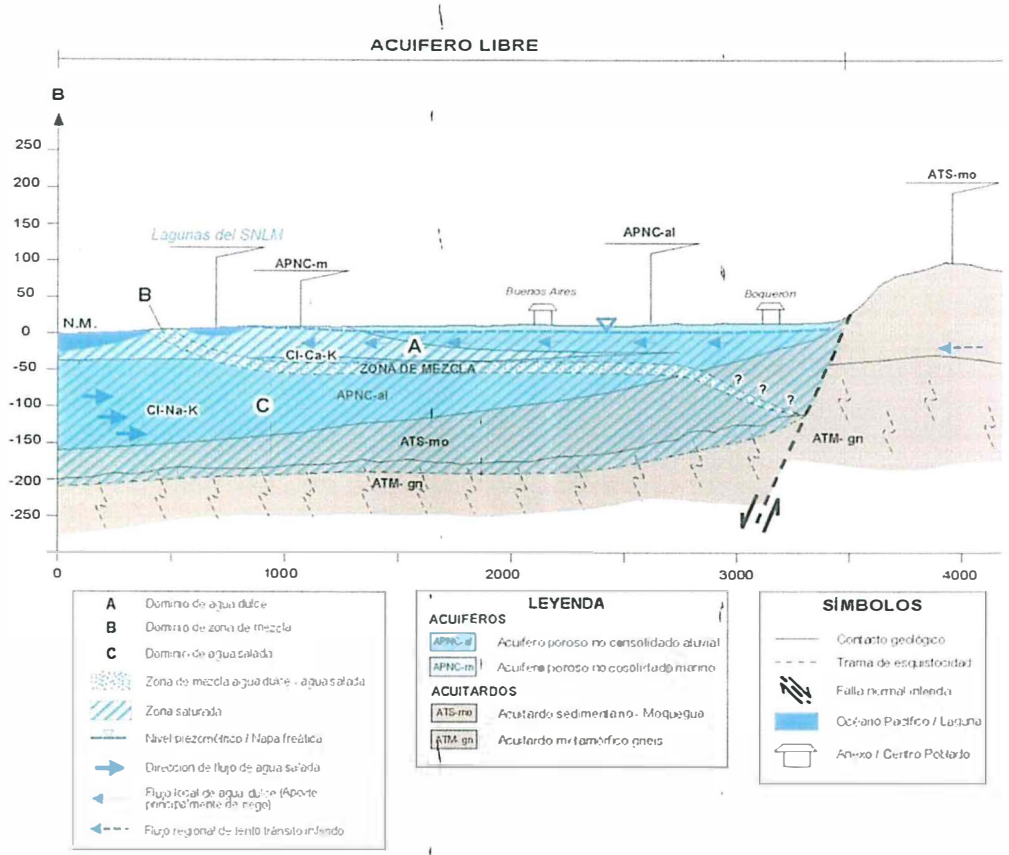


Figura 11-2. Acuífero libre en el modelo hidrológico conceptual 2D B-B' de las lagunas del SNLM

Fuente: Modificado del Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI



Handwritten notes in blue ink on the left margin, including a vertical line of marks and some illegible text.

- 630. Por lo tanto, dicho mecanismo, junto con el agua de infiltración de la zona de mezcla de agua de mar y dulce (B), pueden ser algunas de las causas de que los parámetros relacionados a aguas salinas (sodio y cloruros) en las citadas lagunas sean mayores a los registrados en el río Tambo y los canales de riego.
- 631. El flujo de agua dulce, de acuerdo a las citadas figuras, va en dirección al mar (suroeste) desde un acuífero no consolidado aluvial (APNC-al) a un no consolidado marino (APNC-m) y domina la zona saturada por debajo de la napa freática⁸¹ (zona A) hasta una profundidad de 50 metros. Mientras, la infiltración de agua salada (en dirección noreste) se encuentra de 50 a 150 metros por debajo de la línea de la costa (zona C), por lo que el agua de mar no influye en las concentraciones de parámetros relacionados a la salinidad.
- 632. Los aportes de agua sobrantes de riego de la irrigación Iberia mediante los drenes, cuya agua proviene del río Tambo, mantienen el complejo de lagunas del Área Natural Protegida de acuerdo a lo indicado al Plan Maestro del Santuario Nacional Lagunas de Mejía⁸² Estos drenes están constituidos por un dren colector principal y drenes ciegos frente a la laguna Iberia, a los que se les da limpieza manual o

⁸¹ El espesor de la napa freática varía de 5 hasta 25 metros de profundidad en la zona no saturada.
⁸² El citado Plan Maestro manifiesta además lo siguiente: "Las lagunas sufren un impacto permanente provenientes de la agricultura aledaña al ANP, principalmente por la agroquímicos, residuos sólidos y arrastre de sedimentos, que puede ingresar por infiltración, así como de manera superficial cuando la disponibilidad hídrica es alta".

con maquinaria, controlando el flujo de agua mediante compuertas en época de lluvia.

633. La importancia del aporte de agua de los drenes a las lagunas del SNLM se pone de manifiesto por la falta de agua durante el Fenómeno del Niño en el sur del Perú (Tacna, Moquegua y Arequipa) a inicios del 2016⁸³, disminuyendo notablemente el caudal del río Tambo y, por ende, secándose las lagunas del SNLM, siendo tema de preocupación por los medios locales (ver Fotografías 11-1a y 11-1b).

a)

Lagunas de Mejía no tienen agua

21 de Enero de 2016

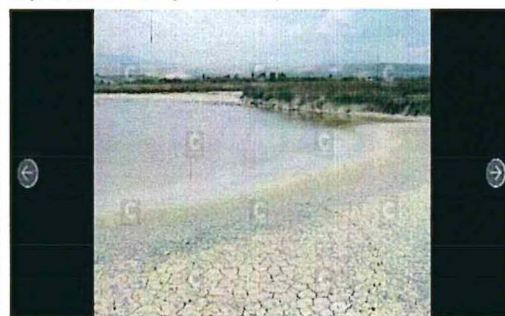


Zonas están afectadas por reducción del nivel de la cuenca. Las áreas protegidas y la agricultura están en problemas.

Por Lino Mamani A
Fotos Adrian Quiñano P
(Enviados especiales)

b) Islay: Preocupación por sequía en lagunas

Han perdido una buena área de su laguna en Deán Valdivia y La Punta de Sombón



GALERIA Foto: Preocupación por sequía en lagunas

117

19 de Enero del 2016 - 20:44 - Tacna, Tacna, Tacna - Foto: Yohana Torres

Fotografía 11-1. Noticias de a) 21 de enero del 2016 en el diario el Pueblo y b) 19 de enero del 2016 en el diario Correo de Arequipa

Fuente: Medios electrónicos locales.⁸⁴

634. Para el caso de los afloramientos en la quebrada Rosa María, se han registrado valores de conductividad y concentraciones de SDT, sulfatos y cloruros, relacionados a la salinidad, que excedieron referencialmente los valores establecidos en los ECA (agua), Cat3D1 y Cat3D2. Asimismo, las concentraciones de la DQO excedieron los citados valores de los ECA, estando relacionadas a la alta concentración de cloruros y otros compuestos oxidables como los iones metálicos: Fe^{2+} y Mn^{2+} principalmente.
635. En relación al manantial Santo Domingo, este tiene menores concentraciones de los parámetros relacionados a la salinidad (conductividad, SDT, cloruros, sulfatos y DQO) y los nitratos, que la quebrada Rosa María, los cuales no excedieron referencialmente los valores establecidos en Cat3D1 y Cat3D2.
636. Esta diferencia en referencia a la salinidad que tiene la quebrada Rosa María y el manantial Santo Domingo, se debe al origen de sus aguas de cada uno, visualizados mediante los mapas hidrogeológicos indicados en el Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI (ver Figuras 11-3 y 11-4).

⁸³ Noticia indicada, entre otros, en el siguiente link: <http://larepublica.pe/sociedad/908711-fenomeno-de-el-nino-a-punto-de-converter-al-sur-en-un-desierto> (Consultado el 1 de octubre de 2017).

⁸⁴ Extraído de: <http://elpueblo.com.pe/noticia/primeras-lagunas-de-mejia-no-tienen-agua-0> (diario el Pueblo) y <https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/islay-sequia-afecta-al-santuario-nacional-de-mejia-647780/> (diario Correo). Consultados el 1 de octubre de 2017.

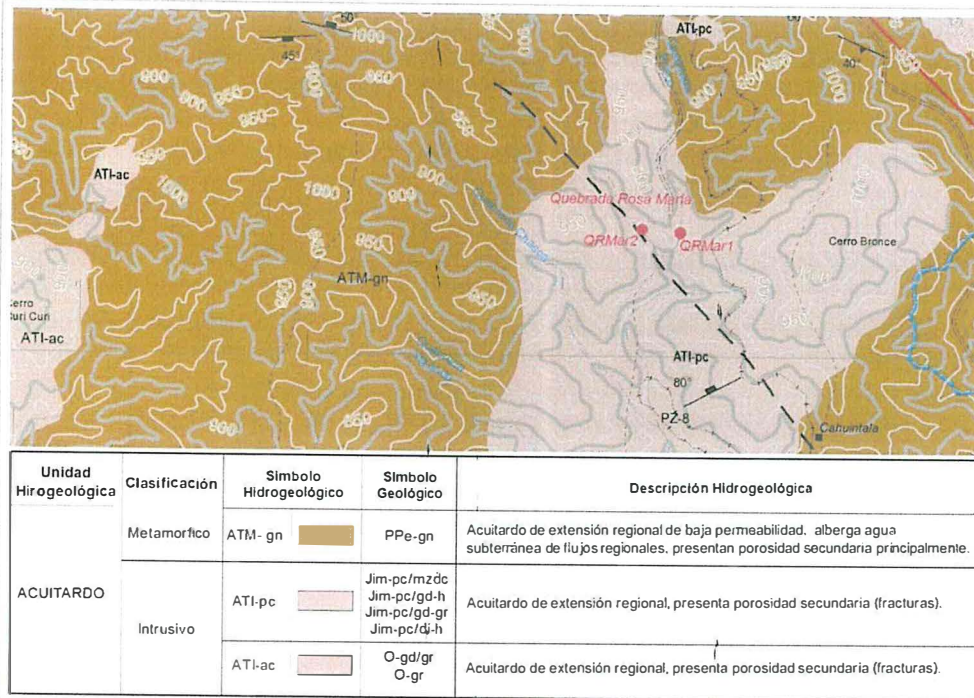


Figura 11-3. Mapa hidrogeológico en el ámbito de la quebrada Rosa María
Fuente: Modificado del Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI

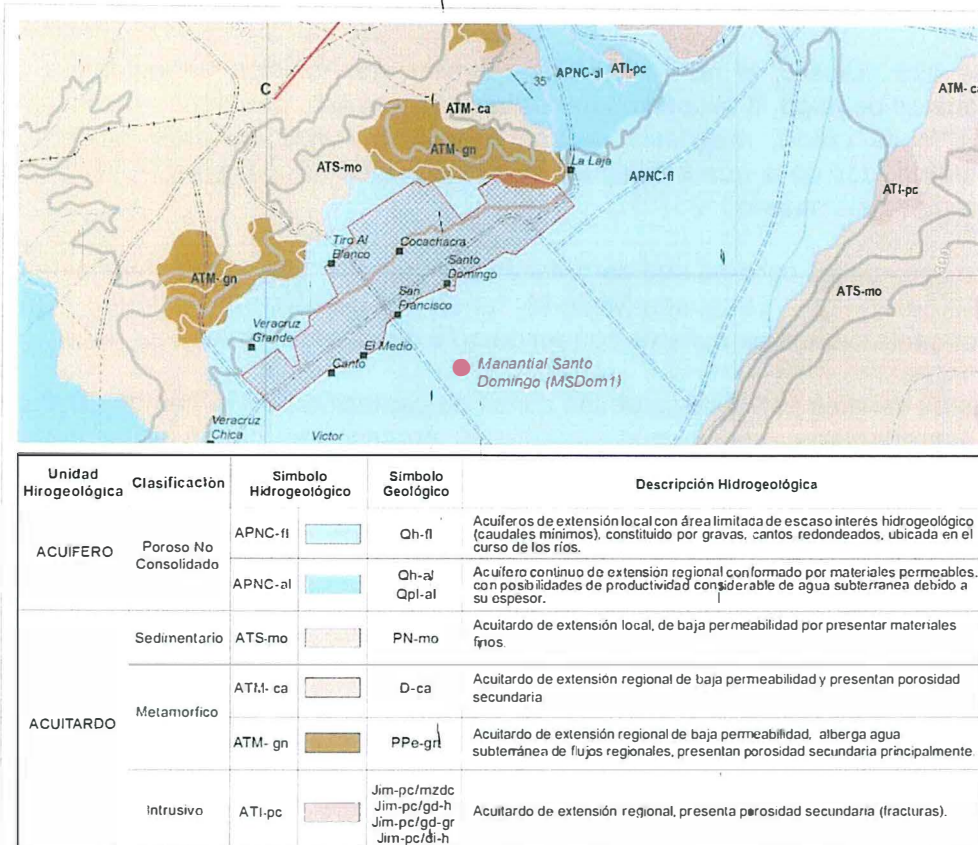


Figura 11-4. Mapa hidrogeológico en el ámbito del manantial Santo Domingo
Fuente: Modificado del Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI



Handwritten vertical text and signatures in blue ink.

637. El agua proveniente de la quebrada Rosa María, se encuentra en el ámbito de un acuitardo de extensión regional que presentan porosidad secundaria (ATI-pc) cuya recarga se asocia a precipitaciones pluviales históricas relacionadas a eventos del Fenómeno del Niño de acuerdo a los estudios isotópicos realizados por Ego Aguirre & Smuda (EAS) en el EIA-d del proyecto minero Tía María, que ha permitido una residencia en el acuitardo y, por ende, un contacto prolongado entre las aguas subterráneas y el basamento rocoso (interacción agua-roca), el cual descarta que la fuente de las aguas subterráneas que aflora en la quebrada Rosa María provenga de la recarga de las aguas de la Cordillera de Los Andes.
638. De otro lado, una de las fuentes de recarga de dicha quebrada provendría de zonas aledañas, entre las que se encuentra el acuitardo de clasificación metamórfica de extensión regional de baja permeabilidad de aguas subterráneas de flujos regionales (ATM-gn) (ver Figura 11-3), cuyas aguas provendría de lluvias excepcionales; tal como menciona líneas arriba el estudio de EAS.
639. Finalmente, las aguas del manantial Santo Domingo son aguas de acuíferos de extensión local limitada (APNC-fl) de procedencia de la recarga del río Tambo.

