

**INFORME N° 089 -2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA**

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

**SONIA BEATRÍZ ARANÍBAR TAPIA**  
Subdirectora de Evaluación de la Calidad Ambiental



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

**OSCAR CORTEZ NAVARRO**  
Tercero evaluador

**CESAR GREGORIO ESPIRITU LIMAY**  
Tercero evaluador

**JESSICA ADELA ESPINO CIUDAD**  
Tercera evaluadora

**KILMENIA LUNA CAMPOS**  
Tercera evaluadora

**JORGE FERNANDEZ NAJARRO**  
Tercero evaluador



**ASUNTO :** Informe de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, durante el año 2017.

**REFERENCIA:** Planefa 2017

**FECHA :** 21 DIC. 2017

2017-201. 6186

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 de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.
b.	Ámbito de influencia	Área de influencia del proyecto minero Sancos, enfocadas principalmente a la ubicación proyectada como área de influencia ambiental directa, los cuales involucran a la red hídricas de los ríos Sancos y Para.
c.	Problemática	Posible alteración de las condiciones ambientales, producto de las futuras actividades de explotación del proyecto minero Sancos, propiedad de la minera Apumayo S.A.C.
d.	Motivo por el cual se realiza la actividad	Actividad establecida en el Planefa 2017 del OEFA.

e.	Tipo de Evaluación Ambiental	Participativo	[X]
		No Participativo	
		Vigilancia Ambiental	
f.	Periodo de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visita de reconocimiento: del 13 al 19 de febrero de 2017.</li> <li>• Coordinación previa: del 8 al 14 de marzo de 2017.</li> <li>• Taller de inducción para la evaluación ambiental temprana: del 6 al 11 de abril de 2017 en el distrito de Sancos y el 4 de julio de 2017 en la comunidad de Para.</li> <li>• Taller para la presentación de la propuesta del plan para la ejecución de la evaluación ambiental temprana: el 19 y 20 de setiembre de 2017.</li> <li>• Ejecución de la evaluación ambiental temprana: del 20 al 26 de setiembre de 2017.</li> </ul>	

2. Equipo profesional:

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

Ítem	Evaluador	Profesión	Actividad	Colegiatura
1	Oscar Cortez Navarro (*)	Ing. Pesquero	Evaluación de suelo y tejido vegetal	CIP 180700
2	Jorge Fernández Najarro	Ing. Ambiental		---
3	Cesar Espíritu Limay	Lic. Químico	Evaluación de agua superficial	CQP 903
4	Jessica Adela Espino Ciudad	Bióloga	Evaluación de comunidades hidrobiológicas	CBP 13188
5	Kilmenia Luna Campos	Bióloga		CBP 11450

(\*) Líder de equipo

3. Resumen

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

Componentes evaluados	N° de puntos	¿Incumplió los ECA u otras normas de referencia?			¿Qué parámetros?	¿En qué puntos?
		Sí	X	No		
Agua <sup>(a)</sup>	19	Sí	X	No	pH	<p><b>Sancos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ríos:</b> Río Sancos: <b>RSanc1 y RSanc2</b></li> <li>• <b>Quebradas:</b> Quebrada Chuñuchani: <b>QChuñ1</b> Quebradas sin nombre: <b>QSN-14, QSN-4, QSN-15 y QSN-12</b> Quebrada Lambre: <b>QLamb1</b> Quebrada Jarhuisique: <b>QJarh1</b> Quebrada Futcca: <b>QFutc1</b> Quebrada Huishui: <b>QHuis1</b> Quebrada Yanama: <b>QYana1</b></li> </ul>



Handwritten signature and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Asesoría

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Componentes evaluados	N° de puntos	¿Incumplió los ECA u otras normas de referencia?				¿Qué parámetros?	¿En qué puntos?
		Sí	-	No	-		
						<ul style="list-style-type: none"> <li>Quebrada sin nombre: QSN- 14 y QSN-12</li> <li>Quebrada Jarhuisique: QJarh1</li> <li>Quebrada Puchccuyacu: QPuch1</li> <li>Quebrada Miskiyacu: QMisk1</li> </ul> <p><b>Para</b></p> <p><b>Quebradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quebradas sin nombre: QSN- 16, QSN-1 y QSN-10</li> </ul>	
					Hierro	<p><b>Para</b></p> <p><b>Quebradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quebrada sin nombre: QSN- 16</li> </ul>	
					Cobalto	<p><b>Para</b></p> <p><b>Quebradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quebrada sin nombre: QSN- 16, QSN-1 y QSN-10</li> </ul>	
Comunidades hidrobiológicas	24	Sí	-	No	-	-	
Suelos <sup>(b)</sup>	26	Si	X	No	-	-	
Tejido Vegetal <sup>(b)</sup>	26	Si	X	No	-	-	

(\*) Comparación referencial

(a) Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

(b) No se comparó con Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

(-) No aplica.

## II. OBJETIVO

- Presentar los resultados de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia proyecto minero Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, realizada del 18 al 27 de setiembre de 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.
- Como parte de las actividades de ejecución del Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental 2017 (en adelante, Planefa 2017) aprobado mediante



Handwritten signatures and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Componentes evaluados	N° de puntos	¿Incumplió los ECA u otras normas de referencia?			¿Qué parámetros?	¿En qué puntos?
						Quebrada Puchccuyacu: <b>QPuch1</b> Quebrada Miskiyacu: <b>QMisk1</b>  <b>Para</b>  • Río Para: <b>RPara1</b> y <b>RPara2</b>  • Quebradas:  Quebradas sin nombre: <b>QSN- 16, QSN-1</b> y <b>QSN-10</b> .
					Oxígeno disuelto	<b>Para.</b>  <b>Manantiales(*):</b> • Manantial: <b>Mana1, Mana2</b> y <b>Mana3</b>
					Sulfatos	<b>Para.</b>  <b>Manantiales(*):</b> • Manantial: <b>Mana1</b>
					Arsénico	<b>Para.</b>  <b>Manantiales(*):</b> • Manantial: <b>Mana1, Mana2</b> y <b>Mana3</b>
					Boro	<b>Para.</b>  <b>Manantiales(*):</b> • Manantial: <b>Mana1</b> y <b>Mana2</b>
					Aluminio	<b>Sancos</b>  <b>Quebradas:</b> Quebrada Chuñuchani: <b>QChun1</b> Quebrada sin nombre: <b>QSN- 12</b> Quebrada Yanama: <b>QYana1</b> Quebrada Puchccuyacu: <b>QPuch1</b>  <b>Para</b>  <b>Quebradas:</b> Quebrada sin nombre: <b>QSN- 16, QSN-1</b> y <b>QSN-10</b>
					Manganeso	<b>Sancos</b>  <b>Ríos:</b> Río Sancos: <b>RSanc1</b> y <b>RSanc2</b>  <b>Quebradas:</b> • Quebrada Chuñuchani: <b>QChuñ1</b>




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 de influencia del proyecto minero Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, realizada del 18 al 27 de setiembre de 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, hidrobiología, aire, suelo, flora y fauna silvestre) a través de un diagnóstico ambiental en el que el OEFA fomenta 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 Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, del 13 al 19 de febrero de 2017, para la ejecución de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Sancos.
10. Finalmente, el presente informe corresponde al desarrollo de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, 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 Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, durante el año 2017, que se adjunta y forma parte del presente informe.

#### V. CONCLUSIÓN

- (i) El presente informe contiene los resultados generales de la evaluación ambiental temprana realizada en el área de influencia del proyecto minero Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, 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 Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, durante el año 2017.

Atentamente,

**OSCAR CORTEZ NAVARRO**Tercero Evaluador  
Dirección de Evaluación

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

**CESAR ESPIRITU LIMAY**Tercero Evaluador  
Dirección de Evaluación

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

**JESSICA ADELA ESPINO CIUDAD**Tercera Evaluadora  
Dirección de Evaluación

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

**KILMENIA LUNA CAMPOS**Tercera Evaluadora  
Dirección de Evaluación

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

**JORGE FERNANDEZ 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 - OEFA



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Lima, 21 DIC. 2017

Visto el Informe N° 089 -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 ARANÍBAR-TAPIA**

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

Visto el Informe N° 089 -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"



Organismo  
de Evaluación  
y Fiscalización  
Ambiental

**INFORME N° 089 - 2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA**

**EVALUACIÓN AMBIENTAL TEMPRANA  
EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL  
PROYECTO MINERO SANCOS, EN LOS  
DISTRITOS DE SANCOS Y CHAVIÑA,  
PROVINCIA DE LUCANAS,  
DEPARTAMENTO DE AYACUCHO,  
DURANTE EL AÑO 2017**

COORDINACIÓN DE MONITOREO Y VIGILANCIA AMBIENTAL

**DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN**

**Diciembre de 2017**



*[Handwritten signature]*



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.....	3
3.	ANTECEDENTES.....	4
4.	JUSTIFICACIÓN.....	5
5.	OBJETIVOS .....	6
5.1.	Objetivo general .....	6
5.2.	Objetivos específicos.....	6
6.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	6
7.	CONTEXTO SOCIAL.....	9
7.1.	Etapas previas a la ejecución del monitoreo .....	9
7.1.1.	Visita de Reconocimiento .....	9
7.1.2.	Coordinación previa con los actores involucrados; convocatoria e inscripción a los programas de inducción.....	10
7.1.3.	Realización de la Inducción .....	10
7.1.4.	Taller para la presentación de la propuesta del Plan .....	11
7.2.	Ejecución de la evaluación ambiental temprana .....	11
7.3.	Actores involucrados .....	11
8.	MARCO CONCEPTUAL.....	12
8.1.	Agua superficial .....	12
8.1.1.	Aniones y cationes principales.....	12
8.1.2.	Metaloides y metales pesados.....	16
8.1.3.	Evaluación hidroquímica.....	21
8.1.4.	Relación de los sólidos disueltos e iones con la conductividad .....	26
8.1.5.	Pretratamiento y análisis multivariado.....	28
8.1.6.	Drenaje Ácido de Roca (DAR) .....	31
8.1.7.	Diagrama de Ficklin .....	32
8.1.8.	Control de calidad (duplicados).....	32
8.2.	Comunidades hidrobiológicas.....	33
8.3.	Suelo .....	34
8.3.1.	Textura del suelo .....	34
8.3.2.	Niveles de fondo.....	36
8.3.3.	Valor de referencia .....	37



Handwritten blue ink signatures and marks on the left margin.



<b>Tabla 9-13.</b> Escala de calidad ecológica de un río.....	57
<b>Tabla 9-14.</b> Puntos de muestreo de calidad ambiental de suelo para la evaluación de nivel de fondo .....	58
<b>Tabla 9-15.</b> Guías y/o protocolos utilizados para establecer los puntos de muestreo de suelo.....	61
<b>Tabla 9-16.</b> Equipos utilizados para el muestreo de calidad de suelos.....	62
<b>Tabla 9-17.</b> Parámetros y cantidad de puntos de muestreo para la evaluación de calidad de suelo.....	62
<b>Tabla 9-18.</b> Parámetros de control de calidad .....	62
<b>Tabla 9-19.</b> Métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para metales y metaloides del presente estudio.....	62
<b>Tabla 9-20.</b> Métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para cianuro total.....	63
<b>Tabla 9-22.</b> Puntos de muestreo para la evaluación de metales en tejido vegetal .....	64
<b>Tabla 9-23.</b> Características de los equipos accesorios y otros materiales utilizados en la toma de muestra de tejido vegetal .....	64
<b>Tabla 9-24.</b> Métodos de ensayo utilizados por la medición de material particulado .....	64
<b>Tabla 10-1.</b> Resultados que excedieron los ECA para agua en los manantiales .....	71
<b>Tabla 10-2.</b> Relación de los metales disueltos y suspendidos en el río Sancos y sus tributarios.....	72
<b>Tabla 10-3.</b> Relación de los metales disueltos y suspendidos en el río Para y sus tributarios.....	73
<b>Tabla 10-4.</b> Relación de los metales disueltos y suspendidos en los manantiales.....	73
<b>Tabla 10-5.</b> Valores K de la relación de los SDT y conductividad y pendiente de la suma de iones con la conductividad .....	76
<b>Tabla 10-6.</b> Resultados de los agrupamientos mediante el AF para el componente 1 .....	79
<b>Tabla 10-7.</b> Resultado de los agrupamientos mediante el AF para el componente 1, 2 y 3 .....	79



*[Handwritten signatures and initials in blue ink]*



ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 3-1.** Instrumentos de gestión ambiental asociados al proyecto minero Sancos... 4

**Tabla 3-2.** Cuerpos de agua de interés de acuerdo a los IGA asociados al proyecto Sancos ..... 4

**Tabla 3-3.** Parámetros que incumplen el ECA correspondiente de acuerdo al IGA aprobado del Proyecto Sancos ..... 5

**Tabla 7-1.** Principales actores sociales involucrados para el desarrollo de la EAT ..... 11

**Tabla 8-1.** Relación conductividad y Error de Balance Iónico (EBI) ..... 22

**Tabla 8-2.** Clasificación granulométrica de las partículas del suelo ..... 35

**Tabla 8-3.** Unidades de capacidad de uso mayor ..... 39

**Tabla 9-1.** Ubicación de los puntos de muestreo de calidad ambiental de agua superficial ..... 41

**Tabla 9-2.** Controles de calidad establecidos para agua ..... 44

**Tabla 9-3.** Equipos y accesorios utilizados para el muestreo de calidad ambiental de agua ..... 44

**Tabla 9-4.** Características de los equipos usados en la evaluación de campo para la calidad de agua superficial..... 45

**Tabla 9-5.** Parámetros monitoreados de la calidad ambiental de agua..... 45

**Tabla 9-6.** Métodos de ensayo utilizados por los laboratorios para el análisis de calidad de agua superficial..... 47

**Tabla 9-7.** Estándares de comparación de la calidad de agua..... 48

**Tabla 9-8.** Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas .49

**Tabla 9-9.** Equipos y materiales utilizados para el muestreo de las comunidades hidrobiológicas..... 52

**Tabla 9-10.** Comunidades hidrobiológicas, parámetros y métodos de ensayo utilizados para los análisis hidrobiológicos ..... 53

**Tabla 9-11.** Calidad hidromorfológica del río ..... 57

**Tabla 9-12.** Valoración de la calidad biológica con el índice ABI ..... 57



Handwritten signature and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

8.3.4. Geología.....	38
8.3.5. Asociaciones de suelos .....	39
8.3.6. Capacidad de uso mayor de suelos.....	39
8.4. Tejido vegetal .....	40
9. METODOLOGÍA.....	40
9.1. Calidad de agua superficial.....	40
9.1.1. Ubicación de los puntos de muestreo .....	40
9.1.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis .....	44
9.1.3. Estándares de comparación y análisis de datos .....	47
9.2. Comunidades hidrobiológicas.....	49
9.2.1. Ubicación de los puntos de muestreo .....	49
9.2.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis .....	52
9.2.3. Estándares de comparación y análisis de datos .....	54
9.3. Calidad de suelo .....	58
9.3.1. Ubicación de los puntos de muestreo .....	58
9.3.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis.....	61
9.4. Tejido vegetal .....	63
9.4.1. Ubicación de los puntos de muestreo .....	64
9.4.2. Protocolo y técnicas de análisis .....	64
10. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	65
10.1. Calidad de agua .....	65
10.1.1. Evaluación de la calidad ambiental.....	65
10.1.2. Comportamiento de los metales disueltos y suspendidos.....	71
10.1.3. Evaluación hidroquímica .....	80
10.1.4. Control de calidad .....	85
10.2. Comunidades hidrobiológicas.....	90
10.2.1. Río Sancos y sus tributarios .....	91
10.2.2. Río Para y sus tributarios .....	100
10.2.3. Manantiales.....	108
10.3. Calidad de suelo .....	111



Handwritten signatures and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

10.3.1. Datos para la determinación del nivel de fondo – NF y valor de referencia VR .....111

10.4. Tejido vegetal ..... 112

11. DISCUSIONES ..... 114

11.1. Calidad de agua ..... 114

11.2. Comunidades hidrobiológicas ..... 129

11.3. Calidad de suelo ..... 130

11.4. Tejido vegetal ..... 131

12. CONCLUSIONES ..... 131

12.1. Calidad de agua ..... 131

12.2. Comunidades hidrobiológicas ..... 132

12.3. Calidad de suelo ..... 133

12.4. Tejido vegetal ..... 133

13. RECOMENDACIONES ..... 133

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 134

15. ANEXOS ..... 141



Handwritten signatures and initials in blue ink.



**Tabla 10-8.** Error de balance iónico de los ríos Para y Sancos, sus tributarios y manantiales considerando la concentración de  $H_3O^+$  del pH..... 82

**Tabla 10-9.** Resultados de los metales totales de los tres duplicados con sus respectivos RPD y el blanco viajero..... 89

**Tabla 10-10.** Diversidad alfa de las microalgas del perifiton en el río Sancos y sus tributarios..... 94

**Tabla 10-11.** Composición, riqueza y abundancia de los microorganismos del perifiton en el río Sancos y sus tributarios ..... 95

**Tabla 10-12.** Diversidad alfa de los microorganismos del perifiton en el río Sancos y sus tributarios..... 96

**Tabla 10-13.** Diversidad alfa de macroinvertebrados bentónicos..... 99

**Tabla 10-14.** Calidad ecológica de acuerdo al protocolo CERA-S ..... 100

**Tabla 10-15.** Diversidad alfa de microalgas en el río Para y sus tributarios ..... 103

**Tabla 10-16.** Composición, riqueza y abundancia de los microorganismos del perifiton por punto de muestreo en el río Para y sus tributarios ..... 104

**Tabla 10-17.** Diversidad alfa de macroinvertebrados bentónicos por zona y punto de muestreo..... 106

**Tabla 10-18.** Calidad ecológica de acuerdo al protocolo CERA-S ..... 108

**Tabla 10-19.** Diversidad alfa de las microalgas del perifiton por punto de muestreo en los manantiales..... 110

**Tabla 10-20.** Composición, riqueza y abundancia de zooperifiton en los manantiales ..... 111

**Tabla 10-21.** Datos par el nivel de fondo y valores de referencia de metales para el área de estudio ..... 112

**Tabla 10-22.** Concentraciones de metales obtenidas en pastos dentro del área de influencia del proyecto minero Sancos,..... 113

**Tabla 11-1.** Concentraciones de cianuro total en los puntos de muestreo ..... 131



Handwritten signature and initials in blue ink.



ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 6-1.** Mapa de ubicación del proyecto minero Sancos ..... 7

**Figura 8-1.** A) EBI sin H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, B) EBI con H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> y sin especiación y C) EBI con H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> y con especiación..... 23

**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.** Relación de los sólidos disueltos totales (TDS) con los valores de k para diferentes tipos de agua..... 27

**Figura 8-7.** Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin) para el agua basado en la suma de metales disueltos (Zn, Cu, Cd, Pb, Co, Ni) y el valor de pH..... 32

**Figura 8-8.** Diagrama triangular o triángulo de las clases texturales básicas del suelo ..... 35

**Figura 10-1.** Resultados de pH en el río Sancos y sus tributarios ..... 66

**Figura 10-2.** Resultados de aluminio total en el río Sancos y sus tributarios ..... 67

**Figura 10-3.** Resultados de manganeso total en el río Sancos y sus tributarios..... 67

**Figura 10-4.** Resultados de pH en el río Para y sus tributarios..... 68

**Figura 10-5.** Resultados de aluminio total en el río Para y sus tributarios ..... 69

**Figura 10-6.** Resultados de hierro total en el río Para y sus tributarios ..... 69

**Figura 10-7.** Resultados de manganeso total en el río Para y sus tributarios ..... 70

**Figura 10-8.** Resultados de cobalto total en el río Para y sus tributarios ..... 70

**Figura 10-9.** Relación lineal entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) ..... 74

**Figura 10-10.** Relación lineal entre la conductividad y la suma de cationes ..... 75

**Figura 10-11.** Resultados lineal entre la conductividad y la suma de aniones..... 75

**Figura 10-12.** Representación de las cargas (loadings) de los 11 metales y los SST en los tres componentes del AF..... 78



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.



**Figura 10-13.** Diagrama de Piper de los ríos Para y Sancos con sus tributarios y manantiales ..... 86

**Figura 10-14.** Diagrama de Piper de los ríos Para y Sancos con sus tributarios y manantiales ..... 87

**Figura 10-15.** Mapa hidroquímico de los ríos Sancos y Para con sus tributarios y los manantiales ..... 88

**Figura 10-16.** Riqueza o número de taxa de microalgas por phylum ..... 90

**Figura 10-17.** Riqueza o número de taxa de macroinvertebrados bentónicos por orden ..... 91

**Figura 10-18.** Riqueza o número de taxa de las microalgas del perifiton por phylum en el río Sancos y sus tributarios ..... 92

**Figura 10-19.** Abundancia o número de organismos de las microalgas del perifiton por phylum en el río Sancos y sus tributarios ..... 93

**Figura 10-20.** Dendrograma de similitud de las microalgas del perifiton en el río Sancos y sus tributarios ..... 95

**Figura 10-21.** Riqueza o número de taxa de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden ..... 97

**Figura 10-22.** Abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden ..... 98

**Figura 10-23.** Dendrograma de similitud de macroinvertebrados bentónicos ..... 99

**Figura 10-24.** Riqueza o número de taxa de microalgas por phylum en el río Para y sus tributarios ..... 101

**Figura 10-25.** Abundancia o número de organismos de microalgas por phylum en el río Para y sus tributarios ..... 102

**Figura 10-26.** Dendrograma de similitud de las microalgas en el río Para y sus tributarios ..... 103

**Figura 10-27.** Riqueza o número de taxa de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden ..... 105

**Figura 10-28.** Abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden ..... 106



Handwritten signature and initials in blue ink.



**Figura 10-29.** Dendrograma de similitud de macroinvertebrados bentónicos ..... 107

**Figura 10-30.** Riqueza o número de taxa de las microalgas del perifiton y phylum en los manantiales ..... 109

**Figura 10-31.** Abundancia o número de organismos de las microalgas del perifiton por phylum en los manantiales ..... 110

**Figura 10-32.** Dendrograma de similitud de las microalgas del perifiton en los manantiales ..... 111

**Figura 11-1.** Relación de concentraciones de aluminio y pH en el río Sancos y sus tributarios ..... 115

**Figura 11-2.** Relación de concentraciones de aluminio y pH en el río Para y sus tributarios ..... 115

**Figura 11-3.** Relación de concentraciones de hierro y pH en el río Sancos y sus tributarios ..... 116

**Figura 11-4.** Relación de concentraciones de hierro y pH en el río Para y sus tributarios ..... 116

**Figura 11-5.** Relación de concentraciones de manganeso y pH en el río Sancos y sus tributarios ..... 117

**Figura 11-6.** Relación de concentraciones de manganeso y pH en el río Para y sus tributarios ..... 117

**Figura 11-7.** Esquema de los puntos de muestreo en a) Quebrada Chuñuchani (QChuñ1), b) Quebrada sin nombre (QSN-16), c) Quebrada sin nombre (QSN-1), d) Quebrada sin nombre (QSN-10), e) Quebrada sin nombre (QSN-12), f) Quebrada Puchccuyacu (QPuch1) y g) Quebrada Yanama (QYana1) ..... 118

**Figura 11-8.** Clasificación geoquímica en base al diagrama de Ficklin de los río Sancos y para con sus tributarios y los manantiales ..... 119

**Figura 11-9.** Esquema de las concentraciones de los aluminio, hierro y manganeso en el curso de agua donde se ubican los puntos de muestreo QSN-16, QSN-1 y QSN-10 ..... 120

**Figura 11-10.** Esquema de los puntos de muestreo en a) Quebrada Jarhuisique (QJarh1), b) Quebrada Futcca (QFutc1), c) Río Sancos (RSanc1), d) Río Sancos



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.



(RSanc2), e) Manantial Mana1, f) Quebrada sin nombre (QSN-1) y g) Quebrada sin nombre (QSN-16). ..... 121

**Figura 11-11.** Relación binaria entre las concentraciones (meq/L) de los sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) y la suma de calcio ( $Ca^{+2}$ ) y magnesio ( $Mg^{+2}$ ) disuelto ..... 122

**Figura 11-12.** Concentraciones de sulfatos y suma de calcio y magnesio del río Sancos y sus tres principales tributarios ..... 123

**Figura 11-13.** Esquema de las concentraciones de sulfatos, suma de calcio y magnesio y metales pesados del río Para y sus tributarios ..... 124

**Figura 11-14.** Resultados de arsénico del río Sancos y Para con sus tributarios y los manantiales ..... 125

**Figura 11-15.** Resultados de boro del río Sancos y Para con sus tributarios y los manantiales ..... 126

**Figura 11-16.** Esquema de los puntos de muestreo en a) Quebrada sin nombre QSN-15, b) Quebrada sin nombre QSN-4, c) Quebrada sin nombre QSN- 16, d) Quebrada sin nombre QSN-1, e) Quebrada Miskiyacu (QMisk1) y f) Río Sancos (RSanc1) ..... 128

**Figura 11-17.** Esquema calidad ecológica de los ríos Sancos y Para y sus tributarios ..... 130



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"

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 11-1. Quebrada sin nombre QSN-10 .....	123
Fotografía 11-2. Quebrada Jarhuisique (QJarh1) .....	123
Fotografía 11-3. Manantial Mana1 (directo) .....	125
Fotografía 11-4. Manantial Mana2 (tubería) .....	125
Fotografía 11-5. Manantial Mana3 (Cj.Ins) .....	125
Fotografía 11-6. Quebrada Yanama (QYana1) .....	127
Fotografía 11-7. Quebrada Puchccuyacu (QPuch1) .....	127



*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

## 1. INTRODUCCIÓN

1. Mediante escrito N° 2079534 del 29 de marzo del 2011, SANTA BÁRBARA RESOURCES PERÚ S.A.C., presentó ante la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del Ministerio de Energía y Minas (MEM), su solicitud de aprobación del estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del proyecto de exploración minera "Sancos", a desarrollarse en las concesiones mineras Nancy I y Nancy II, ubicadas en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho<sup>1</sup>. exploración comprendida en la Categoría II, de acuerdo al Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera, D.S. N° 020-2008-EM.
2. Mediante escrito N° 2536415 del 17 de setiembre de 2015, la Compañía Minera Apumayo S.A.C. solicitó a la DGAAM el cambio de titularidad del proyecto de exploración minera "Sancos" a desarrollarse en las concesiones mineras Nancy I y Nancy II a favor de Santa Bárbara Resources Perú S.A.C<sup>2</sup>. Por lo que la empresa minera Apumayo S.A.C. adquiere el proyecto "Sancos", ubicado dentro de los terrenos superficiales pertenecientes a las comunidades campesinas de Sancos y Para, entre los 3200 y 4250 m s.n.m. Es importante mencionar que dicho proyecto no se encuentra dentro de ningún área natural protegida (ANP) o su zona de amortiguamiento<sup>3</sup>.
3. El 21 de diciembre de 2015 se otorga la conformidad al Informe Técnico Sustentatorio (en adelante ITS), mediante el cual la empresa minera Apumayo S.A.C. solicitó ampliación del cronograma de actividades y ejecución de plataformas de exploración, para seguir con la exploración del proyecto Sancos (Resolución Directoral N° 492-2015-MEM-DGAAM).
4. En la actualidad, el proyecto minero Sancos se encuentra sin actividad debido a que no cuenta con un Instrumento de Gestión Ambiental (en adelante, IGA) para la explotación minera que haya sido aprobado por la autoridad competente. Dentro del área de exploración del proyecto Sancos no se identificaron pasivos ambientales que hayan sido generados anteriormente por actividades mineras en la zona<sup>3</sup>.
5. Hidrológicamente el área de estudio está representada por el río Sancos que tiene sus orígenes en las quebradas Jarhuisique, Futcca, Huishui, Torpito y la Laguna Moyani. El río Sancos se alimenta de las quebradas Jehue y Utpa para formar el río Lampalla, el cual se alimenta primero de las aguas del río Para, el cual recibe aporte de la quebrada Larapage. El río Lampalla se alimenta luego de las quebradas Saquihuaga, Sangui Pampa, Molles, San Vicente, Chuc Churumi y Los Colorados, para finalmente alimentarse de la quebrada Acaville, para cambiar de nombre a río Yauca 64 km aguas abajo (cuenca del río Yauca).

<sup>1</sup> Informe N° 947-2011/MEM-AAM/MAAWAL/PRR/CMC/KVS, levantamiento de observaciones para la aprobación del EIASd del proyecto de exploración Sancos presentado por Santa Bárbara Resources Perú S.A.C.

<sup>2</sup> Informe N° 1127-2015-MEM-DGAAM/DNAM/DGAM/D, evaluación del Informe Técnico Sustentatorio, en relación al EIASd del proyecto de exploración Sancos presentado por Apumayo S.A.C.

<sup>3</sup> Constancia de aprobación automática N° 030-2010-MEM-AAM a la Declaración de Impacto Ambiental del proyecto de Exploración Sancos presentado por Santa Bárbara Resources Perú S.A.C.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

6. Respecto a la coyuntura social en la zona del proyecto minero, es importante mencionar que los representantes del Frente de Defensa de los Intereses del distrito de Sancos (en adelante, FREDIDSA), manifestaron que han solicitado que se le otorgue al cerro Ñahuato categoría de zona arqueológica.
7. 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.
8. 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.
9. Con la finalidad de realizar una evaluación ambiental temprana (en adelante EAT) para determinar las condiciones ambientales actuales del área de influencia del proyecto minero Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho 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, comunidades hidrobiológicas, suelo y tejido vegetal.
10. El referido plan de ejecución se constituyó sobre una revisión de la información existente acerca del estado ambiental de los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, 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 determinó 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.
11. 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 Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, correspondiendo dicha ejecución a una primera evaluación de este tipo, realizada en setiembre de 2017 (época de estiaje).



*[Handwritten signatures in blue ink]*



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

## 2. MARCO LEGAL

12. Ley N° 28611, Ley General del Ambiente y sus modificatorias.
13. Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental y sus modificatorias.
14. 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.
15. 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.
16. Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.
17. Resolución Ministerial N° 247-2013-MINAM, que aprueba el Régimen Común de Fiscalización Ambiental.
18. Decreto Supremo N° 022-2009-MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
19. Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, que aprueba la Política Nacional del Ambiente.
20. Decreto Supremo N° 033-2007-PCM - Aprueban el Procedimiento para la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental.
21. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, Decreto Supremo que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.
22. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.
23. 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.
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.
25. 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.



*[Handwritten signatures and marks]*



## 3. ANTECEDENTES

26. En primer lugar, se realizó la revisión de los Instrumentos de Gestión Ambiental (en adelante, IGA) asociados al proyecto minero Sancos, los cuales se detallan brevemente en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Instrumentos de gestión ambiental asociados al proyecto minero Sancos

Instrumento de Gestión Ambiental (IGA)				
N°	Administrado	Título del IGA	Número de resolución aprobada por el Minem	Fecha de aprobación
1	Apumayo S.A.C.	Informe técnico sustentatorio para la ampliación del cronograma de actividades y ejecución de plataformas de exploración (*)	R.D. N° 492-2015-MEM-DGAAM/DNAM/DGAM/D	21 de diciembre de 2015
2	Santa Barbara Resources Perú S.A.C.	Estudio de impacto ambiental semidetallado categoría II del proyecto de exploración minera Sancos	R.D. N° 304-2011-MEM/AAM	28 de setiembre de 2011
3	Santa Barbara Resources Perú S.A.C.	Declaración de impacto ambiental del proyecto de exploración Sancos	Constancia de aprobación automática N° 030-2010-MEM/AAM	28 de mayo de 2010
Informes de Supervisión Directa (ISD) OEFA				
N°	Nombre del estudio		Número de aprobación	Fecha de aprobación
4	Análisis complementario de las acciones de supervisión regular: análisis en el proyecto de exploración minera Sancos de Santa Bárbara Resources Perú S.A.C. realizada del 11 al 13 de octubre de 2014		Informe N° 818-2016-OEFA/DS-MIN	06 de mayo de 2016
5	Acciones de constatación de presunto daño ecológico en la ciudadela de Ccurihuayrachina (Huaychaumarca), por parte de la empresa minera Apumayo S.A.C. en el distrito de Sancos, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho		Informe N° 011-2015-OEFA/OD-AYACUCHO/WLVS	14 de diciembre de 2015
6	Análisis de las acciones de supervisión regular en el proyecto de exploración minera Sancos de Santa Bárbara Resources Perú S.A.C. realizada del 11 al 13 de octubre de 2014		Informe N° 649-2014-OEFA/DS-MIN	31 de diciembre de 2014

Fuente: Ministerio de Energía y Minas – MINEM, Dirección de Supervisión – OEFA, Apumayo S.A.C.

(\*) Incluye el Informe de monitoreo ambiental presentado por Apumayo S.A.C. con los resultados de los años 2010 y 2015.

27. De la revisión, análisis y sistematización de la información relevante de los IGA aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (en adelante, Minem), se describe en la Tabla 3-2 un breve resumen de los cuerpos de agua de interés para la evaluación ambiental temprana.

Tabla 3-2. Cuerpos de agua de interés de acuerdo a los IGA asociados al proyecto Sancos

N°	Cuenca	Titular	Proyecto minero	IGA revisado	Zonas de posible influencia
1	Cuenca Yauca	Santa Bárbara Resources Perú S.A.C.	Sancos	Estudio de Impacto Ambiental semi detallado proyecto de exploración	Qda. Puchcuyacu Qda. Yanama Qda. Futcca Qda. Laparage



*[Handwritten signature]*



N°	Cuenca	Titular	Proyecto minero	IGA revisado	Zonas de posible influencia
				Sancos (28/09/2011)	Río Sancos Río Para

Fuente: Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) aprobado por el Ministerio de Energía y Minas – MINEM.

28. De acuerdo con la información descrita en los IGA aprobados para el proyecto minero Sancos, los cuerpos de agua ubicados en el área de influencia presentan características que en algunos casos han incumplido las normas de comparación establecidas en nuestro país. Al respecto, en la Tabla 3-3 se presenta un breve resumen de la línea base del componente agua, evaluado en los IGA descritos en función de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de animales, subcategoría D1: vegetales de Tallo Bajo y Alto, y Subcategoría D2: Bebido de Animales<sup>4</sup>, vigentes para aquel entonces.

Tabla 3-3. Parámetros que incumplen el ECA correspondiente de acuerdo al IGA aprobado del Proyecto Sancos

N°	IGA % informe revisado	Zonas críticas	Parámetros incumplidos / normativa
01	Informe técnico sustentatorio para la ampliación del cronograma de actividades y ejecución de plataformas de exploración	Qda Sin nombre (AS-01)	Sulfatos y pH
		Qda. Puchcuyacu (AS-02)	Alumino (Al), manganeso (Mn) y pH
		Qda. Ojerna (AS-03)	Sulfatos, sulfuros, aluminio y manganeso

Fuente: Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) aprobado por el Ministerio de Energía y Minas – MINEM

#### 4. JUSTIFICACIÓN

29. 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.
30. 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/CD<sup>5</sup> 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.
31. Complementariamente, a través del Informe N° 065-2017-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 Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.

<sup>4</sup> Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, aprobado el 30 de julio de 2008.

<sup>5</sup> Resolución de Consejo Directivo publicada el 01 de febrero de 2017.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

32. 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.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1. Objetivo general

33. Realizar una evaluación ambiental temprana con participación ciudadana en el área de influencia del proyecto minero Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, durante el año 2017.

### 5.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad ambiental de agua superficial.
- Evaluar las condiciones de las comunidades hidrobiológicas.
- Evaluar la calidad ambiental de suelo.
- Determinar las concentraciones de metales en tejido vegetal de la zona.