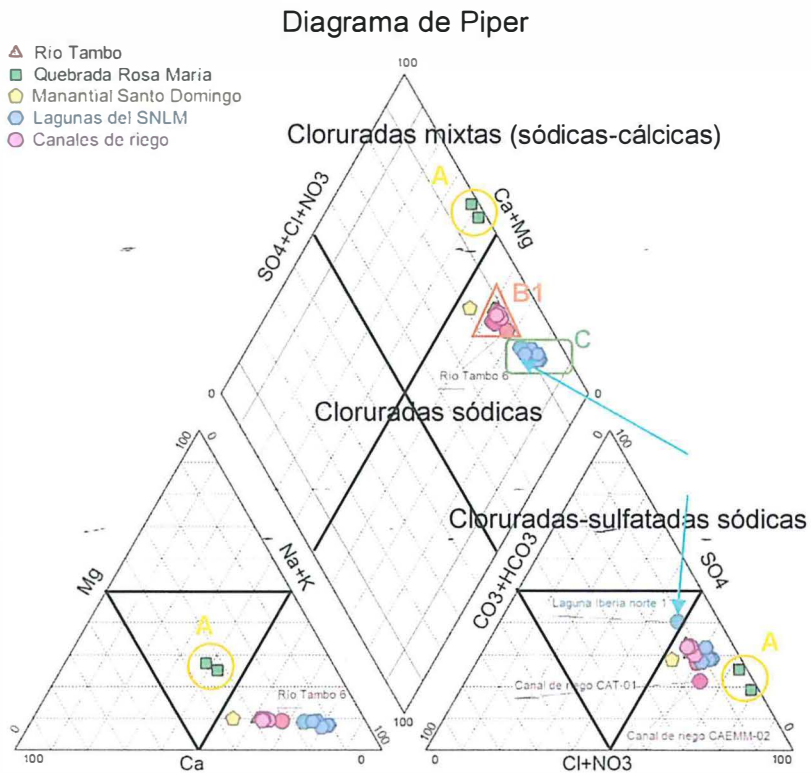
- **Evaluación hidroquímica**

640. La evaluación hidroquímica realizada en base a los diagramas de Piper, Stiff y Schöeller-Berkaloff indica las predominancias de los iones principales en los cuerpos de agua superficial, cuyo comportamiento general de cada uno de ellos (cationes y aniones) se describe en el *Capítulo 8.1.2*.
641. De esa manera, el río Tambo tiene similar composición hidroquímica que los canales de riego, a excepción del estuario (RTamb6), que tiene mayor registro de los iones calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos y nitratos, debido a que son aguas dulces mezcladas con aguas salinas del mar, propias del estuario.
642. En caso de los canales que pertenecen a la Junta de Usuarios del Valle del Tambo (CAT-01) y Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-02), tienen menores concentraciones de sulfatos con respecto a los demás canales de riego.
643. Estos canales están cerca de las zonas de captación del río Tambo, luego de sus desarenadores, por lo que durante el proceso de captación y desarenado disminuye dicho parámetro; no obstante, las concentraciones de sulfatos se incrementan en los siguientes puntos de muestreo del canal de riego de la Junta de Usuario Ensenada-Mejía-Mollendo (CAEMM-01, CAEMM-03 y CAEMM-04).
644. En relación a los afloramientos, se aprecia notablemente el diferente comportamiento hidroquímico que tienen la quebrada Rosa María y el manantial Santo Domingo, con mayor predominancia de los iones principales en la quebrada Rosa María, a excepción de los bicarbonatos, lo cual se debe a su origen; tal como fue discutido para la salinidad (ver Figuras 11-3 y 11-4 respectivamente).
645. Con respecto a las lagunas del SNLM, la diferencia más notable del cambio en la composición hidroquímica se encuentra en la laguna Iberia norte 1 (LINor1), con un incremento de porcentajes de sulfatos y calcio y disminución de cloruros y sodio

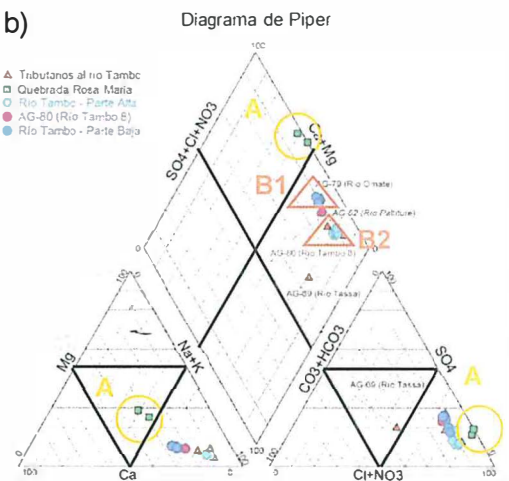


l
ae
d
x
d
n
d

a)



b)



c)

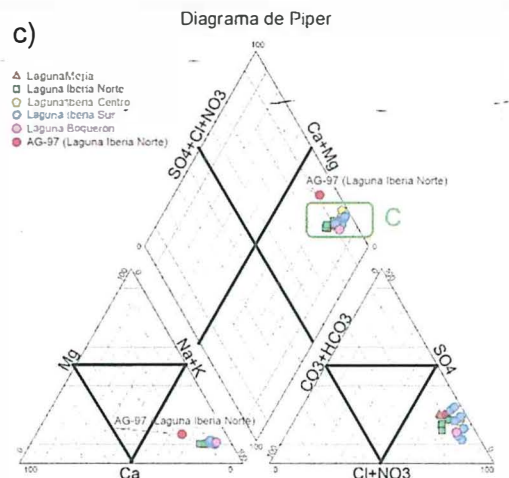


Figura 11-5. Diagramas de Piper en a) río, quebrada Rosa María y lagunas del SNLM en el 2017, b) río Tambo y quebrada Rosa María en el 2016 y c) lagunas del SNLM en el 2016



P-2
 A-2
 H-2
 S-2
 R-2

que el otro punto de muestreo (Laguna Iberia norte 2 – LINor2) y las demás lagunas (Iberia Sur, Mejía y Boquerón).

646. Dicha laguna, junto con la laguna Mejía, que está afectada por el sistema de drenajes formando zonas húmedas, es la continuación del drenaje principal de las zonas de irrigación de Iberia que proveen de agua de menor salinidad (cloruros y sodio) a las lagunas del SNLM.

647. Para observar la posible modificación temporal y espacial hidroquímica de los cuerpos de agua evaluados en el presente estudio (ver Figura 11-5), tomando en cuenta los resultados de Oefa en el año 2016, con base en las codificaciones finales para el río Tambo y sus tributarios de acuerdo a las Tablas B1.5 y B1.6 del Anexo B1, y su evaluación previa del EBI (ver Tabla B1.8 para el río Tambo y Tabla B1.9 para las lagunas del SNLM del Anexo B1) tenemos que:

- La facie cloruradas mixtas (sódicas-cálcicas) de la quebrada Rosa María (circulo A) es la misma que la de la evaluación del 2016 y 2017, con mayores porcentajes de cloruros y sodio que los otros iones.
- En la parte baja de la cuenca del río Tambo (triángulo B1) tiene la misma facie cloruradas sódicas en el 2017 que el 2016 e igual que la parte alta (triángulo B2). No obstante, el río Tambo luego de la confluencia con el río Omate, AG-80 (Río Tambo 8), se da el cambio hidroquímico, con una disminución de cloruros y sodio e incremento de calcio y magnesio.
- Las lagunas del SNLM (rectángulo C) registran también la misma facie cloruradas sódicas en el 2017 con respecto a la evaluación del 2016; no obstante, se resalta que los porcentajes de cloruros disminuyeron y sulfatos aumentaron. En tanto, la laguna Iberia norte 1 es un agua de facie cloruradas-sulfatadas sódicas en el 2017 y de facie cloruradas sódicas en el 2016, lo que indica su cambio en la composición hidroquímica.
- En adición a lo anterior, la laguna Iberia norte 1 en el 2016, con la misma facie clorurada sódica que las demás lagunas, estaba separada de estas en el diagrama de Piper debido a que, en relación a los porcentajes, el sodio fue menor, calcio mayor, mientras los sulfatos y cloruros fueron similares.

• **Oxígeno disuelto**

648. Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto se reportan en lagunas Boquerón e Iberia norte 1 (LINor1) en la extensión del drenaje principal del Santuario Nacional Lagunas de Mejía (SNLM).

649. De acuerdo con Massol, 2006; uno de los factores de distribución del oxígeno en cuerpos de agua naturales está determinada por los procesos físicos de advección (movimiento horizontal del aire causado por las variaciones de la presión atmosférica cerca de la superficie) y difusión.

650. Otro de los factores que influyen en la concentración de oxígeno disuelto en el agua son las actividades biológicas de las cianobacterias mediante la fijación de nitrógeno para sus necesidades biológicas.



1
22
d
A
d
7
2



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

651. Con respecto a la influencia del agua por los drenes cercanos a la laguna Mejía y la extensión del dren principal en la laguna Iberia norte 1 sobre todas lagunas del SNLM, las relaciones iónicas permiten visualizar la distribución de los iones: sodio, estroncio, boro y sulfatos con respecto a los cloruros.
652. De esa manera, las relaciones iónicas complementan los resultados obtenidos por los diagramas hidroquímicos, así en la relación de sodio y cloruros (ver Figura 10-26), la laguna Iberia norte 1 está separado de las demás lagunas debido al aporte de aguas, cuyo origen es el río Tambo, con menor concentración de dichos aniones.
653. En tanto, otros cationes como el estroncio (ver Figura 10-27) y el boro (ver Figura 10-28) indican la influencia que tienen las aguas del dren principal con bajas concentraciones de los citados metales sobre las lagunas Iberia norte y Mejía. Este comportamiento es contrario a lo que expresa la laguna Boquerón, el cual no tiene la influencia de dicho dren, manteniendo una mayor concentración de dichos metales de origen salino.
654. En contraste a lo anterior, la relación iónica de los sulfatos (ver Figura 10-29) manifiesta que el dren influencia de manera positiva en la concentración de los sulfatos, con mayores valores de este anión en las lagunas Iberia norte 1 y Mejía; y menores en los canales de riego y el río Tambo, lo que indica que entre el proceso de captación del río Tambo y las lagunas del SNLM hay un incremento importante de sulfatos en el agua en la temporada evaluada (seca del 2017).
655. Para la ubicación geográfica de la influencia de los drenes (canales de riego) sobre las lagunas del SNLM, se realizaron los mapas de isolíneas mediante el programa Surfer versión 10.1.561 (ver *Sección 8.1.5*) de las concentraciones de los iones principales de la evaluación hidroquímica (incluye el estroncio y boro) con los datos obtenidos en evaluación de Oefa en el 2016 y en el presente estudio.
656. Los mapas de isolíneas o Surfer fueron obtenidos mediante la información de los 17 puntos de muestreo obtenidos en la evaluación del 2016, adicionando cinco puntos de muestreo del presente estudio, cuyas concentraciones fueron calculadas mediante regla de tres simple con el resultado más semejante de un punto de muestreo en ambos estudios (ver Tabla B1.10 del Anexo B1).
657. Con dichas consideraciones se obtuvieron las Figuras 11-6 (sulfatos), 11-7 (suma de cationes), 11-8 (calcio) y 11-9 (cloruros) que indican las distribuciones de los citados iones en las lagunas del SNLM, adicionando las concentraciones del presente estudio en color azul (siete puntos en las lagunas y uno en el río Tambo), en el mar (dos puntos en AM-04 y AM-02) en el estudio del 2016.



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.

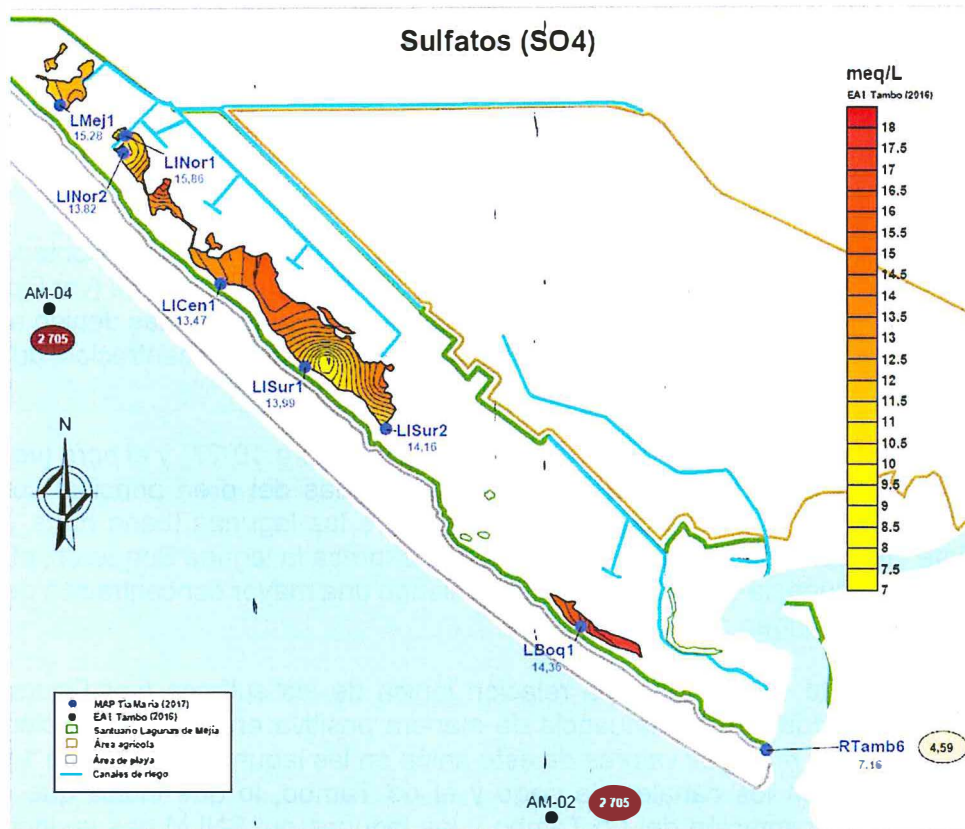


Figura 11-6. Mapa Surfer de sulfatos (meq/L) de las lagunas del SNLM



Handwritten signature and initials in blue ink.

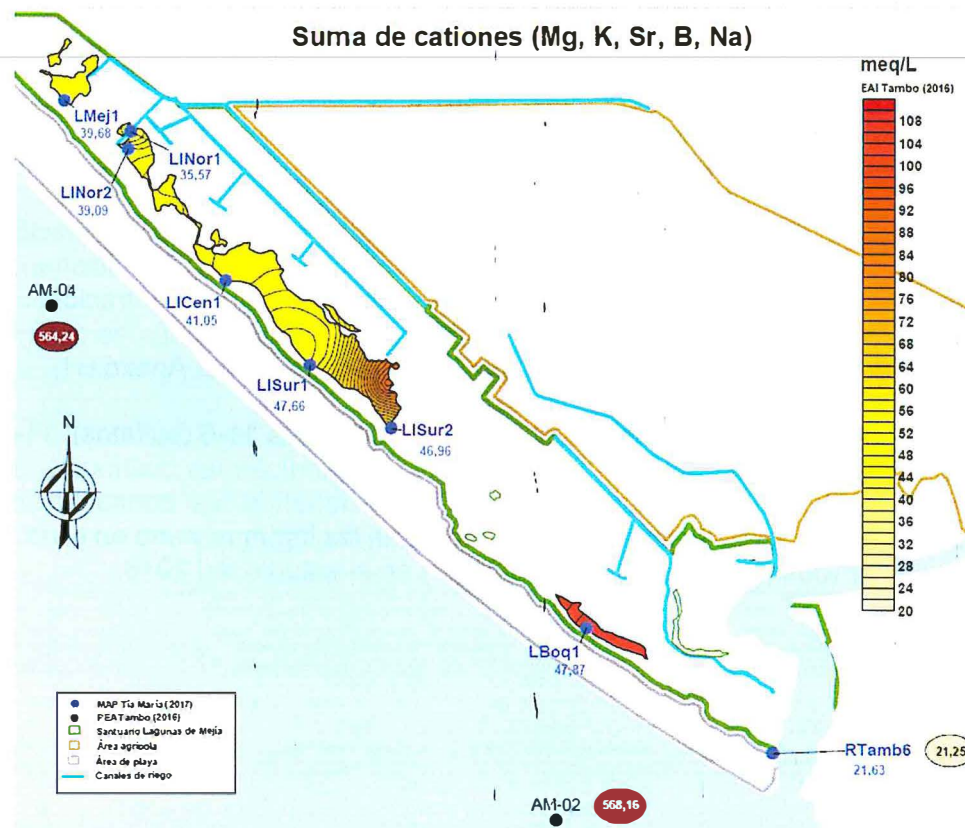


Figura 11-7. Mapa Surfer de suma de cationes (meq/L) de las lagunas del SNLM.

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

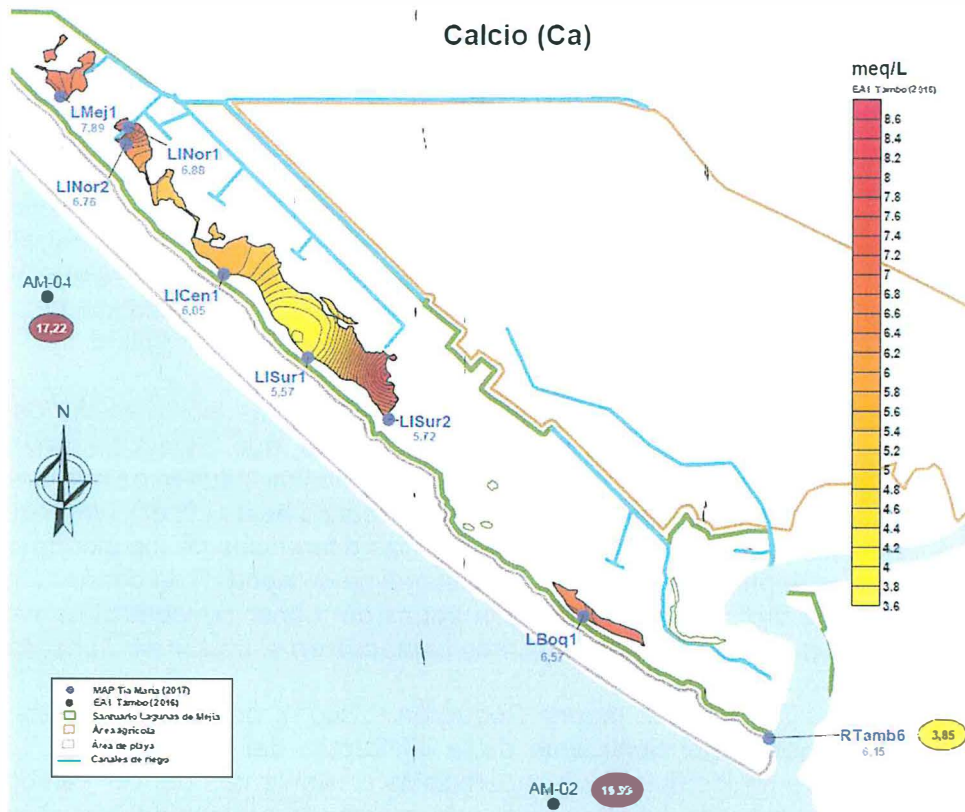


Figura 11-8. Mapa Surfer de calcio (meq/L) de las lagunas del SNLM



Handwritten signature and initials in blue ink.

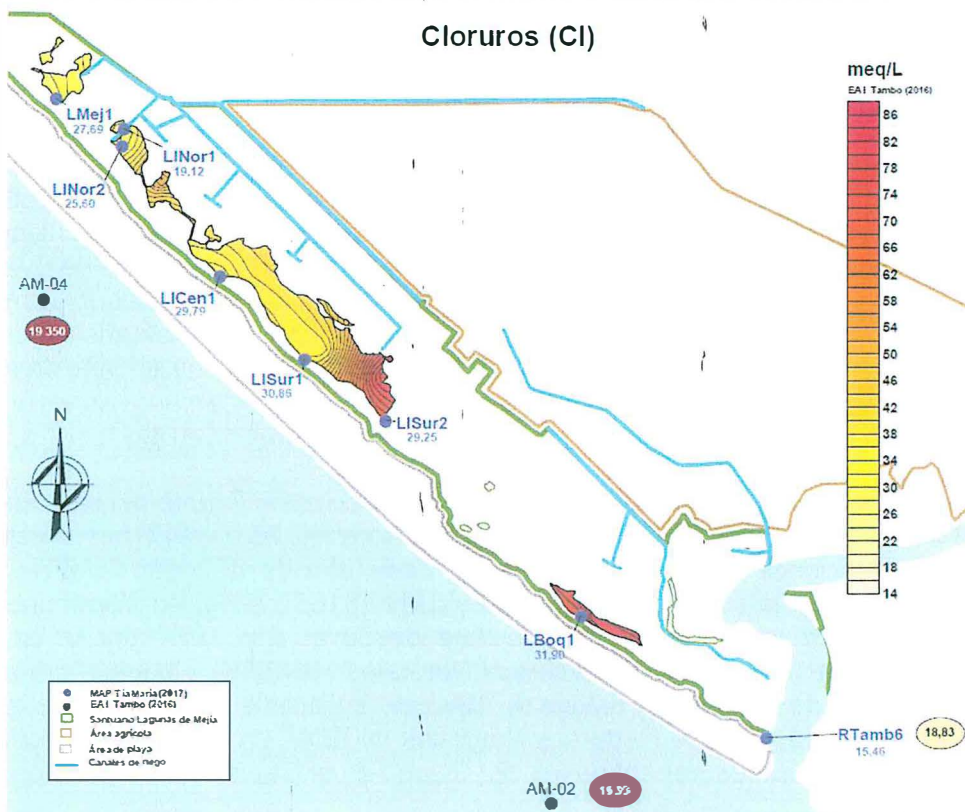


Figura 11-9. Mapa Surfer de cloruros (meq/L) de las lagunas del SNLM

658. Todas estas concentraciones, expresadas en meq/L, de las lagunas del SNLM y el río de Tambo, referentes a los cationes metálicos (máxima de calcio de 8,54 y suma de cationes de 105,84) y los aniones (máxima de sulfatos de 17,67 y cloruros de 82,25), son menores al agua de mar (promedio de calcio de 17,17, suma de cationes de 567, sulfatos de 2 705 y cloruros de 19 350).
659. En relación a los resultados de las citadas figuras, podemos indicar que hay diferencias entre los años 2017 y 2016, observándose un cambio temporal de concentraciones que puede haberse dado debido al Fenómeno del Niño, las concentraciones de los iones principales relacionados a la salinidad y la evaluación hidroquímica (cambio observado en LINor1 y discutida en párrafos precedentes), así como sus distribuciones en las lagunas del SNLM.
660. Al respecto, se observa a nivel espacial en base a las isóneas de los mapas Surfer y complementando los resultados anteriores, que las aguas provenientes de los drenes (canales de riego) de las zonas agrícolas influyen de manera directa o por infiltración (dren ciego) dentro del nivel freático hasta LISur1 (ver Figuras 11-7 y 11-9), por lo que es importante resaltar las diferencias de los cloruros y sodio principalmente puesto que el calcio y sulfatos se comportan de diferente manera, debido a que dichos drenes trasladan aguas de menor concentración de dichos parámetros provenientes del río Tambo captadas en el sector de Cocachacra.
661. Mientras, las aguas de la laguna Boquerón (LBoq1), poco influenciadas por los drenes, provienen principalmente de la infiltración del agua de riego y del río Tambo dentro de los flujos sub-superficiales provenientes del río Tambo en del nivel freático (situado en promedio a 5 metros de profundidad) y el agua del acuífero no consolidado aluvial (APNC-al) que disuelven las sales que forman parte del sedimento depósito marino de gravas conglomerados con matriz arenosa (Qh-m), otorgándole mayor salinidad (mayor concentración de los citados iones).
- **Arsénico y boro**
662. De acuerdo a los resultados de evaluaciones de estudios, tanto en época de vaciante y creciente, del EIA-d de Southern Perú Copper Corporation – Sucursal del Perú (SPCC) en el 2012 y 2013 en el ámbito del valle agrícola del Tambo, y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 2013 y 2014 y de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Oefa) en el 2016 en toda la cuenca del río Tambo, con base en las codificaciones finales para el río Tambo y sus tributarios de acuerdo a las Tablas B1.5 y B1.6 del Anexo B1, las más altas concentraciones de arsénico y boro provienen de la parte media de la cuenca, específicamente en el río Omate, tanto en época de vaciante como creciente (ver Figuras 11-10a y 11-11a).
663. Así se tiene que las concentraciones de arsénico el río Omate oscilan entre 3,8 y 6,3 mg/L y las concentraciones de boro oscilan entre 28,9 y 44,6 mg/L. Estas altas concentraciones tienen su origen en la parte alta de la cuenca del río Omate, perteneciente la cuenca Medio Tambo (U.H 13185), en el río Vagabundo, cuya problemática sobre estos metales data desde el año 1974 por la ex Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) y cuya información de las épocas de transición y estiaje de 1983 se registran en el informe realizado por el Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA en 1994, ver Subsección a) *Estudios realizados por entidades del Estado* en el Capítulo 9. Metodología.



1
22
3
4
5
6



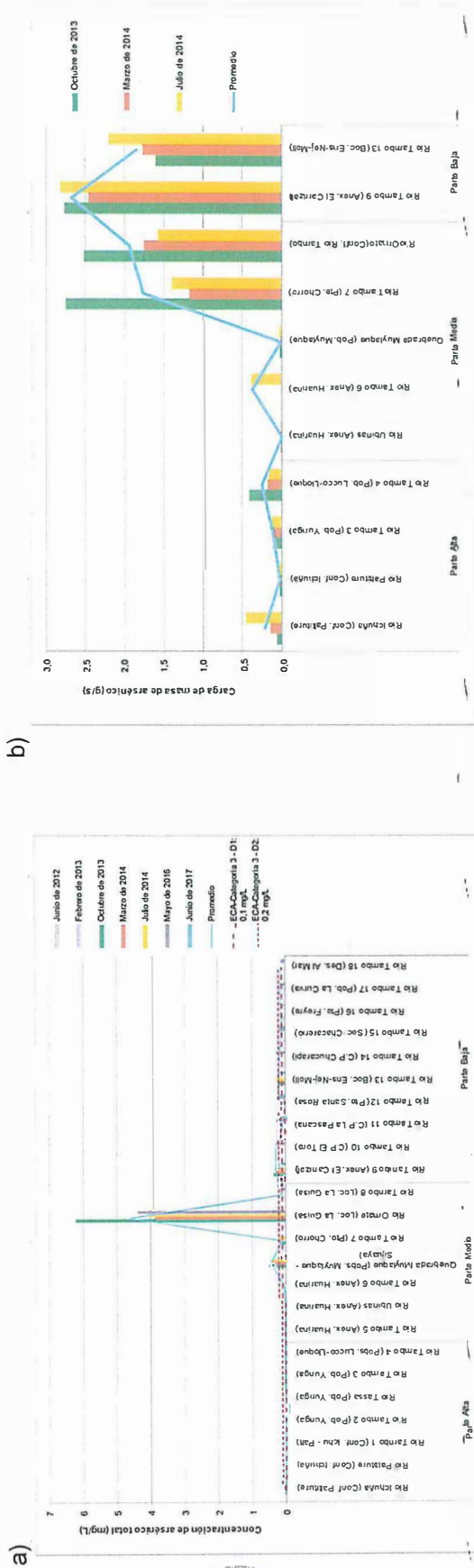
PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

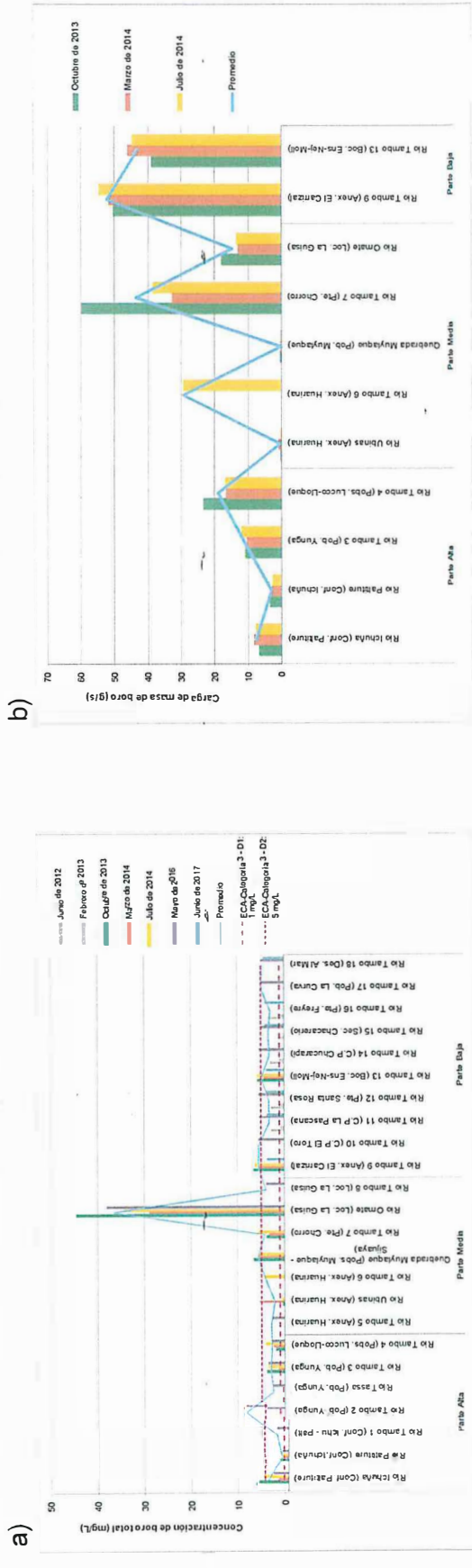
Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



a)

Figura 11-10. Resultados de arsénico total en mg/L en los años 2012 a 2017 y **b)** carga de masa en g/s en los años 2013 y 2014



a)

Figura 11-11. Resultados de boro total en mg/L en los años 2012 a 2017 y **b)** carga de masa en g/s en los años 2013 y 2014

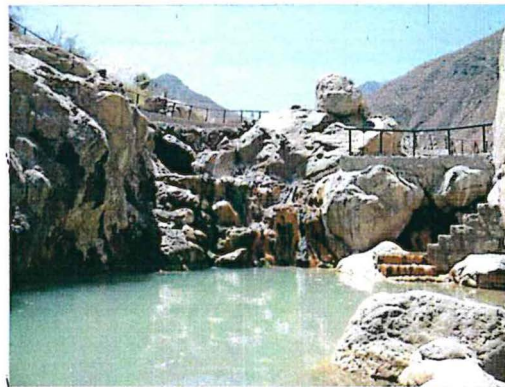


Handwritten signature in blue ink.

664. La naciente del río Omate se ubica en el distrito de Coalaque, provincia General Sánchez Cerro y departamento de Moquegua, en donde se registran diversos fuentes y ojos de agua termales conocidos como meaderos⁸⁵ y baños termales, conocidos como Oleacán o Ullacán, con beneficios curativos (ver Fotografías 1-2 y 11-3), cuyas aguas llegan por la margen derecha al río Vagabundo, tributario del río Omate que finalmente tributa por la margen derecha al río Tambo.



Fotografía 11-2. Meaderos en el distrito de Coalaque - Moquegua



Fotografía 11-3. Baños termales en el distrito de Coalaque - Moquegua

665. De acuerdo a lo anterior, el río Omate es la principal fuente de concentración de arsénico y boro al río Tambo que proviene de los meaderos en la naciente (quebrada Vagabundo). No obstante, el panorama cambia en relación a la carga de masa promedio⁸⁶ en g/s (ver Sección 8.1.6) de los citados metales que transporta los cuerpos de agua superficial, ver Figuras 11-10b y 11-11b.
666. De esa manera, el río Omate tiene una carga de masa promedio de arsénico de 1,944 g/s, ligeramente mayor que la registrada agua arriba de su confluencia con el río Tambo en el puente "Chorro" (Río Tambo 7) con 1,768 g/s (incremento del 10 %). Mientras la carga de masa promedio de boro con 14,820 g/s fue menor que la registrada en citado puente "Chorro" con 43,715 g/s (disminución del 66 %).
667. Para ambos metales, la carga de masa promedio del río Tambo, aguas abajo de la confluencia con el río Omate, en el anexo "El Carrizal", fue mayor que aguas arriba en el puente "Chorro", de 1,768 a 2,680 g/s (incremento del 51,6 %) para arsénico y 43,715 a 52,631 g/s para boro (incremento del 22 %).
668. No obstante, hay un mayor incremento de la carga de masa promedio de arsénico y boro desde la parte alta del río Tambo 4 (en los poblados de Lucco-Lloque) hasta la parte media en el puente "Chorro", de 0,253 a 1,768 g/s (incremento del 600 %) para arsénico y de 18,993 g/s a 43,175 g/s para boro (incremento del 127 %).
669. Asimismo, hay un incremento de los citados metales para el mes de Julio de 2014 desde el río Tambo en el anexo Huarima (RTamb 6) hasta el puente "Chorro" de 0,380 a 1,387 g/s (incremento del 265 %) para arsénico y de 29,344 a 38,483 g/s (incremento del 31,1 %).

⁸⁵ Chorros de agua caliente en forma horizontal, curvada y en forma de pila.

⁸⁶ La carga de masa promedio de arsénico, boro y manganeso fue calculada a partir de los resultados de la ANA de octubre de 2013 y marzo y julio de 2014 del río Tambo 4 con respecto a río Tambo 7 y de los citados metales en el mes de julio de 2014 del río Tambo 6 con respecto al río Tambo 7.



Handwritten signature and initials in blue ink.

670. Finalmente, la carga de masa promedio de arsénico y boro disminuye en el ámbito del valle agrícola del Tambo, desde el anexo "El Carrizal" hasta la Bocatoma Ensenada-Mejía-Mollendo de 2,680 g/s a 1,857 g/s para arsénico (disminución del 31 %) y 52,631 g/s a 43,344 g/s para boro (disminución del 17 %).
671. En la Figura 11-12 se resumen el comportamiento del arsénico y boro en donde se puede apreciar que el aporte de carga de masas de arsénico al río Tambo desde la parte alta de la cuenca del río Tambo en el ámbito de los poblados de Lluclo y Lloque hasta la parte media en el Puente "Chorro" es mayor que el aporte del río Omate, con incrementos de arsénico mayores que el boro.