## 6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

34. El área de estudio comprende la zona de influencia del proyecto minero Sancos, el cual se ubica a 2,8 km al noreste del pueblo de Sancos, se puede acceder al proyecto vía carretera Panamericana Sur (asfaltada) hasta Nasca, desviándose luego hacia la ciudad de Puquio, para luego dirigirse por la vía a Coracora hasta el desvío a Sancos, recorriendo 56,5 km por una carretera afirmada de lastre. Desde este sitio se desvía hacia Sancos por una trocha carrozable, recorriendo 17,4 km, y luego se desvía de la carretera a Sancos hacia el proyecto recorriendo 4,3 km, empleando un total de 688,2 km y 11 horas con 21 minutos.
35. Asimismo, el proyecto se encuentra en las concesiones mineras Nancy I y Nancy II, dentro de los terrenos superficiales pertenecientes a las comunidades campesinas de Sancos y Para, distritos de Sancos y Para, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.
36. El área de estudio de la presente EAT corresponde a los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. Es importante mencionar que dicho proyecto no se encuentra dentro de ningún Área Natural Protegida (ANP) o zona de amortiguamiento.



*[Handwritten signature and initials in blue ink]*



Figura 6-1. Mapa de ubicación del proyecto minero Sancos

37. La configuración topográfica del área del Proyecto pertenece a la región Suni, zona montañosa, variada, bastante meteorizada, compuesta por laderas y colinas de relieve ondulado en los alrededores y accidentado en el área central del Proyecto. Las formaciones de altas cumbres se encuentran en las partes más altas de los dos cerros que forman parte del proyecto y presentan una fuerte pendiente en la mayor parte del terreno, se caracteriza por presentar zonas abruptas, con abundantes escarpas, crestas pronunciadas y picos elevados. La litología predominante en esta unidad son las ignimbritas y las lavas de composición andesítica<sup>6</sup>.
38. La cuenca Yauca, se encuentra ubicado geográficamente entre los meridianos 73°40'33" y 74°33'52" de longitud oeste y los paralelos 14°41'20" y 15°42'36" de latitud sur; políticamente comprende las provincias de Lucanas y Parinacochas del departamento de Ayacucho y la provincia de Caravelí del departamento de Arequipa<sup>7</sup>.
39. La cuenca Yauca pertenece a la vertiente del Pacífico y tiene una dirección sur-Oeste, limitando por el oeste con la cuenca del río Acarí, por el Norte con la cuenca del río Pampas, por el este con la cuenca del río Ocoña, por el sur con las cuencas de los ríos Chaparra y Chala y, por el sur-oeste con el Océano Pacífico. El río Yauca nace en la laguna de Pallapalla con el nombre de quebrada Antapallca;

<sup>6</sup> Informe N° 947-2011/MEM-AAM/MAA/WAL/PRR/CMC/KVS, levantamiento de observaciones para la aprobación del EIASd del proyecto de exploración Sancos presentado por Santa Bárbara Resources Perú S.A.C.

<sup>7</sup> Estudio de balance hídrico superficial de la cuenca del río Yauca, revisado en: [www.ana.gob.pe/sites/default/files/.../files/estudio\\_hidrologico\\_yauca\\_0\\_0.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/.../files/estudio_hidrologico_yauca_0_0.pdf)



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

posteriormente, adopta sucesivamente los nombres de río Pallccarona, río Sangarara y río Lampalla, conociéndosele con el nombre de río Yauca a partir de su confluencia con la quebrada de Languirre, el cual conserva hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

40. Los afluentes principales de la cuenca Yauca son: por la margen derecha, los ríos Paralmayoc (553,04 km<sup>2</sup>) y Languirre (487,05 km<sup>2</sup>) y, por la margen izquierda, los ríos Paccha (72,70 km<sup>2</sup>), Huaccramayo (149,85 km<sup>2</sup>), Acos (186,95 km<sup>2</sup>), Tampa (228,51 km<sup>2</sup>) y Acaville (676,27 km<sup>2</sup>).
41. Los principales parámetros meteorológicos que caracterizan el clima del área de interés son la temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Para poder presentar una caracterización meteorológica del área de trabajo se debería contar con información meteorológica de la zona consistente en el tiempo. Al no contar con dicha información, se ha considerado data meteorológica de la estación más cercana: Estación Coracora latitud 15° 1' S, longitud 73° 34' W y altitud 3298 m s.n.m.
42. Para la presente caracterización de los aspectos climáticos y meteorológicos, se adquirió información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), recopilándose información básica para la caracterización del clima y meteorología proveniente de la estación Coracora que es la más cercana al proyecto, ubicada en las Coordenadas UTM Psad 56 Zona Sur: 631 023 E; 8 339 838 N a una altitud de 3172 m.s.n.m. De la data registrada considerada y analizada en dicha estación se tiene que a nivel anual la temperatura promedio asciende desde los 3.2 °C (Julio) hasta 12.1 °C (Diciembre), se observa que los promedios de precipitación varían de 172.0 mm en el mes de febrero hasta 121.4 mm el mes de marzo. En los meses siguientes la precipitación es escasa, dándose desde 0.03 mm hasta 12.3 mm el mes de diciembre que empieza a tener precipitación. Los valores mensuales de humedad relativa promedio está entre 46.4 % (agosto) y el 82.4 % (febrero), y la velocidad promedio de los vientos oscila entre 1.1 m/s a 1.9 m/s con una dirección que predomina hacia el SE y S<sup>8</sup>.
43. El proyecto se encuentra en el borde occidental de la cordillera occidental, litológicamente está constituida en la base por las rocas de origen sedimentario continental bien estratificados y flujos de lava principalmente andesíticas con meteorización, sobreyaciendo a ella y con discordancia angular se presentan rocas volcánico clásticas de origen subareal, explosivas, ricas en cristales y pómez (grupo Tacaza), así también se encuentra en el tope del terciario y base del cuaternario, rocas volcánicas de flujos sub horizontales andesítico-basálticas ricas en plagioclasas y magnetita, pertenecientes al grupo barroso<sup>8</sup>.
44. Son dos las principales actividades económicas que se desarrollan en las comunidades campesinas de Sancos y Para: agricultura y ganadería, cuya producción de ambas va dirigida para el autoconsumo. Las dos son de igual importancia, y ocupan al total de la población. La actividad agrícola de la comunidad se caracteriza por el cultivo de maíz, papa y haba, cuya siembra se realiza entre los meses de octubre y noviembre, y se cosechan entre mayo y junio.

<sup>8</sup> Informe N° 1127-2015-MEM-DGAAM/DNAM/DGAM/D, evaluación del Informe Técnico Sustentatorio, en relación al EIAS del proyecto de exploración Sancos presentado por Apumayo S.A.C.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

El uso del suelo consiste en terrenos urbanos, instalaciones públicas y privadas, terrenos agrícolas, terrenos con vegetación natural y terrenos improductivos.

## 7. CONTEXTO SOCIAL

45. 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 se desarrolló la EAT, y en el que están incluidos todos los individuos que forman parte de la población residente en esa área.
46. 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.
47. Las etapas tipificadas en el Reglamento de Participación Ciudadana en las Acciones de Monitoreo Ambiental a cargo del OEFA<sup>9</sup> 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 de la EAT.
  - Etapa 6. Ejecución de la EAT.
  - Etapa 7. Taller para la presentación de los resultados del monitoreo realizado.

48. A continuación, se detalla información sobre el desarrollo de dichas etapas, incluyendo el reconocimiento previo, y se consignan los actores involucrados en la evaluación ambiental.

### 7.1. Etapas previas a la ejecución del monitoreo

49. 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.

#### 7.1.1. Visita de Reconocimiento

50. La visita de reconocimiento es una etapa adicional, previa al inicio del EAT, fue realizada del 13 al 19 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 de la EAT, 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 de la EAT.

<sup>9</sup> 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.



51. 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.

#### 7.1.2. Coordinación previa con los actores involucrados; convocatoria e inscripción a los programas de inducción

52. Estas etapas fueron desarrolladas del 8 al 14 de marzo de 2017, periodo durante el cual se realizaron reuniones de coordinación previa en las municipalidades distritales de Sancos y Chaviña, con los respectivos alcaldes y con los presidentes de las comunidades de Sancos y Para, en las cuales se coordinó la difusión de la invitación a los talleres de inducción.

53. En dichas reuniones, se determinó lo siguiente:

- La EAT se realizaría en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.

54. 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.

55. La difusión fue realizada mediante comunicaciones formales y emisión radial (radio "Parinacochas"), convocándose a los principales actores sociales involucrados en el desarrollo de la EAT, tales como instituciones del estado, juntas de riego, centros educativos, colegios profesionales y a la población en general de los distritos involucrados (Sancos y Chaviña).

56. Por último, se reconocieron algunas quebradas propuestas para realizar el monitoreo de calidad de agua e hidrobiología.

57. Cabe mencionar que producto de las lluvias persistentes en la zona, que se deben a condiciones naturales por la estación, la vía de acceso a la comunidad de Para quedó bloqueada por múltiples derrumbes, por lo que el OEFA se comprometió a realizar los talleres de inducción para la comunidad de Para cuando las vías de acceso que estuvieran habilitadas y que dicha comunidad participe de la EAT programada en la zona.

#### 7.1.3. Realización de la Inducción

58. Dicha etapa se llevó a cabo del 6 al 11 de abril de 2017, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.

59. En el caso de la comunidad de Para, el taller de inducción se realizó el 4 de julio de 2017, fecha en la cual se pudo acceder al poblado para realizar la inducción pendiente después de la habilitación de la vía de acceso al poblado de Para.

60. 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



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

participantes, y los lineamientos y procedimientos para la toma de muestras. Se entregó un certificado a los asistentes que se inscribieron con anticipación.

#### 7.1.4. Taller para la presentación de la propuesta del Plan

61. Los talleres de presentación de la propuesta del plan de trabajo para la ejecución, se realizaron el día 19 de setiembre de 2017 en el poblado de Sancos y el 20 de setiembre de 2017 en la comunidad de Para. Durante los talleres, 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.

62. Finalizando cada una de estas reuniones sostenidas, se tomaron acuerdos relacionados principalmente con las fechas y horarios para la 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 de la EAT, se presentan en el Anexo A.

#### 7.2. Ejecución de la evaluación ambiental temprana

63. Esta etapa, previa a la presentación de los resultados, se desarrolló del 20 al 26 de setiembre de 2017. Durante la misma se realizó la toma de muestras de agua, comunidades hidrobiológicas, suelo y tejido vegetal, teniendo en cuenta los puntos de muestreo que habían sido determinados previamente.

64. Las personas que habían sido seleccionadas previamente acompañaron a los especialistas durante el muestreo de los componentes ambientales mencionados.

#### 7.3. Actores involucrados

65. Los actores involucrados en el desarrollo de la EAT se consignan en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1. Principales actores sociales involucrados para el desarrollo de la EAT

Institución / Actores	Distrito	Provincia	Departamento
Municipalidad distrital de Sancos	Sancos	Lucanas	Ayacucho
Comunidad campesina de Sancos	Sancos	Lucanas	Ayacucho
Frente de defensa de los intereses del distrito de Sancos (FREDIDSA)	Sancos	Lucanas	Ayacucho
Municipalidad distrital de Chaviña	Chaviña	Lucanas	Ayacucho
Comunidad campesina de Para	Chaviña	Lucanas	Ayacucho



Handwritten signatures in blue ink.



Institución / Actores	Distrito	Provincia	Departamento
Unidad minera Apumayo S.A.C.	Sancos y Chaviña	Lucanas	Ayacucho

## 8. MARCO CONCEPTUAL

66. En este apartado se consigna información sobre algunos conceptos de los componentes ambientales: agua superficial, hidrobiología, 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 minero Sancos, en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.

### 8.1. Agua superficial

67. De manera general, se puede afirmar que una de las causas del deterioro de la calidad de agua se debe al aumento de la población (situación que se empieza a recrudecer por las invasiones que se dan principalmente en las márgenes de los ríos y quebradas en la faja marginal) y la expansión sin planificación ambiental y territorial de las actividades antropogénicas como la agricultura.

68. Con respecto a la actividad extractivas como la minería, estas causan deterioro a la calidad del agua superficial al no contar con los mecanismos adecuados para la disposición y tratamiento de los residuos minerales generados y tener vertimientos directos de las aguas domésticas e industriales.

69. Seguidamente se mencionan conceptos que se han tenido en cuenta para realizar el análisis y la discusión de resultados referentes a la evaluación de agua.

#### 8.1.1. Aniones y cationes principales<sup>10</sup>

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

##### a. Cloruro (Cl<sup>-</sup>)

71. 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 congénitas<sup>11</sup> y fósiles.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> Juan Carmilo Gómez Ravel (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 Minas, Medellín. Consultado el 01 de agosto de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2407/>

<sup>11</sup> Las aguas congénitas o saladas, son un subproducto de la extracción de petróleo.

<sup>12</sup> Las aguas fósiles son aquellas que han permanecido en un acuífero subterráneo durante miles o millones de años.



*[Handwritten signatures and initials in blue ink]*



72. El Cl<sup>-</sup> puede proceder a partir de rocas evaporitas<sup>13</sup> y por ciertos minerales asociados a las rocas ígneas y metamórficas pero sus concentraciones son bajas debido a que la mayoría de ellos liberan, durante su meteorización, muy poco cloruro que en gran proporción es muy soluble en el agua superficial. De otro lado, el cloruro raramente también puede provenir de gases y líquidos asociados a emanaciones volcánicas.
73. El comportamiento del cloruro en el agua es conservativo, lo que lleva a que su circulación en los ciclos hidrológicos es determinado por procesos físicos y no químicos (Salimen, Plant, & Shaun, 2005). De esa manera, el Cl<sup>-</sup> no precipita y es adsorbido a las superficiales de los minerales, no entra en el proceso de las reacciones de oxidación y reducción, no forma complejos al menos que sus concentraciones sean muy altas y sus sales sean poco solubles, y no entra a formar parte de procesos bioquímicos, dándole un carácter de trazador<sup>14</sup> casi ideal.

b. **Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)**

74. 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.
75. El yeso o gypsum (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) en el agua superficial raramente contiene más de 1500 mg/L de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y 650 mg/L de Ca<sup>2+</sup>, pero la tendencia de los sulfatos a formar pares iónicos de carga neutra hace que sus concentraciones puedan sobrepasar dichos valores. Asimismo, los sistemas dominados por el magnesio (los sulfatos de magnesio son muy solubles), en ausencia de calcio, puede resultar altas concentraciones de sulfatos (Salimen, Plant & Shaun, 2005).
76. En condiciones ácidas del agua superficial (a pH < 4), el ácido sulfúrico no está completamente disociado en sulfatos, por lo que puede estar presente el HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> (forma parcialmente disociada). Los sulfatos no se encuentran en ambientes reducidos, siendo la concentración de H<sub>2</sub>S significativa en dicho medio.
77. La disolución de yeso (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) y anhidrita (CaSO<sub>4</sub>) y otros tipos de sulfatos como los dispersos en el terreno, representan el aporte más significativo de este ion a las aguas subterráneas. El comportamiento del ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tiende a formar iones complejos con Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, incorporándose en los procesos biológicos.

c. **Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

78. Este anión es parte de las especies tampones que constituyen la alcalinidad junto con el carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) y en menor influencia el hidróxido (OH<sup>-</sup>), borato, silicato, fosfato, ion amonio, sulfuro y ligandos orgánicos. El ion bicarbonato, al igual que

<sup>13</sup> 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.

<sup>14</sup> 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).



Handwritten blue ink marks, including a signature and the number '1'.



el carbonato, pueden precipitar y remover ciertos metales tóxicos, tales como el cadmio y plomo al regular el pH del agua.

79. El  $\text{HCO}_3^-$  procede de la disolución de las rocas sedimentarias como calizas ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomitas ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), mientras que las rocas de origen volcánico o magmática son fuentes insignificantes comparados con las sedimentarias.
80. El proceso de adición del bicarbonato en el agua se lleva a cabo mediante la disolución de la calcita o dolomita por la filtración en el agua del  $\text{CO}_2^{15}$  presente en la atmosfera del suelo enriquecido a través de la respiración de las plantas y los organismos vivos y de la oxidación de la materia orgánica (Salimen, Plant & Shaun, 2005).
81. En el agua superficial a pH cercanos a la neutralidad el bicarbonato disuelto es la especie predominante, a  $\text{pH} > 9$  está en forma de  $\text{CO}_3^{2-}$  y en aguas ácidas en forma de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . De la misma manera, en aguas subterráneas con pH inferior a 8,3, la especie carbonatada predominante es el ion bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), mientras que a  $\text{pH} > 8,3$ , el ion carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) se encuentra en concentraciones mayores que el bicarbonato.

**d. Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )**

82. El nitrato es la forma de nitrógeno (N) que se encuentra en las aguas naturales relacionado con su ciclo biogeoquímico junto con el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y las formas de N disueltas y particulado (suspendido), el cual es usualmente orgánico pero puede contener nitrógeno inorgánico.
83. Esta forma oxidada del nitrógeno constituye una importante fracción en los suelos y sustancias orgánicas (tejidos de animales o vegetales que lo extraen de la atmósfera para su metabolismo).
84. Los factores que determinan la existencia del nitrato como especie del Nitrogeno en el agua superficial incluyen el pH, temperatura y la disponibilidad del oxígeno, formando parte el  $\text{NO}_3^-$  entre el 60 % y 95 % del nitrógeno disuelto, siendo las concentraciones del nitrato variables (Salimen, Plant & Shaun, 2005). El ion nitrato forma sales muy solubles, por lo que son difícilmente precipitables, mientras que en las rocas sólo se presenta como elemento minoritario.

**e. Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

85. El calcio es un elemento litófilo, de acuerdo a la clasificación de Goldschmidt indicado por Rivera M., H., 2007, principal en la mayoría de las aguas naturales, debido a su presencia en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, siendo el quinto metal más abundante de todos los elementos. En rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos (plagioclasas) y en rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato, es decir, como  $\text{CaCO}_3$  (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  $\text{CaSO}_4$  (anhidrita). El calcio también está distribuido en otros minerales como los feldespatos, micas y piroxenos, y es a

<sup>15</sup> El  $\text{CO}_2$  disuelto se hidrata para formar ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) y se somete a dos etapas de disociación formando  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  (Salimen, Plant, & Shaun, 2005).



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

menudo asociado con minerales de arcilla, tales como la illita, clorita y Ca-montmorillonita.

86. El calcio generalmente tiene una alta movilidad y, excepto bajo condiciones básicas fuertes, está en forma disociada de  $\text{Ca}^{2+}$  (II). Forma sales de moderada a alta solubilidad y puede precipitar con facilidad como  $\text{CaCO}_3$  y su estabilidad en solución, depende del equilibrio  $\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-\text{-CO}_3^{2-}$ .
87. De esa manera tenemos que la concentración de calcio se incrementa generalmente en el recorrido de los cuerpos de agua superficial como resultado del incremento del tiempo de contacto del agua superficial con el suelo y las rocas. Otra fuente importante de dicho metal en el agua es debido a los minerales que contienen mayores concentraciones de calcio (calcita y dolomita) que liberan los iones  $\text{Ca}^{2+}$  en contacto con agua ácida, típicamente el ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) derivado de la disolución del  $\text{CO}_2$  atmosférico en la lluvia (Salimen, Plant & Shaun, 2005).
88. Otra fuente importante de los iones calcio en el agua proviene de la disolución de los minerales de carbonato de calcio por parte del ácido carbónico en la solución del suelo debido al que dicho componente contienen mayores concentraciones de  $\text{CO}_2$  que la atmósfera por la respiración de los organismos del suelo y la descomposición de la materia orgánica.

**f. Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )**

89. El magnesio es un elemento litófilo (clasificación de Goldschmidt) un constituyente mayor en los grupos minerales como los silicatos, carbonatos, sulfatos, fosfatos y boratos. Forma importantes minerales que incluyen a la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), otros minerales formado de las rocas como forsterita, anfíbolo, piroxeno, espinela y minerales de arcilla como montmorillonita; siendo menos abundante que el  $\text{Ca}^{2+}$  en las aguas naturales.
90. Como muchos compuestos de magnesio, son muy solubles en el agua superficial, presente casi exclusivamente como  $\text{Mg}^{2+}$  (II), después de su meteorización bajo condiciones ambientales como el pH, redox y la conductividad. Los  $\text{MgSO}_4$  (sulfatos de magnesio) son más solubles que los  $\text{CaSO}_4$ , de manera que el magnesio puede prevalecer en aguas superficiales que contienen drenajes ricos en sulfatos derivados de la oxidación de los minerales de sulfuros (Salimen, Plant & Shaun, 2005).
91. La adsorción del  $\text{Mg}^{2+}$  en superficies minerales de arcilla cargada negativamente puede reducir la concentración de los iones que el  $\text{Ca}^{2+}$  y los cationes univalentes como el litio ( $\text{Li}^+$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ) en el agua, debido a que el  $\text{Mg}^{2+}$  se enlaza más fuertemente a estas superficies.
92. La solubilidad de la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) en las aguas subterráneas es mayor que de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), ya que el  $\text{Mg}^{2+}$  es más soluble y más difícil de precipitar que el  $\text{Ca}^{2+}$ . Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de  $\text{Mg}^{2+}$  en aguas subterráneas, donde es retenido con preferencia al  $\text{Ca}^{2+}$ , en suelos y rocas.



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

#### g. Sodio ( $\text{Na}^+$ )

93. El sodio es un elemento litófilo (clasificación de Goldschmidt) y tiene afinidad para formar compuestos con el oxígeno y los haluros como los cloruros en el ámbito marino o salobre. Los minerales que contienen al sodio son numerosos, los más comunes son del grupo de los silicatos como los feldespatos y las micas de Na. No obstante, el sodio forma parte en menor o mayor concentración de minerales de fosfatos, haluros (bromuros, ioduros y fluoruros), carbonatos, nitratos, boratos y sulfatos (Salimen, Plant, & Shaun, 2005).
94. El sodio es liberado por la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos compuestos fundamentalmente por NaCl (halitas). Las sales de  $\text{Na}^+$  son muy solubles y tienden a permanecer en solución en forma disuelta, ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, como ocurre en el caso del  $\text{Ca}^{2+}$ ; sin embargo, su movilidad puede ser reducida por la adsorción de arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico (CIC) y puede ser intercambiado por  $\text{Ca}^{2+}$ , provocando una disminución de la dureza de las aguas (ablandamiento natural).

#### h. Potasio ( $\text{K}^+$ )

95. El potasio es un elemento litófilo y biófilo (concentrado en organismos) y procede de minerales formados de las rocas como los minerales del grupo de silicatos como los feldespato alcalinos, leucita, biotita, moscovita, flogolopita y algunos anfíboles. También es componente de muchos fosfatos, haluros (ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas como los KCl y  $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), minerales de sulfuros y en menor concentración del aporte del agua lluvia.
96. El K es muy soluble (sales de solubilidad muy elevada que son difíciles de precipitar como los minerales de evaporitas) y ocurre como  $\text{K}^+$  (I) de gran estabilidad en el agua natural. Aunque el potasio es un elemento abundante, su movilidad es limitada por tres procesos: (a) Es rápidamente incorporada en la red cristalina de los minerales de arcilla debido a su mayor tamaño; (b) Es adsorbido más fuertemente que el  $\text{Na}^+$  en las superficies de los minerales de arcilla y la materia orgánica; y (c) es un elemento importante en la biosfera y es rápidamente absorbido por las plantas en crecimiento (Salimen, Plant & Shaun, 2005).
97. Como consecuencia de ello, las concentraciones de potasio son pequeñas, excepto en agua que provengan de sistemas hidrotermales, siendo fijados irreversiblemente en los procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico, por ello son mucho menor que las concentraciones del  $\text{Na}^+$ .

#### 8.1.2. Metaloides y metales pesados

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

#### a. Arsénico (As)

99. El arsénico es un metaloide fuertemente calcófilo (clasificación de Goldschmidt) que puede llegar al agua por vía natural, a través de la desorción y disolución de



*[Handwritten signature and initials in blue ink]*



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).

100. El comportamiento ambiental del arsénico está condicionado por el potencial redox y el pH del medio hídrico. De esta manera, en condiciones oxidantes, sin tener en cuenta la materia orgánica, el arsénico está disuelto en forma de  $\text{As(V)}$  a pH neutro o que tienda a una alta basicidad, así la especie predominante es  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  para  $\text{pH} < 6,9$  y  $\text{HASO}_4^{2-}$  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.
101. Con las condiciones geoquímicas del agua superficial, el arsénico es transportado mayoritariamente en forma disuelta, mientras que las especies suspendidas se trasladan por la fuerte adsorción de las especies disueltas principalmente en el rango de pH de 7 a 9 de los óxidos minerales de hierro y manganeso, arcilla, hidróxidos y materia orgánica que son arrastrados por el agua.
102. En cambio, en aguas subterráneas en condiciones reductoras y a pH neutro o en el rango ácido, el arsénico se encuentra en su forma disuelta más tóxica,  $\text{As(III)}$ , cuya especie es el  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  para  $\text{pH} < 9,2$ , volviéndose dominante a pH más ácidos. En estas condiciones, los óxidos de hierro y manganeso tienden a disolverse.
103. En general, la forma química principal en la que aparece el arsénico es el  $\text{As(V)}$  bajo la forma de arseniato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ), siendo la relación con el  $\text{As(III)}$  muy variable, debido a las condiciones de pH y redox (Salimen, Plant & Shaun, 2005), 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).
104. La movilidad de las especies de arsénico en los contextos geoquímicos indicados puede variar por competencia con otras especies existentes en el agua como el boro y fosfatos (elementos 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 y sulfatos.

**b. Boro (B)**

105. El boro es un metaloide litófilo (clasificación de Goldschmidt) que se asemeja químicamente al silicio y 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)<sup>16</sup>.
106. 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

<sup>16</sup> 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](http://www.waterboards.ca.gov/gama/docs/coc_boron.pdf).



continental (ríos, lagos y quebradas), excepto en regiones geotermales o borateras. El incremento de boro del agua continental está relacionado con la proximidad a regiones costeras marinas, tal como sucede en los estuarios (CCME, 2009), siendo los minerales de boro solubles difíciles de remover en agua.

107. Por otro lado, las altas concentraciones de boro características en aguas superficiales cercanas a áreas geotermales con diferente tectónica, litología y régimen hidrológico, ponen de manifiesto la relación de este elemento con los procesos termales (Morell, 2008).
108. Asimismo, el boro es liberado por los gases volcánicos en la forma de ácido bórico, por lo que aguas cercanas a zonas volcánicas pueden contener altas concentraciones de boro, siendo las especies más comunes de boro en el agua natural son los ácidos bóricos  $H_3BO_3$  o  $B(OH)_3$  y su producto disociado como el  $B(OH)_4^-$  (Salimen, Plant, & Shaun, 2005).
109. 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. Aluminio (Al)

110. El aluminio es un elemento litófilo y es el más abundante en la litósfera, formando muchos de sus propios minerales como la sillimanita ( $Al_2SiO_5$ ), corindón ( $Al_2O_3$ ) y caolinita ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ) con una abundancia en la corteza terrestre aproximada de 8,3 %. Su concentración en la naturaleza solamente es excedido por el oxígeno (45,5 %) y silicio (25,7 %). Es un mayor constituyente en muchos minerales que forman las rocas como los feldespatos, micas, anfíboles, piroxenos y granate.
111. Los minerales meteorizados (secundarios) de los minerales primarios de aluminio como la caolinita e hidróxidos son la gibbsita, nordstrandita y bayerita (politipos), los cuales pueden controlar la concentración de Al en la solución del suelo, agua subterránea y el agua superficial.
112. Aunque muchos de los minerales de Al residen en los minerales de feldespatos, este metal tienden a correlacionarse con el Fe, Cr y V en materiales meteorizados. El aluminio tiene baja movilidad en condiciones ambientales, aunque a  $pH < 5,5$  su solubilidad se incrementa liberándose de las rocas silicatadas. El aluminio también puede movilizarse en forma aniónica bajo condiciones básica fuertes a pH mayores a 8,0 (Salimen, Plant, & Shaun, 2005).
113. Asimismo, las concentraciones de aluminio disuelto en aguas naturales son bajas con altas cantidades de compuestos orgánicos, en las cuales el aluminio del suelo llega a ser más soluble (Sancha, 2005), esto en relación al carbono orgánico disuelto que afecta la liberación del aluminio en la capa superior del suelo. Otros factores que afecta la solubilidad del aluminio son los ligandos orgánicos a pH bajos, ácidos fúlvicos y ligandos inorgánicos (fluoruros).





PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

114. Las aguas superficiales naturalmente acidificadas con un  $\text{pH} < 4$ , que incluyen lagos pantanosos, drenaje volcánico, vertientes termales y salinas, y aguas subterráneas ácidas, pueden contener altas 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.
115. La especiación del aluminio depende del  $\text{pH}$  y la presencia de ligandos acomplejantes. En la ausencia de estos últimos, la forma dominante de Al disuelto a  $\text{pH} < 4,5$  es  $\text{Al}^{3+}$ . A  $\text{pH} > 4,5$ , las formas hidróxidas de Al  $(\text{OH})^{2+}$  y  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  se toma en cuenta en cantidades de aluminio disuelto.

#### d. Hierro (Fe)

116. El hierro es el cuarto elemento más abundante y el segundo metal más abundante en la corteza terrestre (después del aluminio). Tiene propiedades siderófilas, formando muchos minerales comunes como la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y siderita ( $\text{FeCO}_3$ ). El hierro también está presente en muchos minerales que forman las rocas, que incluyen micas, granate, anfíboles, piroxenos y olivino (Salimen, Plant, & Shaun, 2005).
117. La concentración de este metal 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 (Juan Carmilo Gómez Rave, 2009).
118. Así tenemos que las concentraciones de la forma disuelta del Fe en el agua superficial son complejas y por ende difícil de controlar. El hierro es relativamente inmóvil en la mayoría de las condiciones ambientales debido principalmente a la baja solubilidad del hidróxido de Fe (III) y sus diferentes formas.
119. En tanto, la solubilidad del hierro en el agua es favorecida en condiciones ácidas e influenciado fuertemente por las condiciones redox. Los compuestos solubles de  $\text{Fe}^{+2}$  (II) prevalecen en ácidos fuertes y condiciones reducidas, excepto el sulfuro ferroso ( $\text{FeS}$ ). Sin embargo, el hierro disuelto es rápidamente precipitado con el incremento de  $\text{pH}$  y Eh y es responsable de la presencia de capas de hidróxido de hierro como la goethita, limonita y lepidocrocita en clastos<sup>17</sup> del agua superficial en ambientes aeróbicos.
120. El hierro también es soluble en los drenajes ácidos de minas donde el  $\text{pH}$  es menor a 2, estabilizando el  $\text{Fe}^{3+}$  (III) en solución. La abundancia de agentes acomplejantes en solución como los cloruros, fluoruros, sulfatos y fosfatos también influencia en el contenido de hierro en el agua superficial. En caso de las aguas subterráneas, este metal suele encontrarse en forma de  $\text{Fe}^{+2}$  (II), aunque puede estar como  $\text{Fe}^{+3}$  (ion férrico) e hidróxidos de hierro en función del  $\text{pH}$ , oxígeno disuelto y aniones.

17

Clastos son trozos de rocas que provienen un otro sector (área de fuente, sector de origen). Generalmente todas las rocas y minerales pueden aparecer como clasto: Cuarzo, feldespatos, carbonatos, arenisca, eclogita, esquistos, entre otros. . Disponible en: <http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05b-6.htm>, publicado en agosto de 2006 y revisado el 15 de diciembre de 2017.

**e. Manganeso (Mn)**

121. El manganeso es un metal litófilo ampliamente distribuido y abundante 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).
122. Las rocas y suelos son una fuente de manganeso como los minerales pirolusita ( $MnO_2$ ) rodocrosita ( $MnCO_3$ ) y manganita ( $MnO(OH)$ ) en su estado de oxidación  $Mn^{2+}$  más estable, los cuales pueden disolverse en el agua superficial y subterránea o depositarse en los sedimentos, con el potencial subsecuente para la disolución (Nádašková, 2010). Otra fuente importante de manganeso proviene de los drenajes ácidos de roca o minas. La movilidad y biodisponibilidad biológica del manganeso no depende de su concentración total sino también de las diversas formas fisicoquímicas en el que está presente, estando dichas formas regidas por el potencial óxido-reducción (redox) y el pH (Jablonska-Czapla, 2015).
123. En el ambiente acuático, el manganeso tiene comportamiento químico similar al hierro debido a que participan en las reacciones redox, encontrándose en dos formas principales:  $Mn^{3+}$  (II) y  $Mn^{4+}$  (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).
124. El ion  $Mn$  (II) es muy soluble, de baja afinidad por los ligandos orgánicos y predomina en condiciones de pH y potencial redox más bajos (anóxicas), disminuyendo su solubilidad en condiciones oxidantes debido a que los iones  $Mn^{3+}$  y  $Mn^{4+}$  forma oxihidróxidos coloidal (Salminen, Plant, & Shaun, 2005), los cuales son insolubles en aguas no distróficas<sup>18</sup> a pH mayores a 5,5.
125. Cabe resaltar que la especie soluble de  $Mn$  (II) 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.
126. De otro lado, 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  $MnO_2$  ( $Mn$  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.

**f. Cobalto (Co)**

127. El cobalto es el primer miembro de la primera serie de los metales de transición, el cual consiste de Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu y Zn. El cobalto muestra propiedades de elementos calcófilos y siderófilos (clasificación de Goldschmidt) y está particionado en un número de fases del sulfuro y sulfuros de arseniuro.

<sup>18</sup> 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](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.



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

128. El cobalto se moviliza en la superficie en condiciones ácidas y potencial redox bajos (reducidas). Este metal es rápidamente removido de la solución por coprecipitación y absorción en aguas superficiales oxidantes, básicas o casi neutras por los óxidos de Mn hidratado que tienen afinidad por el Co, al momento que el hierro (Fe) y manganeso (Mn) disuelto precipita como óxidos secundarios. Finalmente, el cobalto  $\text{CO}^{2+}$  es bioaccesible cuando está ligado orgánicamente y también puede unirse a los ácidos húmicos y fúlvicos, y coloides inorgánicos.

### 8.1.3. Evaluación hidroquímica

129. Para realizar la evaluación hidroquímica se ha tenido en cuenta el error de balance iónico (EBI), diagrama de Piper y el diagrama de Stiff.

#### a. Error de Balance Iónico (EBI)

130. El balance iónico es la verificación de la suma de mili-equivalentes (meq) de aniones ( $\Sigma an$ ) es aproximadamente igual a la suma de mili-equivalentes de cationes ( $\Sigma cat$ ).<sup>19</sup> Antes de realizar una evaluación hidroquímica se realiza el análisis mediante el cálculo del EBI para verificar la consistencia de los mismos.

131. Dentro de los iones mayoritarios presentes en el agua están los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  para la  $\Sigma cat$ ; y los aniones  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$  para el cálculo de  $\Sigma an$ . 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).

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

132. 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.

133. 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.<sup>20</sup> El EBI con valores positivos no son afectados por los metales en el balance iónico, siendo la subestimación de  $\text{HCO}_3^-$  una de las causas más frecuentes de un EBI demasiado positivo.