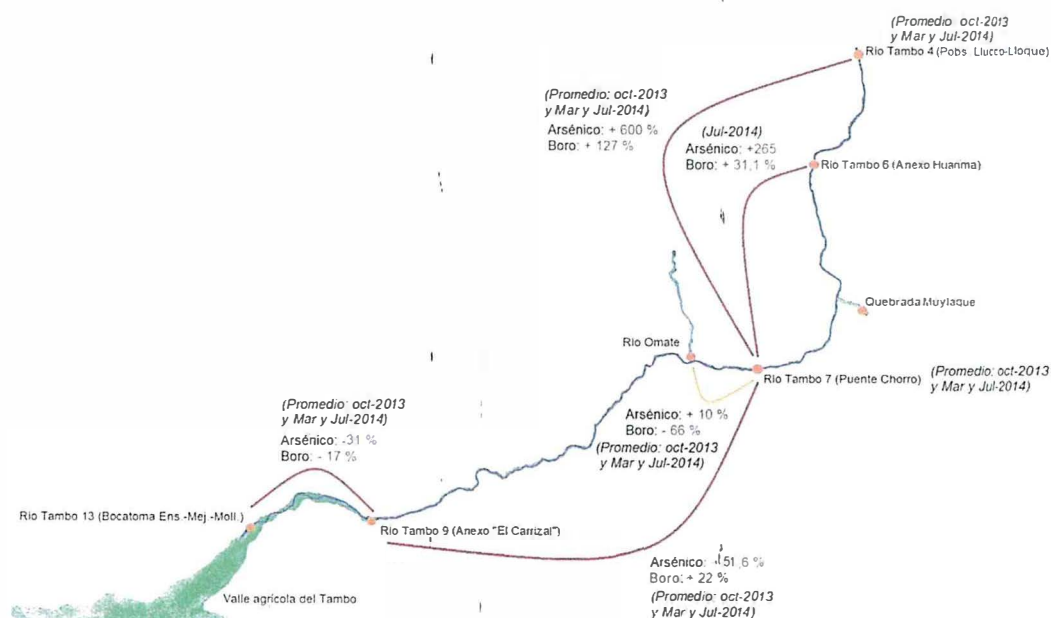


Figura 11-12. Variación en (%) de la carga masa de arsénico y boro por segundo en la cuenca del río Tambo

672. También se puede apreciar un incremento de estos metales desde el Puente "Chorro" hasta el inicio del valle agrícola del Tambo en el anexo "El Carrizal"; no obstante, aguas abajo del río Tambo, estos metales disminuyen en la bocatoma de la Junta de Usuarios Ensenada-Mejía-Mollendo (Ens.-Mej.-Moll).
673. El arsénico, se encuentra asociado a la disolución y desorción de minerales durante la mineralización y los diferentes contextos geoquímicos como las emisiones volcánicas, los ascensos de los fluidos magmáticos e hidrotermales asociadas a la Cordillera de los Andes, dispersándose en el agua superficial hasta llegar a la parte baja de las cuencas en las costas del Océano Pacífico.
674. Por otro lado, el boro está asociado a los procesos termales en áreas geotermales con una estructura geológica y litología específica, a los ambientes marinos y estuarios por el contenido de este metal en los sedimentos ricos en arcilla y al agua subterránea en relación a la interacción que tenga con los minerales de boro soluble y la movilidad que tenga en los acuíferos en relación al contenido del suelo.
675. Los citados contextos geoquímicos, que permiten la liberación y traslado del arsénico y boro en el agua superficial (ríos y quebradas), son característicos de la



Handwritten notes in blue ink, including a vertical list of letters: J, de, A, A, R, 7, 2.

zona sur del Perú tal como ocurre en el campo geotermal de borateras en el río Maure (U.H: 0144), ver sección 8.1.3. Metaloides y metales pesados.

• **Manganeso**

- 676. El manganeso también excedió el valor establecidos en los ECA (agua), Cat3D1 y Cat3D2, teniendo un comportamiento fisicoquímico diferente al arsénico y boro, más relacionado al hierro y manganeso.
- 677. De acuerdo a los resultados de los diversos estudios, con respecto al arsénico y boro, las concentraciones más altas de manganeso provienen de la parte media de la cuenca del río Tambo, específicamente de la quebrada Muylaque (ver Figura 11-13a), cuyas concentraciones oscilan entre 2,3 y 5,3 mg/L, mientras que la máxima concentración registrada en los otros puntos de muestreo del río Tambo corresponde a la época de creciente (lluvias) en febrero de 2013 con 2,56 mg/L.



Handwritten blue notes: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

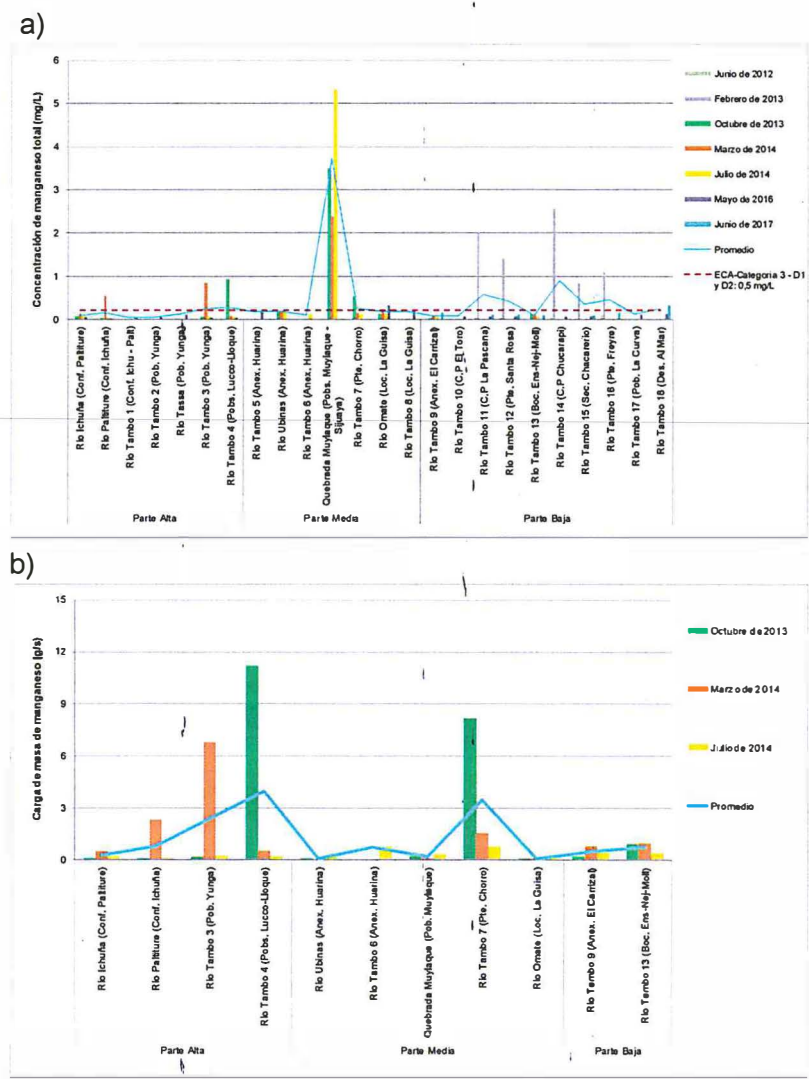


Figura 11-13. Resultados de manganeso en a) concentraciones en mg/L en los años 2012 a 2017 y b) carga de masa en g/s en los años 2013 y 2014



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

678. El incremento de manganeso en la época de creciente es similar a lo que ocurre con el hierro y aluminio en las mismas fechas (ver Figuras B2.10 y B2.11 del Anexo B2), por lo que la influencia de los mayores caudales adiciona dichos metales en el río Tambo y sus tributarios mediante los procesos de remoción de los sedimentos y material suspendida de los suelos ribereños en los cuales dichos metales son abundantes, como el manganeso que representa el 0,1 % de la corteza terrestre; no obstante, este fenómeno hidrometeorológico no tienen influencia en el comportamiento del manganeso en la quebrada Muylaque.
679. De manera similar al arsénico y boro, el aporte de la carga de masa promedio en g/s (ver Figura 11.13b), de manganeso cambia de escenario con respecto a sus concentraciones. De esa manera, la quebrada Muylaque registra un valor de 0,173 g/s menor al río Tambo, aguas abajo en el puente "Chorro" con 3,472 g/s (5 % de la capacidad de carga por segundo) y aguas arriba en el anexo Huarima 0,720 g/s (24 % de la capacidad de carga por segundo), por lo que es poco el aporte de carga de masa por cada segundo a la quebrada al río Tambo.
680. En la parte alta de la cuenca del río Tambo se origina cargas de masa de manganeso mayores que en la parte baja, principalmente en el mes de marzo de 2014 (época de creciente) desde los tributarios Paltituro e Ichuña (mayor registro) que dan inicio de río Tambo, y aguas abajo el poblado de Yunga. Asimismo, hay un mayor incremento en octubre de 2013 (época de vaciante) en los poblados de Lucco-Lloque y el Puente "Chorro". Este comportamiento de la carga de masa del manganeso es similar al aluminio y hierro en las mismas épocas de evaluación.
681. La mayor carga de masa en la época de vaciante puede deberse al incremento de caudal y la adición de material suspendido que pudo haber ocurrido horas antes de la toma de muestra, lo que reitera la sensibilidad de dichos metales en razón a las lluvias y el proceso de erosión de los suelos y remoción de sedimentos.
- **Comportamiento de arsénico (As), boro (B) y manganeso (Mn)**
682. El elemento arsénico y boro se encuentran principalmente en forma disuelta, presentándose un 78 a 100% de la forma total. Esta forma disuelta está relacionada linealmente con los sólidos disueltos totales (SDT)⁸⁷, con coeficiente de determinación (R^2): 0,9414 y 0,9678 respectivos para el río Tambo, lagunas del SNLM y canales de riego. Este comportamiento es similar al magnesio (R^2 :0,9819) potasio (R^2 :0,9577) y sodio (R^2 : 0,9424), los cuales predominan la forma disuelta.
683. Esta predominancia del arsénico de estar en forma disuelta en aguas con pH mayores a 7,00 y concentraciones de oxígeno que establezcan un ambiente oxidante que ocurre normalmente a nivel superficial de los cuerpos de agua⁸⁸, da el entorno para presumir que la especie predominante es el arseniato - As (V) en forma de HAsO_4^{2-} en el río Tambo, los canales de riego y las lagunas de Mejía.
684. No obstante, el arsénico puede complejarse al considerar la presencia del anión sulfato, especialmente en la LINor1 de las lagunas del SNLM, en la extensión del

⁸⁷ Los SDT están además relacionados linealmente con la conductividad (Cond.) mediante la ecuación: $\text{Cond.} = 1,4892 \cdot \text{SDT} - 65,631$ con un R^2 de 0,9965 en el rango de 1 718 a 10 060 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

⁸⁸ De acuerdo a Domenech & Peral, 2006, el oxígeno molecular (O_2) es la principal especie oxidante a través de su proceso de reducción en el que consume oxígeno para transformarse en H_2O , cuya acción oxidante se manifiesta en los medios acuáticos de los sistemas edáfico e hidrosférico, aunque en este medio su solubilidad es limitada.



l
ff
d
A
R
?

drenaje principal; donde se incrementan el citado anión. Con respecto al boro, la forma disuelta predominante en todos los cuerpos de agua se ve favorecida por las condiciones adecuadas de pH y oxígeno disuelto que forman los arseniatos en el agua superficial, y cuya principal diferencia con el arsénico es debido a la predominancia que tiene en ambientes más salinos como las lagunas del SNLM y los estuarios, además de las aguas subterráneas como la quebrada Rosa María, que reportó concentración de arsénico total menor al límite de cuantificación, y el manantial Santo Domingo.

- 685. En caso del manganeso, la predominancia entre la forma suspendida y disuelta en el río Tambo y las lagunas del SNLM sugiere que el metal puede estar en las dos especies comunes: Mn (II) que es soluble en forma de carbonatos y sulfatos, que se encuentran presentes en el agua superficial y subterránea, y Mn (IV) insoluble sujetado a partículas suspendidas en el agua y sedimentos que son removidos por el flujo del agua, ver sección 9.1.3. Metaloides y metales pesados. Este comportamiento del manganeso difiere del aluminio y hierro que se encuentra en forma suspendida y está relacionada linealmente con los sólidos suspendidos totales (SST) con coeficientes de determinación (R²): 0,9329 y 0,9113 respectivos.
- 686. De otro lado, se evaluó la modificación del comportamiento de estos tres metales analizados: arsénico, boro y manganeso en toda la cuenca del río Tambo, en base a los porcentajes de la forma disuelta y suspendida, cuyos resultados fueron tomados del Informe N°00123-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI, ver Tabla 11-1.

Tabla 11-1: Arsénico, boro y manganeso en mayor porcentaje en forma disuelta en la cuenca del río Tambo y sus tributarios

Puntos de muestreo	Unidad	Arsénico		Boro		Manganeso	
		Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto	Suspendido	Disuelto
AG-61 (Río Ichuña)	%	7	93	20	80	10	90
AG-62 (Río Paltiture)	%	8	92	9	91	14	86
AG-63 (Río Tambo 1)	%	4	96	5	95	24	76
AG-70 (Río Tambo 2)	%	4	96	10	90	14	86
AG-69 (Río Tassa)	%	<0,007	<0,007	12	88	92	8
AG-71 (Río Tambo 3)	%	10	90	37	63	6	94
AG-32 (Río Tambo 4)	%	71	29	10	90	9	91
AG-33 (Río Tambo 5)	%	58	43	7	93	12	88
AG-79 (Río Omate)	%	10	90	11	89	35	65
AG-80 (Río Tambo 8)	%	2	98	14	86	20	80
AG-84 (Río Tambo 10)	%	5	95	14	86	48	52
AG-85 (Río Tambo 11)	%	4	96	14	86	51	49
AG-86 (Río Tambo 12)	%	7	93	14	86	52	48
AG-87 (Río Tambo 14)	%	20	80	14	86	49	51
AG-89 (Río Tambo 15)	%	19	81	23	77	37	63
AG-90 (Río Tambo 17)	%	11	89	18	82	69	31
AG-91 (Río Tambo 18)	%	15	85	22	78	19	81
AG-88 (Quebrada Rosa María 2)	%	<0,007	<0,007	1	99	0	100
AG-109 (Quebrada Rosa María 1)	%	<0,007	<0,007	8	92	20	80

Rango de colores de los porcentajes

0-50 %	<50-75 %	<75-90 %	<90-100 %

- 687. El arsénico y boro disuelto predomina desde los tributarios Ichuña y Paltiture que forman el río Tambo, seguido del río Tambo en la parte alta; a excepción de AG-32 en el anexo Torata, y en la parte media, a excepción de AG-33, aguas arriba de la confluencia con el río Ubinas, manteniendo la forma disuelta hasta la



J
H
A
A
A
A
A

desembocadura al mar (AG-91). En adición a lo anterior, se registró boro disuelto en la quebrada Rosa María igual que lo obtenido en este estudio, ver Tabla 10.5.

688. En tanto el manganeso disuelto predomina en la parte alta, excepto el río Tassa, y que a partir del río Tambo en el centro poblado La Pascana (AG-85) hasta la desembocadura al mar (AG-91), su forma disuelta y suspendida es variable de la misma manera que en el presente estudio en el ámbito del valle agrícola. Cabe resaltar que en la quebrada Rosa María predominó el manganeso disuelto igual que en el presente estudio (ver Tabla 10-5).

11.2. Calidad de sedimentos

689. De acuerdo a los resultados obtenidos, los metales y metaloides que superaron los valores referenciales ISQG y PEL establecidos en la Guía Canadiense (CEQG-WQG) tienen las siguientes características:

- **Arsénico** tiene el mismo comportamiento, en relación a la variación de sus concentraciones, que los metales alcalinos calcio, estroncio, sodio, litio y magnesio, boro (metaloides) y molibdeno, todos los citados metales están en el grupo del varifactor 2, los cuales son reportados en mayor concentración en las lagunas del SNLM, a excepción de algunos metales en referencia al río Tambo en los puntos de muestreo ubicados a la altura del "Puente Freyre" para litio, magnesio y arsénico, y el estuario (300 metros antes de su desembocadura al mar) para litio y arsénico.
- **Cadmio** tiene el mismo comportamiento que el zinc con respecto a sus concentraciones, los cuales son reportados en mayores concentraciones en las lagunas Iberia sur y Boquerón, y el río Tambo en los puntos de muestreo ubicados a la altura del "Puente Freyre", el estuario (300 metros antes de su desembocadura al mar) y el anexo "El Carrizal".
- **Cobre y plomo** tienen también un mismo comportamiento en sus concentraciones y diferentes al arsénico y cadmio, y similares al aluminio y potasio (estos se encuentran en el grupo del varifactor 3), con mayores concentraciones en los puntos de muestreo ubicados en la laguna Boquerón, y el río Tambo a la altura del "Puente Freyre", el estuario, y el río Tambo en el anexo "El Carrizal" solamente para cobre.

690. La mayor concentración de ciertos metales en el río Tambo, anexo "El Carrizal" indica que desde la parte alta de la cuenca del río Tambo se traslada sedimentos con metales relacionados al varifactor 1: cobalto, cromo, fósforo, hierro, titanio, vanadio, níquel y antimonio, en el varifactor 3: cobre, los varifactores 1 y 3: cadmio y zinc, y en el varifactor 4: manganeso.

691. No obstante, estas concentraciones de los metales disminuyen en el curso del río Tambo desde el inicio del valle agrícola (anexo "El Carrizal") hasta su desembocadura al mar, a excepción del río Tambo a la altura del "Puente Freyre", el cual tiene mayor concentración de cadmio, níquel, zinc, antimonio, cobre y manganeso. Con respecto a los sedimentos colectados en el río Tambo a la altura del "Puente Freyre", estos también registraron mayores concentraciones de otros metales (varifactor 2: arsénico, boro, calcio, estroncio, molibdeno, sodio, litio, magnesio; varifactor 3: aluminio, plomo y potasio; y varifactor 4: bario).



f
e
d
x
x
9
x

692. Esta característica importante del sedimento se debe a su constitución textural, que contiene menos arena y tiene más componente limoso y arcilloso (ver Fotografía 11-4) que las colectadas en los demás puntos de muestreo del río Tambo de mayor composición arenosa (ver Fotografía 11-5), a excepción del punto ubicado antes de su desembocadura al mar.



Fotografía 11-4. Sedimentos colectados en el río Tambo - "Puente Freyre"



Fotografía 11-5. Sedimentos colectados en el río Tambo - "Puente Santa Rosa"

693. Cabe señalar que los sedimentos del río Tambo a la altura del "Puente Freyre" fueron colectados a 20 centímetros por debajo del sedimento superficial del río (ver Figura 11-14), por lo que en estas capas de mayor profundidad en el río Tambo hay mayor concentración de diversos metales previamente indicados, entre ellos el **boro**, **arsénico** (excedió el valor PEL), níquel, zinc y los metales cadmio, cobre y plomo (los cuales excedieron el valor ISQG). Este incremento de metales se debe a la acumulación de los mismos en largos períodos.

694. De acuerdo al mapa geológico indicado en el Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI, el curso del río Tambo esta sobre un depósito fluvial (Qh-fl) conformada por gravas redondeadas en una matriz areno limosa y algunas arenas y limos acarreados mayormente durante épocas de crecidas. Dicha textura comprobada en campo (ver Fotografías 11-4 y 11-5), predominan diversos metales y metaloides, algunos desde el inicio del valle (anexo "El Carrizal") y otros a mayor profundidad del fondo (Puente Freyre) y cerca de la desembocadura del mar (estuario).

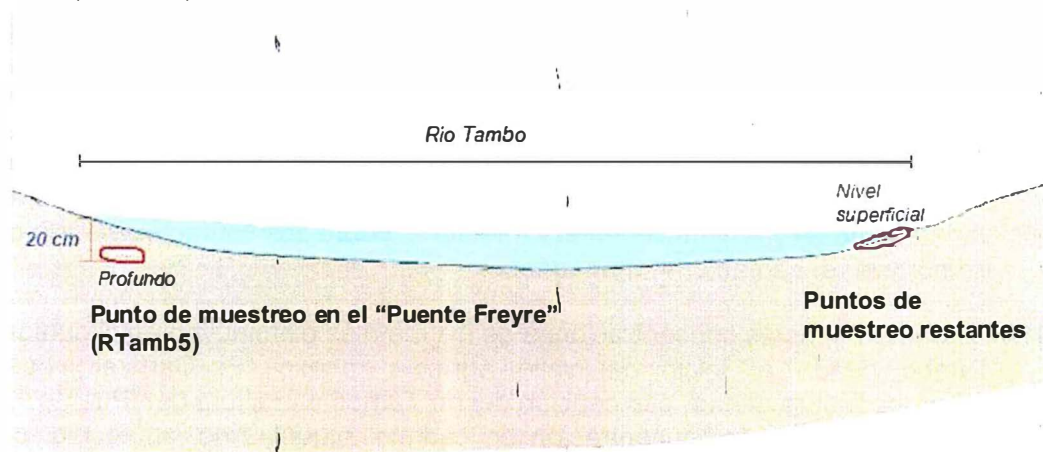


Figura 11-14. Esquema de las diferentes profundidades de sedimentos colectadas en el río Tambo

Fuente: Modificado del Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI



l
p
d
x
d
g
H

695. Con respecto al río Tambo, antes de su desembocadura al mar, la característica de su sedimento es diferente a los demás puntos de muestreo del río Tambo (ver Fotografía 11-6) debido a su constitución textural (fangoso con presencia de arena y de color negro), están en proceso de descomposición de la materia orgánica, con mayor registro de concentración metales varifactor 2: **arsénico**, el varifactor 3 como: aluminio, plomo, potasio y cobre, y el varifactor 1 y 3: cadmio y zinc.



Fotografía 11-6. Sedimentos colectados en el río Tambo, antes de la desembocadura al mar ;

696. En relación a las lagunas del SNLM, las lagunas Boquerón e Iberia sur tienen sedimentos con mayores concentraciones de metales del Varifactor 1 (cobalto, cromo, fósforo, hierro, titanio, vanadio, níquel, zinc, cadmio y antimonio), por lo que son las lagunas que depositan mayor concentración de los citados metales. En tanto, las lagunas del SNLM tienen mayor concentración de metales alcalinos que el río Tambo relacionados al varifactor 2 (calcio, estroncio, sodio, litio y magnesio), así como los metaloides: **arsénico** (excepto para RTambo5 y RTambo6) y **boro**, y el molibdeno, por lo que también acumulan estos metales en sus sedimentos.
697. De acuerdo al mapa geológico de la cuenca del río Tambo indicado en la evaluación de Oefa en el 2016, los sedimentos de las lagunas del SNLM se encuentra sobre un depósito marino de gravas conglomerados con matriz arenosa (Qh-m)⁸⁹ (ver Figuras 11-15 y 11-16). Esta matriz arenosa con presencia de restos de conchas marinas y sales blanquecinas fue comprobada en campo, ver Fotografía 11-7 (laguna Iberia sur) y Fotografía 11-8 (laguna Boquerón).
698. Los metales relacionados a los depósitos marinos pertenecen al varifactor 2, dentro de los cuales resaltan el **sodio y boro**, lo que indican que las lagunas del SNLM tienen influencia del agua salina del Océano Pacífico. Cabe indicar que estos depósitos marinos se formaron durante la época Cuaternaria hace 0,01 millones de años. Otra de las causas es la acumulación de las sales del agua de mar, que llegan por medio de maretazos (fuente verbal de los especialistas del SERNANP) a las lagunas del SNLM, depositándose en los sedimentos.

⁸⁹ De acuerdo al Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI, el depósito marino es del período cuaternario de forma alargada paralela a la línea de la costa con presencia de arenas bien estratificadas de color gris a gris azulado con lentes de gravas que presentan conchas marinas aun vivientes con sales precipitadas de coloraciones blanquecinas.

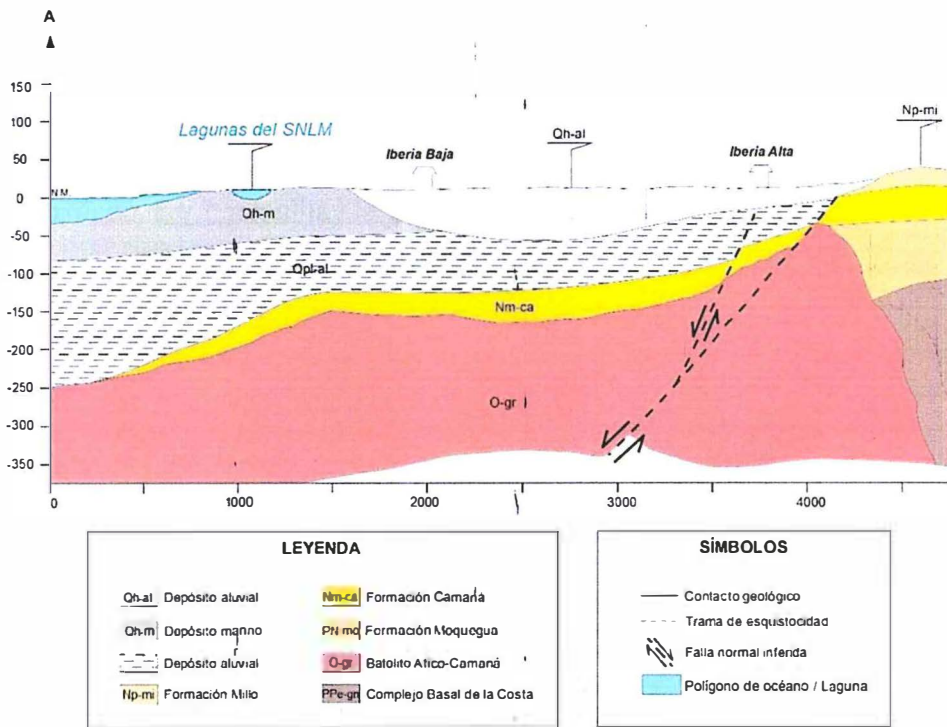


Figura 11-15. Perfil y sección geológica A-A' de las lagunas del SNLM
Fuente: Modificado del Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI



1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10

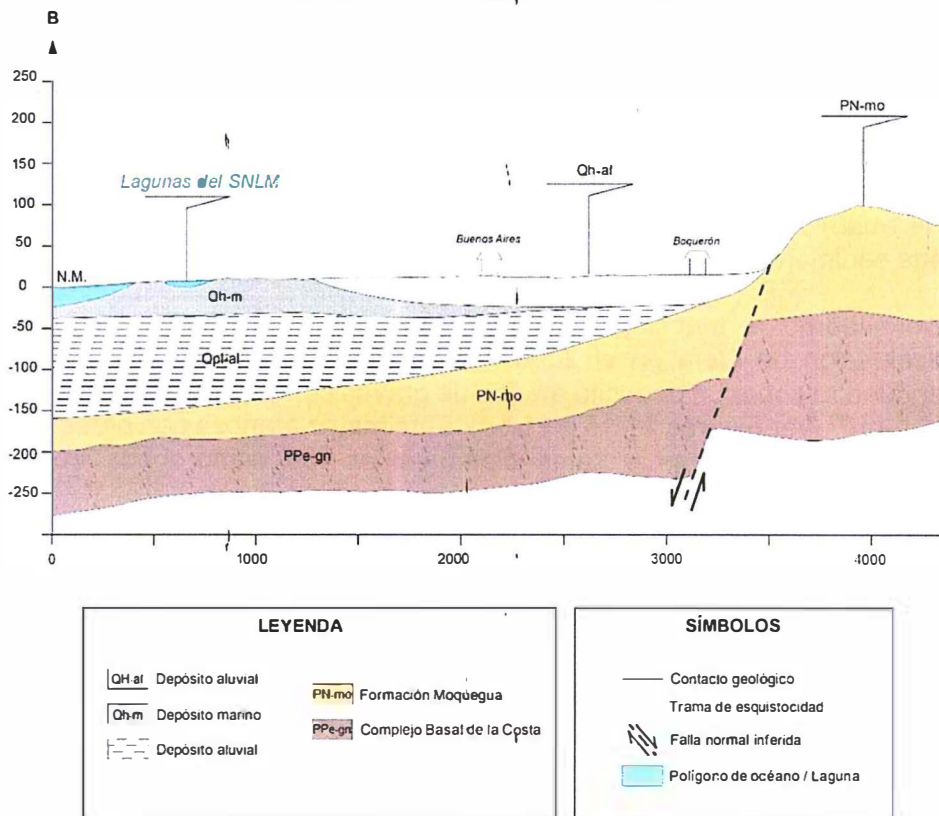


Figura 11-16. Perfil y sección geológica B-B' de las lagunas del SNLM
Fuente: Modificado del Informe N.° 00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI



Fotografía 11-7. Sedimentos colectados en laguna Iberia sur



Fotografía 11-8. Sedimentos colectados en la laguna Boquerón



J
H
J
X
R
7
H

699. En relación a otros metales, se destaca al cerio, uranio y wolframio (Tungsteno)⁹⁰ que predominaron en el río Tambo más que en las lagunas del SNLM, a excepción de la laguna Boquerón, con puntuales incrementos en la laguna Iberia sur 2 para uranio e Iberia norte 1 para wolframio.
700. Este comportamiento de estos tres metales nos permite identificar una posible antigua conexión del río Tambo con la laguna Boquerón del SNLM, o dichas lagunas hayan estado dentro del curso del río, lo cual es comprobada por las imágenes satelitales del Google Earth obtenidas en tres diferentes fechas: abril 2003, agosto 2009 y enero 2016 (ver Figuras 11-17a, b y c respectivamente).
701. En dichas figuras se puede ver que, en abril 2003, el curso del río Tambo (contorno C) estaba más cercano a la laguna Boquerón (contorno A) formándose una extensa playa de arena en la margen izquierda del río, modificándose dicho curso en agosto de 2009, manteniendo la playa de arena en la margen derecha.
702. En las citadas fechas (abril de 2003 y agosto de 2009), la laguna intermedia (contorno B) se encuentra en el curso del río Tambo. No obstante, en enero de 2016, estado igual que en la fecha del presente estudio (junio de 2017), el río Tambo está alejado de la laguna boquerón (más al este y menos meándrico), formándose la mencionada laguna intermedia.
703. Asimismo, se registran playas de arena de menor extensión en ambas márgenes del río, el cual se debería principalmente al bajo nivel del agua del río Tambo por la época de vaciante.

⁹⁰ De acuerdo a Rivera M., H., 2007, la clasificación de Goldschmidt indica que los metales cerio, uranio y wolframio son elementos litófilos que se encuentran concentrados en los minerales del tipo silicatos de la corteza y manto terrestre, similar que otros metales de los grupos de los lantanidos, actinidos, transición y alcalinos.

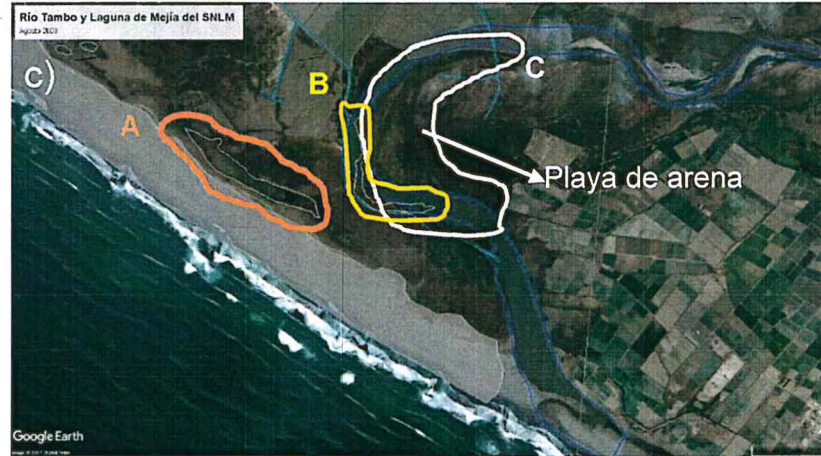
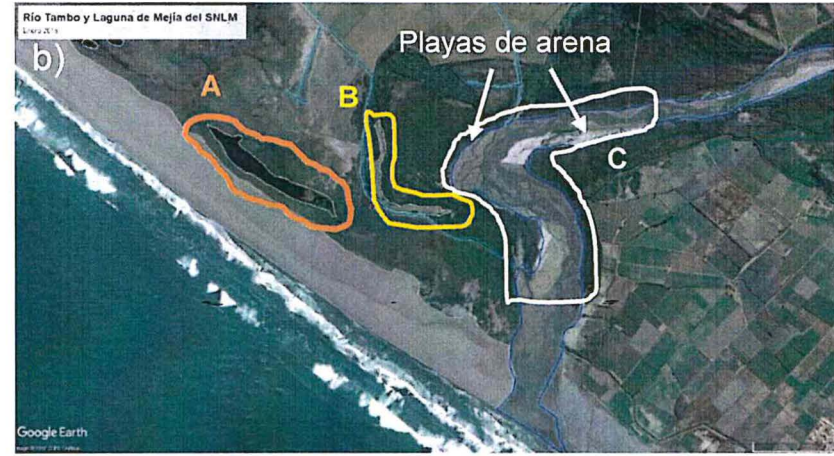
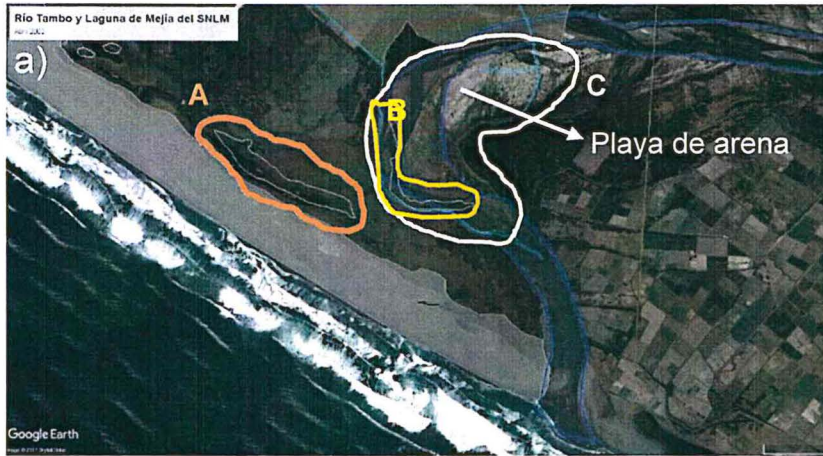


Figura 11-17. Esquemas de Google Earth del desplazamiento del río Tambo (contorno C) con respecto a la laguna Boquerón (Contorno A) del SNLM, laguna intermedia (Contorno B) en a) abril 2003, b) agosto 2009 y c) enero 2016.