134. Una causa frecuente de un EBI fuera del rango óptimo de  $\pm 10$  % son las fortalezas iónicas bajas, debido a las bajas concentraciones de analitos, cerca o bajo el límite de detección, donde se magnifican pequeños errores y así aumentan los errores porcentuales. Al respecto, los rangos del EBI están relacionados con la conductividad del agua (medida del flujo eléctrico del agua relacionado a la

<sup>19</sup> Información extraída de <http://gidahatari.com/ih-es/factores-que-influyen-el-balance-ionico>

<sup>20</sup> El EBI de 5 % fue usado en los estudios de aguas subterráneas realizados por Shubra Singh, 2015 y K. Srinivasamoorthy, 2014, entre otros.





concentración de los iones) de acuerdo a lo planteado por Custodio y Llamas, 1976 mostrado en la siguiente tabla:

**Tabla 8-1. Relación conductividad y Error de Balance Iónico (EBI)**

Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	EBI
50	$\pm 30$
200	$\pm 10$
500	$\pm 8$
2 000	$\pm 4$
> 2 000	$\pm 4$

Fuente: Custodio y Llamas, 1976

135. De otro lado, algunas muestras presentan valores de EBI fuera del rango óptimo de  $\pm 10\%$ , 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 todos los iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) del pH (de preferencia en base a su actividad y no concentración) y otras especies disueltas en mayor concentración como el aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) y hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ).
136. Al respecto de las muestras ácidas, el error de omitir los iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ )<sup>21</sup> lleva a que el balance de carga será más negativo progresivamente a medida que el pH desciende, tal como muestra en la Figura 8-1 (Nordstrom et al., 2009). En dicha Figura 8-1A se observa que en aguas a pH menores a 3, el ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  puede tener mayor concentración (en meq/l) que otros cationes y por ende su EBI es llega a valores mayores entre -50 y -100.
137. Mientras, en la Figura 8-1B y Figura 8-1C indican que otro punto importante es considerar todas las especies formadas de Fe, Al, As, fluoruros y sulfatos principalmente a pH ácidos antes del cálculo del EBI, teniendo como ejemplo a los sulfatos, el cual entre 1,3 a 2,7 de pH sus iones se distribuyen entre  $\text{SO}_4^{2-}$  (II) y  $\text{HSO}_4^-$  (I), donde este último prevalece, de acuerdo a la siguiente reacción:



138. Una de las causas de la acidez y la disolución de metales es la rápida e intensa oxidación de piritas ( $\text{FeS}_2$ ) y otros sulfuros en los acuíferos, tras intrusión de oxidantes como el  $\text{O}_2$ , y aumento del potencial redox en un ambiente reductor de  $\text{SO}_4^{2-}$  (potencial redox  $E_h \ll 160 \text{ mV}$ ).

<sup>21</sup> En el presente estudio para el cálculo del EBI se hará referencia al catión  $\text{H}_3\text{O}^+$  (también llamado oxonio), el cual es la forma hidratada de los iones  $\text{H}^+$  en el agua mediante solvatación (reacción espontánea en el cual los iones  $\text{H}^+$  como soluto dispersado son rodeados por las moléculas del agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) como solvente).

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

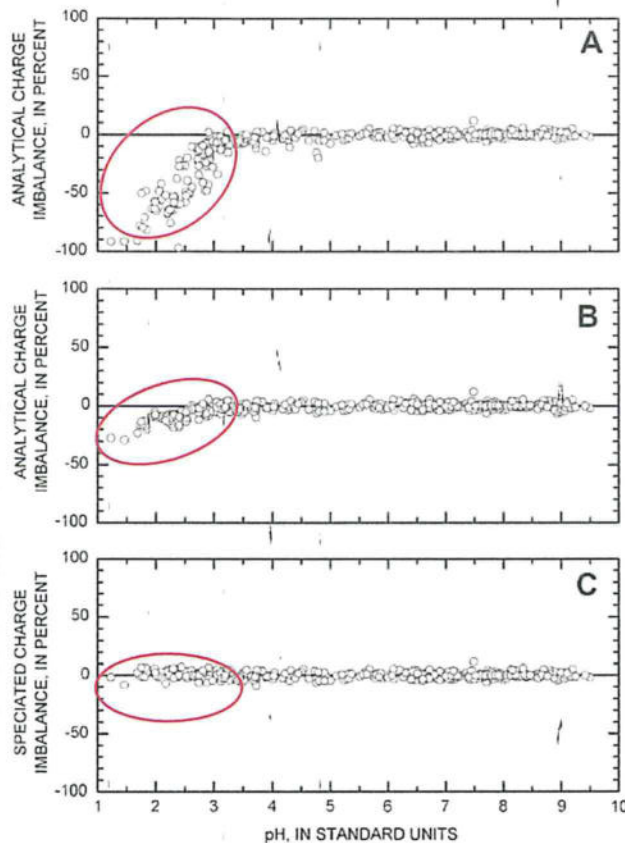


Figura 8-1. A) EBI sin  $H_3O^+$ , B) EBI con  $H_3O^+$  y sin especiación y C) EBI con  $H_3O^+$  y con especiación  
Fuente: Nordstrom *et al.*, 2008



**b. Diagrama de Piper**

139. 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 superficial<sup>22</sup> 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).<sup>23</sup>
140. 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  $Cl^{-24}$  (triángulo de la derecha), como se muestra en la Figura 8-2.

<sup>22</sup> El EBI de los cationes y aniones en meq/L del agua a evaluar deben estar en el rango óptimo de  $\pm 10\%$ .  
<sup>23</sup> Soto, P. (2013). Diplomado Virtual de Hidrología Subterránea del Centro de Capacitación Minera - CECAMIN. IX. *Tratamiento de Datos Químicos I*. Lima, Perú.  
<sup>24</sup> En el presente estudio se adicionó el anión  $NO_3^-$ , que solamente registró concentraciones mayores al límite de cuantificación en la quebrada Laparage (QLapa2), el río Para (RPara1 y RPara2) y los manantiales Mana 2 y 3.

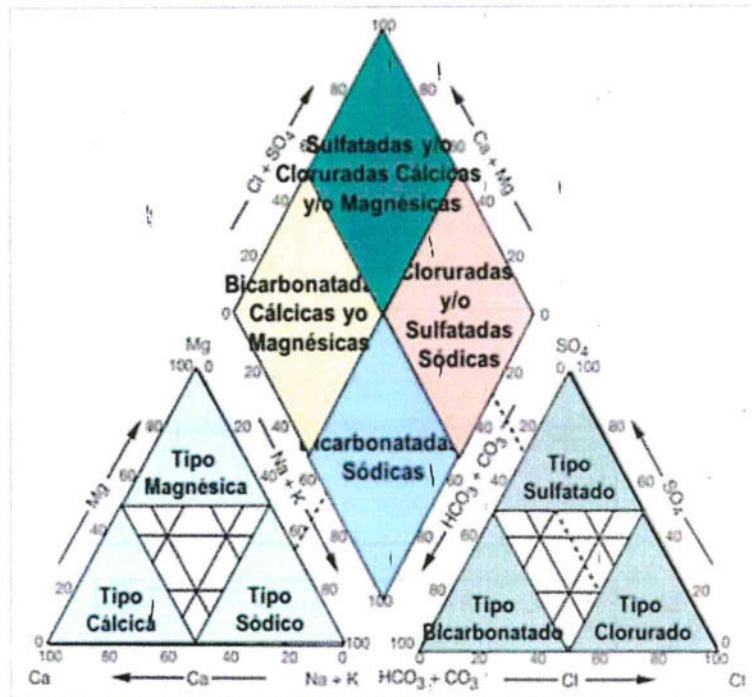


Figura 8-2. Diagrama de Piper  
Fuente: Soto, 2013



*[Firmas manuscritas]*

141. 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 aniones y cationes, formando a menudo los antecedentes para una terminología descriptiva de la composición química del agua (Appelo et al. 2005).
142. 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.
143. Los lados del rombo, ubicado en la parte superior del diagrama de Piper, indica en cada uno de sus lados a los cationes:  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}$  y aniones:  $Cl^{-} + SO_4^{2-}$  y  $HCO_3^{-} + CO_3^{2-}$ , cuyos porcentajes se incrementan en dirección al vértice de la línea vertical (vértice superior:  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  y  $Cl^{-} + SO_4^{2-}$  y vértice inferior:  $Na^{+} + K^{+}$  y  $HCO_3^{-} + CO_3^{2-}$ ). 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.

<sup>25</sup> Las concentraciones de los cationes  $CO_3^{2-}$  no tuvieron influencia en los cuerpos de agua superficial y manantiales debido a que todos los valores de pH fueron ácidos y casi neutro en la quebrada Larapage en QLapa1.

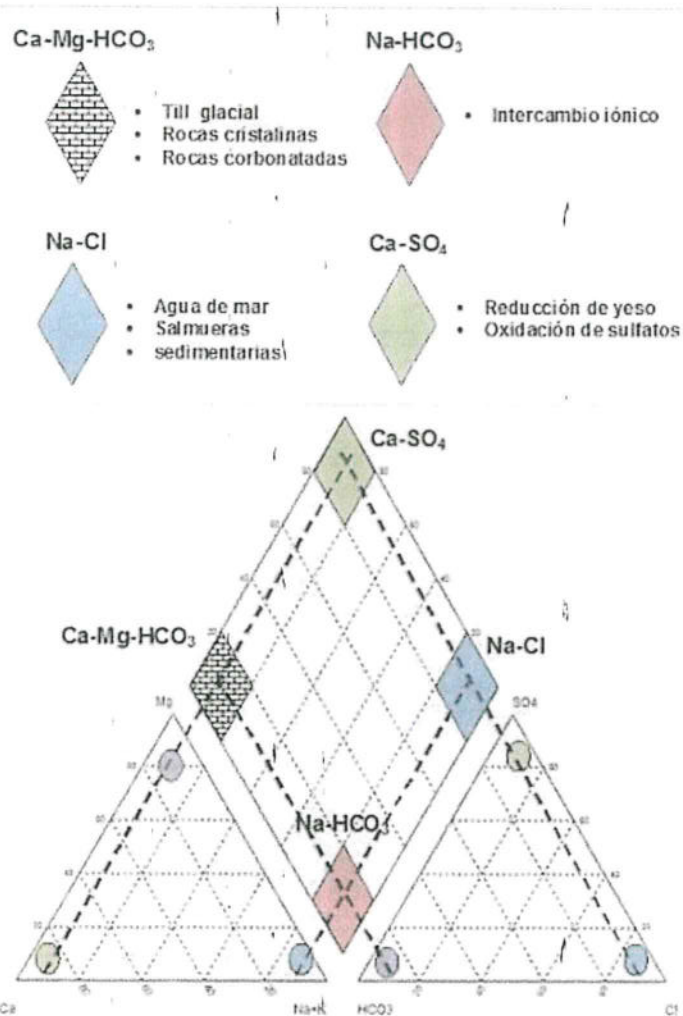


Figura 8-3. Ejemplos de tipos de agua  
Fuente: Villegas, 2011

c. Diagrama de Stiff

144. El diagrama de Stiff consiste de tres líneas horizontales<sup>26</sup> y muestra los iones mayoritarios en el agua. En el mismo los cationes están ubicados en el lado izquierdo (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>), y los aniones en el lado derecho (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y Cl<sup>-</sup>), tal como se muestra en la Figura 8-4.

<sup>26</sup> 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<sub>3</sub>) separado de sulfatos (SO<sub>4</sub>).

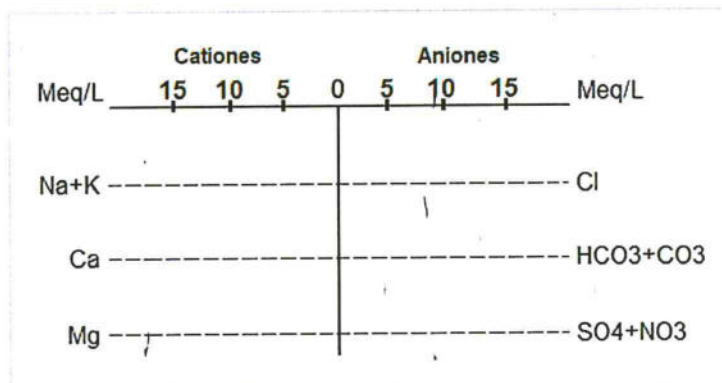


Figura 8-4. Diagrama de Stiff  
Fuente: Simler, 2017

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

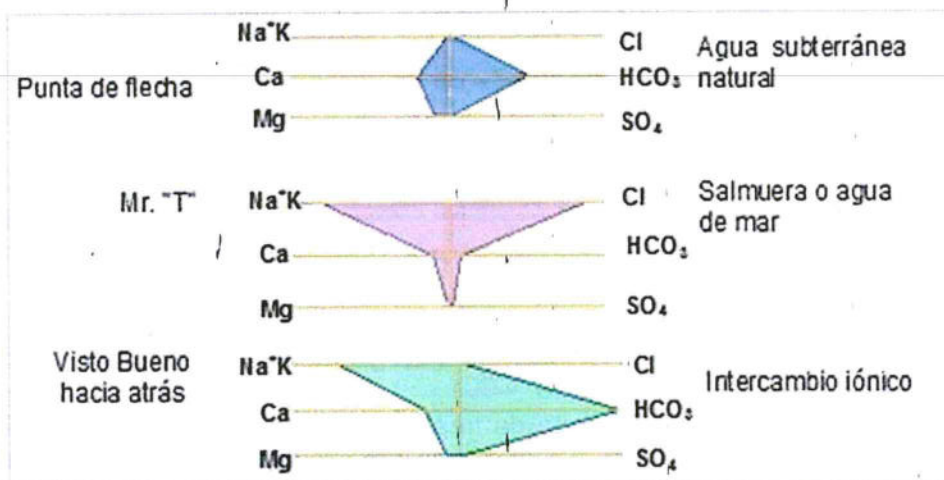


Figura 8-5. Diagrama de Stiff en relación a la mineralización  
Fuente: Villegas, 2011.

- 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.

#### 8.1.4. Relación de los sólidos disueltos e iones con la conductividad

- La conductividad eléctrica en el agua es la medida de su habilidad de llevar corriente eléctrica. La conductividad puede ser un indicador de la calidad del agua



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.

debido a que está relacionado con los sólidos disueltos totales (SDT), el cual es la suma de los cationes o aniones de sustancias orgánicas e inorgánicas que puedan pasar un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ . La relación entre los SDT en  $\text{mg/L}$  y la CE en  $\mu\text{S/cm}$  se ve reflejada en una relación lineal o potencial. En caso de la relación lineal, dentro del uso de equipos de medición directa o multiparámetros se establece valores de  $K$  (relación entre los SDT y la conductividad) entre un rango de 0,5 – 0,75 con un valor típico de 0,7, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$SDT (\text{mg/L}) = k * \text{Conductividad} (\mu\text{S/cm}) \quad (8.3)$$

149. No obstante, hay diversos factores como el incremento y la composición de la concentración de los iones (diferente mezcla de sales disueltas) como el agua de mar, continental y destilada que involucran diferentes valores de  $K$  para obtener una relación precisa entre los SDT y la conductividad (Walton, 1989)<sup>27</sup>. De esa manera, la Figura 8-6 muestra una vista generalizada de los cambios de los valores de  $K$  con el incremento de los TDS en los distintos tipos de agua.

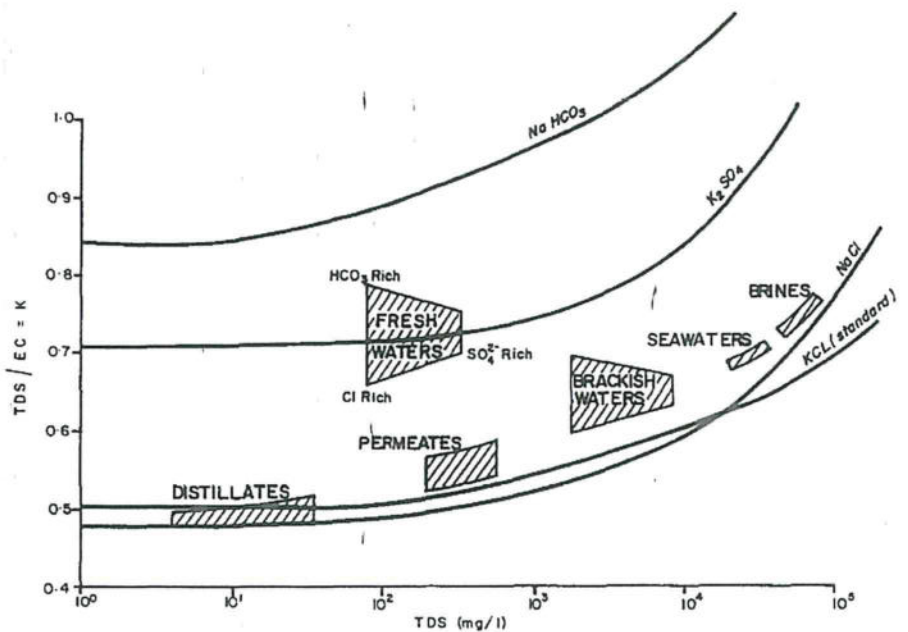


Figura 8-6. Relación de los sólidos disueltos totales (TDS) con los valores de  $k$  para diferentes tipos de agua  
Fuente: N.R.G. Walton, 1989

150. De acuerdo a la Figura 8.6, la mayor variabilidad del valor de  $k$  proviene de aguas naturales (Fresh Water), agua potable y aguas salobres (brackish water) como los estuarios, los cuales pueden contener una variedad de sales disueltas de bicarbonatos, sulfatos o cloruros, por lo que se puede obtener un valor entre el

<sup>27</sup> Otros dos factores que involucran el cambio de los valores de  $k$  es la temperatura (que incrementa la movilidad de los iones a mayor temperatura, hay un incremento del 2 % de la conductividad por cada aumento de 1 °C el cual es corregido por los equipos multiparámetros) y los efectos del pH en rango alto (> 9) y bajo (< 5), el cual contribuye al valor de la conductividad que otros cationes o aniones en el agua.



rango de 0,5 a 0,85.<sup>28</sup> Por tal motivo, no se justifica el uso de un solo valor de  $K$  para todos los tipos de agua, de tomarse en cuenta llegaría a tener un error del 25 %.

151. En caso de la relación de la suma de iones (cationes o aniones) con la conductividad, tenemos que el criterio aceptable es dada por la American Public Health Association (APHA, 2012) mediante la siguiente ecuación lineal:

$$100 * \sum \text{aniones o cationes (meq/L)} = (0,9 - 1,1) * \text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) \quad (8.4)$$

### 8.1.5. Pretratamiento y análisis multivariado

152. 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.
153. En el presente estudio, una matriz de datos correspondientes a los diferentes metales y sólidos suspendidos totales (variables) y puntos de muestreo (observaciones) de agua superficial, será sujeto al análisis multivariado para extraer la información de los puntos de muestreo con similares concentraciones, identificando por tanto patrones.
154. Los cálculos matemáticos y estadísticos realizados en el presente estudio fueron desarrollados con la versión 23 del *software* IBM SPSS (Statistical Package for Social Sciences) Statistics (2015) y la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2016.

#### a. Pretratamiento de datos

155. Para el pretratamiento de datos del presente estudio, los posibles valores atípicos y extremos fueron mantenidos para el Análisis de Factor, no considerando la transformación y autoescalamiento de los datos<sup>28</sup>, tal como fue considerado por Nabeel M. Gazzaz M., (2012). Se siguieron los siguientes pasos: a) Manejo de datos por debajo del límite de cuantificación y b) Estadísticos de viabilidad del AF.

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

156. 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.<sup>29</sup>
157. 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).

<sup>28</sup> De acuerdo a Ramis G., 2001, 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, por lo que para otros estudios que llevan a cabo los Análisis Multivariados como el AF se realizan las pruebas de normalidad univariada de cada variable y sus diferentes transformaciones de datos (logarítmica, potencia, Box Cox) entre otros) y el autoescalado o transformación Z.

<sup>29</sup> EPA. (2006). *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Environmental Information, Whashington.



*[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"

158. De esa manera, se escogió aquellos metales cuyas concentraciones no detectables (debajo del límite de cuantificación analítico) 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). En caso de los sólidos suspendidos totales, por ser motivo de estudio se mantuvo las concentraciones menores al límite de cuantificación analítico hasta un valor del 20 %.

159. Seguidamente, para cada uno de los parámetros se consideró la mitad de los valores del límite de cuantificación analítico, 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) Estadísticos de viabilidad del AF

160. Para verificar la idoneidad de la estructura de la matriz de correlaciones y, en consecuencia, la viabilidad de la realización del Análisis Factorial (AF), se aplicó los siguientes estadísticos

##### a.2.1) Test de esfericidad de Barlett

161. El test de esfericidad de Barlett permite contrastar la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones es una matriz identidad, el cual indicaría que las variables (metales y SST) no están relacionadas y por lo tanto son inadecuadas para la detección de patrones o grupo.

162. De esa manera, si se acepta dicha hipótesis nula, entonces el valor del test (sig.) o p-valor es mayor a 0,05, se debería cuestionar la utilización de cualquier tipo de AF, ya que significaría la práctica inexistencia de correlación entre las variables.

##### a.2.2) Test de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO)

163. El test o medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) mide la idoneidad de los datos para realizar un análisis factorial mediante el contraste de que si las correlaciones parciales entre las variables son pequeñas. Permite comparar la magnitud de los coeficientes de correlación observados con la magnitud de los coeficientes de correlación parcial

164. Los resultados de la evaluación del AF serán excelentes si la medida KMO de adecuación muestral está comprendido entre 0,9 y 1; buenos, si está comprendido entre 0,8 y 0,9; aceptables, si se encuentra entre 0,7 y 0,8; mediocres o regulares, cuando resulte entre 0,6 y 0,7; malos, si está entre 0,5 y 0,6; e inaceptables o muy malos cuando sea menor que 0,5 y que no debe usarse el Análisis Factorial.

#### b. Análisis de factor (AF)

165. 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.



Handwritten blue ink marks, possibly initials or a signature, located on the left margin of the page.



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

166. 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 y SST en agua superficial 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

167. El método de extracción utilizado fue el de Componentes Principales, el cual reduce las dimensiones de una base de datos multidimensional que contiene varias variables (metales y SST) y observaciones (puntos de muestreo) en un espacio reducido de pocas dimensiones conocidos como componentes que no se encuentra incorreladas sin relación entre ellas<sup>30</sup>, siendo los más significantes aquellos con eigenvalores (miden el grado de variabilidad) mayores a 1 conocido como el "criterio de Kaiser" (Shrestha S., Kazama F., 2007; Wang YB, 2015).

168. El método de componentes principales no requiere la suposición de normalidad multivariante de los datos, aunque si esto último se cumple se puede dar una interpretación más profunda de dichos componentes.

#### b.2) Rotación de factores

169. 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

170. Las cargas de los factores son utilizadas en la evaluación de la relación entre las variables (metales y SST) y los componentes extraídos. El valor con fuerte influencia de carga sobre cada metal es 0,7 y el cual fue considerado por Möller S., 2013.

171. 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.

172. 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.

173. 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

<sup>30</sup> Los componentes son combinaciones lineales de las variables originales y se van construyendo según el orden de importancia en relación a su varianza explicada. Si las variables originales no están correlacionadas, entonces no tiene sentido realizar el AF.



Handwritten blue ink marks, including a large checkmark and several vertical lines.

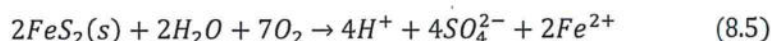


valores de fuerte influencia mayores a 1,0. En el caso de influencia moderada de 0,7 a 1,0 y de poca influencia de 0,5 a 0,7, todos en el valor positivo.

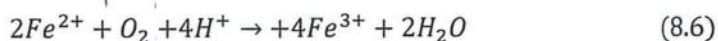
### 8.1.6. Drenaje Ácido de Roca (DAR)

174. El fenómeno del drenaje ácido proviene de minerales sulfurosos expuestos al aire y el agua, es un proceso que ocurre de forma natural y que involucra reacciones químicas, biológicas y fenómenos fisicoquímicos asociados. El DAR se produce lentamente en un ambiente que no recibe perturbaciones por las actividades mineras.
175. El DAR se produce a partir de la oxidación de minerales ricos en sulfuros, el más común es la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), producto de la exposición de estos minerales al agua, oxígeno y bacterias (Simate & Ndlovu, 2014). Asimismo, diversos metales presentes en las rocas ricas en sulfuros pueden disolverse en aguas de bajos valores de pH, incrementando sus concentraciones. El proceso de generación del DAR es complejo e involucra tres etapas que varían con las condiciones ambientales, los cuales son descritas a continuación:

- a. Etapa 1. Inicialmente la pirita se oxida por el agua y el oxígeno para formar iones sulfato e hidrógeno (ver Ecuación 8.5). En esta etapa el pH se mantiene por encima de 4,5, puesto que la alcalinidad puede neutralizar la acidez producida, siendo la concentración de sulfatos alta. La tasa de oxidación de la pirita causada por el oxígeno y las bacterias como thibacillus, ferroxidans, Leptospirillum ferroxidans y Acidithiobacillus ferroxidans son similares (Madigan, Martinko, Dunlap, & Clark, 2009).



- b. Etapa 2. El ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) puede ser adicionalmente oxidado para formar hierro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) (ver Ecuación 8.6). Para valores de pH mayor a 4,0, esta reacción puede ser abiótico o puede ser catalizada por una variedad de bacterias presentes en la naturaleza del mineral sulfurado. Por debajo de un pH de 4,0, la oxidación abiótica del  $\text{Fe}^{3+}$  es mucho más lenta y la oxidación biológica juega un rol más importante en la formación del DAR. En esta segunda etapa cuando se excede la capacidad de neutralización del sistema, el ácido formado se acumula provocando una disminución de pH.



- c. Etapa 3. Si el hierro férrico formado entra en contacto con la pirita, puede reaccionar disolviendo más pirita y generando más ácido (ver Ecuación 8.7). En esta etapa el valor del pH es menor a 2,5, con acidez y concentración de sulfatos altas. Por otra parte, dado que el ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) actúa como un oxidante para la pirita, y la oxidación de la pirita forma ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) que inmediatamente se oxida de nuevo en ion férrico, volviendo a la Etapa 1 y formando un proceso cíclico

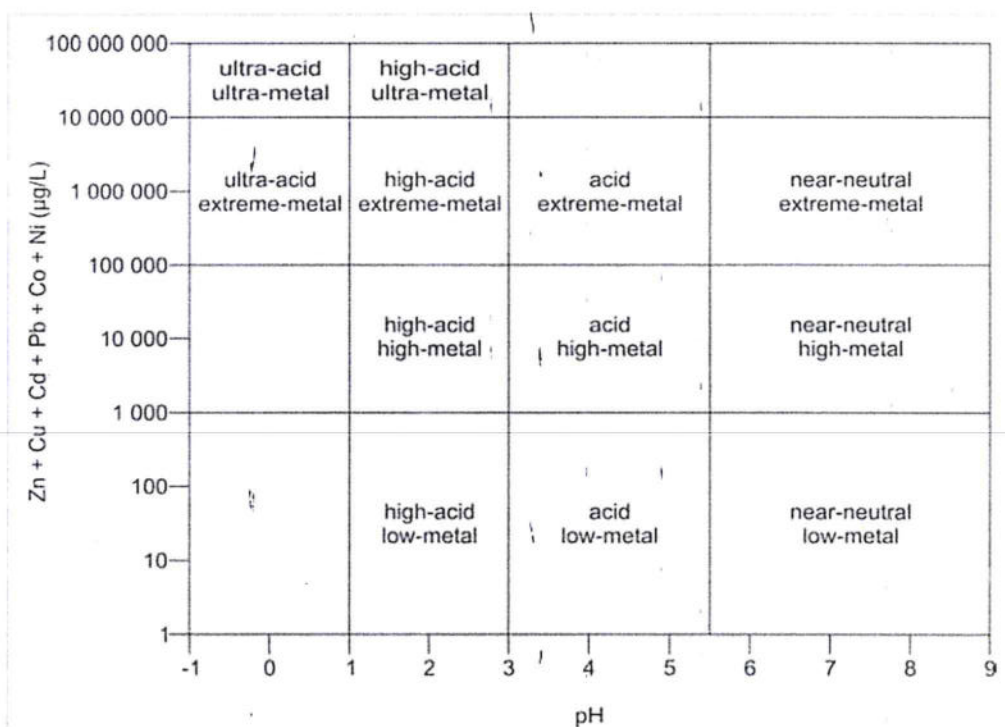


*[Handwritten signatures and initials in blue ink]*

176. Un aspecto importante es que el proceso de oxidación de la pirita resulta en la formación de ácido sulfúrico creando condiciones para la solubilización del hierro (Johnson & Hallberg, 2005). La solubilidad del hierro es dependiente del pH al igual que el DAR. El hierro al momento de precipitarse forma óxidos de hierro de color amarillo, naranja o rojo depositados en los sedimentos y su entorno, lo cual genera más acidez y aumenta otros metales presentes en los minerales como el zinc, plomo, níquel y cobre, entre otros, disolviéndose fácilmente (Azapaganic, 2004).

**8.1.7. Diagrama de Ficklin**

177. En el presente estudio se realizó la clasificación geoquímica del agua superficial (quebradas y ríos) y los manantiales en base al pH y la suma de ciertos metales pesados en un diagrama conocido como Ficklin (ver Figura 8-7).



**Figura 8-7.** Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin) para el agua basado en la suma de metales disueltos (Zn, Cu, Cd, Pb, Co, Ni) y el valor de pH  
 Fuente: Ficklin et al., 1992; Plumlee et al., 1999

178. Empleando esta clasificación para el agua, se pudo determinar la tipología provenientes de diferentes entornos geoquímicos en relación con los metales pesados: zinc (Zn), cobre (Cu), cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobalto (Co) que contiene y utilizados en el diagrama.

**8.1.8. Control de calidad (duplicados)**

179. Para determinar la precisión de la toma de muestra y el proceso de análisis, se evalúa sus duplicados o réplicas mediante la Diferencia Porcentual Relativa (RPD, por sus siglas en inglés) o Diferencia de Media Porcentual Relativo, cuya ecuación es la siguiente (EPA, 2014):



*(Handwritten signatures and initials in blue ink)*



$$\%RPD = \frac{|X1 - X2|}{\frac{(X1 + X2)}{2}} \times 100 \quad (8.8)$$

Donde:

- X1 : Concentración de la muestra en mg/L.  
 X2 : Duplicado de la muestra en mg/L.  
 |X1 - X2| : Valor absoluto de la diferencia entre la concentración de la muestra y su duplicado.

180. Cuando los valores de RPD son mayores al 20 % se considera que la muestra tiene una concentración imprecisa, lo que significa que pueden haber ocurrido errores durante la toma de muestra, tales como mala homogenización, o que puede haber influenciado la heterogeneidad ambiental del cuerpo de agua por factores como la lluvia<sup>31</sup>.

## 8.2. Comunidades hidrobiológicas

181. 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). A continuación se detallan las comunidades evaluadas:

### a. Perifiton

182. 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.

### b. Macroinvertebrados bentónicos

183. 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).

<sup>31</sup> De acuerdo a Ministerio de Medio Ambiente y Estrategia de Cambio Climático de Canadá (MECCS, por sus siglas en inglés), 2013, si uno de los valores duplicados de campo es cinco veces mayor al límite de cuantificación, los valores de RPD mayores a 20 % indican un posible problema y si son mayores a 50 % indican un problema definido, probablemente contaminación o falta de representatividad de la muestra.



### c. Necton (peces)

184. 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).
185. 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).
186. Las comunidades anteriormente mencionadas serán analizadas mediante su composición, riqueza y abundancia, además de la diversidad alfa y beta. Dichos términos son explicados en el capítulo de metodología.

### 8.3. Suelo

187. El Minam (2017)<sup>32</sup> 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...".
188. 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, que de acuerdo con su variación le confieren características propias.

#### 8.3.1. Textura del suelo

189. 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.
190. 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

<sup>32</sup> Minam - Ministerio del Ambiente, publica el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, donde se aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, donde define los términos referentes al término suelo.



*[Handwritten blue ink marks and signatures]*

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

191. 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 (USDA<sup>33</sup>, por sus siglas en inglés), según el cual la clasificación de las partículas es la que se presenta en la Tabla 8-2.

Tabla 8-2. 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.

192. 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-

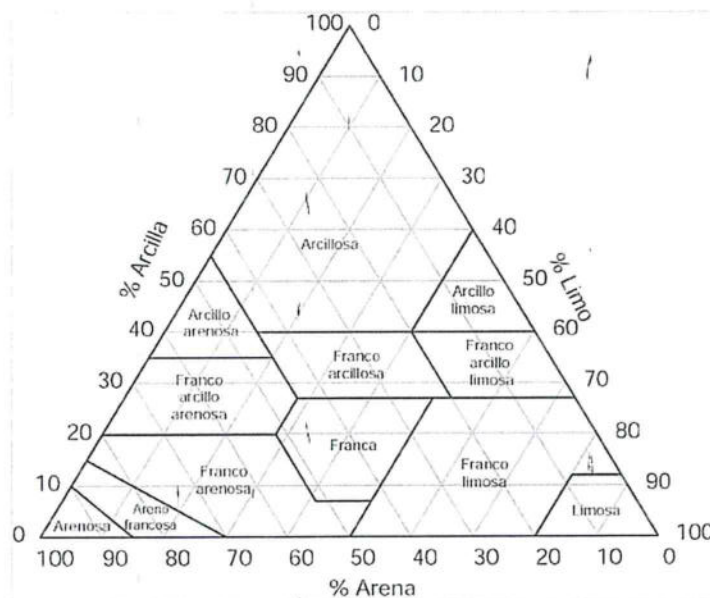


Figura 8-8. Diagrama triangular o triángulo de las clases texturales básicas del suelo

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

<sup>33</sup> 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.

### 8.3.2. Niveles de fondo

193. 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. 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.
194. Atendiendo a lo mencionado en el párrafo anterior, 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 superior<sup>34</sup> 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%.
195. 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:

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

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- $\alpha$ )-ésimo de la distribución t-Student de n-1 grados de libertad.

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

$$C_M = \exp(\bar{y} + 0,5s_y^2 + s_y H_{1-\alpha} / \sqrt{n-1}) \quad (8.10)$$

Donde:

- $\bar{y}$  : Es la media aritmética de la muestra de los datos transformados logaritmicamente.

<sup>34</sup> Es el límite superior de un intervalo de confianza de un parámetro de interés, por ejemplo, la cota superior de la media.



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

197. 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).

$$C_M = \frac{2nk\bar{x}}{X_{2nk}^2(\alpha)} \quad (8.11)$$

Para  $n > 50$ , el valor de la cota superior viene dada por:

$$C_M = \frac{2nk\bar{x}}{X_{2nk}^2(\beta)} \quad (8.12)$$

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.  
 $X_{2nk}^2$  : Estadístico Chi cuadrado con  $2nk$  grados de libertad.  
 $\alpha$  : Nivel de significancia.  
 $\beta$  : Nivel de significancia ajustado.

198. 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 no paramétrico que utiliza técnicas de remuestreo<sup>35</sup> 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).

### 8.3.3. Valor de referencia

199. 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. 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).

200. 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

<sup>35</sup> 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.*



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:

$$C_M = \bar{x} + t_{\alpha, n-1} s / \sqrt{n} \quad (8.13)$$

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).

201. 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):

$$C_p = \exp(\bar{y} + K_{(n,\alpha,p)} * s_y) \quad (8.14)$$

Donde:

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

202. 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):

$$C_p = (\bar{y} + K_{(n,\alpha,p)} * s_y)^4 \quad (8.15)$$

Donde:

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

203. 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.

#### 8.3.4. Geología

204. El área del proyecto de exploración minera Sancos, se ubica en el cuadrángulo de Coracora, correspondiente a la hoja 31-o (escala 1:100 000) de la carta geológica nacional (Ingemmet, 1969), específicamente en las formaciones geológicas Grupo Tacaza (Tm-vta) y formación Para (Ti-pa).

205. Grupo Tacaza, en el área de Sancos infrayace una serie volcánico-clástica con discordancia angular al Grupo Barroso y sobreyace a las formaciones cretáceas con igual relación, el contacto con la formación Para está dado por una falla. Litológicamente está compuesto por tobas de color blanco intercaladas con paquetes de arenisca tobácea gris clara, con un espesor de 2 a 50 cm, luego conglomerados con rodados de andesita marrón y verde con un diámetro que llega



*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*



hasta 20 cm y finalmente andesita gris verdosa a marrón, porfírica y microbrechosa. Asimismo, se tiene abundantes arcillas y sílex, formados por alteración de roca volcánica ácida. (Boletín A-034, Ingemmet, 1980).

206. Formación Para, litológicamente está constituida por una intercalación de areniscas tobáceas de grano fino, blancas y verdes, con areniscas conglomerádicas con abundante cuarzo y elementos que llegan hasta 3mm de diámetro; también lutitas grises, limolitas amarillas, aglomerados en capas de 10 a 50 cm, andesita microbrechosa marrón, tobas, lapillis blancos y cenizas. (Boletín A-034, Ingemmet, 1980).

### 8.3.5. Asociaciones de suelos

207. 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.
208. 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 paisaje<sup>36</sup>.

### 8.3.6. Capacidad de uso mayor de suelos

209. La clasificación de capacidad de uso mayor de suelos, es un ordenamiento sistemático práctico e interpretativo de los diferentes grupos de suelos, con el fin de mostrar sus usos, problemas o limitaciones, necesidades y prácticas de manejo necesarias.
210. Los respectivos grupos, clases y subclases identificados en el ámbito del proyecto Sancos, se muestran en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3. Unidades de capacidad de uso mayor

Uso mayor			Características generales	Zonas
Grupo	Clase	Sub clase		
A	A3	A3 s (r)	Tierras aptas para cultivo en limpio, de calidad agrológica baja, con limitaciones de suelo y necesidad de aplicación de riego	Sancos Chucchupata
P	P3	P3 sec	Tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja, con limitaciones por suelo y topografía - riesgo por erosión y clima	Iñahuato
Xse			Tierras de protección con limitaciones por suelo y topografía - riesgo por erosión	Chucchupata Misceláneo Roca

Fuente: Reglamento de clasificación de tierras por capacidad de uso mayor – D.S. 017-2009-AG

<sup>36</sup> Reglamento para la ejecución de levantamientos de suelos – 2009, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2010-AG. p. 9.



#### 8.4. Tejido vegetal

211. Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, trasladar y acumular nutrientes (Lasat, 2000); sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, trasladados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.
212. 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).
213. 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

214. En esta sección se describe la metodología aplicada durante la EAT en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. Dichos métodos fueron desarrollados para los componentes de agua superficial, comunidades hidrobiológicas, suelo y tejido vegetal.

#### 9.1. Calidad de agua superficial

215. 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

216. Los puntos de muestreo evaluados se establecieron en los recursos hídricos superficiales más representativos de los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. Concretamente se ubicaron en la microcuenca del río Sancos y en la microcuenca del río Para, y los cuerpos de agua tributarios a estos.
217. Adicionalmente, se consideraron puntos de muestreo en los manantiales que abastecen a la comunidad campesina de Para, sirviendo tanto para el consumo como para las diferentes actividades productivas de la zona.



Handwritten blue ink marks, including a checkmark and several scribbles.



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

218. De acuerdo con los criterios señalados, la ubicación de los puntos de muestreo se presenta en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, cabe resaltar que también se consideró los puntos de muestreo que en el momento de la evaluación se encontraban sin agua, asimismo, en el Anexo B3. Mapas de puntos de muestreo, se aprecia la ubicación de dichos puntos; información que también se encuentra, además de los datos de campo en el Anexo B4. Hojas de campo.

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

N°	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84 Zona 18 L			
		Este (m)	Norte (m)		
<b>Río Sancos y sus tributarios</b>					
1	QChuñ1	614 277	8 339 167	3722	Quebrada Chñuchani, ubicada aprox. 210 metros al costado derecho de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Sancos y a aprox. a 2 000 metros antes de su afluencia en la quebrada Lambre.
2	QSN-14	614 343	8 338 340	3590	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 15 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia la CC de Sancos, y a aprox. 280 metros antes de su confluencia con la QSN-4, los cuales forman una quebrada que va tributar por la margen derecha a la quebrada Lambre
3	QSN-4	614 492	8 338 166	3590	Quebrada sin nombre, ubicada a 15 metros aprox. al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Sancos, y a 220 metros aprox. antes de su confluencia con la QSN-14.
4	QSN-15	614 276	8 337 562	3544	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 20 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Sancos, y a aprox. 95 metros antes de su afluencia a la quebrada Lambre.
5	QLamb1	614 312	8 337 447	3539	Quebrada Lambre, ubicada a aprox. 50 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia comunidad campesina de Sancos, y a 1200 metros aprox. aguas abajo de su nacimiento (2 ojos de agua u afloramientos).
6	QSN-2*	613 388	8 337 704	3394	Quebrada sin nombre, ubicada aprox. 200 metros al costado derecho de la carretera que va hacia la CC de Sancos y a aprox. 56 metros antes de su afluencia en la quebrada Lambre (sin agua)
7	QSN-13*	613 519	8 336 093	3273	Quebrada sin nombre, ubicada al oeste del proyecto minero Sancos y a aprox. 960 metros de su afluencia por la margen izquierda a la quebrada Jarhuisique (sin agua)
8	QJarh1	612 137	8 334 812	2715	Quebrada Jarhuisique, ubicada a 25 metros aprox. a la izquierda del puente de la carretera hacia la comunidad campesina de Sancos, cuya nacimiento es un poza de agua de color turquesa alimentada por una caída de agua de 150 metros.
9	QFutc1	612 071	8 334 790	2717	Quebrada Futcca, ubicada a 25 metros aprox. a la izquierda del puente de la carretera hacia Sancos, cuya nacimiento es un



*[Handwritten signatures and initials in blue ink]*



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

N°	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84 Zona 18 L			
		Este (m)	Norte (m)		
					poza de agua alimentada por una caída de agua de 150 metros.
10	RSanc1	612 162	8 334 236	2547	Río Sancos, ubicada al suroeste de la comunidad campesina de Sancos a aprox. 570 metros aguas abajo de la naciente (confluencia de las quebradas Futcca y Jarhuisique) y a aprox. 25 metros aguas arriba de la afluencia de la quebrada Huishui.
11	QHuis1	611 448	8 334 517	2794	Quebrada Huishui, ubicada a 170 metros aprox. a la izquierda de la carretera hacia Sancos, cuya naciente es la laguna conocida como Miami.
12	RSanc2	612 194	8 334 181	2576	Río Sancos, ubicada aprox. a 30 metros aguas abajo de la afluencia de la quebrada Huishui.
13	QSN-12	614 447	8 334 642	3060	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 470 metros al costado izquierdo de la carretera hacia la comunidad campesina de Sancos, y a aprox. 120 metros antes de su afluencia con la quebrada Puchccuyacu.
14	QSN-11*	614 345	8 334 626	3065	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 75 metros aguas arriba de su confluencia con la quebrada Puchccuyacu (Sin agua)
15	QYana1	613 924	8 334 915	3130	Quebrada Yanama, ubicada al sur del proyecto minero Sancos y a aprox. 500 metros aguas arriba del punto QYana2.
16	QYana2*	614 192	8 334 540	3067	Quebrada Yanama, ubicada al sur de proyecto minero Sancos y a aprox. 280 metros antes de su afluencia en la quebrada Puchccuyacu (sin agua)
17	QPuch1	614 314	8 333 898	2891	Quebrada Puchccuyacu, ubicada a aprox. 1890 metros de su confluencia con la quebrada Miskiyacu, las cuales forman un quebrada tributaria por la margen izquierdo del río Sancos
18	QMisk1	614 509	8 333 560	2883	Quebrada Miskiyacu, ubicada a aprox. 1760 metros de su confluencia con la quebrada Puchccuyacu, las cuales forman un quebrada tributaria por la margen izquierdo del río Sancos
<b>Río Para y sus tributarios</b>					
19	QSN-16	617 617	8 337 896	3666	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 20 metros al costado izquierdo de la carretera hacia la comunidad campesina de Pueblo Nuevo y a aprox. 300 metros de su confluencia con la QSN-6, cuya unión forma una quebrada tributaria de la QSN-1
20	QSN-6*	617 890	8 337 812	3652	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 20 metros al costado izquierdo de la carretera hacia la comunidad campesina de Pueblo Nuevo y a aprox. 230 metros de su unión con la QSN-16 (sin agua)
21	QSN-1	617 673	8 336 812	3490	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 10 metros al costado izquierdo de la carretera hacia la comunidad campesina de Pueblo Nuevo y a aprox. 1200 metros aguas arriba de su unión con la QSN-3.



Handwritten signatures and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

N°	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84 Zona 18 L			
		Este (m)	Norte (m)		
22	QSN-5*	617 525	8 336 743	3523	Quebrada sin nombre, ubicada al noreste de la comunidad campesina de Pueblo Nuevo, a aprox. 15 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Para (sin agua)
23	QSN-3*	617 041	8 336 768	3562	Quebrada sin nombre, ubicada al costado de la carretera hacia la comunidad campesina de Pueblo Nuevo y a aprox. 900 metros antes de confluencia con la QSN-1 (sin agua).
24	QSN-7*	616 027	8 335 723	3461	Quebrada sin nombre, ubicada a 15 m. aprox. al costado derecho de la carretera hacia la comunidad campesina de Pueblo Nuevo y aprox. a 160 metros antes de su unión con la QSN-8 (sin agua)
25	QSN-8*	616 158	8 336 070	3486	Quebrada sin nombre, ubicada a 15 m. aprox. al costado derecho de la carretera hacia la comunidad campesina de Pueblo Nuevo y aprox. A 400 metros antes de su unión con la QSN-7 (sin agua)
26	QSN-9*	616 288	8 335 565	3335	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 130 metros aguas abajo de la unión de las QSN-7 y QSN-8 (sin agua).
27	QSN-10	617 603	8 334 326	3056	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 25 metros aguas arriba de su unión con la quebrada Larapage.
28	QLapa1	617 994	8 336 899	3490	Quebrada Larapage, ubicada al costado de la carretera que va de la CC de Pueblo Viejo hacia la CC de Para y a aprox. 2500 metros aguas arriba del puntos QLapa2.
29	QLapa2	617 783	8 334 284	3049	Quebrada Larapage, ubicada a aprox. 240 metros aguas arriba de su unión con la QSN-10, las cuales forman una quebrada tributaria por la margen derecha del río Para.
30	RPara1	618 270	8 332 894	2818	Río Para, ubicado a aprox. 150 metros aguas arriba de la comunidad campesina de Para.
31	RPara2	618 382	8 332 516	2796	Río Para, ubicado a aprox. 200 metros aguas abajo de la comunidad campesina de Para.
<b>Manantiales</b>					
32	Mana1	618 981	8 332 924	2872	Manantial o afloramiento de agua transparente de montaña ubicada aprox. a 500 metros al noreste de la comunidad campesina de Para.
33	Mana2	618 656	8 332 731	2868	Manantial, salida de agua transparente por un tubo de 2", ubicada aproximadamente a 90 metros al este de la comunidad campesina de Para.
34	Mana3	619 888	8 334 493	3206	Manantial, salida de agua transparente de montaña por 5 tubos de 2" dentro de una caja de registro con conexión a tuberías que brindan agua potable a la comunidad campesina de Para que está ubicada aproximadamente a 2,4 Km al noreste del citado manantial.

(\*) Cuerpos de agua que al momento de la evaluación se encontraban sin agua.



Handwritten blue ink marks, including a signature and the letters 'J', 'X', and '9'.

**9.1.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis**

219. 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"<sup>37</sup>. 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.
220. 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 viaje	1	4
Duplicados	3	

221. Los equipos y accesorios utilizados durante la evaluación en campo (*in situ*) se consignan en la Tabla 9-3. Los certificados de calibración de dichos equipos se presentan en el Anexo B8.

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

Equipos	Marca	Modelo	Serie	Componente	Utilidad
Multiparámetro	HACH	HQ40d	150400018839	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, pH, conductividad y oxígeno disuelto)
Sonda de pH	HACH	PHC201	151382618033		
Sonda de conductividad	HACH	CDC401	151262588015		
Sonda de oxígeno disuelto	HACH	LDO101	151242597007		
Correntómetro	GLOBAL WATER	FP111	1550006906	Hélice de estireno, barra de soporte y display: electrónico con 4 dígitos.	Medición de la velocidad, dirección y profundidad de la corriente de los cuerpos de agua.
GPS	Garmin	Montana 680	4HU005014 4HU005022 4H005023	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	92051001603 92051001604	Cargador y memoria de 32GB.	Registro fotográfico.

<sup>37</sup> Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, "Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales". Aprobado el 11 de enero de 2016.



Equipos	Marca	Modelo	Serie	Componente	Utilidad
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 140500574295	Bomba de succión, mangueras y kitasato.	Filtración del agua superficial mediante filtros de celulosa de 0,45 micras de porosidad

222. Previo al muestreo y del 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 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para rango bajo). Los registros de ajuste y verificación se presentan en el Anexo B5.
223. 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	

224. 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 y las actividades que se proyectan desarrollar en el marco del proyecto minero Sancos. Además también se consideró los Estándares de Calidad Ambiental (en adelante, ECA) para agua, establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM<sup>38</sup>. Referente a la categoría del cuerpo de agua, la cual fue asignada siguiendo los lineamientos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (en adelante, ANA).
225. Asimismo, se consideraron parámetros adicionales que permitieron una mejor interpretación de los resultados y los relacionados a las características más representativas de los cuerpos de agua.

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

<sup>38</sup> Decreto que aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones complementarias, aprobado el 6 de junio de 2017.



Componente Ambiental	Parámetros	Cantidad de puntos de muestreo	N° TDR	Observaciones
Agua	pH	24		Parámetros registrado in situ, con el equipo multiparámetro marca HACH - HQ40d
	Temperatura	24		
	Oxígeno disuelto	24		
	Conductividad eléctrica	24		
	Demanda química de oxígeno (DQO)	24	2627-2017	Parámetros analizados por el laboratorio de ensayo acreditado INSPECTORATE SERVICES PERÚ
	Sólidos suspendidos totales (SST)	24		
	Sólidos totales disueltos (STD)	24	2628-2017	Parámetro analizado por el laboratorio de ensayo acreditado AGQ PERÚ SAC
	Cromo hexavalente total	24	2629-2017	Parámetros analizados por el laboratorio de ensayo acreditado NSF ENVIROLAB
	Metales totales (Incluido Hg)	24		
	Metales disueltos (Incluido Hg)	24		
	Cianuro WAD	24		
	Cloruros	24	2632-2017	
	Sulfuros	24		
	Sulfatos	24		
Nitratos	24			
Bicarbonatos	24			

226. Las muestras fueron puntuales, tomadas directamente del cuerpo de agua. La preservación de las mismas siguió las recomendaciones del laboratorio según parámetro y conservadas en los respectivos coolers manteniendo la cadena de frío.
227. Para los análisis de los parámetros físico-químicos (demanda química de oxígeno, cloruros, sulfuros, sulfatos, nitratos, bicarbonatos, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales) e inorgánicos (cromo hexavalente, cianuro WAD, 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.
228. 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.
229. 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).
230. 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.



*[Handwritten signature]*

**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 reflujó abierto, Método Titrimétrico	Inspectorate Services Perú S.A.C.
Sólidos totales suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2540D, 22nd Ed.2012	Pesaje de filtro mediante secado en 103 – 105 °C	
Cromo hexavalente	SMEWW-APHA-AWWA Part 4500-CN I, 22 <sup>nd</sup> ED 2012	Método colorimétrico de cromo hexavalente	NSF Envirolab S.A.C.
Cianuro WAD	SMEWW Part 3500Cr-B, 22 <sup>nd</sup> Ed2012	Determinación de los cianuros disociables en ácidos débiles, Método de oxidación por cloración	
Cloruros	EPA Método 325.3 Revisado en Marzo de 1983	Titulación con nitrato de mercurio	
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	
Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 CO <sub>2</sub> , 22nd Ed	Cálculo de dióxido de carbono y sus formas alcalinas	
Mercurio total y disuelto	EPA Método 245.7 (validado), Febrero 2005	Espectrometría de fluorescencia atómica por vapor frío	
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.

### 9.1.3. Estándares de comparación y análisis de datos

231. 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.
232. El río Yauca, y los cuerpos de agua que tributan en él, como son el río Sancos y el río Para, no se encuentran categorizados 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.
233. Por lo tanto, los resultados de los ríos Sancos y Para y los cuerpos de agua tributarios de estos, se compararon con la Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales", en las subcategorías D1 "Riego de vegetales (restringido)<sup>39</sup> y

<sup>39</sup>

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.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

no restringido<sup>40</sup>)" y D2 "Bebida de animales" (en adelante, Cat3D1 y Cat3D2, respectivamente), puesto que se tiene información actual acerca de las actividades de la zona, que son principalmente la crianza de ganado (caprino, ovino, porcino y animales menores) la pesca de truchas, y el riego de vegetales de tallo bajo (papa, trigo, cebada, quinua, olluco, oca y similares) y de tallo alto (árboles frutales, arboles forestales, maíz entre otros)<sup>41</sup>.

- 234. En cuanto a los manantiales que abastece de agua a la comunidad campesina de Para, al no estar incluidos dentro de ninguna categoría, también fueron considerados en la Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales". En este caso, la comparación es referencial.
- 235. En la Tabla 9-7 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 9-7. 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
Distrito de Sancos	Cuenca Yauca	Río Sancos	Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales"	D1 "Riego de vegetales"
		Quebrada Lambre		
		Quebrada Chuñuchani		
		Quebrada Jarhuisique		
		Quebrada Futcca		
		Quebrada Huishui		
		Quebrada Yanama		
		Quebrada Puchccuyacu		
		Quebrada Miskiyacu		
Distrito de Chaviña	Cuenca Yauca	Río Para	Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales" (*)	D1 "Riego de cultivos de tallo alto y bajo"
		Quebrada Larapage		D2 "Bebida de animales"
		Manantiales*	Categoría 1 "Poblacional y recreacional" (*)	A1 "Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección"

(\*) Comparación referencial

- 236. En cuanto a los parámetros que no se encuentran en el ECA, los sólidos disueltos totales (SDT), cromo hexavalente (VI) y los metales: calcio, molibdeno y vanadio fueron comparados con los valores guías para la protección de la agricultura - CEQG-WQG (Canadian Environmental Quality Guidelines - Water Quality

<sup>40</sup> 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 quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa). D.S. N.° 004-2017-MINAM.

<sup>41</sup> Contexto social, económico e institucional de la región Ayacucho. Revisado el 11 de diciembre 2017. Disponible en [http://www.allpa.org.pe/sites/default/files/Las%20Comunidades%20Campesinas%20-%20Ayacucho%20%282009%29\\_1.pdf](http://www.allpa.org.pe/sites/default/files/Las%20Comunidades%20Campesinas%20-%20Ayacucho%20%282009%29_1.pdf)





Guidelines of Agricultural Water Uses) para complementar el comportamiento químico del agua de los ríos Sancos y Para con sus tributarios y los manantiales.

## 9.2. Comunidades hidrobiológicas

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

### 9.2.1. Ubicación de los puntos de muestreo

238. El criterio de elección de los puntos de muestreo hidrobiológico fue el mismo que se empleó para la elección de los puntos de muestreo de agua, los cuales se establecieron en los recursos hídricos superficiales más representativos de los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.

239. Se consideró un total de 24 puntos de muestreo, correspondientes al grupo del río Sancos y sus tributarios (14) y río Para y sus tributarios (10), donde se colectaron las comunidades de perifiton y macroinvertebrados bentónicos; no obstante, cabe precisar que en el grupo del río Para, se consideraron 3 puntos de muestreo en manantiales, donde solo se colectó perifiton. Es importante indicar que en el caso de peces se consideró realizar el análisis de metales en tejido muscular; sin embargo, no se logró la captura de peces en ninguno de los puntos evaluados debido a que las quebradas se encontraban con poco caudal.

240. La descripción de la ubicación de los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 9-8. En el Anexo C1. Mapa de puntos de muestreo, se puede visualizar la ubicación de los mismos. Es preciso indicar que se encontraron nueve puntos secos: HID-QSN-2, HID-QSN-13, HID-QSN-6, HID-QSN-1, HID-QSN-5, HID-QSN-3, HID-QSN-6, HID-QSN-7, HID-QSN-8, por lo que no se realizó la evaluación de las comunidades hidrobiológicas y están registrados en el Anexo C.2.

**Tabla 9-8.** Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas

N°	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84 Zona 18 L			
		Este (m)	Norte (m)		
<b>Río Sancos y sus tributarios</b>					
1	HID-QChuñ1	614 277	8 339 167	3722	Quebrada Chuñuchani, ubicada aprox. 210 metros al costado derecho de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Sancos y a aprox. 2000 metros antes de su confluencia con la quebrada Lambre.
2	HID-QSN-14	614 343	8 338 340	3590	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 15 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia Sancos, y a aprox. 280 m antes de su confluencia con el punto HID-QSN-4, los cuales forman una quebrada que va tributar por la margen derecha a la quebrada Lambre.



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

N°	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84 Zona 18 L			
		Este (m)	Norte (m)		
3	HID-QSN-4	614 492	8 338 166	3590	Quebrada sin nombre, ubicada a 15 metros aprox. al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Sancos, y a 220 metros aprox. antes de su confluencia con la quebrada denominada QSN-14.
4	HID-QSN-15	614 276	8 337 562	3544	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 20 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Sancos, y a aprox. 95 metros antes de su confluencia con la quebrada Lambre.
5	HID-QLamb1	614 312	8 337 447	3539	Quebrada Lambre, ubicada a aprox. 50 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Sancos, y a 1200 metros aprox. aguas abajo de su nacimiento (2 ojos de agua u afloramientos).
6	HID-QJarh1	612 137	8 334 812	2715	Quebrada Jarhuisique, ubicada a 25 metros aprox. a la izquierda del puente de la carretera hacia la comunidad campesina de Sancos, cuya nacimiento es una poza de agua de color turquesa con olor a sulfuro (huevo podrido) alimentada por una caída de agua de 150 metros.
7	HID-QFutcc1	612 071	8 334 790	2717	Quebrada Futcca, ubicada a 25 metros aprox. a la izquierda del puente de la carretera hacia Sancos.
8	HID-RSanc1	612 162	8 334 236	2547	Río Sancos aguas abajo del poblado de Sancos. Ubicada a aprox. 570 metros aguas abajo de la nacimiento (confluencia de las quebradas Futcca y Jarhuisique) y a aprox. 25 metros aguas arriba de su confluencia con la quebrada Huishui.
9	HID-QHuis1	611 448	8 334 517	2794	Quebrada Huishui, ubicada a 170 metros aprox. a la izquierda de la carretera que va hacia Sancos, cuya nacimiento es la laguna conocida como "Miami".
10	HID-RSanc2	612 194	8 334 181	2576	Río Sancos (aguas arriba del poblado de la comunidad campesina de Sancos), ubicada aprox. a 30 metros aguas abajo de la confluencia con la quebrada Huishui.
11	HID-QSN-12	614 441	8 334 642	3060	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 470 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Sancos, y a aprox. 120 metros antes de su confluencia con la quebrada Puchccuyacu.
12	HID-QYana1	613 924	8 334 915	3130	Quebrada Yanama, ubicada al sur del proyecto minero Sancos y a aprox. 500 metros aguas arriba del punto QYana2.
13	HID-QPuch1	614 314	8 333 898	2891	Quebrada Puchccuyacu, ubicada a aprox. 1890 metros de su confluencia con la quebrada Miskiyacu, las cuales



Handwritten blue ink signatures and initials.



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

N°	Código	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84 Zona 18 L			
		Este (m)	Norte (m)		
					forman un quebrada tributaria por la margen izquierdo del río Sancos
14	HID-QMisk1	614 509	8 333 560	2883	Quebrada Miskiyacu, ubicada a aprox. 1760 metros de su confluencia con la quebrada Puchchuyacu, las cuales forman una quebrada tributaria por la margen izquierda del río Sancos
<b>Río Para y sus tributarios</b>					
15	HID-QSN-16	617 617	8 337 896	3666	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 20 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Pueblo Nuevo y a aprox. 300 m de su confluencia con la quebrada denominada QSN-6.
16	HID-QSN-1	617 673	8 336 812	3490	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 10 metros al costado izquierdo de la carretera que va hacia la comunidad campesina de Pueblo Nuevo y a aprox. 1200 metros aguas arriba de su unión con la quebrada denominada QSN-3.
17	HID-QSN-10	617 603	8 334 326	3056	Quebrada sin nombre, ubicada a aprox. 25 metros aguas arriba de su unión con la quebrada Larapage.
18	HID-QLapa1	617 994	8 336 899	3490	Quebrada Larapage, ubicada al costado de la carretera que va de la CC de Pueblo Viejo hacia la CC de Para y a aprox. 2500 metros aguas arriba del punto QLapa2.
19	HID-QLapa2	617 783	8 334 284	3049	Quebrada Larapage, ubicada a aprox. 240 metros aguas arriba de su unión con la quebrada denominada QSN-10, quines forman una quebrada tributaria por la margen derecha al río Para.
20	HID-RPara1	618 270	8 332 894	2818	Río Para, ubicado a aprox. 150 metros aguas arriba de la comunidad campesina de Para.
21	HID-RPara2	618 382	8 332 516	2796	Río Para, ubicado a aprox. 200 metros aguas abajo de la comunidad campesina de Para.
<b>Manantiales del río Para</b>					
22	HID-Mana1*	618 981	8 332 924	2872	Manantial 1, ubicado aprox. a 500 metros al noreste de la comunidad campesina de Para.
23	HID-Mana2*	618 656	8 332 731	2868	Manantial 2, salida de agua transparente por un tubo de 2", ubicado aproximadamente a 90 metros al este de la comunidad campesina de Para.
24	HID-Mana3*	619 888	8 334 493	3206	Manantial 3, salida de agua transparente de montaña por 5 tubos de 2" dentro de una caja de registro con conexión a tuberías que brindan agua potable a la comunidad campesina de Para que está ubicada aproximadamente a 2,4 km al noreste del citado manantial.

(\*) Puntos de muestreo donde solo colectó la comunidad de perifiton.



## 9.2.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis

241. 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).
242. 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 9-9.

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

Equipos	Marca	Modelo	Características	Utilidad
GPS	GARMIN	OREGON 650	Medición de coordenadas UTM	Georeferenciación
Cámara fotográfica	CANON	D30	Registro fotográfico	Registro visual de las estaciones de muestreo
Red Surber	---	---	Red para el muestro de macroinvertebrados bentónicos de área de muestreo de 0,09 m <sup>2</sup> y abertura de malla de 500 µm.	Colecta de muestras de macroinvertebrados bentónicos en ambientes lóticos
Red de Arrastre	---	---	Red de pesca, arrastre hacia la orilla.	Colecta de muestras de peces

(--) no corresponde

243. Además de los equipos y materiales listados en la Tabla 9-10, se utilizaron otros materiales complementarios como guantes de látex y PVC, pisetas de 500 mL, cepillos, jeringas de 10 mL, frascos de polietileno de boca ancha de 250 mL y 1000 mL, formol y etanol como preservante, los cuales se usaron para la manipulación, colecta y preservación de las diferentes muestras.

### • Método de muestreo

244. Antes de iniciar el muestreo es necesario observar y describir la zona de trabajo, esto es de gran importancia para identificar los sitios más propicios para obtener muestras representativas de las comunidades que deseamos evaluar. Para este fin, se contó con fichas de campo que permitieron realizar anotaciones que describan la vegetación ribereña, el lecho del río, los sustratos elegidos para la colecta, tamaño de muestra, entre otras observaciones necesarias según el criterio del especialista (Ver Anexo C.2: Hojas de campo). Hecho esto, se continuó con la colecta de muestras de perifiton y macroinvertebrados bentónicos obedeciendo las siguientes pautas:

- Perifiton. Para la colecta de muestras de perifiton se obtuvieron raspados superficiales de piedras u otros sustratos sumergidos en un área de 8 cm<sup>2</sup> y 9 cm<sup>2</sup> (3 x 3 cm y 4 x 2 cm), este procedimiento se triplicó para obtener al final una muestra compuesta de 25 cm<sup>2</sup>. Para tal fin, del lado más regular de una piedra se delimitó un área de 3 x 3 cm, 4 x 2 cm y ayudados con un cepillo y una pizeta con agua destilada, se obtuvo un raspado (muestra) en un pote de



Handwritten blue ink marks, including a checkmark and several scribbles.



250 ml. La muestra final fue etiquetada y preservada con formol al 4 % (4 ml de formol por 100 ml de muestra) con la ayuda de una jeringa para su posterior análisis cualitativo y cuantitativo por especialistas del OEFA.

- ii. Macroinvertebrados bentónicos. Para la colecta de muestras de macroinvertebrados bentónicos se utilizó una red Surber de 500 µm de luz de malla y 0,09 m<sup>2</sup> (30 x 30 cm) de área. Para tal fin, se colocó el marco cuadrado de la red Surber en el fondo del ambiente a evaluar, en sentido contrario a la corriente, luego se removió con fuerza el sustrato con las manos para facilitar el desprendimiento de los organismos y queden atrapados en la red. El procedimiento anterior se realizó por triplicado obteniéndose una muestra compuesta de 0,27 m<sup>2</sup>. La muestra final fue vertida en potes de 1 L, etiquetada y preservada con etanol al 70% para su posterior análisis cualitativo y cuantitativo por el laboratorio respectivo.

245. Es necesario mencionar que al principio del monitoreo se tuvo contemplado coleccionar muestras de peces, sin embargo, esto no fue posible ya que los cuerpos de agua evaluados no presentaron condiciones favorables para pescar debido a la estacionalidad seca, que origina poco caudal en los ambientes acuáticos.

- **Métodos de análisis de muestras**

246. 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"<sup>42</sup>.
247. Las muestras de perifiton y macroinvertebrados bentónicos fueron analizadas por el laboratorio NSF Envirolab S.A.C, acreditado por el INACAL (ver Anexo B9) obedeciendo las directrices del Standard methods for examination of water and wastewater 22 nd (APHA 2012). En la Tabla 9-10 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 y la sistematización se encuentran en el Anexo C4 (C4.1., C4.2., C4.3., Perifiton y C4.4., C4.5. Macroinvertebrados bentónicos).

**Tabla 9-10.** Comunidades hidrobiológicas, parámetros y métodos de ensayo utilizados para los análisis hidrobiológicos

parámetro	cantidad de puntos	método de ensayo de referencia	unidad de conteo	técnica empleada	observaciones
Perifiton	24	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 300 C, 22nd Ed. 2012	Organismos/cm <sup>2</sup>	Identificación taxonómica y análisis cuantitativo	Identificado por el laboratorio de ensayo acreditado NSF Envirolab S.A.C.
MIB	21	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 500 C, 22nd Ed. 2012	Organismos/m <sup>2</sup>		

(MIB) Macroinvertebrados bentónicos  
Fuente: Informes de ensayo

<sup>42</sup> 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.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

248. 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.

### 9.2.3. Estándares de comparación y análisis de datos

249. En lo que respecta a la identificación taxonómica y análisis cuantitativo de muestras de las comunidades hidrobiológicas no existen estándares de comparación nacionales. A nivel de la Comunidad Económica Europea existe la Directiva Marco del Agua (DOCE 2000), norma que contempla la estimación de del estado ecológico de los ecosistemas mediante el uso de macro invertebrados bentónicos, sin embargo, esta no sería aplicable al Perú por necesitarse una adaptación que incluya una comparación con condiciones de referencia locales.

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

#### a. Composición, riqueza y abundancia

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

252. La evaluación de la riqueza y la abundancia del perifiton y macroinvertebrados bentónicos se desarrolló en base a la categoría taxonómica de phylum y orden respectivamente. Se utilizó el programa Excel y se sistematizaron los valores de riqueza y abundancia por la categoría taxonómica elegida y punto de muestreo a partir de los resultados de análisis de muestras; enseguida se hicieron las correspondientes representaciones mediante gráficas acumuladas por punto de muestreo.

253. Es necesario indicar, que los resultados de abundancia se analizaron en base a la densidad de la muestra; sin embargo, los resultados de cada comunidad hidrobiológica se presentó en número de organismos para mejorar el entendimiento de la distribución de la abundancia en cada punto de muestreo.

#### b. Diversidad alfa

254. La diversidad alfa está relacionada al número de especies de un grupo indicador que se encuentra en una determinada estación o área que puede variar mucho de un lugar a otro, aún dentro de un mismo tipo de comunidad y en un mismo ecosistema (Moreno & Halffter, 2000).

#### - Números de Hill (diversidad verdadera)

255. 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).

256. 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 estación de muestreo para cada comunidad hidrobiológica. Para ello, se usó la variable N1 como la modificación del índice Shannon (H') (Jost, 2006) que tiene como fórmula:

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

Donde:

H: Es el índice de Shannon.

257. Por otro lado, se usó la variable N2 como la modificación del índice de Simpson (D) (Jost, 2006) que tiene como fórmula:

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

258. 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).

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

Donde:

J': Índice de equidad de Pielou.

H': Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

$$H'_{max} = Ln(S) \quad (9.4)$$

Donde:

S: Número de especies.

### c. Diversidad beta

259. 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

260. Para la evaluación de diversidad beta se utilizó el coeficiente de similitud de Bray Curtis en base a la similitud de especies entre estaciones 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).

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

$$IBC = 1 - \frac{(\sum xi - yi)}{(\sum xi + yi)} \quad (9.5)$$

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.

262. Para facilitar el análisis de los valores de similitud de manera visual, se procedió a la elaboración de dendrogramas mediante la unión de pares promedio (Sokal & Michener, 1958; Crisci y López, 1983) mediante el software Paleontological Data Analysis PAST v3.15 (Hammer et al. 2001). Esta gráfica resume la similitud de las especies entre dos puntos de muestreo.

#### d. Calidad ecológica

263. La evaluación de calidad ecológica se realizó tomando como base metodológica el "Protocolo Simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)" (Encalada et al. 2011). Para su aplicación, se eligió en el sitio de muestreo un tramo que midió entre 50 y 100 m de longitud, en el cual se observaron y valoraron dos grupos de variables:

- Las características hidromorfológicas: incluye observaciones de vegetación de ribera, paisaje próximo al río y algunos elementos del canal del río como su forma y sustrato. Mediante estas observaciones se estimará la calidad hidromorfológica.
- Los organismos que habitan el agua: los macroinvertebrados bentónicos. Con información de la composición de especies por estación de muestreo y el respectivo valor de tolerancia de cada orden taxonómico se estimará la calidad biológica.

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

- i. Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera
- ii. Continuidad de la ribera
- iii. Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje
- iv. Presencia de basuras y escombros
- v. Naturalidad del canal fluvial
- vi. Composición del sustrato
- vii. Regímenes de velocidad y profundidad del río
- viii. Elementos de heterogeneidad





265. El criterio de elección del puntaje respectivo para cada característica es detallado en el Anexo C5. Una vez obtenidas las puntuaciones para cada característica hidromorfológica se procedió obtener una sumatoria de todas ellas, con la finalidad de tener un solo valor por punto de muestreo. Finalmente, para obtener el respectivo valor de calidad hidromorfológica, dichos valores fueron comparados con la siguiente escala (Tabla 9-11):

Tabla 9-11. Calidad hidromorfológica del río

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

Fuente: Ríos-Touma *et al.*, 2014

266. La calidad biológica del agua se estimó a través del índice biótico *Andean Biotic Index* (Ríos-Touma *et al.*, 2014), el cual fue desarrollado para evaluar la calidad de agua de ríos alto andinos ubicados a más de 2000 m de altitud. Este índice estima la calidad del agua atribuyendo a cada familia taxonómica presente en una muestra un valor de intolerancia (0-10), luego los valores de intolerancia hallados por todas las familias presentes en la muestra son sumados y se obtiene un valor final que es comparado con las puntuaciones de la Tabla 9-12. El valor asignado a cada familia es directamente proporcional a su intolerancia (ver Anexo C5).

Tabla 9-12. Valoración de la calidad biológica con el índice ABI

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

Fuente: Ríos-Touma *et al.*, 2014

267. La calidad ecológica se obtuvo combinando las valoraciones de calidad hidromorfológica y calidad biológica. Por ejemplo: si el resultado de combinar las dos evaluaciones es azul, entonces la calidad ecológica del río es excelente; si es verde, es buena; si es amarilla, es moderada; si es naranja, es mala; y por último si es roja, es pésima. Otras combinaciones también son posibles (Tabla 9-13).

Tabla 9-13. Escala de calidad ecológica de un río

		Calidad Biológica				
		Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
Calidad Hidromorfológica	Excelente	Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Buena	Buena	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Moderada	Buena	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Mala	Mala	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Pésima	Moderada	Mala	Mala	Pésima	Pésima

Fuente: Ríos-Touma *et al.*, 2014

Handwritten signature

Handwritten signature

**9.3. Calidad de suelo**

268. 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.

**9.3.1. Ubicación de los puntos de muestreo**

269. En la Tabla 9-14, se presenta la cantidad, codificación, coordenadas y descripción de los puntos de muestreo para la determinación de niveles de fondo. Su distribución espacial en el área de estudio se presenta en el Anexo D1.