J.
R.
E.
A.
K.
I.
H.

11.3. Comunidades hidrobiológicas

704. En un estudio realizado por Moreira *et al.* se menciona que los grupos de microalgas, típicas de lagunas costeras influenciadas por aportes de agua dulce y de áreas estuarinas, son las clorofíceas y diatomeas, lo que estaría acorde con lo encontrado en los puntos de muestreo de las SNLM, debido a que los grupos dominantes y abundantes del fitoplancton en las mismas está compuesto por los phyla Bacillariophyta, Cyanobacteria y Chlorophyta, siendo los grupos más diversos y cosmopolitas.
705. Según Velazco (1992), el zooplancton, especialmente los grupos de rotíferos, es buen indicador de calidad de agua, más aún la asociación de especies de los géneros Brachionus y Filinia, que suelen ser buenos indicadores de aguas eutróficas (NOGRADY, 1980; SHARNA & SAKSENA, 1981). En el presente estudio, Brachionus está representado en todos los puntos; mientras que Filinia, excepto en LISur 1 y LBoq 1, lo cual nos indicaría que las lagunas posiblemente están un proceso de eutrofización.
706. Las microalgas pertenecientes a la comunidad del perifiton están compuestas por un gran número de especies con diversas preferencias ecológicas (Van Dam *et al.*, 1994), y esto es debido a su corto ciclo de vida y a la posición que ocupan en la cadena trófica, siendo consideradas poderosos indicadores biológicos. De acuerdo al análisis de las microalgas, el phylum Bacillariophyta (diatomeas) fue dominante en la parte baja del río Tambo, seguido del phylum Cyanobacteria. Esta misma composición de diatomeas y cianobacterias se refleja en el río Acari (comunicación personal).
707. La importancia de estudios del grupo de diatomeas radica en que permiten integrar cambios de la calidad del agua durante un periodo de hasta dos meses, tiempo en el que la comunidad de diatomeas es considerada madura, reflejando así la calidad del agua de los dos meses anteriores a la fecha del muestreo (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2005). Con ello, a través del análisis de esta comunidad se evidenció una disminución de la riqueza y abundancia en el punto más alto, RTamb 7, para luego evidenciarse una recuperación aguas abajo; sin embargo, el punto RTamb 6 es influenciado por las condiciones salobres, ya que se encuentra en una zona de mezcla de agua y por eso la riqueza y abundancia disminuyen.
708. Con respecto al análisis de correspondencia canónica tenemos que la especie *Plagiotropis* sp. se relaciona directamente con los parámetros de pH, oxígeno disuelto y temperatura; mientras que, *Nitzschia* sp. se relaciona de manera inversa con el oxígeno disuelto principalmente.
709. La importancia de la presencia de microorganismos pertenecientes a la comunidad del perifiton radica en su uso como indicador de cambios a corto plazo, debido a que sus ciclos vitales son cortos y responden rápidamente a los cambios ambientales (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2005). El phylum Amoebozoa (orden Arcellinida o amebas lobosas con testa) resultó ser registrado en el río Tambo (RTamb 4). Según investigaciones realizadas por Asioli *et al.*, (1996) y Patterson *et al.*, (1996) las amebas lobosas con testa son excelentes indicadores de contaminación demostrando una relación inversa entre el número de



1
H
d
A
R
9
H

- organismos y las concentraciones de metales pesados contaminantes provenientes de la actividad minera.
710. Sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos registrados en el río Tambo se encontró mayor riqueza y abundancia del orden Díptera (familia Baetidae), registrándose en esta familia una gran cantidad de especies indicadoras de aguas de buena calidad, con características de agua limpias y bien oxigenadas; sin embargo, obtuvieron una valorización de aguas contaminadas con respecto al BMWP/Col.
711. En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos en las lagunas del SNLM estuvo presente en todos los puntos de muestreo (excepto en LINor2 donde no se tomó muestra) la especie *Heleobia sp.* (orden Sorbeoconcha, familia Hydrobiidae), lo que coincide con el trabajo realizado en Puerto Viejo por Paredes *et al.*, 2007.
712. En 2015, Ortega y colaboradores mencionan que los peces en el río Tambo presenta una diversidad menor y decreciente que podría estar asociado a la aridez de la zona costera. En el año 2016, la riqueza encontrada fue escasa, mientras que en la evaluación del año 2017 fue nula. Este último evento podría estar relacionado con el incremento del río debido a las fuertes precipitaciones ocurridas en la parte alta de la cuenca que ocasionaron desbordes y arrastre de sedimento que posiblemente perjudicaron a los peces.

11.4. Calidad de aire

713. Las rosas de vientos de los puntos de muestreo AIR-01 y MC-01 tienen una predominancia sur-suroeste y suroeste, respectivamente. Las referidas predominancias indicarían que los vientos se dirigen del distrito de Punta Bombón a Cocachacra.
714. Las concentraciones de los parámetros atmosféricos CO y NO₂, se encuentran en conformidad con su correspondiente ECA.
715. Las concentraciones de SO₂ no cumplieron ECA (20 µg/m³) para un periodo de 24 horas el día 10 de mayo en el punto de muestreo AIR-02. Es importante mencionar que las concentraciones del punto AIR-02 son mayores al punto AIR-01.
716. Las concentraciones reportadas en los dos puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02, cumplieron con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para PM₁₀ igual a 150 µg/m³ para un periodo de 24 horas (Decreto Supremo N° 074-2001-PCM). Por último, la máxima concentración registrada fue de 64,2 µg/m³ en el punto AIR-02.
717. Tal como expresan los resultados de gases y de forma general las concentraciones de SO₂, CO y NO₂, en el punto de muestreo AIR-02 (ubicado en el distrito de Deán Valdivia) fueron mayores en relación al punto de muestreo AIR-01 (ubicado en el distrito de Cocachacra), esto se debería a que el primer punto de muestreo se encontraba más cerca de las quemas que hubo durante la evaluación de calidad de aire.
718. Las concentraciones de PM₁₀ obtenidas en ambos puntos de muestreo de calidad de aire fueron influenciadas por las quemas (ver Anexo E3), debido a que las



1
H
d
A
R
1
21

partículas finas generadas en el proceso de combustión se encuentran contenidas en el PM₁₀.

719. Las concentraciones de PM₁₀ obtenidas del EI-d del proyecto minero Tía María se muestran en la Tabla 11-2, donde las estaciones de muestreo CAITM, CAICO y CAIEN, guardan relación con las concentraciones de PM₁₀ registradas en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02, en el sentido de que todas concentraciones son menores a 65 µg/m³.

Tabla 11-2. Concentraciones de PM₁₀ del EIA de proyecto minero Tía María

ESTACION DE MUESTREO	CONCENTRACION PM ₁₀ µg/m ³	
	Junio -2012	Febrero-2013
CAITM-01	14	31
CAICO-02	53	71
CAIEN-03	54	51
CAIPD-04	114	158

720. Considerando el ECA para aire vigente, las concentraciones de los gases SO₂, CO y NO₂ de las 4 estaciones de muestreo (ver Tabla 11-2 y los dos puntos de muestreo (AIR-01 y AIR-02) se encuentran en conformidad con su respectivo ECA, según el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.

721. Las direcciones de viento obtenida de las rosas de viento de las estaciones de Pampa Blanca y La Joya (información extraída del IGA), indican que la predominancia de los vientos para la primera estación fue sur-oeste y de la segunda estación es sur, dicha predominancia es similar a la obtenida en el punto de muestreo AIR-01, el cual tiene una predominancia sur-oeste.

11.5. Calidad de suelo

722. Los suelos agrícolas cultivados, por lo general, presentan condiciones adecuadas para el crecimiento vegetal ya que, en la mayoría de los puntos evaluados, tienen una capacidad de intercambio catiónico superior a los 30 meq/100g, con porcentaje de materia orgánica mayor al 4% y textura franco arenosa.

723. Para los suelos agrícolas cultivados, la concentración arsénico total superó el valor del ECA de suelos para uso agrícola en tres puntos de muestreo (SUE-AGRI 11, SUE-AGRI 12 y SUE-AGRI 13), mientras que en los otros puntos se registraron concentraciones entre los 26 mg/kg a 50 mg/kg. El arsénico presente en estos suelos puede ser producto del alto contenido de este metaloide en las aguas usadas para el regado. Una vez en el suelo el arsénico, queda atrapado en la estructura favoreciendo a su acumulación.

724. Dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María, se evaluaron 12 puntos de muestreo; los resultados de los parámetros evaluados fueron comparados con el ECA de suelos para uso agrícola ya que, estos puntos están ubicados sobre suelos de protección. De la comparación con dichos estándares, se observó que las concentraciones de arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo no excedieron su valor de ECA.



1
A
d
A
K
9
28

725. Las concentraciones de cadmio pueden deberse a la mineralogía de la zona, debido a que la zona donde se tomó la muestra de suelos tiene contenido de minerales con zinc, (EIA Tía María 2013). El cadmio y zinc se encuentran relacionados mineralógicamente por lo que en zonas donde se encuentra minerales de zinc se espera que también contengan cadmio.
726. De los 12 puntos de suelos establecidos entre la playa y las lagunas del SNLM, se tiene que los resultados de las concentraciones de arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo no excedieron su valor de ECA para suelo de uso agrícola.
727. El Perú en la actualidad cuenta con estándares de calidad ambiental de suelo para uso residencial, agrícola y extractivo, para los siguientes metales arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo, y debido que todos los puntos de muestreo de suelos fueron establecidos en suelos de uso agrícola, se realizó una comparación entre los valores del nivel de fondo encontradas con los ECA.
728. De la comparación referencial del nivel de fondo de arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo con en el ECA de suelo para uso agrícola, se observó que el nivel de fondo de todos los elementos metálicos mencionados es inferior a dicho ECA.
729. Se debe tener en cuenta que los valores de nivel de fondo de un metal difieren entre las zonas evaluadas lo que puede deberse a que este valor depende de las propias características orográficas, geoquímicas, climáticas, etc., por lo que cada sitio a estudiar debe ser considerado como una unidad de análisis y determinar sus niveles de fondo y de referencia particulares de cada lugar para una evaluación del estado de la calidad ambiental de suelos.



11.6. Tejido vegetal

730. De los resultados de la evaluación de nivel de fondo de suelos realizado en las áreas de cultivo donde se extrajeron las diversas muestras de tejido vegetal, se obtuvo los niveles de fondo en suelos para el arsénico (46,78 mg/kg), cadmio (0,517 mg/kg) y plomo (32,18 mg/kg). Las concentraciones de estos metales en suelos están relacionadas con las concentraciones encontradas en los tejidos vegetales, puesto que nutrientes y demás compuestos encontrados en el sustrato suelo, son absorbidos por las raíces y trasladados a las diferentes partes de la planta, y generalmente, los metales son dispuestos en las raíces y tallos y hojas de plantas de tallo bajo. Pero para determinar una mayor relación entre los resultados en el suelo y tejido vegetal, se tendría que realizar el análisis de potencial de hidrogeno en suelos, conductividad y materia orgánica en suelos.
731. Las concentraciones de cadmio y plomo en frutos (olivo y granado) fueron mucho menores a las encontradas en los cereales (arroz) y hortaliza (cebolla), lo que puede ser debido a que el arroz es un cultivo de tallo bajo y la cebolla crece bajo la superficie, lo cual permite el rápido traslado y su acumulación.

12. CONCLUSIONES

12.1. Calidad de agua

- i El río Tambo, en su curso por el valle agrícola y por los canales de riego de las tres Juntas de Usuarios, presentaron concentraciones de arsénico y boro que excedieron los ECA para agua, (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM) en la Cat3D1 (riego de vegetales). En base a estos resultados, reportados desde la década de los años 70 y característicos también en otros ríos de la zona sur del Perú, el principal aportante para la concentración de los referidos metaloides es el río Omate, por las fuentes de aguas termales existentes en el distrito de Coralque, mientras que la evaluación de carga de masa indica también la existencia de fuentes adicionales provenientes de la parte alta de la cuenca del río Tambo.
- ii En relación a la zona del estuario del río Tambo, los valores de conductividad y concentración de cloruros exceden la Cat3D1; las concentraciones de la DQO y manganeso exceden la Cat3D2 (bebida de animales) y los sólidos disueltos totales (SDT) exceden referencialmente la CEQG-WQG (consumo del ganado). Este incremento de concentraciones de dichos parámetros ambientales se debe a que el agua del estuario es la mezcla de agua salina proveniente del mar y agua dulce proveniente del río Tambo.
- iii Los resultados de los afloramientos indican que la quebrada Rosa María tiene valores de conductividad y magnesio que exceden la Cat3D1 y Cat3D2; cloruros y boro exceden la Cat3D1; y los SDT, de manera referencial, superan los valores establecidos en la CEQG-WQG (riego de cultivos más tolerantes y consumo del ganado). Las concentraciones de nitratos, sulfatos y la DQO, en un solo punto de muestreo, exceden la Cat3D1 y Cat3D2, mientras que el calcio excede referencialmente la CEQG-WQG (consumo del ganado). En tanto, el manantial Santo Domingo solamente registra boro que excede las Cat3D1 y Cat3D2.
- iv Esta diferencia existente entre la quebrada Rosa María y el manantial Santo Domingo, en relación a los parámetros que exceden los ECA para agua, se debe a sus fuentes de recarga, lo que se visualiza en su comportamiento hidroquímico. De esa manera, tenemos que el agua de la quebrada Rosa María proviene de acuitardos de extensión regional (ATL-pc y ATM-gc) producto del almacenamiento de lluvias locales de eventos climatológicos históricos como el Fenómeno del Niño, con mayor interacción con el basamento rocoso (interacción agua-roca); mientras que el manantial Santo Domingo procede de acuíferos de extensión local limitada (APNC-fl) con origen en la recarga del río Tambo.
- v En el Santuario Nacional Lagunas de Mejía (SNLM), las lagunas Boquerón e Iberia Norte (LINor1) reportaron concentraciones de oxígeno disuelto menores al valor de los ECA para agua en la Cat4E1 (conservación de lagos y lagunas). Esto se debe principalmente a la poca interacción que tiene el agua superficial de las lagunas con el oxígeno atmosférico, característico de cuerpos de agua lénticos. Además, las actividades biológicas y la presencia de materia orgánica en las referidas lagunas contribuyen al descenso de las concentraciones de oxígeno disuelto.