270. Para determinar la ubicación de los puntos de muestreo de nivel de fondo se consideró la geología regional. Los puntos de nivel de fondo se establecieron en la formación geológica Grupo Tacaza, tomando en cuenta la proximidad a las áreas donde se han desarrollado trabajos de exploración del proyecto en mención, asimismo también se consideró el uso actual del suelo.

**Tabla 9-14.** Puntos de muestreo de calidad ambiental de suelo para la evaluación de nivel de fondo

N°	Código del punto	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84			
		Zona 18L			
Esté (m)	Norte (m)				
1	SUE-SAN-01	613 498	8 335 206	3171	Al suroeste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
2	SUE-SAN-02	613 411	8 335 267	3191	Al suroeste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
3	SUE-SAN-03	613 606	8 335 279	3207	Al suroeste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
4	SUE-SAN-04	613 518	8 335 378	3228	Al suroeste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
5	SUE-SAN-05	613 592	8 335 449	3247	Al suroeste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
6	SUE-SAN-06	613 176	8 335 626	3213	Al suroeste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

N°	Código del punto	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84			
		Zona 18L			
Este (m)	Norte (m)				
					diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
7	SUE-SAN-07	613 095	8 335 741	3203	Al suroeste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos) propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
8	SUE-SAN-08	613 141	8 335 818	3217	Al suroeste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
9	SUE-SAN-09	613 174	8 335 880	3218	Al suroeste del cerro Ñahuato, Área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos) propios de la zona). Suelo compacto color marrón oscuro con gravas.
10	SUE-SAN-10	614 818	8 337 435	3745	Al norte del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
11	SUE-SAN-11	614 914	8 337 542	3765	Al norte del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
12	SUE-SAN-12	614 997	8 337 549	3786	Al norte del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
13	SUE-SAN-13	615 265	8 338 014	3852	Al norte del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
14	SUE-SAN-14	615 363	8 338 133	3851	Al norte del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
15	SUE-SAN-15	615 378	8 338 029	3855	Al norte del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales,



Handwritten signature and initials in blue ink.



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

N°	Código del punto	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84			
		Zona 18L			
		Este (m)	Norte (m)		
					zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
16	SUE-SAN-16	614 967	8 336 925	3780	Al norte del cerro Ñahualto, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
17	SUE-SAN-17	615 016	8 337 084	3766	Al norte del cerro Ñahualto, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
18	SUE-SAN-18	614 839	8 336 959	3767	Al norte del cerro Ñahualto, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
19	SUE-PAR-01	616 777	8 334 301	3281	Al sureste del cerro Ñahualto, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
20	SUE-PAR-02	616 750	8 334 432	3263	Al sureste del cerro Ñahualto, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
21	SUE-PAR-03	616 627	8 334 605	3275	Al sureste del cerro Ñahualto, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
22	SUE-PAR-04	616 642	8 334 441	3285	Al sureste del cerro Ñahualto, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
23	SUE-PAR-05	616 157	8 334 523	3370	Al sureste del cerro Ñahualto, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y





"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

N°	Código del punto	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)	Referencia
		Datum WGS 84			
		Zona 18L			
Este (m)	Norte (m)				
					auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
24	SUE-PAR-06	616 083	8 334 576	3379	Al sureste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
25	SUE-PAR-07	616 148	8 334 404	3376	Al sureste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.
26	SUE-PAR-08	616 197	8 334 287	3385	Al sureste del cerro Ñahuato, área natural de crecimiento de pastizales y quenuales, zona de pastoreo ocasional de diversos tipos de ganado (vacuno, ovino y auquénidos propios de la zona). Suelo compacto color marrón claro con gravas y arcilla.

### 9.3.2. Protocolos, equipos y técnicas de análisis

271. Las actividades de muestreo se realizaron tomando en consideración las recomendaciones establecidas en guías y protocolos que se detallan en la Tabla 9-15.

**Tabla 9-15.** 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 – Minam	R.M. N° 085-2014-MINAM.	2014

272. Para obtener las muestras se utilizó dependiendo las características del suelo el barreno (en suelos sin grava) y la pala de acero (en suelos con grava) ambos se utilizaron para extraer muestras de suelo a una profundidad de muestreo de hasta 30 cm. De esta manera, conforme a la guía en mención, se determinó realizar un muestreo compuesto<sup>43</sup> 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.

<sup>43</sup> 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.



273. 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 el muestreo de calidad ambiental de suelo se muestran en la Tabla 9-16.

**Tabla 9-16.** Equipos utilizados para el muestreo de calidad de suelos

Equipos	Marca	Modelo	Serie	Observaciones
GPS	Garmin	Montana 680	092051001605	Registro de coordenadas geográficas en sistema WGS 84 UTM.
Cámara digital	Canon	D30	4HU005029	Registro fotográfico
Pala de acero	...	...	...	Herramienta de fácil manipulación para coleccionar el suelo superficial hasta unos 30 cm, se usó durante el muestreo, debido que, el suelo presenta gravas y guijarros en el suelo lo cual dificulta el uso del barreno.

(...): No corresponde

274. Los parámetros seleccionados para la evaluación del nivel de fondo de suelos fueron los que se muestran en la Tabla 9-17.

**Tabla 9-17.** Parámetros y cantidad de puntos de muestreo para la evaluación de calidad de suelo

Centros Poblados	Parámetros analizados	
	Metales totales	Cianuro total
Sancos	18	18
Para	8	8
Puntos duplicados	3	0
Total	29	26

275. El muestreo contó con el aseguramiento de la calidad realizándose 3 duplicados de las 26 muestras extraídas, lo cual se detalla en la Tabla 9-18.

**Tabla 9-18.** Parámetros de control de calidad

Componente	Parámetro	Control	Número Muestras
Suelo	Metales totales por ICP (Incluye mercurio)	Duplicado	3

276. En la selección de los parámetros para la evaluación se tomó como referencia los lineamientos establecidos en la "Guía para el Muestreo de Suelos", el cual determina evaluar metales y metaloides. La Tabla 10 detalla la lista de los 35 metales y metaloides y sus métodos de análisis empleados por el Laboratorio AGQ Perú S.A.C., así como los límites de cuantificación del laboratorio para cada parámetro. Las cadenas de custodia, los resultados de laboratorio y la sistematización de la información se presentan en el Anexo D4. Los registros fotográficos de los puntos de muestreo se presentan en el Anexo D3.

**Tabla 9-19.** Métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para metales y metaloides del presente estudio

Parámetro	Metales Totales		
	PNT	Técnica	Rango (mg/kg PS) *
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



Parámetro	Metales Totales		
	PNT	Técnica	Rango (mg/kg PS) *
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

277. Complementariamente también se evaluó el cianuro total del suelo en todos los puntos de muestreo realizado. En la Tabla 9-20, se detalla los métodos de análisis empleados por el Laboratorio AGQ Perú S.A.C.

**Tabla 9-20.** Métodos de análisis y rangos de los límites de determinación para cianuro total

Parámetro	Calidad de suelos		
	PNT	Técnica	Rango
Cianuro total	EPA 9013/SM, 4500 CN-C, FEd 22	Electrometría	0,30 – 1 000 mg/kg PS

PNT: Procedimiento normalizado de trabajo / ND: No determinado

Fuente: AGQ Perú S.A.C.

#### 9.4. Tejido vegetal

278. En los apartados siguientes se muestra información acerca del muestreo realizado para evaluar el contenido de metales totales en los pastos naturales (ichu) en el área de influencia del proyecto Sancos, consignándose la ubicación de los puntos





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

#### 9.4.1. Ubicación de los puntos de muestreo

279. El área de estudio comprende el área de influencia del proyecto minero Sancos ubicado en los distritos de Sancos y Chaviña, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.
280. En relación a la toma de muestras de pastos, las áreas de pastizales escogidos fueron de acuerdo a la proximidad al proyecto Sancos. Estos puntos de colecta fueron los que se describen en la Tabla 9-22 y su distribución se puede observar en el mapa de ubicación del Anexo E1 y el registro fotográfico se detalla en el Anexo E3.

Tabla 9-21. Puntos de muestreo para la evaluación de metales en tejido vegetal

N°	Código de punto	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Referencia
		Datum WGS 84 Zona 18 L			
		Este (m)	Norte (m)		
1	TEJ-SAN-01	613 411	8 335 267	3191	Al suroeste del cerro Ñahuato
2	TEJ-SAN-02	613 141	8 335 818	3217	Al suroeste del cerro Ñahuato
3	TEJ-SAN-03	614 818	8 337 435	3745	Al norte del cerro Ñahuato
4	TEJ-SAN-04	615 363	8 338 133	3851	Al norte del cerro Ñahuato
5	TEJ-SAN-05	614 967	8 336 925	3780	Al norte del cerro Ñahuato
6	TEJ-PAR-01	616 777	8 334 301	3281	Al sureste del cerro Ñahuato
7	TEJ-PAR-02	616 157	8 334 523	3370	Al sureste del cerro Ñahuato

#### 9.4.2. Protocolo y técnicas de análisis

281. Para realizar el muestreo de tejido vegetal 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 la Comunidad Europea.
282. La muestra correspondió de la toma de 10 submuestras desde un punto central en un radio de 30 metros, para formar una muestra compuesta de aproximadamente 1000 gr.
283. En este sentido, los equipos y materiales utilizados para la colecta de frutos se detallan en la Tabla 9-23.

Tabla 9-22. Características de los equipos accesorios y otros materiales utilizados en la toma de muestra de tejido vegetal

Equipos	Marca	Modelo	Serie	Observaciones
Cámara fotográfica	Canon	D30	092051001605	Herramienta usada para el registro visual de las zonas evaluadas.
GPS	Garmin	Montana 680	4HU005029	Registro de coordenadas geográficas en sistema WGS 84 UTM.

284. Las muestras de tejido vegetal de aproximadamente 1000 gr, fueron almacenadas con ice pack en un cooler; el método de referencia y la metodología utilizado por el laboratorio AGQ Perú S.A.C. se muestran en la Tabla 9-24.

Tabla 9-23. Métodos de ensayo utilizados por la medición de material particulado



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Parámetros	Método de ensayo de referencia	Técnica empleada	Laboratorio
Metales totales	ICP-MS en tejido vegetal	PE 324	AGQ Perú S.A.C.

## 10. RESULTADOS Y ANÁLISIS

285. Los resultados y el análisis de los componentes agua a nivel superficial, comunidades hidrobiológicas, suelo y tejido vegetal son descritos a continuación.

286. Para la evaluación de agua superficial y suelo, se han utilizado análisis hidroquímicos y métodos estadísticos, como ya fue indicado en el marco conceptual.

### 10.1. Calidad de agua

287. Los resultados de calidad de agua de los 24 puntos de muestreo (sin considerar los cuerpos de agua secos) y el análisis de los mismos, se han separado en cuatro 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 Control de calidad.

288. Asimismo, dichos resultados se han dividido en tres grupos de evaluación en relación al ámbito de los distritos: a) río Sancos y sus tributarios y b) río Para y sus tributarios y c) Manantiales.

289. Con respecto a lo anterior, los resultados correspondientes a los ríos Sancos y Para con sus tributarios y la relación de metales con los sólidos suspendidos y disueltos han sido representados a través de gráficos, mientras que los correspondientes a los manantiales, el balance iónico y la relación entre los metales disueltos y suspendidos han sido consignados en tablas.

#### 10.1.1. Evaluación de la calidad ambiental

290. En esta sección del informe se muestran los parámetros correspondientes al río Para, sus tributarios y manantiales que excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2, para los ríos y quebradas, y los ECA para agua Cat3D1, Cat3D2 y Cat1A1 referencialmente para los manantiales.

291. Las concentraciones de otros parámetros, evaluados y no indicados en esta sección, como la conductividad, bicarbonatos, cloruros, nitratos, sulfatos, Demanda Química de Oxígeno (DQO), cianuro WAD y los metales en su forma total: mercurio, arsénico, bario, berilio, boro, cadmio, cobalto, cromo, cobre, litio, magnesio, níquel, plomo, selenio y zinc no excedieron los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2, mientras el oxígeno disuelto registro concentraciones mayores a los valores de las citadas categorías de los ECA para agua.

292. De otro lado, las concentraciones de los sólidos disueltos totales (SDT), cromo hexavalente (VI) (menores al límite de cuantificación) y los metales: calcio, molibdeno y vanadio (menores al límite de cuantificación analítico) estuvieron por debajo de los valores de riego y ganado establecidos en la Guía Canadiense



*[Handwritten signature]*

(CEQG-WQG)<sup>44</sup>, los cuales fueron considerados referencialmente para los ríos y quebradas.

a) Río Sancos y sus tributarios

293. Como se puede observar de la Figura 10-1, los valores de pH del río Sancos y sus tributarios tienen características ácidas y menor a los rangos establecidos en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2, con valores de pH menores a 4,00 unidades de pH en las quebradas Chuñuchani (QChuñ1), sin nombre (QSN-14), Yanama (QYana1) y Puchccuyacu (QPuch1).

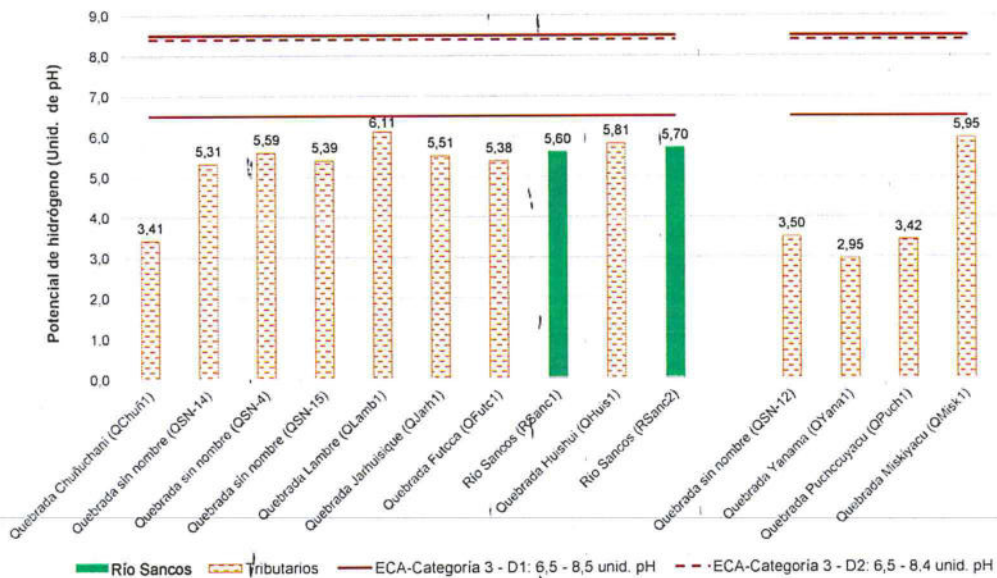


Figura 10-1. Resultados de pH en el río Sancos y sus tributarios

294. La concentración de aluminio en su forma total excedió el valor establecido en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2 en los puntos de muestreo QChuñ1, QSN-12, QYana1 y QPuch1 (ver Figura 10-2), y la concentración de manganeso en su forma total excedió el valor establecido en la Cat3D1 y Cat3D2 de los ECA para agua en 8 de los 14 puntos de muestreo evaluados (ver Figura 10-3), entre los cuales la quebrada Chuñuchani (QChuñ1) registró la mayor concentración.

<sup>44</sup> Cabe resaltar que el límite de cuantificación (0,01 mg/L) del cromo hexavalente (VI) es mayor al valor establecido en la CEQG-WQG para riego (0,008 mg/L).



*[Handwritten signatures and initials in blue ink]*

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

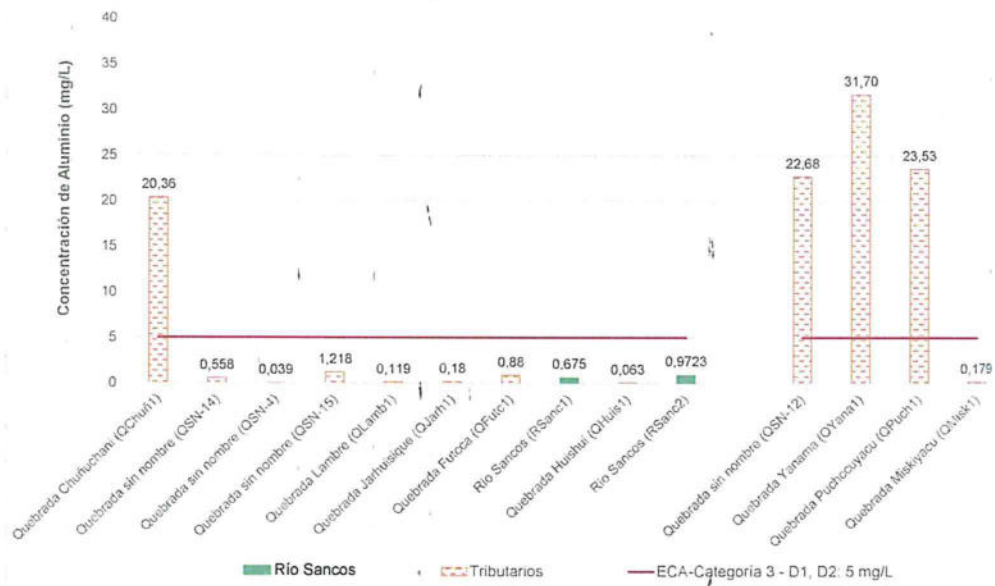


Figura 10-2. Resultados de aluminio total en el río Sancos y sus tributarios



*[Handwritten signature]*

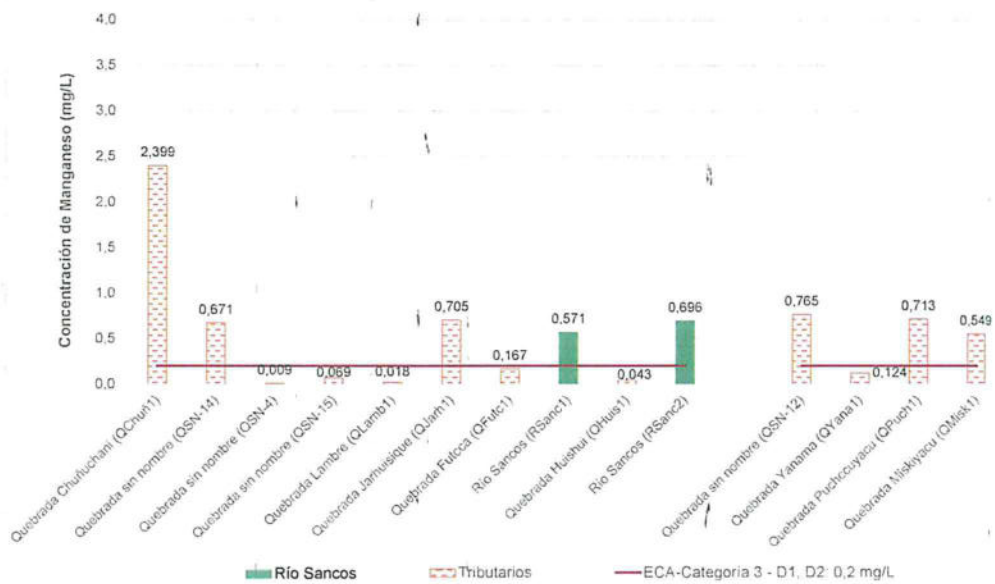
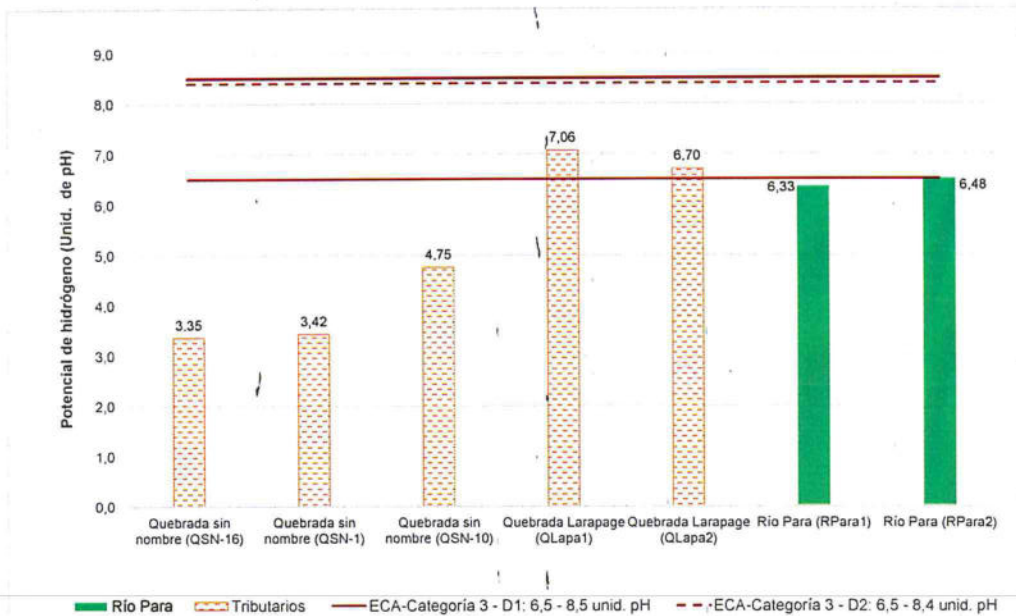


Figura 10-3. Resultados de manganeso total en el río Sancos y sus tributarios

**b) Río Para y sus tributarios**

295. Como se puede observar en la Figura 10-4, el pH del río Para y sus tributarios, excepto la quebrada Larapage en QLapa1 y QLapa2, fue ácido y menor a los rangos establecidos en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2, con registro de pH menor a 5 en las quebradas sin nombre QSN-16, QSN-1 y QSN-10. En tanto, la quebrada Larapage registró el valor de pH cercano a la neutralidad en QLapa1 (7,06 unid. de pH) y ácido (6,70 unid. de pH), los cuales se encuentran en los rangos establecidos en la Cat3D1 y Cat3D2 del citado ECA para agua.



**Figura 10-4. Resultados de pH en el río Para y sus tributarios**

296. Mientras las concentraciones de aluminio en su forma total excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2 en las quebradas tributarias al río Para sin nombre QSN-16, QSN-1 y QSN-10, ver Figura 10-5.



Handwritten signature and initials in blue ink.

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

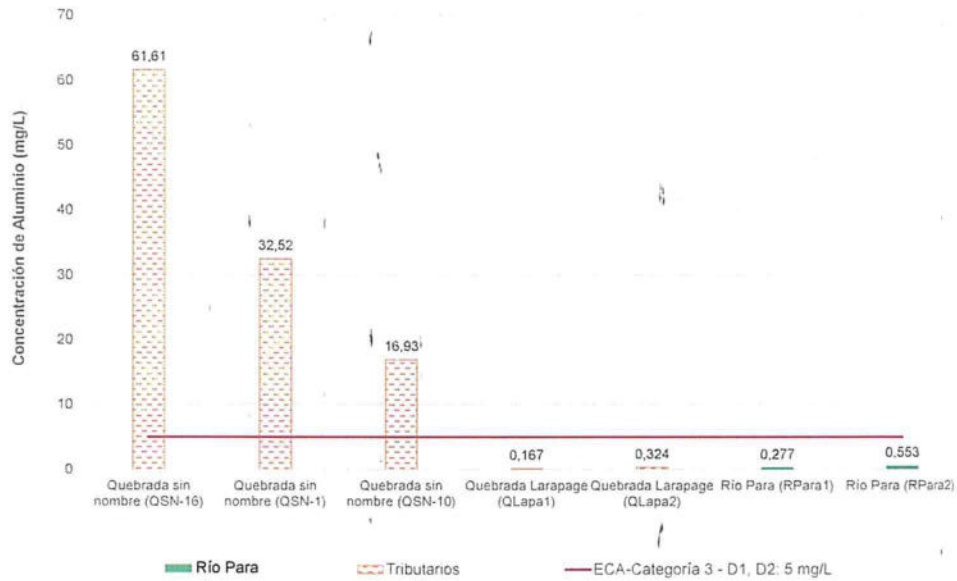


Figura 10-5. Resultados de aluminio total en el río Para y sus tributarios

297. La concentración de hierro en su forma total excedió el valor establecido en los ECA para agua Cat3D1 en la quebrada sin nombre (QSN-16), tributaria al río Para, ver Figura 10-6. Asimismo, la concentración de manganeso excedió el valor establecido en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2 en las quebradas sin nombre (QSN-16, QSN-1 y QSN-10) tributarias al río Para, ver Figura 10-7.

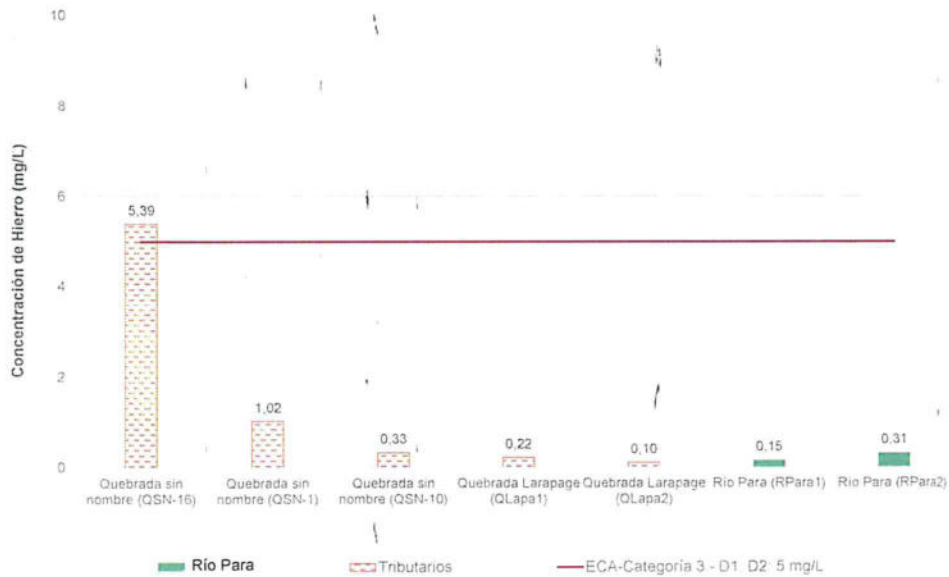


Figura 10-6. Resultados de hierro total en el río Para y sus tributarios



*[Handwritten signature]*

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

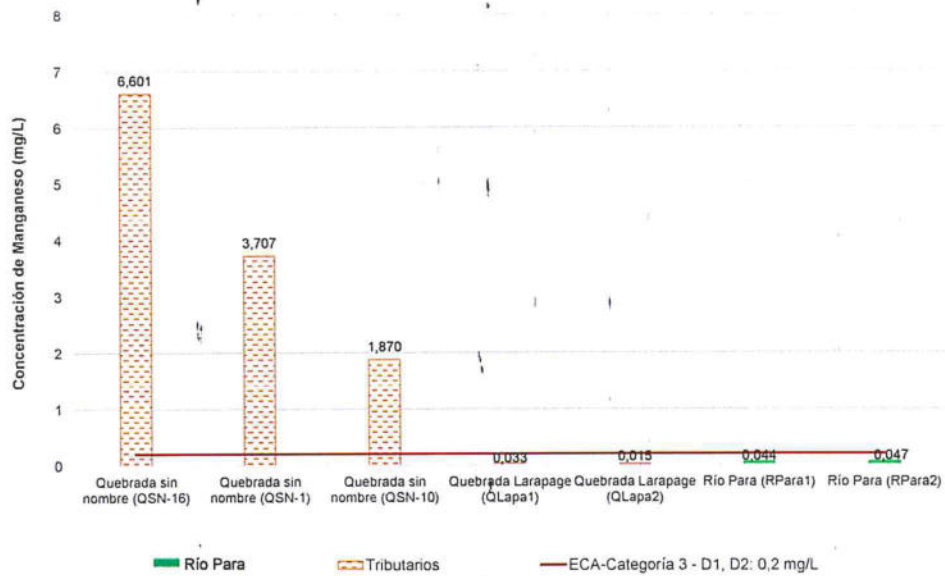


Figura 10-7. Resultados de manganeso total en el río Para y sus tributarios

298. La concentración de cobalto en su forma total excedió el valor establecido en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2 en las quebradas sin nombre (QSN-16 QSN-1 y QSN-10) tributaria al río Para, ver Figura 10-8.

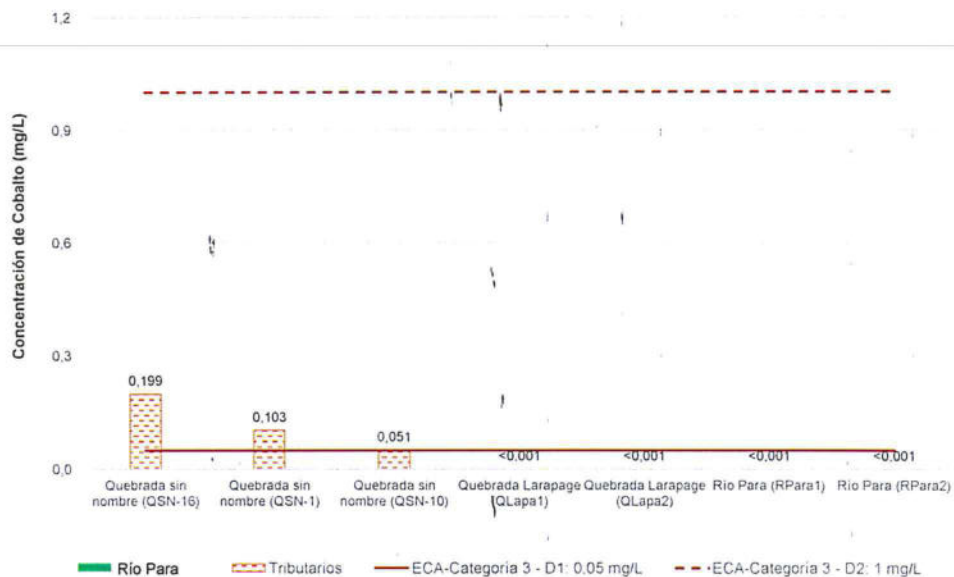


Figura 10-8. Resultados de cobalto total en el río Para y sus tributarios

c) Manantiales

299. De acuerdo a lo indicado en la Tabla 10-1, en los tres manantiales evaluados: Mana1, Mana2 y Mana3, la concentración de oxígeno disuelto fue menor al mínimo valor establecido en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2. Asimismo,



*[Handwritten signature]*



también fue menor al mínimo el valor establecido en los ECA para agua Cat1A1 por las concentraciones de sulfatos en el Manantial 1 (Mana1). Con respecto a las concentraciones de arsénico total en los tres manantiales, estos excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat1A1, y en el punto Mana1 su concentración de arsénico excedió el valor establecido en la Cat3D1 de los ECA para agua.

Tabla 10-1. Resultados que excedieron los ECA para agua en los manantiales

Parámetros	Unidades	Manantial sin nombre (Mana1)	Manantial sin nombre (Mana2)	Manantial sin nombre (Mana3)	ECA-Cat3			ECA-Cat1A1
					D1	D2	APD	
					ANR	AR	BA	APD
Oxígeno Disuelto	mg/L	1,34	4,29	2,99	>=4	>=5	>=6	
Sulfatos	mg/L	430,5	90,2	13,6	1000	1000	250	
Arsénico total	mg/L	0,203	0,024	0,037	0,1	0,2	0,01	
Boro total	mg/L	1,955	1,032	0,769	1	5	2,4	

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".

ANR: Agua para riego no restringido, AR: Agua para riego restringido, BA: Bebida de animales y APD: Aguas que pueden ser potabilizadas por desinfección.

- : Excede el valor de los ECA para agua, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales.
- : Excede el valor de los ECA para agua, Categoría 1, Subcategoría A1: Poblacional y recreacional.
- : Excede los ECA para agua, Categoría 3, Subcategorías D1: riego de vegetales y D2: Bebida de animales y Categoría 1, Subcategoría A1: Poblacional y recreacional.

300. Finalmente, en los manantiales Mana1 y Mana2, sus concentraciones de boro total excedieron solamente el valor establecido en los ECA para agua Cat3D1.

### 10.1.2. Comportamiento de los metales disueltos y suspendidos

301. Previamente al análisis llevado a cabo en esta 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.

#### 10.1.2.1. Relación entre los metales disueltos y suspendidos

302. 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 los ríos Sancos y Para con sus tributarios y los manantiales. De los resultados obtenidos, se destacaron aquellos metales cuyos porcentajes fueron predominantes (mayores al 50 %), tanto en forma disuelta como suspendida.

303. En la Tabla 10-2 se muestra los metales que predominaron en su forma disuelta en el río Sancos y sus tributarios: bario, calcio, estroncio, magnesio, manganeso (excepto en QLamb1), potasio (excepto en QMisk1), sodio y silicio. Mientras las formas suspendidas y disueltas del zinc, aluminio y hierro fueron variables. De la misma manera, en la Tabla 10-3 se muestra los metales que predominaron en su forma disuelta en el río Para y sus tributarios: bario, calcio, estroncio, magnesio, manganeso (excepto en RPara1), potasio, sodio y silicio. En tanto, las formas suspendidas del zinc, aluminio y hierro fueron variables. Finalmente, en la Tabla 10-4 se muestra los metales que predominaron en los manantiales en su forma disuelta: arsénico, bario, boro, calcio, estroncio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, potasio, sodio, silicio y zinc (excepto en Mana3). Mientras, el potasio y aluminio predominaron en su forma suspendida en dos manantiales (Mana1 y Mana2) y el hierro en un manantial (Mana3).



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-2. Relación de los metales disueltos y suspendidos en el río Sancos y sus tributarios

Punto de Muestreo	Unidad	Bario		Calcio		Estroncio		Magnesio		Manganeso		Potasio		Sodio		Silicio		Zinc		Aluminio		Hierro	
		Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.	Sus.	Dis.
Quebrada Chuñuchani (QChuñ1)	%	13	87	0	100	1	99	2	98	2	98	4	96	4	96	6	94%	15	85	2	98	1	99
Quebrada Sin nombre (QSN-14)	%	14	86	13	87	11	89	13	87	14	86	11	89	16	84	12	88%	25	75	22	78	84	16
Quebrada Sin nombre (QSN-4)	%	17	83	8	92	3	97	9	91	9	91	6	94	11	89	5	95%	64	36	79	21	72	28
Quebrada Sin nombre (QSN-15)	%	25	75	7	93	9	91	7	93	14	86	8	92	2	98	11	89%	73	27	98	2	97	3
Quebrada Lambre (QLamb1)	%	9	91	3	97	1	99	5	95	67	33	9	91	6	94	5	95%	68	32	86	14	78	22
Quebrada Jarhuisque (QJarh1)	%	9	91	3	97	8	92	1	99	2	98	6	94	3	97	1	99%	42	58	83	17	96	4
Quebrada Futuca (QFuc1)	%	6	94	1	99	0	100	6	94	6	94	18	82	1	99	5	95%	50	50	92	8	97	3
Río Sancos (RSanc1)	%	8	92	1	99	6	94	8	92	6	94	17	83	11	89	7	93%	25	75	57	43	75	25
Quebrada Huishui (QHuis1)	%	25	75	6	94	1	99	7	93	7	93	1	99	5	95	5	95%	31	69	83	17	77	23
Río Sancos (RSanc2)	%	18	82	8	92	9	91	3	97	4	96	6	94	4	96	4	96%	14	86	73	27	93	7
Quebrada Sin nombre (QSN-12)	%	15	85	2	98	2	98	1	99	1	99	4	96	2	98	2	98%	12	88	0	100	10	90
Quebrada Yanama (QYana1)	%	12	88	2	98	6	94	3	97	5	95	3	97	6	94	5	95%	3	97	4	96	17	83
Quebrada Puchcuyacu (QPuch1)	%	18	82	6	94	2	98	7	93	4	96	12	88	10	90	5	95%	12	88	4	96	7	93
Quebrada Miskiyacu (QMisk1)	%	8	92	11	89	6	94	13	87	49	51	51	49	15	85	10	90%	60	40	97	3	98	2

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

Rango de colores de los porcentajes

<50 % de Sus. y Dis.	50 % de Dis. y Sus.	>50 % de Sus.	>50 % de Dis.
----------------------	---------------------	---------------	---------------

Handwritten signatures and initials





PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-3. Relación de los metales disueltos y suspendidos en el río Para y sus tributarios

Table with 18 columns: Punto de Muestreo, Unidad, Bario, Calcio, Estroncio, Magnesio, Manganeseo, Potasio, Sodio, Silicio, Zinc, Aluminio, Hierro. Rows include Quebrada Sin nombre (QSN-16), Quebrada Sin nombre (QSN-1), Quebrada Sin nombre (QSN-10), Quebrada Larapage (QLapa1), Quebrada Larapage (QLapa2), Río Para (RPara1), and Río Para (RPara2).

<L.C.: Menor al límite de Cuantificación. Sus.: Forma suspendida y Dis.: Forma disuelta.

Rango de colores de los porcentajes

Color scale legend: <50 % de Sus. y Dis. (Yellow), 50 % de Dis. y Sus. (Orange), >50 % de Sus. (Red), >50 % de Dis. (Green).

Tabla 10-4. Relación de los metales disueltos y suspendidos en los manantiales

Table with 18 columns: Punto de Muestreo, Unidad, Arsénico, Bario, Boro, Calcio, Estroncio, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Potasio, Sodio, Silicio, Zinc, Aluminio, Hierro. Rows include Manantial (Mana1), Manantial (Mana2), and Manantial (Mana3).

<L.C.: Menor al límite de Cuantificación. Sus.: Forma suspendida y Dis.: Forma disuelta.

Rango de colores de los porcentajes

Color scale legend: <50 % de Sus. y Dis. (Yellow), 50 % de Dis. y Sus. (Orange), >50 % de Sus. (Red), >50 % de Dis. (Green).



Handwritten signature in blue ink



$$\text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) = 0,0108 * \text{Suma de cationes (meq/L)} \quad (10.3)$$

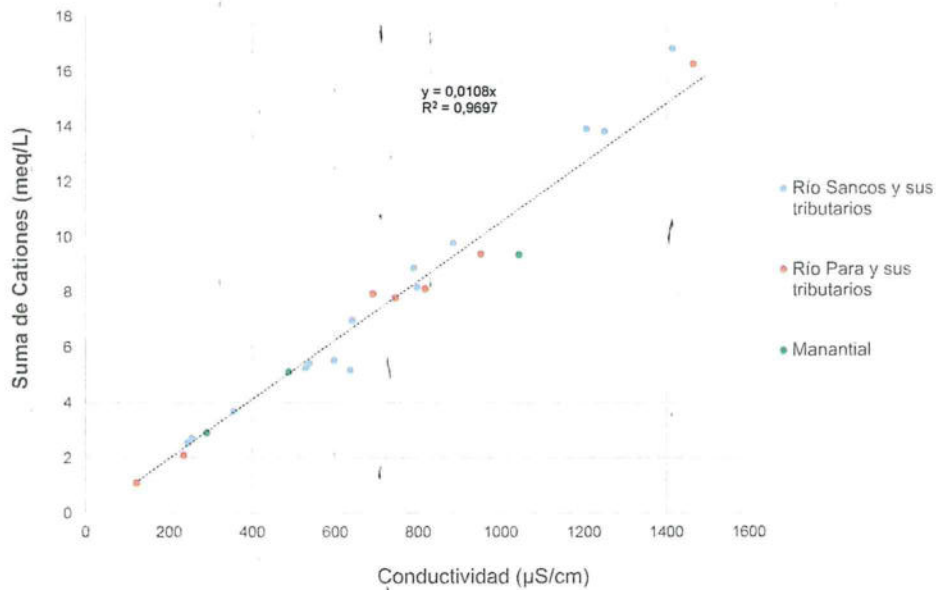


Figura 10-10. Relación lineal entre la conductividad y la suma de cationes

309. En tanto, la relación lineal entre la conductividad y la suma de aniones, ver Figura 10-11, donde se consideró las concentraciones de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), se obtuvo la siguiente ecuación con un  $R^2$  de 0,9559:

$$\text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) = 0,0105 * \text{Suma de aniones (meq/L)} \quad (10.4)$$

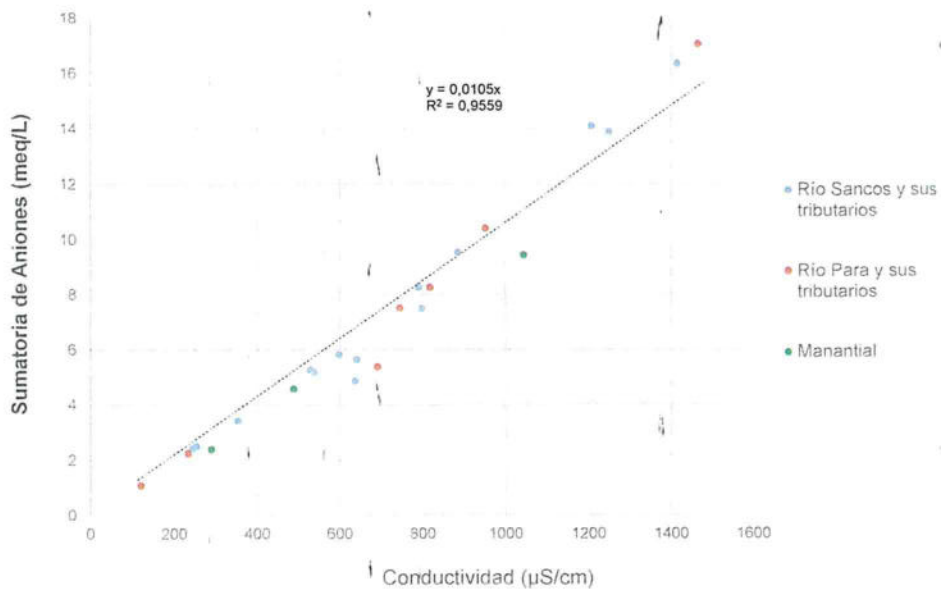


Figura 10-11. Resultados lineal entre la conductividad y la suma de aniones



Handwritten signature in blue ink.



310. Para ambos casos las ecuaciones registraron un  $R^2$  alrededor de 0,96, por lo que indican una buena relación entre dichos parámetros, menor a la relación entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT).
311. Para el caso la relación entre los SDT con la conductividad y la suma de aniones de cada uno de los puntos de muestreo para la relación, ver Tabla 10-5, podemos indicar que el Manantial Mana1 registra valor  $K$  mayor al rango establecido de 0,5 a 0,85 por N.R.G. Walton, 1989, mientras que la quebradas Sin nombre QSN4 y Larapage en QLapà2 registraron valor de  $K$  igual a la máxima cota del rango (0,85).

**Tabla 10-5.** Valores  $K$  de la relación de los SDT y conductividad y pendiente de la suma de iones con la conductividad

Punto de muestreo	$K = \text{SDT} / \text{Conductividad}$	$100 * \sum \text{Cationes} / \text{Conductividad}$	$100 * \sum \text{Aniones} / \text{Conductividad}$
Quebrada Lambre (QLamb1)	0,70	1,07	0,99
Quebrada Sin nombre (QSN15)	0,71	1,04	0,97
Quebrada Sin nombre (QSN14)	0,78	0,93	0,98
Quebrada Sin nombre (QSN4)	0,85	1,05	0,99
Quebrada Chuñuchani (QChuñ1)	0,81	1,03	0,94
Quebrada Jarhuisque (QJarh1)	0,70	1,19	1,16
Quebrada Futcca (QFutcc1)	0,76	1,11	1,08
Río Sancos (RSanc1)	0,75	1,11	1,11
Quebrada Huishui (QHuis1)	0,77	1,13	1,05
Río Sancos (RSanc2)	0,73	1,16	1,17
Quebrada Yanama (QYana1)	0,78	0,82	0,77
Quebrada Sin nombre (QSN12)	0,72	1,00	1,00
Quebrada Puchccuyacu (QPuch1)	0,70	1,01	0,97
Quebrada Miskiyacu (QMisk1)	0,76	1,10	0,88
Quebrada Sin nombre (QSN16)	0,79	1,11	1,17
Quebrada Sin nombre (QSN1)	0,78	0,99	1,09
Quebrada Sin nombre (QSN10)	0,81	1,15	0,78
Quebrada Larapage (QLapa1)	0,79	0,91	0,89
Quebrada Larapage (QLapa2)	0,85	0,90	0,96
Río Para (RPara1)	0,77	1,05	1,01
Río Para (RPara2)	0,78	1,00	1,01
Manantial (Mana1)	0,87	0,90	0,91
Manantial (Mana2)	0,77	1,05	0,94
Manantial (Mana3)	0,74	1,01	0,83

■ : Valor mayor al rango del valor de  $K$  de 0,5 a 0,85 establecido por N.R.G. Walton, 1989.  
 ■ : Valor mayor al rango de la pendiente de 0,9 a 1,1 establecido por el APHA, 2012.

312. Para el caso de la relación de los iones con la conductividad, para los cationes y aniones se registraron siete y cuatro puntos de muestreo cuyas pendientes fueron mayores a la máxima cota del rango de la pendiente de 0,9 a 1,1. Las quebradas Jarhuisque (QJarh1) y Sin nombre QSN16 y el río Sancos en sus dos puntos de muestreo tuvieron pendientes (cationes y aniones con respecto a la conductividad) mayor al citado rango (0,9 a 1,1) con un valor máximo de 1,17.

#### 10.1.2.3. Relación de metales con sólidos suspendidos

313. En esta subsección, se realizó el Análisis Factorial o de Factor (AF) sin pruebas de normalidad y tratamiento previo de los resultados y mediante el uso de los estadísticos de viabilidad del AF, las cuales fueron los tests de esfericidad de Barlett y KMO (Kaiser-Meyer-Olkin), para determinar que metales en su forma suspendida están relacionados a los sólidos suspendidos totales (SST).



Handwritten signature and initials in blue ink.



314. Lo anterior se realizó debido a que no se registraron buenas correlaciones entre los metales en su forma suspendida y los SST, tomando en consideración algunos casos como el aluminio, manganeso y silicio, ver Figura B2-1, B2-2 y B2-3 del Anexo B2, cuyos coeficientes de correlación de Pearson o coeficientes de determinación ( $R^2$ ) fueron muy bajos 0,0285; 0,0027 y 0,0149 respectivamente.
315. Para la evaluación de AF se tomaron en cuenta los mismos metales para la evaluación de las relaciones lineales entre los SDT y las suma de iones con la conductividad, debido a que las concentraciones de la forma total fueron cuantificables, esto es, mayores al límite de cuantificación, excepto para el zinc en el punto de muestreo RPara2 del río Para, para el cual se consideró usar la mitad del su valor límite.
316. De los resultados de los dos estadísticos de viabilidad del AF, se tiene que el valor del Test de esfericidad de Barlett (sig. o p-valor) fue menor a 0,05 (no acepta la hipótesis nula  $H_0$ ), esto es, se puede aplicar el AF y la medida KMO fue 0,519 mayor a 0,5 por lo que también indica que se puede usar el AF. Para ambos resultados ver la Tabla B1-8 del Anexo B1.
317. Posteriormente, se realizó el AF sobre 11 metales en su forma suspendida y los SST, por el cual se obtuvo tres componentes (también llamados varifactores) o grupos de metales con una explicación de datos o varianza de 80,495 % (ver Tabla B1-9 del Anexo B1); tomando en cuenta el criterio de Kaiser o del eigenvalor mayor a 1, registrando los agrupamientos de los parámetros (cargas o loadings), ver Tabla B1-10 del Anexo B1, el cual es representando mediante la Figura 10-12.
318. En la Figura 10-12 se observa las mayores cargas (fuerte influencia mayor a 0,7) en los metales aluminio, zinc, estroncio, silicio, calcio y magnesio en el componente 1, el hierro y bario junto con los SST en el componente 2, el potasio y sodio en el componente 3. Mientras, el magnesio tiene cargas de influencia moderada (entre 0,5 y 0,7) en el componente 1 e igual a 0,7 en el componente 3.



*[Handwritten signature]*

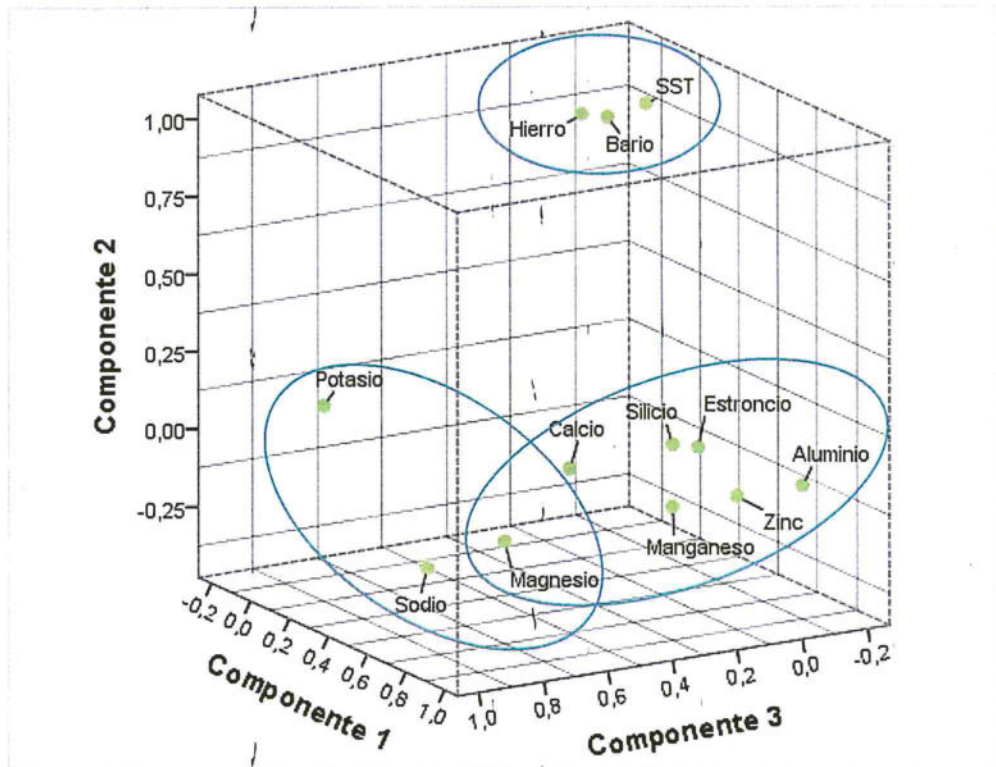


Figura 10-12. Representación de las cargas (loadings) de los 11 metales y los SST en los tres componentes del AF



*[Handwritten signature]*

319. De otro lado, las influencias de cada uno de los tres componentes para cada punto de muestreo de agua superficial (puntuaciones o scores) son indicadas en la Tabla B1-11 del Anexo B1. De esa manera podemos indicar que los componentes formados influyen en los siguientes puntos de muestreo:

- Componente 1: Quebradas sin nombre QSN-16 y QSN-1.
- Componente 2: Quebradas sin nombre QSN-4 y QSN-15 y la quebrada Miskiyacu (QMisk1).
- Componente 3: Río Sancos en RSanc1, quebrada sin nombre QSN-16 y quebrada Miskiyacu (QMisk1).

320. De acuerdo a las Tablas 10-6 y 10-7, algunos puntos de muestreo registraron concentraciones de metales y SST mayores a aquellos puntos de mayor influencia en los componentes del AF. Así tenemos los siguientes casos para cada componente:

- Silicio (componente 1) en las quebradas sin nombre QSN-14 y QSN-10.
- Estroncio (componente 1) en la quebrada Jarhuisique (QJarh1).
- Potasio (Componente 3) en las quebradas Futcca (QFutcc1) y Puchccuyacu (QPuch1).
- Sólidos suspendidos totales (SST) (Componente 2) en las quebradas Yanama (QYana1) y Puchccuyacu (QPuch1).



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-6. Resultados de los agrupamientos mediante el AF para el componente 1

Punto de muestreo	Componente 1					
	Silicio	Aluminio	Calcio	Estroncio	Manganeso	Zinc
Quebrada Chuñuchani (QChuñ1)	1,5	0,34	0,16	0,0016	0,056	0,022
Quebrada sin nombre (QSN-14)	2,8	0,121	10,35	0,0553	0,093	0,011
Quebrada sin nombre (QSN-4)	0,6	0,031	3,12	0,0062	0,003	0,014
Quebrada sin nombre (QSN-15)	1,8	1,199	3,79	0,0295	0,010	0,022
Quebrada Lambre (QLamb1)	0,56	0,102	1,14	0,0022	0,012	0,015
Quebrada Jarhuisique (QJarh1)	0,2	0,15	6,6	0,08245	0,015	0,005
Quebrada Futcca (QFutc1)	0,8	0,812	1,4	0,0005	0,010	0,005
Río Sancos (RSanc1)	1,7	0,387	2,1	0,0270	0,033	0,009
Quebrada Huishui (QHuis1)	1,0	0,052	6,4	0,0007	0,003	0,004
Río Sancos (RSanc2)	1,0	0,7113	12,9	0,0333	0,028	0,005
Quebrada sin nombre (QSN-12)	0,5	0,100	0,44	0,0023	0,004	0,016
Quebrada Yanama (QYana1)	0,9	1,33	0,071	0,0038	0,006	0,0031
Quebrada Puchcuyacu (QPuch1)	1,3	0,850	1,44	0,0029	0,030	0,013
Quebrada Miskiyacu (QMisk1)	1,5	0,174	11,12	0,0233	0,271	0,006
Quebrada sin nombre (QSN-16)	6,7	6,35	25,00	0,0920	0,816	0,289
Quebrada sin nombre (QSN-1)	2,1	6,04	5,72	0,0645	0,457	0,012
Quebrada sin nombre (QSN-10)	2,6	2,45	3,51	0,0110	0,106	0,017
Quebrada Larapage (QLapa1)	0,7	0,131	0,097	0,0014	0,012	0,010
Quebrada Larapage (QLapa2)	0,7	0,256	0,91	0,0051	0,007	0,016
Río Para (RPara1)	0,3	0,261	4,6	0,0047	0,0398	0,004
Río Para (RPara2)	0,2	0,54	6,4	0,0035	0,014	0,004

■ : 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 10-7. Resultado de los agrupamientos mediante el AF para el componente 1, 2 y 3


Punto de muestreo	Componente 1 y 3	Componente 3		Componente 2		
	Magnesio*	Potasio	Sodio	Bario	Hierro	SST
Quebrada Chuñuchani (QChuñ1)	0,29	0,13	0,31	0,002	0,020	3,0
Quebrada sin nombre (QSN-14)	2,34	0,25	2,55	0,004	0,177	3,0
Quebrada sin nombre (QSN-4)	0,494	0,09	1,225	0,007	0,033	20,2
Quebrada sin nombre (QSN-15)	0,561	0,12	0,33	0,015	1,263	39,8
Quebrada Lambre (QLamb1)	0,279	0,16	0,86	0,005	0,100	4,4
Quebrada Jarhuisique (QJarh1)	0,45	0,09	1,61	0,002	0,173	3,0
Quebrada Futcca (QFutc1)	1,21	0,50	0,39	0,001	0,244	9,0
Río Sancos (RSanc1)	3,43	0,36	7,24	0,001	0,096	3,0
Quebrada Huishui (QHuis1)	1,31	0,01	2,72	0,001	0,060	3,0
Río Sancos (RSanc2)	1,23	0,12	2,87	0,002	0,1204	7,6
Quebrada sin nombre (QSN-12)	0,06	0,13	0,17	0,003	0,2450	6,2
Quebrada Yanama (QYana1)	0,062	0,11	0,25	0,002	0,1820	22,8
Quebrada Puchcuyacu (QPuch1)	0,85	0,50	1,11	0,003	0,0850	19,4
Quebrada Miskiyacu (QMisk1)	2,64	3,14	3,85	0,003	0,4950	17,4
Quebrada sin nombre (QSN-16)	4,22	0,64	4,82	0,001	0,3390	12,6
Quebrada sin nombre (QSN-1)	1,75	0,22	1,27	0,001	0,0366	10,4



Punto de muestreo	Componente 1 y 3	Componente 3		Componente 2		
	Magnesio*	Potasio	Sodio	Bario	Hierro	SST
Quebrada sin nombre (QSN-10)	2,46	0,32	2,95	0,001	0,181	11,6
Quebrada Larapage (QLapa1)	0,208	0,10	0,89	0,002	0,187	10,6
Quebrada Larapage (QLapa2)	0,385	0,16	1,26	0,001	0,0941	3,8
Río Para (RPara1)	0,96	0,17	2,15	0,003	0,140	3,0
Río Para (RPara2)	1,12	0,17	2,49	0,004	0,304	11,0

\*Metal que tiene influencia moderada (valor de carga entre 0,5 y 0,7) con el Componente 1.

 : 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.

321. Asimismo, algunos puntos de muestreo de mayor influencia en los componentes del AF registraron valores menores que más de dos puntos de muestreo de baja influencia, por lo cual no fueron considerados en las Tablas 10-6 y 10-7. Así tenemos los siguientes casos para cada componente:

- Calcio y zinc (componente 1) en la quebrada sin nombre QSN-1.
- Hierro (componente 3) en la quebrada sin nombre QSN-4.

322. De los resultados obtenidos, tenemos que resaltar que la quebrada Sin Nombre QSN-16 registró las mayores concentraciones de los siguientes metales en su forma suspendida: silicio, aluminio, calcio, estroncio, manganeso y zinc. En tanto la quebrada sin nombre QSN-1 registró la segunda mayor concentración de los siguientes metales: aluminio y manganeso.

323. Con relación al río Sancos en RSanc1 y las quebradas Miskiyacu y sin nombre QSN-16, estas registraron las mayores concentraciones de magnesio y sodio en su forma suspendida. Mientras, la quebrada sin nombre QSN-15 registró las mayores concentraciones de bario, hierro y SST.

324. Los resultados de quebrada sin nombre QSN-15, en las Figuras B2-4 y B2-6 del Anexo B2 podemos observar que la relación lineal entre el bario y hierro en forma suspendida con los SST registraron los mayores coeficientes de correlación de Pearson o coeficientes de determinación ( $R^2$ ) con 0,5112 y 0,5419 respectivamente, por lo que la evaluación del AF mediante la Figura 10-12 confirma su agrupación al estar más correlacionados.

### 10.1.3. Evaluación hidroquímica

325. 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.

326. Para la evaluación del balance iónico y los diagramas hidroquímicos de Piper y Stiff, los cuerpos de agua superficial (ríos Para y Sancos con sus tributarios) y los tres manantiales se utilizaron las concentraciones de los metales en su forma disuelta y los cuatro principales aniones: nitratos, sulfatos, cloruros y bicarbonatos fueron calculadas en meq/L.



*[Handwritten signature and initials]*



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

### 10.2.3.1. Error de Balance iónico (EBI)

327. El EBI indicado en la Tabla 10-8 se calculó tomando en cuenta los aniones nitratos ( $\text{NO}_3^{-2}$ )<sup>45</sup>, sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), los cationes calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ) y la concentración y no actividad de los iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) del pH mediante la fórmula indicada en la ecuación 8.1 de la Sección 8.1.3. *Evaluación hidroquímica*, y cuyo valor máximo permitido es del 10% acorde a Megersa D. *et. al.*, 2015.<sup>46</sup> Este porcentaje también está establecido en los rangos de error considerados por Custodio y Llamas, 1976 relacionado con la conductividad de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ver Tabla 8.1.
328. De acuerdo a la Tabla 10-8, las quebradas: Chuñuchani (Qchuñ1), Yanama (Qyana1), Puchccuyacu (QPuch1), Miskiyacu (QMisk1), las quebradas sin nombre QSN-12, QSN-16 y QSN-1 y el manantial Mana3 registraron valores absolutos del EBI mayores al 10 %. En tanto, en dos puntos de muestreo registraron un valor absoluto del EBI mayor al 5 % y menor al 10 %, los cuales fueron: quebrada sin nombre QSN-10 y el manantial Mana2, mientras el resto de puntos tuvieron un valor absoluto del EBI menor al 5 %.
329. De otro lado, de no considerar la contribución del pH en los cuerpos de agua evaluados, ver Tabla B6-1 del Anexo B1, los porcentajes del EBI de varios puntos de muestreo de pH menores a 5,0 unid. de pH son más negativos. De esa manera tenemos las siguientes quebradas:
- Chuñuchani de -12,56 % a -15,94 %, Yanama de -46,16 % a -75,71 %, quebrada sin nombre QSN-12 de -32,89 % a -38,39 %, Puchccuyacu de -28,93 % a -35,32 %, sin nombre QSN-16 de -27,41 % a -29,56 %, sin nombre QSN-1 de -24,65 % a -27,55 % y QSN10 de -8,68 % a -8,83 %.
330. Con respecto a la contribución al balance iónico de los demás cationes de los metales: Aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ), bario ( $\text{Ba}^{2+}$ ), estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ) y litio ( $\text{Li}^+$ )<sup>47</sup>, ver Tabla B1-7 del Anexo B1, se puede observar que contribuyen a que el EBI disminuya a valores absolutos menores a 10 % en aquellas quebradas con los más altos porcentajes negativos. De esa manera se tienen los siguientes cuerpos de agua, cuyos valores pH fueron menores a 5,0:
- Chuñuchani de -12,56 % a 4,58 %, Yanama de -46,16 % a 3,34 %, quebrada sin nombre QSN-12 de -32,89 % a 0,08 %, Puchccuyacu de -28,93 % a 2,44 %, sin nombre QSN-16 de -27,41 % a -2,37 %, sin nombre QSN-1 de -24,65 % a -5,09 % y sin nombre QSN-10 de -8,68 % a 3,22 %.

<sup>45</sup> Las concentraciones del ion Nitrato ( $\text{NO}_3^{-2}$ ) 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 ( $\text{NO}_3^{-2}$ ) = 62,0049 y la masa atómica del N-Nitratos (N-  $\text{NO}_3^{-2}$ ) = 14,0067).

<sup>46</sup> 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.

<sup>47</sup> Para hierro y manganeso fueron considerados el estado de oxidación 2+, debido a que son más estables en medios ácidos y es tomado en cuenta en diversos programas como el Phreeqc para el cálculo del EBI.



"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-8. Error de balance iónico de los ríos Para y Sancos, sus tributarios y manantiales considerando la concentración de H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> del pH

Punto de Muestreo	pH	Concentración (mg/L)											Concentración (meq/L)											EBI %
		H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	ΣCat	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ΣAn	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	ΣCa	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ΣAn	
Quebrada Lumbre (QLamb1)	6,11	0,015	33,19	5,808	1,62	12,63	53,6	67,8	4,23	61,6	<0,22	133,6	0,0008	1,66	0,48	0,04	0,55	2,74	1,11	0,12	1,28	0,00	2,51	4,02
Quebrada Sin nombre (QSN-15)	5,39	0,077	47,09	7,212	1,41	16,28	72,5	55,7	2,01	118,8	<0,22	176,5	0,0041	2,35	0,59	0,04	0,71	3,71	0,91	0,06	2,47	0,00	3,44	3,46
Quebrada Sin nombre (QSN-14)	5,31	0,093	70,94	15,53	2,08	13,87	104,0	<0,1	1,21	278,6	<0,22	279,9	0,0049	3,54	1,28	0,05	0,60	5,56	0,001	0,03	5,80	0,00	5,84	-3,16
Quebrada Sin nombre (QSN-4)	5,59	0,049	34,5	4,855	1,34	9,585	50,6	54,7	1,41	71,9	<0,22	128,0	0,0026	1,72	0,40	0,03	0,42	2,58	0,90	0,04	1,50	0,00	2,43	2,79
Quebrada Chuñuchani (QChuñ1)	3,41	7,401	69,11	19,02	2,77	8,24	131,3	<0,1	1,21	358,8	<0,22	360,1	0,3890	3,45	1,57	0,07	0,36	8,23	0,001	0,03	7,47	0,00	7,51	-12,56
Quebrada Jarhuisique (QJarh1)	5,51	0,059	237,5	33,83	1,54	49,37	324,0	74,0	6,24	720,0	<0,22	800,2	0,0031	11,85	2,78	0,04	2,15	16,88	1,21	0,18	14,99	0,00	16,38	1,34
Quebrada Futoca (QFutc1)	5,38	0,079	129	19,27	2,34	39,46	190,6	19,0	3,83	438,6	<0,22	461,4	0,0042	6,44	1,59	0,06	1,72	9,82	0,31	0,11	9,13	0,00	9,55	1,29
Río Sancos (RSanc1)	5,60	0,048	160,4	37,66	1,74	60,72	261,9	62,7	11,88	602,1	<0,22	676,7	0,0025	8,00	3,10	0,04	2,64	13,86	1,03	0,34	12,54	0,00	13,90	-0,40
Quebrada Huishui (QHuis1)	5,81	0,029	101,7	18,31	0,73	53,14	174,1	121,6	4,23	297,0	<0,22	422,8	0,0015	5,07	1,51	0,02	2,31	8,92	1,99	0,12	6,18	0,00	8,30	3,58
Río Sancos (RSanc2)	5,70	0,038	152,9	40,85	1,75	65,3	262,1	79,2	10,67	601,4	<0,22	691,3	0,0020	7,63	3,36	0,04	2,84	13,94	1,30	0,30	12,52	0,00	14,12	-0,87
Quebrada Yanama (QYana1)	2,95	21,342	4,061	2,204	4,06	4,28	67,4	<0,1	1,81	231,6	<0,22	233,5	1,1219	0,20	0,18	0,10	0,19	5,21	0,001	0,05	4,82	0,00	4,87	-46,16
Quebrada Sin nombre (QSN-12)	3,50	6,016	17,27	11,26	3,18	11,08	74,5	<0,1	1,61	251,4	<0,22	253,1	0,3162	0,86	0,93	0,08	0,48	5,29	0,001	0,05	5,23	0,00	5,28	-32,89



*[Handwritten signatures]*



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Punto de Muestreo	pH	Concentración (mg/L)										Concentración (meq/L)										EBI %		
		H <sub>3</sub> O*	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K*	Na*	ΣCat	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ΣAn	H <sub>3</sub> O*	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K*	Na*	ΣCa	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ΣAn
Quebrada Puchcuyacu (QPuch1)	3,42	7,232	20,89	10,92	3,83	10,2	77,7	<0,1	2,01	246,6	<0,22	248,7	0,3802	1,04	0,90	0,10	0,44	5,45	0,001	0,06	5,13	0,00	5,19	-28,93
Quebrada Miskiyacu (QMisk1)	5,95	0,021	89,08	18,34	3,03	22,26	133,4	88,1	9,06	189,9	<0,22	287,1	0,0011	4,45	1,51	0,08	0,97	7,02	1,44	0,26	3,95	0,00	5,65	10,64
Quebrada Sin nombre (QSN-16)	3,35	8,497	127,4	23,54	3,09	20,92	250,4	<0,1	1,21	818,4	<0,22	819,7	0,4467	6,36	1,94	0,08	0,91	16,29	0,001	0,03	17,04	0,00	17,07	-27,41
Quebrada Sin nombre (QSN-1)	3,42	7,232	76,78	15,17	2,79	17,53	150,7	<0,1	1,21	498,3	<0,22	499,6	0,3802	3,83	1,25	0,07	0,76	9,40	0,001	0,03	10,38	0,00	10,41	-24,65
Quebrada Sin nombre (QSN-10)	4,75	0,338	82,37	16,59	2,3	16,61	135,0	<0,1	2,18	356,6	<0,22	357,9	0,0178	4,11	1,37	0,06	0,72	7,96	0,001	0,06	7,40	0,00	7,47	-8,68
Quebrada Larapage (QLapa1)	7,06	0,002	9,674	2,586	1,71	8,37	22,5	32,1	1,21	25,2	<0,22	58,5	0,0001	0,48	0,21	0,04	0,36	1,11	0,53	0,03	0,52	0,00	1,08	0,76
Quebrada Larapage (QLapa2)	6,70	0,004	22,91	4,704	1,33	12,31	41,5	38,3	1,81	75,1	0,80	116,0	0,0002	1,14	0,39	0,03	0,54	2,11	0,63	0,05	1,56	0,01	2,26	-3,57
Rio Para (RPara1)	6,33	0,009	101,9	18,26	1,43	27,01	149,0	61,6	4,03	306,6	0,27	372,5	0,0005	5,08	1,50	0,04	1,17	7,81	1,01	0,11	6,38	0,00	7,51	1,88
Rio Para (RPara2)	6,48	0,006	105,7	19,46	1,55	28,03	155,3	79,4	5,44	324,4	2,70	411,9	0,0003	5,27	1,60	0,04	1,22	8,15	1,30	0,15	6,75	0,04	8,25	-0,72
Manantial (Mana1)	6,63	0,004	137,3	0,239	0,12	57,40	196,1	11,1	10,87	430,5	<0,22	452,5	0,0002	6,85	0,02	0,00	2,50	9,40	0,18	0,31	8,96	0,00	9,45	-0,44
Manantial (Mana2)	6,74	0,003	63,62	8,028	0,12	29,79	102,1	154,8	5,44	90,2	1,68	252,1	0,0002	3,17	0,66	0,00	1,30	5,15	2,54	0,15	1,88	0,03	4,60	5,54
Manantial (Mana3)	6,90	0,002	30,19	3,629	<0,02	26,16	60,1	120,0	4,43	13,6	1,90	139,9	0,0001	1,51	0,30	0,00	1,14	2,95	1,97	0,12	0,28	0,03	2,41	10,06

H<sub>3</sub>O\*: Ión hidronio, Ca<sup>2+</sup>: Calcio disuelto, Mg<sup>2+</sup>: Magnesio disuelto, K\*: Potasio disuelto, Na\*: Sodio disuelto, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Bicarbonatos, Cl<sup>-</sup>: cloruros, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: sulfatos y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitratos.

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

Número en rojo: Los valores utilizados para el cálculo del EBI fueron la mitad del límite de cuantificación.

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

: Valor absoluto de EBI mayor a 10%.



Handwritten signatures and initials



331. Considerando la suma de todos los iones indicados previamente, y de acuerdo al rango de conductividad establecido por Custodio y Llamas, 1976, tenemos que la quebrada Miskiyacu con  $640 \mu\text{S}/\text{cm}$  registró un EBI de 10,77 % ligeramente mayor al rango establecido de 4 a 8 %, mientras el manantial Mana3 con  $290 \mu\text{S}/\text{cm}$  registró un EBI de 10,11 % casi similar al mayor valor del rango establecido de 8 a 10 %.

#### 10.2.3.2. Diagramas hidroquímicos

332. Los diagramas hidroquímicos sirven para ver la interacción simultánea entre aniones ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ ) y cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ) mediante diagramas triangulares que se proyectan en un rombo central conocido como diagrama de Piper.
333. 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 seis rangos de valores hidroquímicos predominantes con respecto a los iones sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en meq/L: 0 - 8, 8 - 10, 10 - 12, 12 - 14, 14 - 16 y 16 - 18.

##### a. Diagrama de Piper

334. Los resultados mostrados en la Figura 10-13 indican que los ríos Para y Sancos, los tributarios del río Sancos (excepto en tres quebradas: QSN-12, QPuch1 y QYana1), tributarios del río Para (excepto la quebrada Larapage en QLapa1) y el manantial Mana1 son aguas de facie sulfatadas cálcicas. En tanto, los manantiales Mana2 y Mana 3 son aguas de facie bicarbonatadas cálcicas.

335. Con relación a las tres quebradas del río Sancos: sin nombre (QSN-12) y Puchcuyacu (QPuch1) se encuentran en el triángulo catiónico (zona mixta) correspondiente a aguas de facie sulfatadas mixtas (magnésicas-cálcicas) y la quebrada Yanama (QYana1) se encuentran también en la zona mixta de aguas de facie sulfatas mixtas (sódicas-cálcicas) de acuerdo a los porcentajes de cationes que presenta a continuación:

- QSN-12: 24,0 % de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , 36,6 % de  $\text{Ca}^{2+}$  y 39,4 % de  $\text{Mg}^{2+}$ .
- QPuch1: 21,8 % de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , 42,0 % de  $\text{Ca}^{2+}$  y 36,2 % de  $\text{Mg}^{2+}$ .
- QYana1: 43,0 % de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , 30,1 % de  $\text{Ca}^{2+}$  y 26,9 % de  $\text{Mg}^{2+}$ .