1
12
13
14
15
16
17

- vi El arsénico, en ambientes donde predomina su estado de oxidación +5 (As (V)), y boro (predominante en medio salino y agua subterránea) tienen un diferente comportamiento físico que el manganeso. Así, tenemos que los dos primeros están en mayor proporción en forma disuelta, similar a otros metales como el calcio, magnesio, potasio y sodio, mientras que el manganeso es variable en su proporción suspendida y disuelta en el río Tambo, en las lagunas del SNLM y en los canales de riego.
- vii La mayor salinidad de las lagunas del SNLM y su diferencia hidroquímica con respecto al río Tambo y los canales de riego, se debe principalmente a la disolución de sales de origen marino por el agua del acuífero proveniente del río Tambo, las infiltraciones por la actividad agrícola y la filtración de la zona de mezcla (agua de mar y dulce) de acuerdo a estudios realizados por el Oefa en el año 2016.
- viii Finalmente, el principal aporte de agua (dulce o de menor salinidad) a las lagunas del SNLM proviene del río Tambo, ello a través de sistemas de riego por inundación aplicados en la actividad agrícola, lo que disminuye principalmente la concentración de los cloruros y sodio (relacionados a una menor salinidad) y la composición hidroquímica (porcentajes de los iones principales) a partir de la laguna Iberia Norte 1 (LINor1), ubicada en la parte baja del canal formado por la extensión del dren principal.

12.2. Calidad de sedimentos

- ix Los sedimentos evaluados en el río Tambo y las lagunas del SNLM (Santuario Nacional Lagunas de Mejía) reflejan que las concentraciones de arsénico, de manera referencial, se encuentran por encima del valor PEL, mientras que el cadmio, cobre y plomo están por encima del valor ISQG de la guía canadiense (CEQG-SQG).
- x Al respecto, el arsénico tiene diferente comportamiento fisicoquímico que el cadmio y estos dos metales que el cobre y plomo, los cuales tienen similar comportamiento, siendo la disposición de estos metales similares a otros. De esa manera, los metales alcalinos (calcio, estroncio, sodio, entre otros), boro y molibdeno están relacionados con el arsénico y cadmio; mientras que el aluminio y potasio están relacionados con el cobre y plomo.
- xi En relación a los otros metales y metaloides evaluados, se debe resaltar los diferentes comportamientos que tienen en referencia al tipo y origen del cuerpo de agua superficial donde se acumulan.
- xii Con referencia a lo anterior, las lagunas del SNLM registran mayor concentración de metales alcalinos relacionados a la salinidad como el sodio, estroncio, calcio, litio y magnesio relacionado al tipo de depósito de origen marino (Qh-m), con acumulación del boro, arsénico y cadmio provenientes del agua del río.
- xiii En relación al río Tambo, cuyo depósito es de origen aluvial (Qh-al) distinto a la laguna del SNLM, los metales se comportan de diferente manera, registrándose el cromo y hierro en mayores concentraciones desde el inicio del valle el Tambo en el anexo El Carrizal; mientras que el arsénico, aluminio, plomo, cadmio, cobre y zinc se acumulan antes de la desembocadura al mar debido al proceso de



1
H
A
A
R
1
H

descomposición en que predomina la materia orgánica (determinado por la característica física).

- xiv En tanto, el arsénico, boro, manganeso, bario, níquel, cobre, cadmio, plomo y zinc, se acumulan a mayor profundidad de los sedimentos del fondo del río Tambo, aproximadamente a 30 centímetros, específicamente a la altura del puente Freyre.
- xv Finalmente, los metales cerio, uranio y wolframio son buenos indicadores de la interacción que pudo haberse dado entre la laguna Boquerón y el río Tambo, debido a la cercanía entre dichos cuerpos de agua, lo que fue observado mediante las imágenes satelitales de abril 2003, agosto de 2009 y enero de 2016, siendo la situación en este último año similar a junio de 2017 (fecha de la presente evaluación).

12.3. Comunidades hidrobiológicas

- xvi En relación al fitoplancton, las diatomeas (phylum Bacillariophyta) son el grupo de mayor riqueza, mientras que las algas verdes (phylum Chlorophyta) son el grupo de mayor abundancia, en el punto de muestreo LINor 2 se encontró la mayor abundancia. Asimismo, los rotíferos, en especial de *Brachionus* sp. podría estar asociada a la tolerancia a diversos factores ecológicos. Además, se evidenció tres grupos asociados a especies similares. El primero conformado por los puntos LMej 1, LINor 1 y LINor 2, seguido de los puntos LICen 1, LISur 1 y LISur 2 y el último grupo lo conforma solo el punto LBoq 1, encontrándose que la especie *Plagiotropis* sp. se relaciona directamente con la temperatura y *Nitzschia* sp. relaciona de manera inversa con la concentración de oxígeno disuelto.
- xvii En relación al perifiton, las diatomeas (phylum Bacillariophyta) son el grupo de mayor riqueza y abundancia; sin embargo, también están presentes las cianobacterias que aportan en la fijación de nitrógeno.
- xviii Finalmente, en la parte baja del río Tambo se registró una baja riqueza y abundancia en el punto RTamb 7 (punto de muestreo más alto); sin embargo, las comunidades de microalgas y macroinvertebrados bentónicos se recuperan trascurriendo el río Tambo (aguas abajo).
- xix Los resultados obtenidos respecto al contenido metálico en las muestras de Camarones, fueron determinadas de manera referencial y a solicitud de la población, a fin de utilizar dicha información en posteriores trabajos de vigilancia ambiental del sector competente.

12.4. Calidad de aire

- xx En relación a las rosas de vientos de los puntos de muestreo AIR-01 y MC-01, tienen una predominancia sur-suroeste y suroeste, respectivamente. Las referidas predominancias indicarían que los vientos se dirigen desde distrito de Punta Bombón hacia el distrito de Cocachacra.
- xxi En tanto, las concentraciones de los parámetros atmosféricos CO y NO₂, cumplen con los valores establecidos en el ECA para aire (Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM).



Handwritten blue ink marks, possibly initials or a signature, located vertically on the left side of the page.

- xxii Por otro lado, las concentraciones de SO_2 exceden el ECA para aire ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para un periodo de 24 horas el día 10 de mayo en el punto de muestreo AIR-02. Es importante mencionar que las concentraciones del punto AIR-02 son mayores al punto AIR-01.
- xxiii Finalmente, las concentraciones reportadas en los puntos de muestreo AIR-01 y AIR-02, cumplieron con el ECA aire ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para el parámetro de PM_{10} igual para un periodo de 24 horas (Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM). La máxima concentración registrada fue de $64,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto AIR-02.

12.5. Calidad de suelo

- xxiv Para los suelos agrícolas cultivados, la concentración de arsénico total superó el valor del ECA para suelos (Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM) para uso agrícola en tres puntos de muestreo (SUE-AGRI 11, SUE-AGRI 12 y SUE-AGRI 13). El arsénico presente en estos suelos puede ser producto del alto contenido de este metaloide en las aguas usadas para riego agrícola. Una vez en el suelo, queda atrapado en la estructura, favoreciendo a su acumulación.
- xxv Asimismo, en el ámbito del proyecto Tía María, se evaluaron 12 puntos de monitoreo, donde se analizó el parámetro de metales, los cuales fueron comparados con los ECA para suelos de uso agrícola (D.S. N° 002-2013-MINAM), de esta comparación se observó que ninguna de las concentraciones de los elementos metálicos (arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo) excedieron su valor en el ECA.
- xxvi En la zona del Santuario Nacional Lagunas de Mejía, se evaluaron 12 puntos de monitoreo, donde se analizó el parámetro de metales, los cuales fueron comparados con los ECA para suelos de uso agrícola (D.S. N° 002-2013-MINAM), de esta comparación se observó que ninguna de las concentraciones de los elementos metálicos (arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo) excedieron su valor en el ECA.
- xxvii Se determinó los niveles de fondo y de referencia para 36 metales en suelos superficiales con cultivos (suelo agrícola), en el Santuario Nacional Lagunas de Mejía y en el área de influencia del proyecto minero Tía María. El empleo de métodos estadísticos en datos de concentración de metales pesados en suelos superficiales, demuestra ser útil para la obtención de niveles de fondo y valor de referencia en este componente ambiental. De la comparación referencial del nivel de fondo de elementos metálicos con en el ECA para suelo de uso agrícola, se obtuvo que los niveles de fondo de arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo fueron inferiores al valor de su estándar de comparación.
- xxviii Los niveles de fondo y de referencia obtenidos en el presente informe para metales en suelos, servirán para evaluar la información de futuras evaluaciones en el área del presente proyecto.

12.6. Tejido vegetal

- xxix Los resultados obtenidos respecto al contenido metálico en las muestras de cultivos y cereales ubicados en el valle del Tambo, fueron determinadas de



J
R
B
A
R
I
R

manera referencial y a solicitud de la población, a fin de utilizar dicha información en posteriores trabajos de vigilancia ambiental del sector competente.

13. RECOMENDACIONES

- i Remitir una copia del presente informe a la Oficina Desconcentrada de Arequipa.
- ii Remitir una copia del presente informe a las municipalidades distritales de Cocachacra, Deán Valdivia, Mejía y Punta de Bombón.
- iii Remitir una copia del presente informe a la municipalidad provincial de Islay.
- iv Remitir una copia del presente informe a la Autoridad Nacional del Agua.
- v Remitir una copia del presente informe al Gobierno Regional de Arequipa (GORE-Arequipa) – Gobernatura.
- vi Remitir una copia del presente informe al GORE-Arequipa: Gerencia Regional de Energía y Minas.
- vii Remitir una copia del presente informe al GORE-Arequipa: Gerencia Regional de Agricultura.
- viii Remitir una copia del presente informe al GORE-Arequipa: Gerencia Regional de Salud.
- ix Remitir una copia del presente informe al GORE-Arequipa: Gerencia Ambiental Regional.
- x Remitir una copia del presente informe al GORE-Arequipa: Área de prevención y gestión de conflictos.
- xi Remitir una copia del presente informe al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- xii Remitir una copia del presente informe a Southern Perú Copper Corporation.
- xiii Remitir una copia del presente informe a la Junta de Usuarios del Valle de Tambo.
- xiv Remitir una copia del presente informe a la Junta de Usuarios Irrigación Ensenada Mejía Mollendo.
- xv Remitir una copia del presente informe a la Junta de Riego Punta de Bombón.
- xvi Remitir una copia del presente informe a la Red de Salud Islay.
- xvii Remitir una copia del presente informe a Sedapar S.A.
- xviii Remitir una copia del presente informe a la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).
- xix Remitir una copia del presente informe a la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAAA) del Ministerio de Agricultura y Riego.



1
H
d
A
R
1
H

- xx Remitir una copia del presente informe al Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) del Ministerio de Agricultura y Riego.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agua y Sedimentos

A. Cesar, L. L. (2014). Environmental assessment of dredged sediment in the major Latin American seaport (Santos, Sao Paulo-Brazil): An integrated approach. *Science of The Total Environment*, 497-498, 679-687. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.08.037

American Public Health Association, A. W. (2012). 5520 C. Closed Reflux, Tritrimetric Method. En R. B. Eugene W. Rice (Ed.), *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (22 nd ed., págs. 5-19 y 5-20). United States of America.

ANA-A. (2014). *Informe Técnico N°001-2014-ANA-AAA I C-O/ALA T-AT-ALA MOQ/ECRH/VNCA-LVUC. Informe Técnico del Primer Monitoreo de Calidad de Agua Superficial de la cuenca Tambo*. Autoridad Nacional del Agua (ANA) - Autoridad Administrativa del Agua (AAA) I Caplina Ocoña.

ANA-B. (2014). *Informe Técnico N°002-2014-ANA-AAA I C-O/ALA T-AT-ALA MOQ/ECRH/VNCA-LVUC. Informe Técnico del Segundo Monitoreo de Calidad de Agua Superficial de la cuenca Tambo*. Autoridad Nacional del Agua (ANA) - Autoridad Administrativa del Agua (AAA) I Caplina Ocoña.

ANA-C. (2015). *Informe Técnico N°005-2015-ANA-AAA I C-O/ALA T-AT-ALA MOQ/ECRH/VNCA-LVUC. Informe Técnico del Tercer Monitoreo de Calidad de Agua Superficial de la cuenca Tambo*. Autoridad Nacional del Agua (ANA) - Autoridad Administrativa del Agua (AAA) I Caplina Ocoña.

ANA-D. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos*. Resolución Jefatural N°010-2016-ANA, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Lima-Perú.

Annalisa Pinsino, V. M. (2012). Manganese: A New Emerging Contaminant in the Environment. (D. J. Srivastava, Ed.) *Environmental Contamination*.

Appelo C.A.L, Postma D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (2ND ed.). Amsterdam, The Netherlands: Taylor & Francis Group.

Azimah Ismail, M. E. (2006). Application of chemometrics in river water classification. *Water Research*, 106(1-2), 292-300. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.10.019

Baeza A., González F., Miñana A. . (2001). El benceno en la ciudad de Murcia (Proyecto LIFE-MACBETH). *Servicio de publicaciones*, 168(30).

CCME. (2009). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Boron. En *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)*. Winnipeg.

Cieszynska M., W. M. (2012). Application of physicochemical data for water-quality assessment of watercourses in the Gdansk Municipality (South Baltic coast).



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Environmental Monitoring and Assessment, 184(4), 2017-2029.
doi:10.1007/s10661-011-2096-5

Domenech, X. & Peral J. (2006). *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Barcelona, España: Editorial Reverte S.A.

EPA. (2006). *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Environmental Information, Washington.

Fang Huang, X. W. (2009). Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. *Water Research*, 44(5), 1562-1572. doi:10.1016/j.watres.2009.11.003

Gasquez, L. D. (2005). Determinación de Arsénico en aguas: Diferentes Técnicas y Metodologías. (J. L. Griselda Galindo, Ed.) *Taller. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales e hidrología subterránea - IV Congreso Hidrogeológico Argentino*, 23-31.

George R. Aiken, H. H.-K. (2011). Influence of Dissolved Organic Matter on the Environmental Fate of Metals, Nanoparticles, and Colloids. *Environmental Science & Technology*, 45(8), 3196-3201. doi:10.1021/es103992s

Hedges, J. I. (2002). Why Dissolved Organic Matter. En D. A. Carlson (Ed.), *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter* (First Edition ed., pág. 3). Academic Press.

Herrera, J. V. (2009). Aplicación de Isótopos Ambientales para la Mitigación de la Contaminación de Arsénico en la cuenca del río Maure. *Tesis para Optar el Grado de Maestro en Ciencias con Mención en: Minería y Medio Ambiente*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Programa Cybertesis PERÚ.

Howe, P. M. (2004). Manganese and Its Compounds: Environmental Aspects. *World Health Organization*, 63.

Ignacio Morell, A. P.-B. (2008). Chemical and Isotopic assessment in volcanic thermal waters: Cases of Ischia (Italy) and Sao Miguel (Azores, Portugal). *Hydrological Process*, 22, 4386-4399. doi:10.1002/hyp.7042

INRENA. (1994). Diagnóstico de la Calidad del Agua de la Vertiente del Pacífico - Cuenca del Río Tambo. En I. N. (INRENA), *Diagnostico de la Calidad del Agua* (Vol. 2, págs. 637-648). Lima.

J.L. Fernández Turiel, G. G.-V. (2005). Estado Actual del Conocimiento sobre el Arsénico en el agua de Argentina y Chile: Origen, Movilidad y Tratamiento. (J. L. Griselda Galindo, Ed.) *Taller. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales e hidrología subterránea - IV Congreso Hidrogeológico Argentino*, 22.

Jablonska-Czapla, M. (2015). Manganese and Its Speciation in Environmental Samples Using Hyphenated Techniques: A Review. *Journal of Elementology*, 20(4), 1061-1075. doi:10.5601/jelem.2014.19.4.787

Juan Carmilo Gómez Rave. (2009). *Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isótopos, como herramienta para definir un modelo conceptual Hidrogeológico, Caso de Aplicación: Acuífero Costero del Municipio de Turbo*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Geociencias y Medio - Facultad de



f
g
d
A
K
1
d



Minas, Medellín. Recuperado el 01 de Agosto de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2407/>

K. Srinivasamoorthy, M. G. (2014). Hydrochemical characterization and quality appraisal of groundwater from Pungar sub basin, Tamilnadu, India. *Journal of King Saud University - Science*, 26, 37-52. doi:10.1016/j.jksus.2013.08.001

Kurt Varmuza, P. F. (2009). *Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics*. Boca Raton, Florida, United States of America: Taylor & Francis Group, LLC.

Ladouche B., W. P. (2005). Hydrochemical assessment of the Rochefort marsh: Role of surface and groundwater in the hydrological functioning of the wetland. *Journal of Hydrology*, 314, 22-42. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.03.018

Laodong Guo, P. H. (1997). Composition and Cycling of Colloids in Marine in Environments. *Reviews of Geophysics*, 35(1), 17-40. doi:10.1029/96RG03195

María Wons, J. K. (2014). Boron Concentrations in Groundwater Intended For Consumption From Intakes Located In Northern Poland. *Journal of Elementology*, 19(3), 845-852. doi:10.5601/jelem.2014.19.2.463

Massol, A. (2006). *Manual de Ecología Microbiana del curso de Ecología Microbiana (BIOL 4365)*. Recuperado el 1 de Octubre de 2017, de Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-oxigeno.pdf>.