336. En caso de la quebrada Larapage en QLapa1, esta se encuentra en los triángulos aniónico y catiónico (zona mixta), correspondiendo a aguas de facies tanto sulfatadas como bicarbonatadas mixtas (sódicas-cálcicas) de acuerdo a los porcentajes de cationes y aniones que presenta a continuación:

- QLapa1: 48 % de  $\text{HCO}_3^-$ , 48 %  $\text{SO}_4^{2-}$  y 3 % de  $\text{Cl}^-$ .
- QLapa1: 37,0 % de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , 43,8 % de  $\text{Ca}^{2+}$  y 19,3 % de  $\text{Mg}^{2+}$ .



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"

## b. Diagrama de Stiff

337. De acuerdo a la Figura 10-14, a continuación, se muestran los cuerpos de agua con los siguientes rangos de mineralización, en base a las concentraciones de los iones sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) lo que es mostrado en el mapa hidroquímico de los puntos de muestreo evaluados (ver Figura 10-15):

- 0 a 8 meq/L: Río Para y sus tributarios (excepto las quebradas QFutc1 y QJarh1), los manantiales Mana 2 y Mana 3 y los tributarios del río Sancos (excepto la quebrada sin nombre QSN-16).
- 8 a 10 mg/L: Quebrada Futcca (QFutc1) y manantial Mana1.
- 10 a 12 meq/L: Quebrada sin nombre QSN-1.
- 12 a 14 meq/L: Río Sancos en RSanc1 y RSanc2.
- 14 a 16 meq/L: Quebrada Jarhuisique (QJarh1).
- 16 a 18 meq/L: Quebrada sin nombre QSN-16.

338. Con respecto a los resultados anteriores, la quebrada Jarhuisique (QJarh1) y el río Sancos (RSanc1 y RSanc2) tienen menores concentraciones de sulfatos pero mayor concentración de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) que la quebradas sin nombre QSN-16, registrando la quebrada QJarh1 el mayor valor  $\text{Ca}^{2+}$  de todos los puntos de muestreo.

339. En adición a lo anterior, el manantial Mana1 y la quebrada Futcca (QFutc1) tienen menores concentraciones de sulfatos pero mayores concentraciones de calcio que la quebradas sin nombre QSN-1 y QSN-16.

### 10.1.4. Control de calidad

340. Para el presente estudio se consideró evaluar la calidad del transporte de los envases vacíos, y la calidad y precisión de la toma de muestra (llenado de envases) considerando los análisis de un blanco viajero y tres duplicados de las muestras (un duplicado por cada grupo de 10 muestras), realizándose en el análisis de metales totales.

#### a) Blanco de campo (BK campo) y viajero (BK viajero)

341. De acuerdo a lo indicado en la Tabla 10-9, los resultados del blanco viajero registraron, para cada uno de los metales totales, concentraciones menores a los límites de cuantificación del método de ensayo del laboratorio.

#### b) Duplicados de campo

342. Con respecto a la Tabla 10-9, se puede observar que de los tres duplicados analizados, solamente el cromo en la quebrada Yanama (QYana1), registró una diferencia porcentual relativa (RPD en %) mayor a 20 %<sup>48</sup> con 33,33 %. De acuerdo con el MECCS de Canadá (2013), lo que se encuentra en la sección 8.1.8 del presente informe, el cromo tienen un posible problema de toma de muestras o heterogeneidad de la quebrada Yanama debido a que el 50 % > RPD > 20 %.

<sup>48</sup> Valor considerado en la: "Methodology for the Sampling of Surface Water, Department of Mines and Energy, Northern Territory Government from Australia, March 2009".



Handwritten signatures and initials in blue ink.





PERÚ

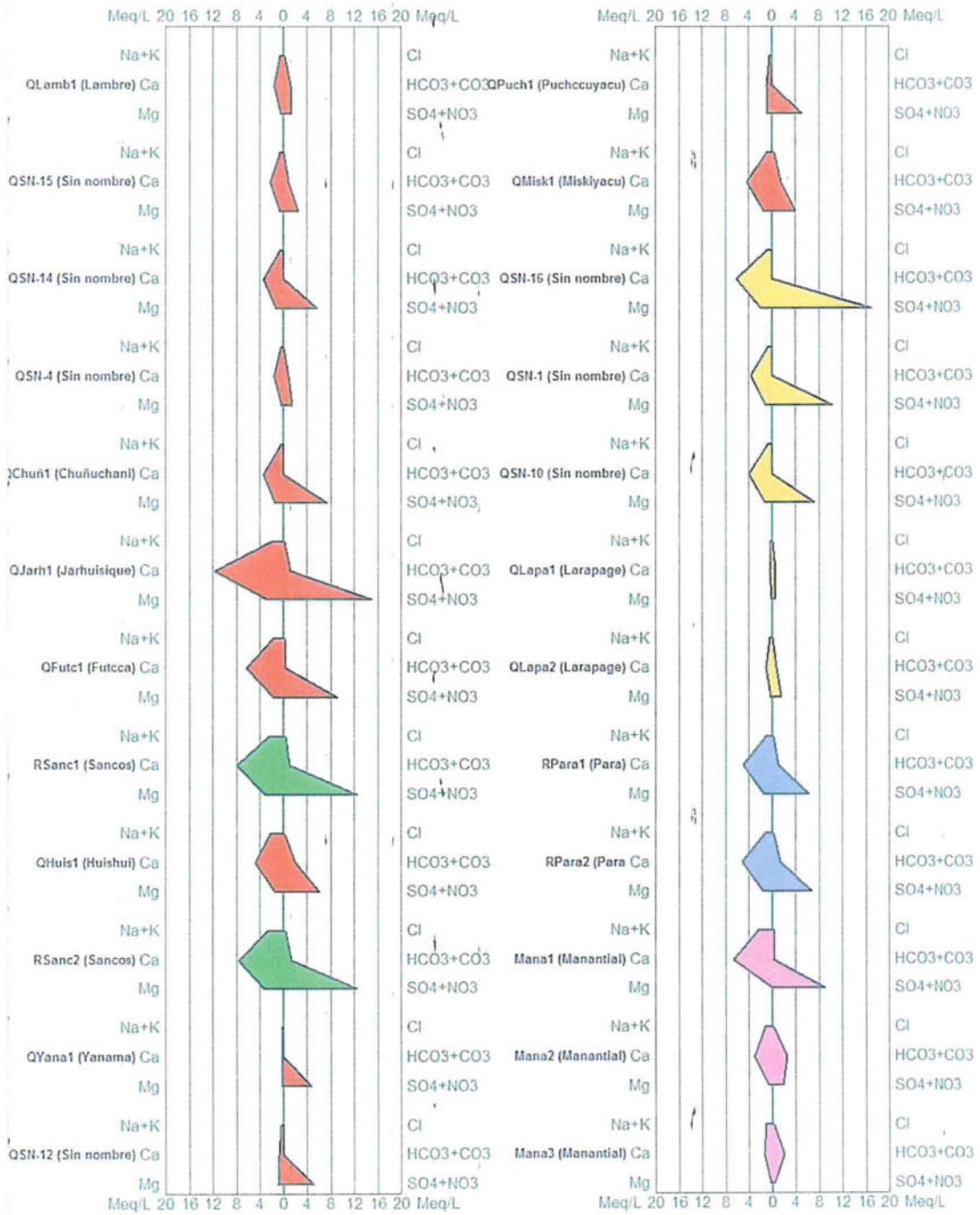
Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

### Diagrama de Stiff



Handwritten signatures and initials in blue ink.

Figura 10-14. Diagrama de Piper de los ríos Para y Sancos con sus tributarios y manantiales



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

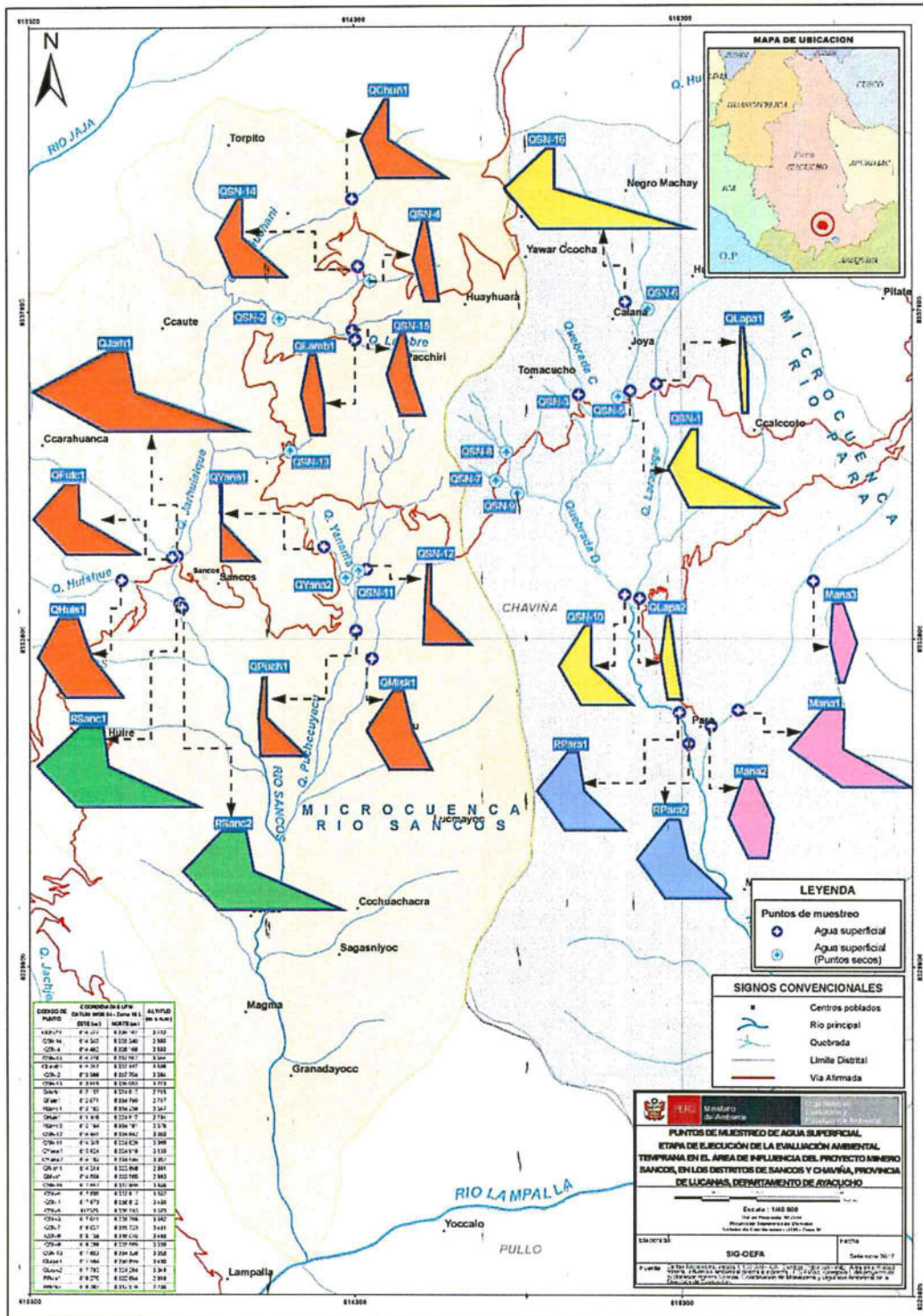


Figura 10-15. Mapa hidroquímico de los ríos Sancos y Para con sus tributarios y los manantiales



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Tabla 10-9. Resultados de los metales totales de los tres duplicados con sus respectivos RPD y el blanco viajero

Metal Total	Unidad	QYana1	DUP-01	RPD (%)	QSN-1	DUP-02	RPD (%)	Mana1	DUP-03	RDP (%)	BK-Viajero
Silicio	mg/L	17,9	19,3	7,25	32,2	33,8	4,73	11,7	11,8	0,85	<0,01
Mercurio	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Aluminio	mg/L	31,7	32,74	3,18	32,52	32,62	0,31	0,206	0,217	5,07	<0,005
Antimonio	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Arsénico	mg/L	0,009	0,009	0,00	<0,007	<0,007	<0,007	0,203	0,219	7,31	<0,007
Bario	mg/L	0,017	0,018	5,56	0,019	0,021	9,52	0,016	0,016	0,00	<0,001
Berilio	mg/L	<0,0005	<0,005	<0,005	<0,0005	<0,0005	<0,005	0,0005	<0,0005	<0,005	<0,0005
Bismuto	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Boro	mg/L	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	1,955	1,96	0,26	<0,008
Cadmio	mg/L	0,001	0,001	0,00	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Calcio	mg/L	4,132	4,257	2,94	82,5	88,55	6,83	147,4	139,4	5,74	<0,005
Cobalto	mg/L	0,018	0,017	5,88	0,103	0,0975	5,64	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cromo	mg/L	0,002	0,003	33,33*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre	mg/L	0,012	0,012	0,00	0,049	0,048	2,08	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Estroncio	mg/L	0,0649	0,0704	7,84	0,5338	0,5445	1,97	0,978	1,058	7,56	<0,0007
Estaño	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Hierro	mg/L	1,094	1,099	0,45	1,022	1,099	7,01	0,198	0,2	1,00	<0,003
Fósforo	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Litio	mg/L	0,0097	0,01	3,00	0,008	0,009	11,11	0,047	0,045	4,44	<0,001
Magnesio	mg/L	2,266	2,274	0,35	16,92	17,12	1,17	0,247	0,259	4,63	<0,004
Manganeso	mg/L	0,124	0,119	4,20	3,707	3,742	0,94	0,018	0,018	0,00	<0,001
Molibdeno	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,018	0,017	5,88	<0,002
Niquel	mg/L	0,015	0,016	6,25	0,052	0,048	8,33	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Potasio	mg/L	4,17	4,06	2,71	3,01	3,24	7,10	0,34	0,30	13,33	<0,02
Plata	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Plomo	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Selenio	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
Sodio	mg/L	4,53	4,85	6,60	318,8	337,4	5,51	66,22	65,79	0,65	<0,02
Talio	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Titanio	mg/L	0,005	0,006	16,67	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vanadio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zinc	mg/L	0,103	0,112	8,04	0,229	0,239	4,18	0,006	0,006	0,00	<0,004

\*Las concentraciones de la muestra y el duplicado de QYana1 fueron menores a cinco veces el valor de su límite de cuantificación.

N.D: No determinado

Informes de ensayo: NSF Inassa Envirolab S.A.C.: N° J-00271196, N° J-002711974

RPD mayor al 20 %.

## 10.2. Comunidades hidrobiológicas

343. En esta sección se presentan los resultados de los análisis de las comunidades del perifiton y macroinvertebrados bentónicos. Las hojas de registros de datos de campo, los informes de ensayo y el procesamiento de la información para la estimación del estado ecológico se presentan en el anexo C.

### a. Perifiton

344. En la Figura 10-16 se presentan los valores de riqueza de los 24 puntos de muestreo evaluados, encontrándose un total de 69 taxa, que representan a 37 familias, 23 órdenes, 7 clases y 4 phyla de microalgas. En el anexo C 4, se muestra el detalle de la sistematización y los informes de ensayo elaborados por el laboratorio correspondiente.

345. El phylum más representativo es el Bacillariophyta con 42 taxa, dentro de este phylum tenemos los órdenes Naviculales y Cymbellales registrando 11 y 07 taxa respectivamente.

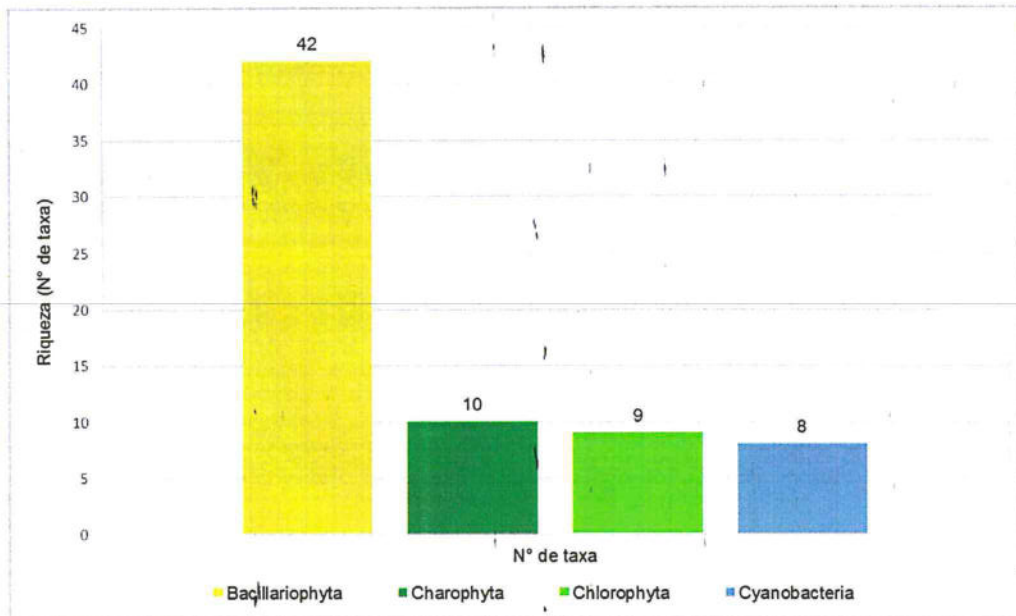


Figura 10-16. Riqueza o número de taxa de microalgas por phylum

### b. Macroinvertebrados bentónicos

346. Con respecto a los macroinvertebrados bentónicos, se identificaron un total de 52 taxa que representan a 32 familias, 14 órdenes, 8 clases y 4 phyla de macroinvertebrados bentónicos, donde se observa una notoria predominancia del phylum Arthropoda, principalmente por la presencia de organismos pertenecientes a la Clase Insecta. En el Anexo C 4, se muestra en detalle la sistematización y los informes de ensayo elaborados por el laboratorio correspondiente.

347. El orden más representativo fue Diptera con 23 taxa, donde destacó la familia Chironomidae, que esta compuesta por taxa tolerantes, ver Figura 10-17.



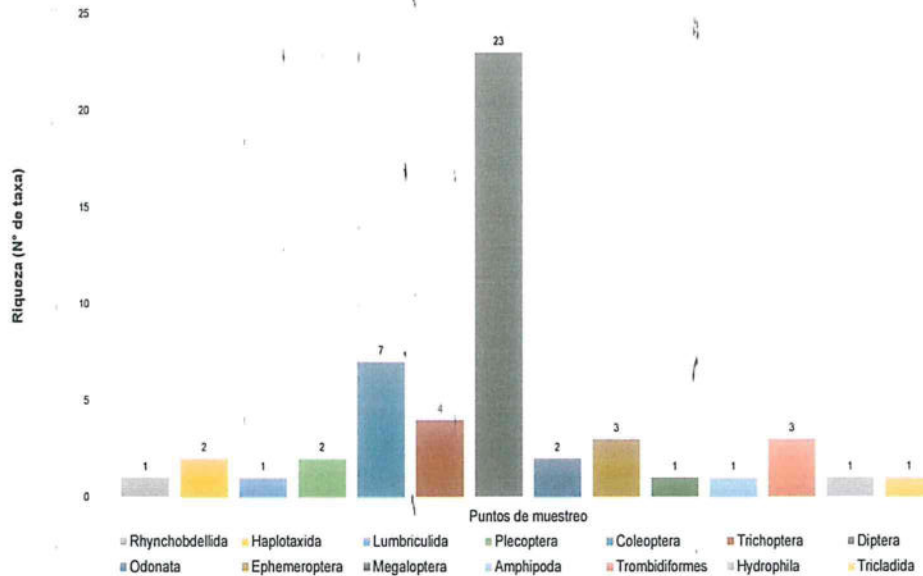


Figura 10-17. Riqueza o número de taxa de macroinvertebrados bentónicos por orden

348. A continuación se detallará los resultados registrados en los ríos Sancos y Para, cada uno con sus respectivos tributarios.

**10.2.1. Río Sancos y sus tributarios**

349. En el río Sancos y sus tributarios se evaluaron un total de 14 puntos de muestreo en los que se realizó la colecta de perifiton y macroinvertebrados bentónicos. Los resultados obtenidos se pasaran a detallar.

350. Es preciso indicar que los puntos HID-QSN2, HID-QSN13, HID-Yana2, HID-QSN11 fueron quebradas que se encontraron secas debido a la estacionalidad por tanto, no se tomaron muestras hidrobiológicas.

**10.2.1.1. Perifiton**

351. El perifiton será analizado en sus dos componentes: microalgas del perifiton o perifiton vegetal y microorganismos del perifiton o perifiton animal.

**a. Microalgas del perifiton**

**• Composición y riqueza**

352. Fueron encontrados un total de 68 taxa de microalgas del perifiton distribuidos en 14 puntos de muestreo, las cuales están agrupadas en 37 familias, 23 órdenes y 7 clases, pertenecientes a 4 phyla distribuidos de la siguiente manera: Bacillariophyta con 41 taxa, Cyanobacteria con 8 taxa, Charophyta con 10 taxa y Chlorophyta con 9 taxa, como se puede ver en el Anexo C4.

353. En la Figura 10-18 se presentan los valores de riqueza o número de taxa de las microalgas del perifiton por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada phylum.



*[Handwritten signatures and initials in blue ink]*

354. Los valores de riqueza más altos corresponden a los puntos de muestreo de códigos HID-QSN-4, HID-QLamb1 e HID-QHuis1, donde se encontraron 44, 29 y 28 taxa respectivamente. En todos los puntos de muestreo evaluados en el río Sancos y sus tributarios, el phylum Bacillariophyta presentó el mayor número de taxa, seguido por el phylum Charophyta.
355. En lo que se refiere al nivel de phylum, 5 puntos de muestreo de los 14 evaluados presentaron la mayor composición, es decir, presentaron los 4 phyla registrados en la zona de estudio, estos puntos son HID-QSN-4, HID-QLamb1, HID-QJahr1, HID-RSanc1 e HID-QHuis1. Por otro lado los puntos de muestreo de códigos HID-QChuñ1, HID-QSN-15 y HID-QPuch1 registraron 2 phyla de los 4 registrados y el punto HID-QSN-12 registró la menor composición con la presencia del phylum Bacillariophyta.
356. En cuanto a la composición y riqueza, la menor se registró en los puntos muestreo de códigos HID-QChuñ1, HID-QSN-12, HID-QYana1 e HID-QPuch1, probablemente debido a los valores del pH del agua registrado en dichos puntos, cuyos valores son 3,41; 3,50; 2,95 y 3,42 respectivamente.
357. Finalmente, las especies de mayor riqueza son *Pinnularia* sp. presente en 13 puntos de muestreo y *Navicula* sp. presente en 12 puntos de muestreo, de los 14 evaluados en la zona de estudio.

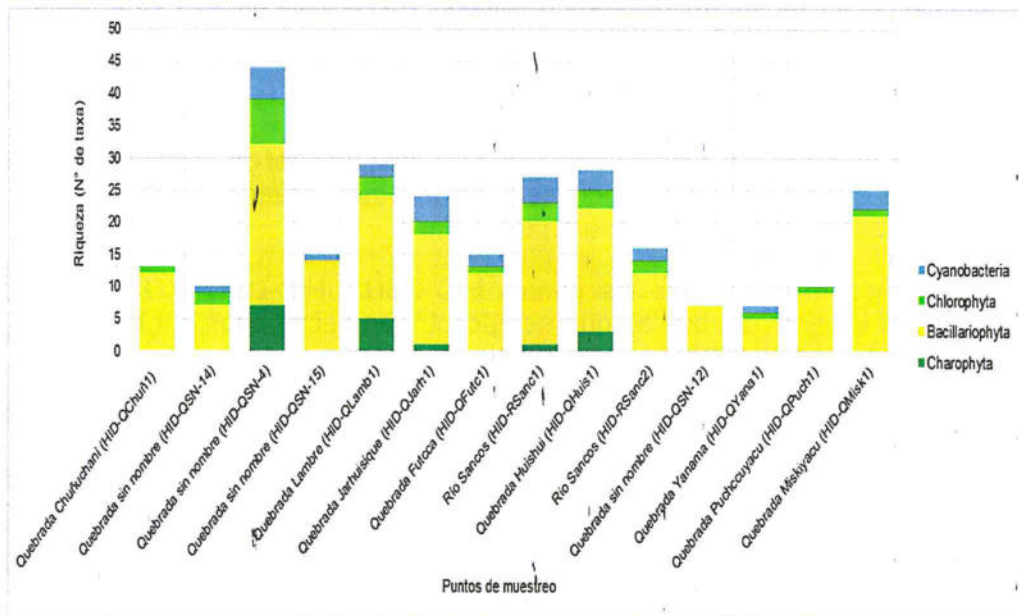


Figura 10-18. Riqueza o número de taxa de las microalgas del perifiton por phylum en el río Sancos y sus tributarios

• **Abundancia**

358. En la Figura 10-19 se presentan los valores de abundancia o número de organismos de las microalgas del perifiton por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada phylum.



*[Handwritten signature]*

359. Se aprecia que la abundancia de las microalgas del perifiton está representada principalmente por 3 phyla: Bacillariophyta, Cyanobacteria y Chlorophyta, donde en todos los puntos de muestreo el phylum Bacillariophyta presentó la mayor abundancia, con 4 867 644 organismos en todos los puntos de muestreo de esta zona, seguido del phylum Chlorophyta con 54 497 organismos.
360. Los mayores valores de abundancia se encontraron en los puntos de muestreo de códigos HID-QLamb1 y HID-QYana1, con valores de 1 283 197 y 1 228 781 organismos, respectivamente. Por otro lado, la menor abundancia se presentó en el punto de muestreo de código HID-QSN-14 con un valor de 244 organismos.
361. Finalmente, las especies de mayor abundancia fueron *Achnantheidium* sp. y *Navicula* sp. con 717 397 y 669 414 organismos en los 14 puntos de muestreo evaluados en la zona de estudio.

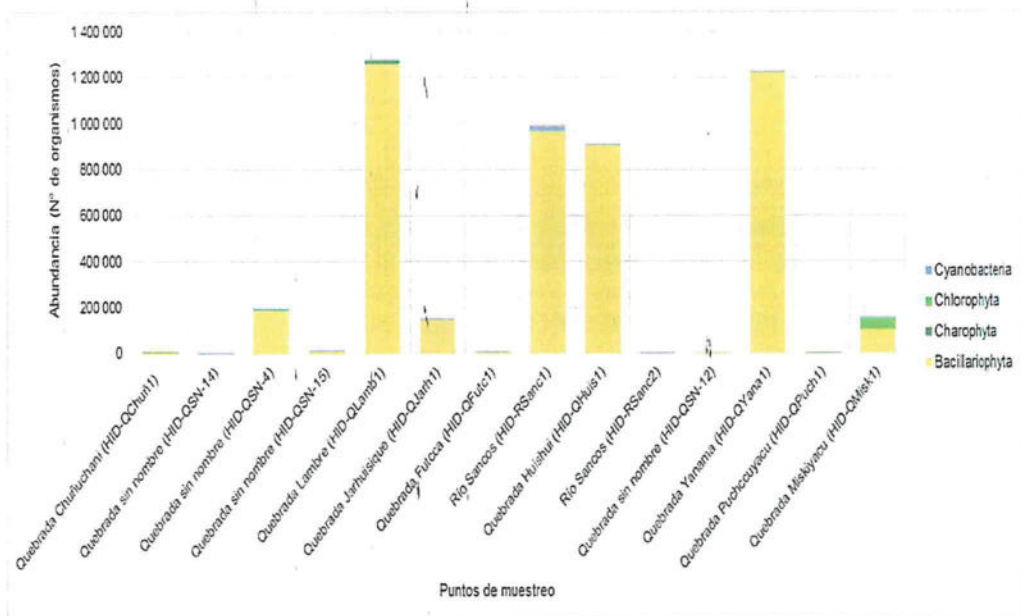


Figura 10-19. Abundancia o número de organismos de las microalgas del perifiton por phylum en el río Sancos y sus tributarios

• **Diversidad alfa**

362. 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 10-10.
363. Con respecto al índice  $J'$ , los mayores valores se presentaron en los puntos HID-QSN-14 e HID-QSN-15, lo cual indica valores altos de equidad, lo que significa una distribución homogénea de las abundancias de los organismos registrados en estos puntos de muestreo. Con respecto al índice N1, los mayores valores se presentaron en los puntos HID-QSN-15 e HID-QMisk1 y, por otro lado, los menores valores correspondieron a los puntos HID-QSN-12, HID-QYana1 e HID-QPuch1.



Handwritten signature and initials in blue ink.



364. Con respecto al índice N2, los mayores valores se presentaron en los puntos HID-QSN-15 e HID-QMisk1 y, por otro lado, los menores valores correspondieron a los puntos HID-QSN-12 e HID-QPuch1.

**Tabla 10-10.** Diversidad alfa de las microalgas del perifiton en el río Sancos y sus tributarios

Puntos de muestreo	N1	N2	J'
HID-QChuñ1	8,8040	6,6840	0,8480
HID-QSN-14	6,8330	5,3710	0,8346
HID-QSN-4	4,5110	2,4170	0,3981
HID-QSN-15	9,8320	7,1130	0,8440
HID-QLamb1	6,3960	5,0630	0,5511
HID-QJarh1	4,9010	3,4120	0,5002
HID-QFutc1	3,6900	3,1640	0,4821
HID-RSanc1	4,2850	3,0970	0,4415
HID-QHuis1	3,4530	2,7430	0,3719
HID-RSanc2	4,0690	2,4760	0,5061
HID-QSN-12	1,3350	1,1300	0,1486
HID-QYana1	2,8010	2,6160	0,5293
HID-QPuch1	2,9450	1,7800	0,4690
HID-QMisk1	9,0500	6,2610	0,6843

Donde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill; J': Índice de equidad de Pielou

■ : Valores máximos de índices de diversidad alfa

■ : Valores mínimos de índices de diversidad alfa

#### • Diversidad beta

365. En la Figura 10-20 se presenta el dendrograma de similitud de las microalgas del perifiton calculado mediante el índice de Bray Curtis, el cual permitió conformar 06 conglomerados, de los cuales 04 superan un porcentaje de similitud del 50 %, el primero está conformado por los puntos de muestreo de códigos HID-QChuñ1, HID-QSN-12 e HID-QPuch1, los cuales presentan los menores registros de composición y riqueza en los puntos de muestreo evaluados en esta zona, el segundo está conformado por los puntos de muestreo HID-QFutc1 e HID-RSanc2, el tercer conglomerado está conformado por los puntos de muestreo HID-Huis1 (quebrada Huishui), HID-QMisk1 (quebrada Miskiyacu), HID-QJarh1 (quebrada Jarhuisique) e HID-RSanc1 (río Sancos).
366. Cabe agregar que las quebradas Huishui, Miskiyacu y Jarhuisique son tributarios del río Sancos razón por la que presentan una similitud mayor al 50 %, y finalmente el cuarto conglomerado está conformado por los puntos de muestreo HID-QSN-4 e HID-QLamb1, los cuales presentan la mayor riqueza de taxa de todos los puntos de muestreo evaluados en esta zona.



*[Handwritten signature]*

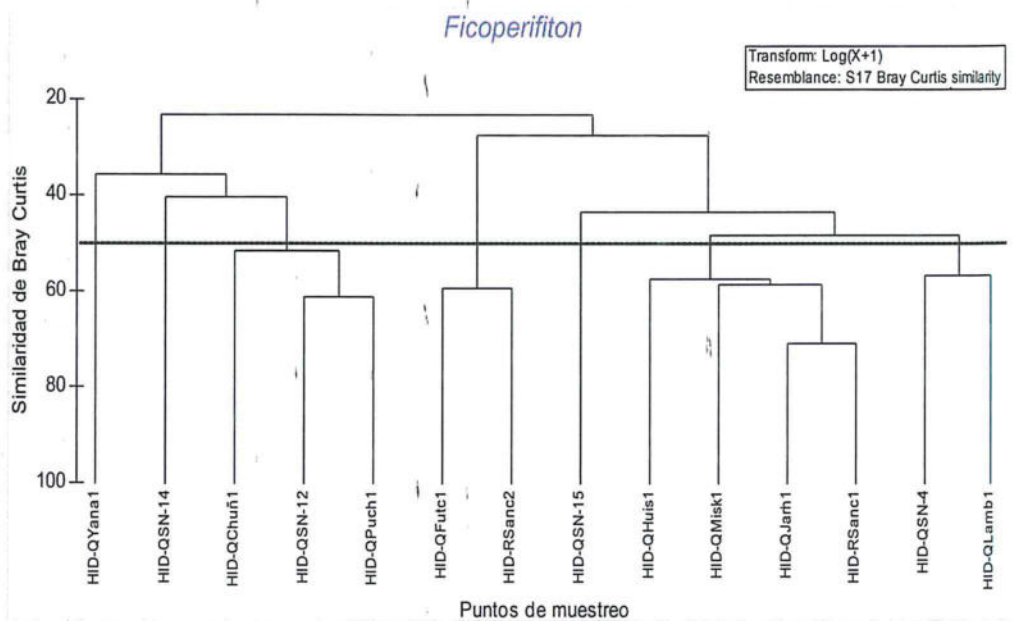


Figura 10-20. Dendrograma de similitud de las microalgas del perifiton en el río Sancos y sus tributarios

b. Microorganismos del perifiton

• Composición, riqueza y abundancia

- 367. En relación con los microorganismos del perifiton tal como se observa en la Tabla 10-11, se reportaron 10 taxa, pertenecientes a 4 phyla: Arthropoda, Euglenophyta, Protozoa y Rotifera, distribuidos en 10 puntos de muestreo. En los puntos HID-QChuñ1, HID-QHuis1, HID-QSN-12 e HID-QPuch1 no se halló ningún organismo.
- 368. En la Tabla 10-11 se observa que en el punto de muestreo HID-Futc1 fue donde se encontró la mayor riqueza (4 taxa) y composición (3 de los 4 phyla; mientras que, la mayor abundancia se registró en el punto HID-QMisk1 con 4688 organismos correspondiente a la especie *Trinema* sp.
- 369. Por otro lado, en los puntos de muestreo HID-QSN-15, HID-QLamb1, HID-QYana1, HID-Misk1 e HID-RSanc1 se registró la menor riqueza con un solo taxa y la menor abundancia se registró en los puntos de muestreo HID-QSN-15 e HID-QYana1 con 3 organismos en cada uno de estos puntos.

Tabla 10-11. Composición, riqueza y abundancia de los microorganismos del perifiton en el río Sancos y sus tributarios

Phylum	Riqueza (Taxa)	Río Sancos y sus tributarios									
		HID-QSN-14	HID-QSN-4	HID-QSN-15	HID-QLamb1	HID-QJarh1	HID-QFutc1	HID-RSanc1	HID-RSanc2	HID-QYana1	HID-QMisk1
Arthropoda	ND	0	0	0	0	0	3	0	6	0	0
Euglenophyta	<i>Trachelomonas</i> sp.	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0



Handwritten signatures and initials in blue ink.