Mauricio Ormachea Muñoz, P. B. (2015). Arsenic and other trace elements in thermal springs and in cold waters from drinking water wells on the Bolivian Altiplano. *Journal of South American Earth Sciences*, 60, 10-20. doi:10.1016/j.jsames.2015.02.006

Megersa Olumama Dinka, W. L. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 444-456. doi:10.1016/j.ejrh.2015.02.007

Möller S., E. J. (2013). Metals in sediments - spatial investigation of Saale River applying chemometric tools. *Microchemical Journal*, 110, 233-238. doi:10.1016/j.microc.2013.03.017

Nabeel M. Gazzaz, M. K. (2012). Characterization of spatial patterns in river water quality using chemometric pattern recognition techniques. *Marine Pollution Bulletin*, 64(4), 688-698. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.01.032

Nádaská G, L. J. (2010). Environmental Aspect of Manganese Chemistry. *Hej: Env 100702-A*.

Ngang B.U., A. V. (2015). A Seasonal Assessment of Groundwater Pollution due to Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand and Elevated Temperatures in Eunugu Northern Senatorial District, South of Nigeria. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 9(7), 66-73. doi:10.9790/5736-0907016673

OEFA-A. (2016). *Informe N°00120-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI. Evaluación hidrogeológica del "Santuario Nacional Lagunas de Mejía" y ámbito del Proyecto Tía María - 2016*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Lima.



f
g
d
x
k
9
2



PERÚ

Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

OEFA-B. (2016). *Informe N°0013-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI. Evaluación Ambiental de la Cuenca Tambo durante el año 2016*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Lima.

Peña, J. (2008). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio, entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales*. San Vicente – Alicante, España: 2 Edición.

Potosí, R. O. (1996). *Glosario Geohidrológico*. San Luis Potosí, S.L.P. México.: Editorial Universitaria Potosina.

Prakash Raj Kannel, S. L. (2007). Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system. *Analytica Chimica Acta*, 582(2), 390-399. doi:10.1016/j.aca.2006.09.006

Ramis Ramos G., C. G.-C. (2001). *Quimiometría*. Madrid, España: Síntesis.

Render, A. (2002). *Methods of Multivariate Analysis*. United States of America: John Wiley & Sons.

René Bernard Geerdink, R. S. (2017). Chemical Oxygen demand: Historical perspective and future challenges. *Analytica Chemical Acta*, 1-11. doi:10.1016/j.aca.2017.01.009

Requena S., N. (2014). *Análise da produção de sedimentos em diferentes escalas temporais em uma sub-bacia semiárida, Moquegua - Perú*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Rivera M., Hugo. (2007). *Introducción a la Geoquímica General y Aplicada*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Sancha, A. M. (2005). *Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados Para Uso en Riego*. Universidad de Chile, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Recuperado el 01 de Agosto de 2017, de http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf

Shrestha S., Kazama F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464-475. doi:10.1016/j.envsoft.2006.02.001

Shubra Singh, N. J. (2015). Evaluation of Groundwater Quality and Its Suitability for Domestic and Irrigation Use in Parts of the Chandauli-Varanasi Region, Uttar Pradesh, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 7, 572-587. doi:10.4236/jwarp.2015.77046

Simler, R. (2017). *Diagrammes Software version 6.51*. Laboratorio de Hidrología de Avignon. Recuperado el 01 de julio de 2017, de <http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>

Škrbic´, B., Durišic´-Mladenovic´, N. (2010). Chemometric interpretation of heavy metal patterns in soils worldwide. *Chemosphere*, 80(1360-1369). doi:10.1016/j.chemosphere.2010.06.010



1
2
3
4
5
6
7
8

Soto, P. (2013). Diplomado Virtual de Hidrología Subterránea del Centro de Capacitación Minera - CECAMIN. IX. *Tratamiento de Datos Químicos I*. Lima, Perú.

SPCC. (2014). *Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d) del Proyecto de Explotación y Beneficio Minero "Tía María"*. Instrumento de Gestión Ambiental, Southern Perú Copper Corporation (SPCC), Lima.

StafSoft. (2011). *STATISTICA (data analysis software system)*. Recuperado el Agosto de 2017, de www.statsoft.com

State Water Resources Control Board. (2016). *Groundwater Ambient Monitoring and Assessment Program*. (C. E. Agency, Ed.) Recuperado el 01 de Agosto de 2017, de http://www.waterboards.ca.gov/gama/docs/coc_boron.pdf

Tomasz Kowalkowski, R. Z. (2006). Application of chemometrics in river water classification. *Water Research*, 40(4), 744-752. doi:10.1016/j.watres.2005.11.042

Víctor Vargas Rodríguez, Y. A. (2012). Estudio Geotérmico del Campo Borateras. (I. G. (INGEMMET), Ed.) *Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*(47), 74.

Villegas Y., P. P. (2011). *Agua y SIG - Los diagramas más usados para la interpretación de análisis hidroquímicos*. Recuperado el 01 de Agosto de 2017, de <http://www.aguaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html>

Volkman John K., T. E. (2002). Chemical and Biological Studies of Particulate Organic Matter in the Ocean. *Journal of Oceanography*, 58(2), 265 - 279. doi:10.1023/A:1015809708632

Wang YB, L. C. (2015). Characterization and risk assessment of PAH-contaminated river sediment by using advanced multivariate methods. *Science of the Total Environment*, 524-525, 63-73. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.04.019

Wei Chong Teng, K. L. (2016). Piper diagram – A novel visualisation tool for process design. *Chemical Engineering Research and Design*, 112, 132-145. doi:10.1016/j.cherd.2016.06.002

Yun Whan Kang, M.-Y. C.-Y. (1999). Correction of Hydrogen Peroxide Interference on Standard Chemical Oxygen Demand Test. *Water Research*, 33(5), 1247-1251. doi:10.1016/S0043-1354(98)00315-7

Zheng Si, S. L. (2010). Visualization programming for batch processing of contour map on VB and Surfer Software. *Advances in Engineering Software*, 41(7-8), 962-965. doi:10.1016/j.advengsoft.2010.05.007

Hidrobiología

Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*, 27(4), 325-349.

Cazzaniga, (2011). El género *Heleobia* (Caenogastropoda: Cochliopidae) en América del Sur. Pp 10-17

Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2da. Edición). Gran Bretaña: University Press, Cambridge.



1
H
B
A
K
7
H

Paredes, C., J. Iannacone & L. Alvarino (2007): Biodiversidad de Invertebrados de Los Humedales de Puerto Viejo, Lima, Perú

García M. J. (2005). Diversidad y distribución de Cianobacterias en la ensenada y bahía de la Paz B.C.S., México: Indicadores de actividad humana (tesis pregrado). Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.

Ortega, H. Max Hidalgo, Giannina Trevejo, Ericka Correa, Ana María Cortijo, Vanessa Meza y Jessica Espino. (2012). Lista anotada de los peces de aguas continentales del Perú: Estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación. Pp 56.

Ortega, H., J. Espino, S. Valenzuela, L. Valenzuela, M. Armas y J. Marchena. Ríos y arroyos costeros representativos del Perú: caracterización, diversidad de la biota acuática y amenazas a la conservación. Lasso, C., J. F. Blanco-Libreros y P. Sánchez-Duarte. Cuencas Pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos y arroyos costeros. (2015). Pp 379-395. Colombia. Serie editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros continentales de Colombia.

Roldán, G. (2003). Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col. Medellín, Colombia: Ed Universidad de Antioquia.

Kogan, P. (2004). Análisis de la eficiencia de la ponderación "A" para evaluar efectos del ruido en el ser Humano. (Memoria de licenciatura inédita). Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.

Conchan - Barrientos, M., Campbell - Lendrum, D., Steenland, K. (2004). Occupational Noise: Assessing the burden of disease from work-related hearing impairment al national and local levels. Geneva, World Health Organization (Environmental Burden of Disease Series, No. 9).

Förstner, U. & Wittman, G.T.W. (2012). Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin: Springer.

German - González, M., Santillán, A. (2006). Del concepto de ruido urbano al de paisaje sonoro. Revista Bitácoras Urbano Territorial, 1, 39-52.

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, M. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. Ecology, 54(2), 427-432.

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

Karr, J.R. & Chu, W.E. (1999). Restoring Life in Running Waters. Better Biological Monitoring (2da edición). Washington, D. C.: Island Press.

Martínez, J., Peters, J. (2015). Contaminación acústica y ruido. Madrid: Ecologistas en acción.



Handwritten blue ink marks: a vertical line, a checkmark, and several other symbols.

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

Moreno, C. E. & Halffter, G. (2000). Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology*, 37(1), 149–158. doi:10.1046/j.1365-2664.2000.00483.x

Plume, G.S. & Logdson, M.J. (1999). The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A: Processes, Techniques, and Health Issues. *Reviews in Economic Geology*, 6A, 133-160.

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

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

Pielou, E. C. (1984). *The interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination*. New York: John Wiley & Sons.

Roldán, G. and Ramírez, J.J. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2. ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 439 p.

Sokal, R. R. & Michener, C. D. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *U. Kansas Sci. Bull.*, 38, 1409-1438.

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.

Warwick, R.M. & Clarke, K.R. (1995). New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, 129(2), 301-305.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology; lake and River Ecosystem* 3rd ed. Academic Press New York 1006 pp.

Aire

NTP (2003). *Gestión Ambiental. Calidad de aire, Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM₁₀ en la atmósfera*, Norma Técnica Peruana (NTP) N.º 900.030.2003 1ra Edición, Lima-Perú.

Digesa (2005). *Protocolo de calidad del aire y gestión*. R.D. N.º 1404/2005/DIGESA. Dirección General de Salud Ambiental (Digesa), Lima-Perú.

Ernesto Martínez y Yolanda Diaz de Mera (2004). *Contaminación atmosférica*. Universidad de Castilla La Mancha. España,



Handwritten blue ink marks: a vertical line, followed by the letters 'AE', 'D', 'A', 'K', '7', and '2' arranged vertically.

Suelos y tejido vegetal

Chen, M., Ma, L.Q., and Hanis, W.G. 1999. Background concentrations of 15 trace metals in Florida Soils. *Journal of Environmental Quality* 28, p.1173-1181.

De Miguel, E., A. Callaba, J.C. Arranz, V. Cala, E. Chacón, E. Gallego, E. Alberruche, C. Alonso, P. Fdez-Canteli, I. Iribarren, and H. Palacios. 2002. Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. *Serie Medio Ambiente. Terrenos contaminados nº 2*. Instituto Geológico y Minero de España. 167 p., Madrid.

Diamond D., Baskin D., Brown D., Lund L., Najita J., and Javandel I. 2009. Analysis of Background Distributions of Metals in the Soil at Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California. Environmental Restoration Program. LBNL – 1782E. p. 1-15.

Dixon, W.J. 1953. Processing Data for Outliers. *Biometrics* 9: p.74-89.

Efron, B. 1981. Censored Data and Bootstrap. *Journal of American Statistical Association*, Vol. 76, pp.312-319.

EN ISO 19258, 2005. Soil quality- Guidance on the determination of background values. International Standar Organization.

Helsel, D.R. 2012. *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab and R*. Second Edition. John Wiley and Sons, NY.

Kaplan, E.L. and Meier, O. 1958. Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 53. 457-481.

Klee, R. 2014. Guidance for Calculating the 95% Upper Confidence Level for Demonstrating Compliance with the Remediation Standard Regulations. State of Connecticut Department of Energy and Environmental Protection, p. 12.

Land, C. E. 1975. Tables of Confidence Limits for Linear Functions of the Normal Mean and Variance. In *Selected Tables in Mathematical Statistics*, Vol. III, American Mathematical Society, Providence, R.I., p. 385-419.

Lawrence Berkely National Laboratory (LBNL). 2009. Analysis of Background Distributions of Metals in the Soil at Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL-1782E. University of California.

Ramos, J. 2002. Estudio de la Contaminación por Metales Pesados y Otros Procesos de Degradación Química en los Suelos de Invernadero del Poniente Almeriense. Universidad de Almería. Facultad de Ciencias Experimentales, Departamento de Edafología y Química Agrícola, p. 154.

Rosner, B. 1975. On the detection of many outliers. *Technometrics*, 17, p 221 -227.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2006. Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners, EPA QA/G-9S. EPA/240/B-06/003. Office of Environmental Information, Washington, DC.



1
H
A
A
K
7
R



U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2013. ProUCL Version 5.0 Technical Guide. EPA /600/R-07/041, 2013.

SCALONE. 2015. Propiedades Físicas de los Suelos. Instituto de Agrimensura de Uruguay. Uruguay. 43 p.

POTASH Y PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA (PPIC). 1998. Manual de Fertilidad de los Suelos. Georgia. 85 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). 2012. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo: Metodología de Cálculo. México. 53 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Disponible en: <<http://www.fao.org/>>.



J
H
B
A
R
P
H

15. ANEXOS

- Anexo A : Actores involucrados
 - Anexo A1 : Ficha Social, Listado de participantes del MAP y registro fotográfico – Visita de reconocimiento
 - Anexo A2 : Actas, Listado de participantes del MAP y registro fotográfico – Etapa de coordinación previa con los actores involucrados.
 - Anexo A3 : Actas, Listado de participantes del MAP y registro fotográfico – Etapa de taller de inducción y presentación de la propuesta del plan de monitoreo
 - Anexo A4 : Actas, Listado de participantes del MAP y registro fotográfico – Etapa de ejecución del monitoreo

- Anexo B : Calidad de agua
 - Anexo B1 : Tabla de resultados
 - Anexo B2 : Gráficos
 - Anexo B3 : Mapa de puntos de muestreo
 - Anexo B4 : Hojas de campo
 - Anexo B5 : Registros de ajuste y verificación
 - Anexo B6 : Registro fotográfico
 - Anexo B7 : Cadenas de custodia e informes de ensayo
 - Anexo B8 : Certificados de calibración de equipos
 - Anexo B9 : Certificados de acreditación de laboratorio por el INACAL

- Anexo C : Calidad de sedimento
 - Anexo C1 : Tabla de resultados
 - Anexo C2 : Gráficos
 - Anexo C3 : Mapa de puntos de muestreo
 - Anexo C4 : Hojas de campo
 - Anexo C5 : Registro fotográfico
 - Anexo C6 : Cadenas de custodia e informes de ensayo

- Anexo D : Comunidades hidrobiológicas
 - Anexo D1 : Mapa de puntos de muestreo
 - Anexo D2 : Hojas de campo
 - Anexo D3 : Registro fotográfico
 - Anexo D4 : Informes de ensayo
 - Anexo D4.1 : Fitoplancton
 - Anexo D4.2 : Zooplancton
 - Anexo D5 : Clasificación taxonómica de perifiton
 - Anexo D6 : Clasificación taxonómica de macroinvertebrados
 - Anexo D6.1 : Clasificación taxonómica de macroinvertebrados en SNLM
 - Anexo D6.2 : Clasificación taxonómica de macroinvertebrados en el río Tambo
 - Anexo D7 : Cadenas de custodia



1
H
d
x
x
1
H



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

- Anexo E : Calidad de aire
 - Anexo E1 : Mapa de puntos de muestreo
 - Anexo E2 : Hojas de campo
 - Anexo E3 : Registro fotográfico
 - Anexo E4 : Certificados de calibración de equipos
 - Anexo E5 : Cadenas de custodia e informes de ensayo

- Anexo F : Calidad de suelo
 - Anexo F1 : Tabla de resultados
 - Anexo F2 : Mapa de puntos de muestreo
 - Anexo F3 : Hojas de campo
 - Anexo F4 : Registro fotográfico
 - Anexo F5 : Cadenas de custodia e informes de ensayo
 - Anexo F6 : Fichas estadísticas para determinación de niveles de fondo

- Anexo G : Tejido vegetal en cultivos
 - Anexo G1 : Tablas de resultados
 - Anexo G2 : Mapa de puntos de muestreo
 - Anexo G3 : Hojas de campo
 - Anexo G4 : Registro fotográfico
 - Anexo G5 : Cadenas de custodia e informes de ensayo

- Anexo H : Resumen de estudios previos en agua y sedimentos
 - Anexo H1 : Estudios realizados por el Administrado
 - Anexo H2 : Estudios realizados por el Estado



Handwritten signature and initials in blue ink.