Phylum	Riqueza (Taxa)	Río Sancos y sus tributarios									
		HID-QSN-14	HID-QSN-4	HID-QSN-15	HID-QLamb1	HID-QJarh1	HID-QFutc1	HID-RSanc1	HID-RSanc2	HID-QYana1	HID-QMisk1
Euglenophyta	<i>Lepocinclis</i> sp.	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
Euglenophyta	<i>Phacus</i> sp.	0	875	0	206	0	0	0	0	0	0
Protozoa	<i>Arcella</i> sp.	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
Protozoa	<i>Diffugia</i> sp.	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Protozoa	<i>Trinema</i> sp.	9	0	3	0	0	0	0	0	3	4688
Rotifera	<i>Colurella</i> sp.	0	125	0	0	0	3	0	0	0	0
Rotifera	<i>Lecane</i> sp.	19	0	0	0	0	3	50	3	0	0
Rotifera	<i>Cephalodella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0
<b>Total Riqueza (S)</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Total Abundancia (N)</b>		<b>28</b>	<b>1050</b>	<b>3</b>	<b>206</b>	<b>19</b>	<b>12</b>	<b>109</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>4688</b>

■ : Mayor riqueza y abundancia

■ : Menor riqueza y abundancia

#### • Diversidad alfa

370. En base a los resultados de diversidad y abundancia, en la Tabla 10-12 se detallan los valores de equidad de Pielou (J') y los índices de diversidad de Hill (N1 y N2) en cada punto de muestreo.
371. Los valores de la equidad de Pielou fue mayor en el punto de muestro HID-QFutc1 con un valor de 1, por lo que representa una distribución homogénea de la abundancia de organismos.
372. Con respecto a los índices N1 y N2, el mayor valor se presentó en el punto de muestreo HID-QFuct1 y, por otro lado, el menor valor correspondió a los puntos de muestreo HID-QSN-15, HID-QLamb1, HID-QYana1 e HID-QMisk1.

**Tabla 10-12.** Diversidad alfa de los microorganismos del perifiton en el río Sancos y sus tributarios

Puntos de muestreo	N1	N2	J'
HID-QSN-14	1,874	1,774	0,9059
HID-QSN-4	1,734	1,407	0,5009
HID-QSN-15	1,000	1,000	****
HID-QLamb1	1,000	1,000	****
HID-QJarh1	1,866	1,761	0,8997
HID-QFutc1	4,000	4,000	1,000
HID-RSanc1	1,993	1,986	0,9951
HID-RSanc2	1,890	1,800	0,9183
HID-QYana1	1,000	1,000	****
HID-QMisk1	1,000	1,000	****

Donde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill; J': Índice de equidad de Pielou

\*\*\*\*. No se calculó por el número de especies encontradas en los puntos de muestreo.

■ : Valores máximos de índices de diversidad alfa

■ : Valores mínimos de índices de diversidad alfa



*[Handwritten signatures and initials]*



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

### 10.2.1.2. Macroinvertebrados bentónicos

#### Composición y riqueza

- 373. Fueron encontrados un total de 39 taxa de macroinvertebrados bentónicos, distribuidos en 16 puntos de muestreo. En la Figura 10-21 se presentan los valores de riqueza o número de taxa de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada orden.
- 374. La mayor composición de especies se registró en tres puntos de muestreo (HID-QChuñ1, HID-QSN-4 y HID-QHuis1) encontrándose seis de los 14 órdenes identificados. En la mayoría de los puntos de muestreo dominó el orden Diptera, solo en el punto HID-QSN-12 la riqueza estuvo representada por el orden Ephemeroptera.
- 375. La mayor riqueza se registró en los puntos de muestreo (HID-QSN-4, HID-QHuis1 y HID-QMisk1) con 14 taxa, en el punto HID-QFutc1 se registraron 11 taxa y en el resto de los puntos de muestreo la riqueza fue menor.
- 376. En el punto HID-QChuñ1 se registraron los órdenes Amphipoda e Hydrophila representadas por el taxa *Hyallela* sp. y la familia Planorbidae. Es importante indicar que la especie *Austrelmis* sp.1 se registró en ocho de los 14 puntos evaluados, ver Anexo C4.



Handwritten signatures and initials in blue ink.

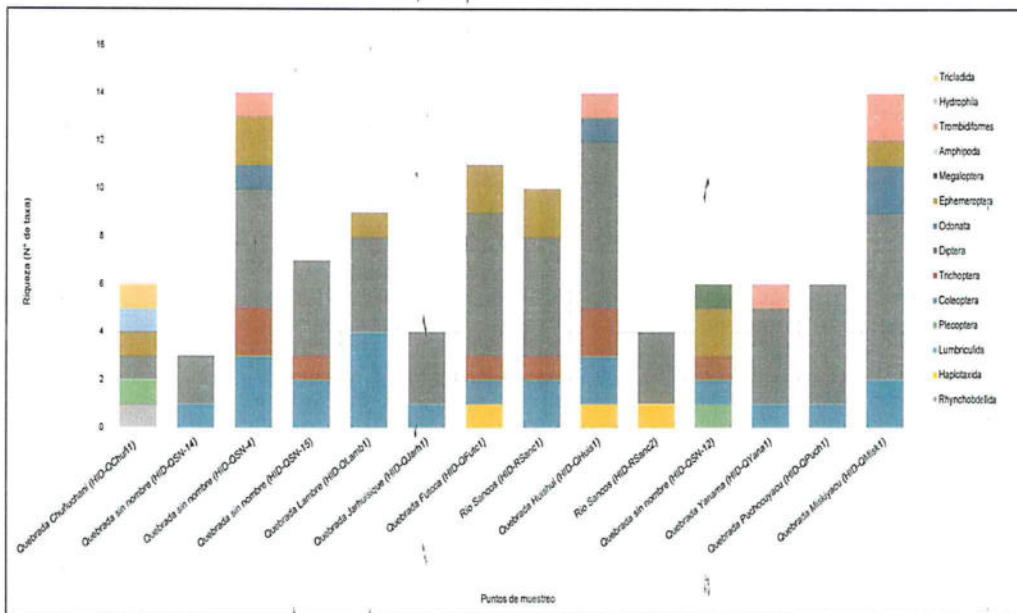


Figura 10-21. Riqueza o número de taxa de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden

#### Abundancia

- 377. En la Figura 10-22 se presentan los valores de abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada orden.

378. Se registró un total de 3513 organismos, la mayor abundancia (730 organismos) correspondió, por mucho, al punto HID-QSN-4 predominando el orden Ephemeroptera con 394 organismos. También se registró una abundancia moderada en los puntos HID-QLamb1, HID-RSanc1, HID-QPuch1 y HID-QMisk1 con 495, 321, 407 y 371 organismos, respectivamente. La abundancia en los puntos de muestreo restantes no superó los 300 organismos.
379. En todos los puntos de muestreo la abundancia correspondió principalmente a los insectos (clase Insecta), destacando entre ellos los órdenes Diptera, Coleoptera y Ephemeroptera, principalmente. Finalmente, la especie de mayor abundancia fue *Austrelmis* sp.1, con una abundancia de 664 organismos registrándose en ocho de los 14 puntos de muestreo; observándose que la mayor abundancia se registró en los puntos HID-QFuct1 y HID-RSanc1 con 165 y 201 organismos.

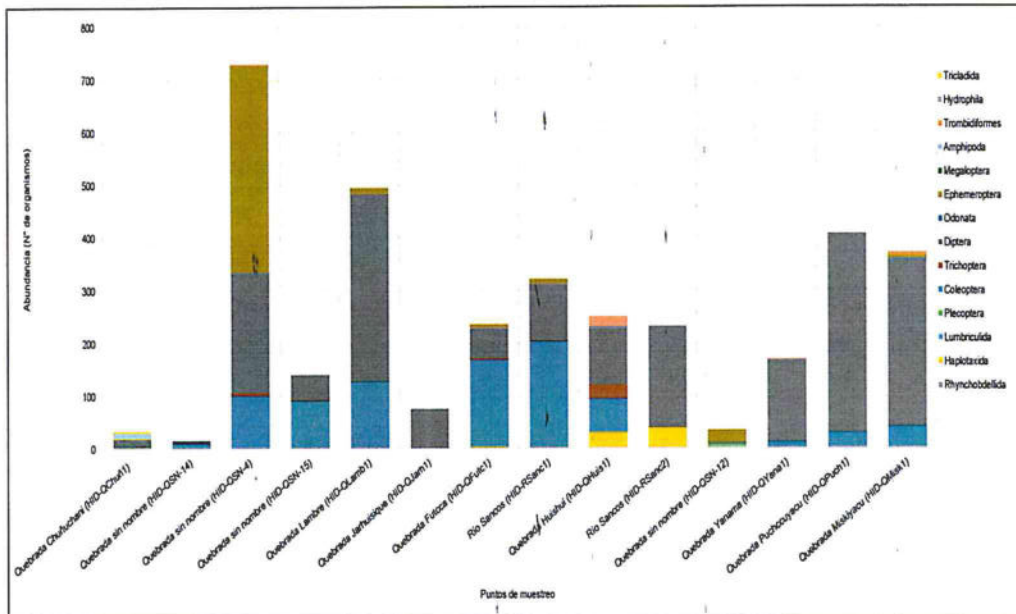


Figura 10-22. Abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden

• **Diversidad alfa**

380. 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 10-13.
381. Con respecto al índice J', el mayor valor se presentó en el punto de muestreo HID-QSN-14 con un valor de 0,79 y el mínimo valor se registró en el punto HID-QYana1 con un valor de 0,22. Los puntos HID-QChuñ1, HID-QSN-14, HID-QSN-4, HID-QSN-15, HID-QLamb1, HID-QHuis1, HID-RSanc2, HID-QSN-12 y HID-QMisk1 registraron valores mayores a 0,5 lo que indica que la diversidad en los puntos tienen una distribución homogénea.
382. Con respecto al índice N1 y el índice N2, el mayor valor se presentó en el punto de muestreo HID-QHuis1 y el menor valor se registró en el punto HID-QYana1.



*[Handwritten signature and initials in blue ink]*

Tabla 10-13. Diversidad alfa de macroinvertebrados bentónicos

Punto de muestreo	J'	N1	N2
HID-QChuñ1	0,77	3,98	3,23
HID-QSN-14	0,79	2,38	2,21
HID-QSN-4	0,50	3,77	2,71
HID-QSN-15	0,70	3,91	3,50
HID-QLamb1	0,72	4,89	3,67
HID-QJarh1	0,38	1,69	1,35
HID-QFutc1	0,40	2,63	1,87
HID-RSanc1	0,47	2,95	2,21
HID-QHuis1	0,74	6,97	5,33
HID-RSanc2	0,55	2,13	1,68
HID-QSN-12	0,55	2,68	1,95
HID-QYana1	0,22	1,49	1,20
HID-QPuch1	0,41	2,10	1,49
HID-QMisk1	0,61	5,05	3,03

Donde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill, J': Índice de equidad de Pielou

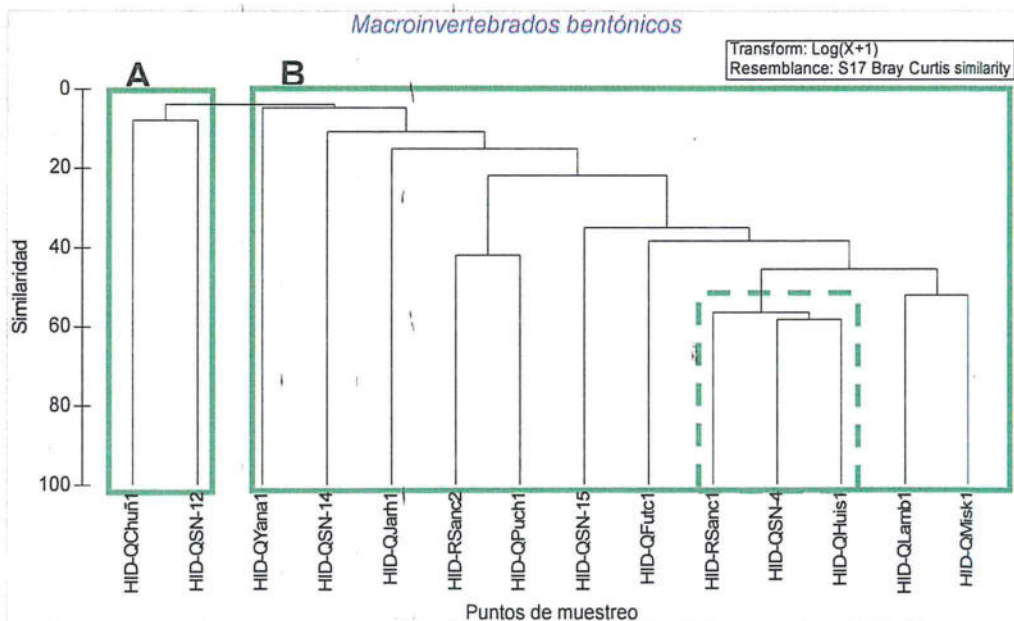
■ : Valores máximos de índices de diversidad alfa

■ : Valores mínimos de índices de diversidad alfa

• **Diversidad beta**

383. En la Figura 10-23 se presenta el dendrograma de similitud de los macroinvertebrados bentónicos, calculado mediante el índice de Bray Curtis. Claramente, se observa la formación de dos grupos bien diferenciados, los cuales tienen un porcentaje de similitud menor al 10 %. El primer grupo, denominado grupo A, estuvo integrado por los puntos HID-QChuñ1 y HID-QSN-12 y el segundo grupo (B) está conformado por los 12 puntos restantes, encontrándose una mayor similitud (55 %) entre los puntos HID-RSanc1, HID-QSN-4 y HID-QHuis1.

Figura 10-23. Dendrograma de similitud de macroinvertebrados bentónicos



Handwritten blue ink notes and signatures on the left margin.

**10.2.1.3. Indicadores biológicos de referencia para la calidad de agua**

384. En la Tabla 10-14 se presenta la calidad hidromorfológica obtenida de las características de hábitat en el punto de muestreo, la calidad biológica y la calidad ecológica del río Sancos y sus tributarios evaluados, ver Anexo C.5. Los resultados de este análisis fueron tomados de forma referencial, puesto que el método original exige un muestreo multihábitat de naturaleza cualitativa.
385. Se puede observar, que los puntos evaluados de acuerdo a las características de los hábitats registraron una calidad entre mala y moderada, esto puede estar asociado a la poca vegetación y estiércol encontrado en la mayoría de los puntos evaluados que evidencia la presencia de la actividad humana.
386. En cuanto a la calidad biológica, solo en el punto HID-QSN-4 se aprecia una calidad buena, esto coincide con la presencia del género *Andesiops* (Ephemeroptera: Baetidae). Los puntos restantes presentan una calidad de agua entre pésima y moderada, ver Tabla 10-14.
387. Por tanto, la calidad ecológica está en un rango de pésima a moderada a pesar de encontrarse en la parte alta del río Sancos, como son los puntos HID-QChuñ1, HID-QSN-14, HID-QSN-15, HID-QLamb1 y HID-QSN-4.

**Tabla 10-14.** Calidad ecológica de acuerdo al protocolo CERA-S

Punto de muestreo	Calidad hidromorfológica	Calidad biológica (ABI)	Calidad ecológica
HID-QChuñ1	Mala	Moderada	Moderada
HID-QSN-14	Mala	Pésima	Pésima
HID-QSN-4	Mala	Buena	Moderada
HID-QSN-15	Mala	Mala	Mala
HID-QLamb1	Mala	Mala	Mala
HID-QJarh1	Mala	Pésima	Pésima
HID-QFutc1	Moderada	Moderada	Moderada
HID-RSanc1	Moderada	Moderada	Moderada
HID-QHuis1	Moderada	Moderada	Moderada
HID-RSanc2	Moderada	Pésima	Pésima
HID-QSN-12	Mala	Mala	Mala
HID-QYana1	Mala	Pésima	Pésima
HID-QPuch1	Mala	Mala	Mala
HID-QMisk1	Moderada	Moderada	Moderada

**10.2.2. Río Para y sus tributarios**

388. En el río Para y sus tributarios se evaluaron un total de 07 puntos de muestreo en los que se realizó la colecta de perifiton y macroinvertebrados bentónicos. Los resultados obtenidos se pasaran a detallar.

**10.2.2.1 Perifiton****a. Microalgas del perifiton**• **Composición y riqueza**

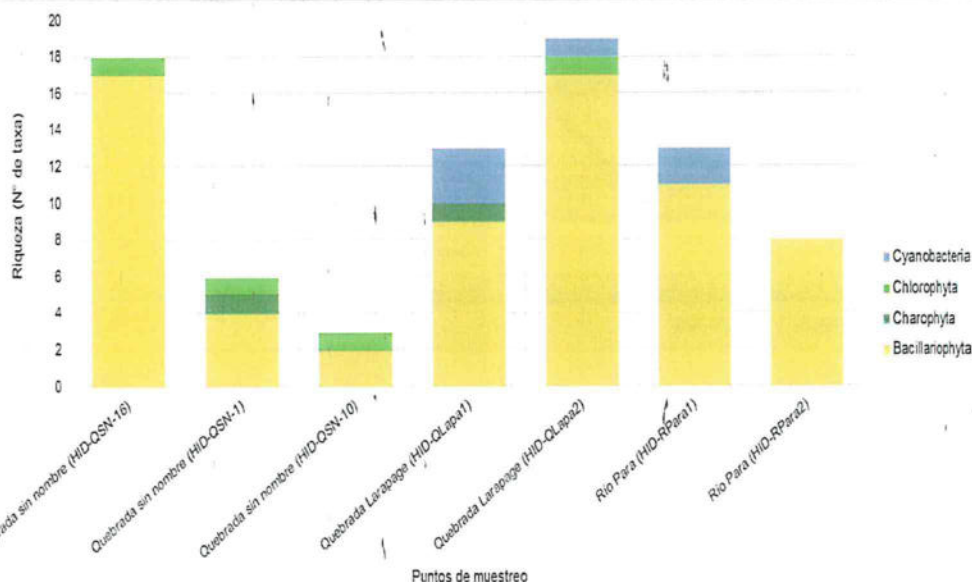
389. Fueron encontrados un total de 35 taxa de microalgas del perifiton distribuidas en 7 puntos de muestreo, las cuales están agrupadas en 23 familias, 17 órdenes y 6 clases, pertenecientes a 4 phyla distribuidos de la siguiente manera:



*[Handwritten signature]*

Bacillariophyta con 29 taxa, Cyanobacteria con 3 taxa, Charophyta con 2 taxa y Chlorophyta con un taxa, como se puede ver en el Anexo C4.

390. En la Figura 10-24 se presentan los valores de riqueza o número de taxa de microalgas por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada phylum.
391. Los valores de riqueza más altos corresponden a los puntos de muestreo de códigos HID-QLapa2 e HID-QSN-16, donde se encontraron 19 y 18 taxa respectivamente. En todos los puntos de muestreo evaluados en el río Para y sus tributarios, el phylum Bacillariophyta presentó el mayor número de taxa, seguida por el phylum Cyanobacteria.
392. En lo que se refiere al nivel de phylum, 3 de los 7 puntos de muestreo evaluados presentaron la mayor composición, es decir, se evidenció 3 phyla de los 4 registrados en la zona de estudio, estos puntos son HID-QSN-1, HID-QLapa1, e HID-QLapa2. Por otro lado, el punto de muestreo de códigos HID-RPara2 presentó la menor composición, ya que registró solo al phylum Bacillariophyta de los 4 registrados. La menor riqueza se presentó en el punto de muestreo de códigos HID-QSN-10 con 3 taxa.
393. Finalmente, las especies de mayor riqueza son *Navicula* sp. presente en seis puntos de muestreo y *Pinnularia* sp. presente en siete puntos de muestreo, de los siete puntos evaluados en la zona de estudio.



**Figura 10-24.** Riqueza o número de taxa de microalgas por phylum en el río Para y sus tributarios

• **Abundancia**

394. En la Figura 10-25 se presentan los valores de abundancia o número de organismos de las microalgas del perifiton por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada phylum.



Handwritten signature and initials in blue ink.

395. Se aprecia que la abundancia de las microalgas está representada principalmente por 2 phyla: Bacillariophyta y Cyanobacteria, donde en todas los puntos de muestreo el phylum Bacillariophyta presentó la mayor abundancia, con 39 566 organismos en todos los puntos de muestreo de esta zona, seguida del phylum Cyanobacteria con 807 organismos.
396. Los mayores valores de abundancia se encontraron en los puntos de muestreo de códigos HID-QSN-16 y HID-QLapa1, con valores de 13 176 y 11 438 organismos, respectivamente. Por otro lado, la menor abundancia se presenta en los puntos de muestreo de código HID-QSN-10 con un valor de 74 organismos e HID-QSN-1 con 65 organismos.
397. Finalmente, las especies de mayor abundancia fue *Nitzschia* sp. con 16 776 organismos en los 07 puntos de muestreo evaluados en la zona de estudio.

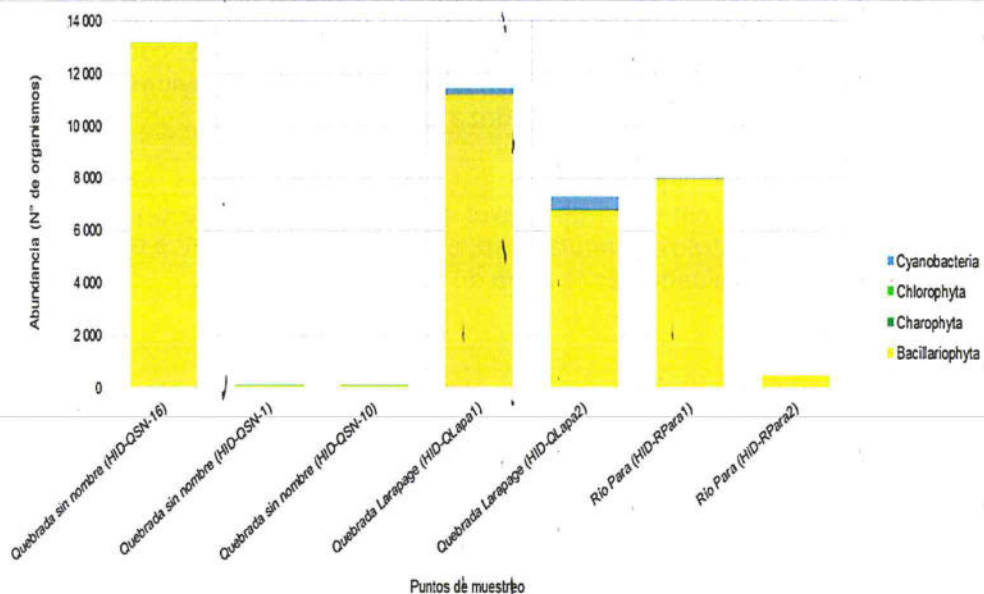


Figura 10-25. Abundancia o número de organismos de microalgas por phylum en el río Para y sus tributarios

- **Diversidad alfa**

398. 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 10-15.
399. Con respecto al índice J', los mayores valores se presentaron en los puntos HID-QSN-10 e HID-RPara2, lo cual indica valores altos de equidad, lo que significa una distribución homogénea de las abundancias de los organismos registrados en estos puntos de muestreo.
400. Con respecto al índice N1, los mayores valores se presentaron en los puntos HID-QSN-16 e HID-RPara2 y, por otro lado, los menores valores correspondieron a los puntos HID-QSN-10 e HID-QLapa1.



Handwritten signature and initials in blue ink.



401. Con respecto al índice N2, los mayores valores se presentaron en los puntos HID-QSN-16 e HID-RPara2 y, por otro lado, los menores valores correspondieron a los puntos HID-QSN-10 e HID-QLapa1.

Tabla 10-15. Diversidad alfa de microalgas en el río Para y sus tributarios

Puntos de muestreo	N1	N2	J'
HID-QSN-16	6,432	5,025	0,6439
HID-QSN-1	3,354	2,315	0,6754
HID-QSN-10	2,659	2,491	0,8903
HID-QLapa1	2,147	1,467	0,2979
HID-QLapa2	5,753	4,500	0,5943
HID-RPara1	5,158	3,901	0,6396
HID-RPara2	6,322	5,465	0,8868

Donde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill; J': Índice de equidad de Pielou

Valores máximos de índices de diversidad alfa

Valores mínimos de índices de diversidad alfa

Diversidad beta

402. En la Figura 10-26 se presenta el dendrograma de similitud de las microalgas calculado mediante el índice de Bray Curtis, el cual permitió conformar 04 conglomerados, de los cuales solo 01 supera un porcentaje de similitud del 50 %, este conglomerado está conformado por los puntos de muestreo HID-RPara1, HID-QLapa1 e HID-QLapa2, cabe mencionar que los puntos HID-QLapa1 e HID-QLapa2 fueron tomados en la quebrada Larapage la cual confluye en el río Para

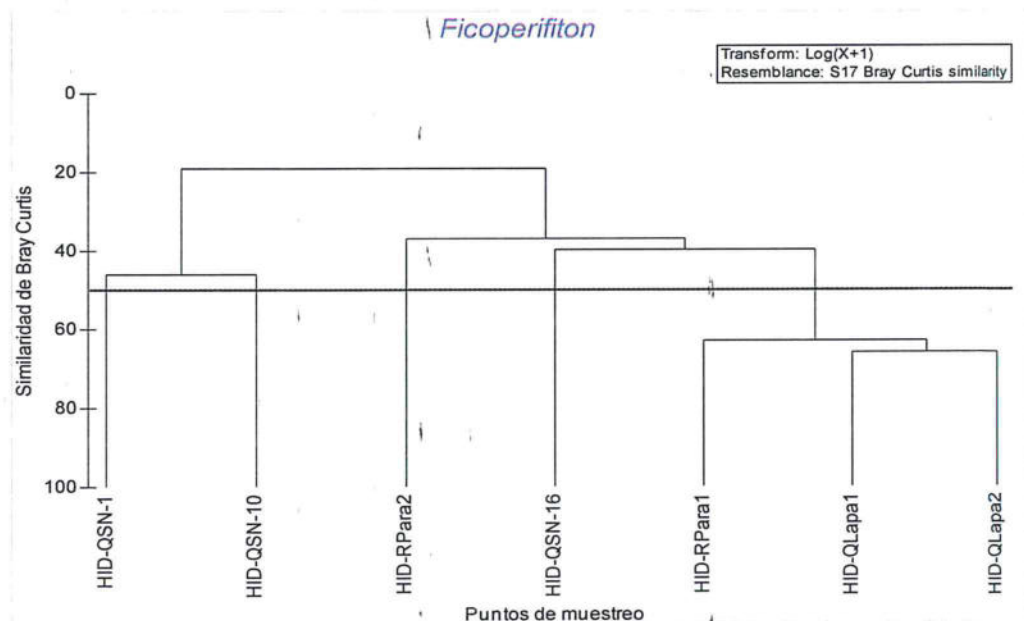


Figura 10-26. Dendrograma de similitud de las microalgas en el río Para y sus tributarios

b. Microorganismos del perifiton

403. En relación con los microorganismos del perifiton tal como se muestra en la Tabla 10-16, solo se reportó 1 taxa, pertenecientes a los phyla Protozoa, distribuidos en



Handwritten signatures and dates in blue ink.



2 puntos de muestreo; en los puntos restantes no se halló ningún organismo. En todos los puntos donde se encontraron microorganismos del perifiton solo se registró 1 taxa. La mayor abundancia perteneció al punto HID-RPara1 con 19 organismos; mientras que en el otro punto de muestreo de código HID-QSN-1, solo se reportaron 6 organismos. No se calcularon índices de diversidad por haberse reportado un número de especies poco útil para su análisis.

**Tabla 10-16.** Composición, riqueza y abundancia de los microorganismos del perifiton por punto de muestreo en el río Para y sus tributarios

Phylum	Riqueza (Taxa)	Río Para y sus tributarios	
		HID-QSN-1	HID-RPara1
Protozoa	<i>Trinema</i> sp.	6	19

### 10.2.2.2 Macroinvertebrados bentónicos

- Composición y riqueza**

404. Fueron encontrados un total de 35 taxa de macroinvertebrados bentónicos, distribuidos en siete puntos de muestreo. En la Figura 10-27 se presentan los valores de riqueza ó número de taxa de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada orden.
405. La mayor composición y riqueza de taxa se registró en el punto de muestreo (HID-QLapa1) encontrándose nueve de los 11 órdenes identificados y 20 taxa. En la mayoría de los puntos de muestreo dominó el orden Diptera, solo en el punto HID-QSN-10 la riqueza fue equitativa con el orden Coleoptera, teniendo como representantes a los taxa Orthocladinae y *Lancetes* sp., respectivamente.
406. Se observa la presencia del orden Plecoptera con el único taxa representante "*Claudioptera* sp." en la quebrada Larapage y el río Sancos correspondiente a los puntos de muestreo HID-QLapa1, HID-QLapa2, HID-RPara1 y HID-RPara2. Es preciso mencionar que Roldán (2003), indica que la familia Grypopterigidae a la cual corresponde el género *Claudioptera* se encuentra principalmente en ambientes acuáticos con características de aguas muy limpias.
407. También en los puntos HID-QSN-1, HID-QLapa1, HID-QLapa2 y HID-RPara1, correspondiente a la quebrada sin nombre, quebrada Larapage y río Para, se observa la presencia del orden Trichoptera con las familias Hydrobiosidae, Hydroptilidae y Limnephilidae, las cuales incluyen especies que indican aguas limpias principalmente.



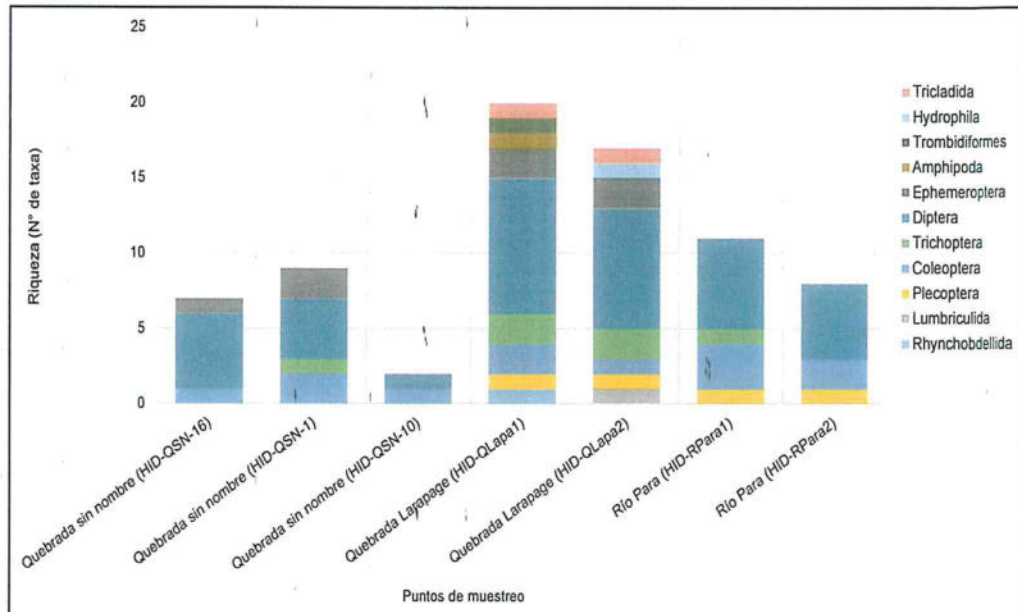


Figura 10-27. Riqueza o número de taxa de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden

#### Abundancia

408. En la Figura 10-28 se presentan los valores de abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada orden.
409. Se registró un total de 2827 organismos, la mayor abundancia (1158 organismos) correspondió, por mucho, al punto HID-RPara2 predominando el orden Diptera con 925 organismos, conformada principalmente por la familia Simuliidae: *Gigantodax* sp. (204 organismos) y *Simulium* sp. (713 organismos). También se registró una abundancia moderada en el punto HID-QLapa1 con 578 organismos. La abundancia en los puntos de muestreo restantes no superó los 300 organismos.
410. En todos los puntos de muestreo la abundancia correspondió principalmente a los órdenes de insectos, destacando entre ellos Diptera y Ephemeroptera principalmente.



Handwritten blue ink marks, including a checkmark and some scribbles.

411. Finalmente, dos taxa fueron abundantes *Simulium* sp. y *Andesiops* sp. con 821 y 802 organismos que estuvieron presentes en cuatro y cinco puntos de muestreo de los siete evaluados, respectivamente. En el caso de *Simulium* sp. se registró la mayor abundancia en el punto HID-RPara2 con 713 organismos ver Anexo C4; mientras que, *Andesiops* sp. registró una abundancia homogénea (entre 150 y 200 organismos) distribuidos en 5 de los 7 puntos de muestreo.

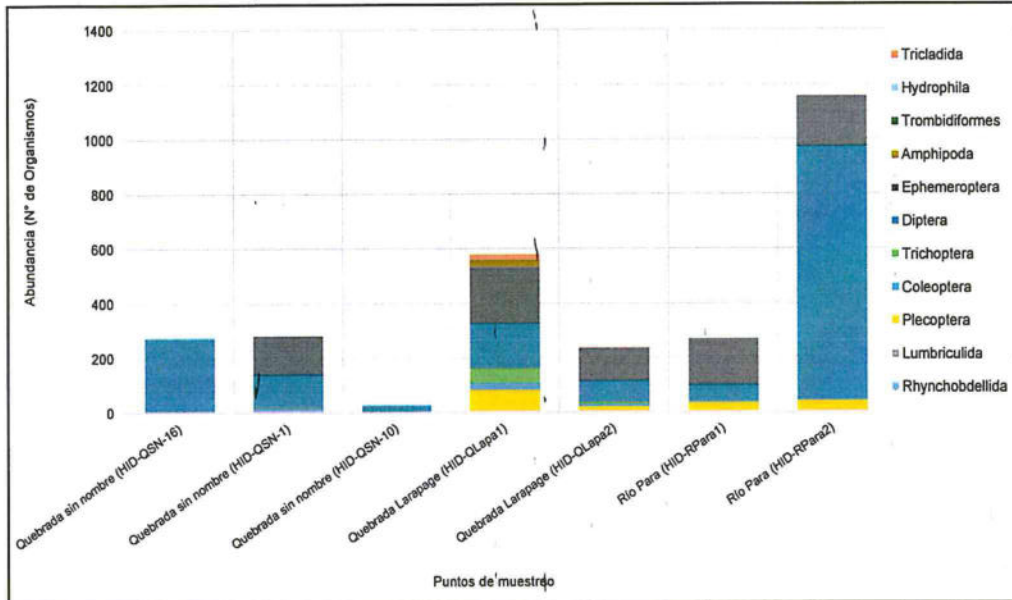


Figura 10-28. Abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden



*[Handwritten signature]*

• **Diversidad alfa**

- 412. 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 10-17.
- 413. Con respecto al índice J', el mayor valor se presentó en el punto de muestreo HID-QLapa2 con un valor de 0,66 y el mínimo valor se registró en el punto HID-QSN-10 con un valor de 0,23. Los puntos HID-QSN-16, HID-QSN-1, HID-QLapa1, HID-QLapa2 y HID-RPara-1 registraron valores mayores a 0,5 lo que indica que la diversidad en estos puntos tienen una distribución homogénea.
- 414. Con respecto al índice N1 y el índice N2, el mayor valor se presentó en el punto de muestreo HID-QLapa1 y el menor valor se registró en el punto HID-QSN-10.

Tabla 10-17. Diversidad alfa de macroinvertebrados bentónicos por zona y punto de muestreo

Punto de muestreo	J'	N1	N2
HID-QSN-16	0,64	3,17	2,82
HID-QSN-1	0,52	3,11	2,48
HID-QSN-10	0,23	1,17	1,08
HID-QLapa1	0,65	7,06	4,87
HID-QLapa2	0,66	6,55	4,19

Punto de muestreo	J'	N1	N2
HID-RPara1	0,50	3,50	2,27
HID-RPara2	0,49	2,97	2,29

Donde: J': Índice de equidad de Pielou, N1 y N2: Índices de diversidad de Hill.

■ : Valores máximos de índices de diversidad alfa

■ : Valores mínimos de índices de diversidad alfa

**Diversidad beta**

415. En la Figura 10-29 se presenta el dendrograma de similitud de los macroinvertebrados bentónicos calculado mediante el índice de Bray Curtis. Claramente, se observa la formación de dos grupos bien diferenciados, los cuales tienen un porcentaje de similitud del 10 %. El primer grupo, denominado grupo A, estuvo integrado por los puntos HID-QSN-1, HID-RPara1, HID-RPara2, HID-QLapa1 y HID-QLapa2, encontrándose la mayor similitud de especies entre los puntos HID-RPara1 y HID-RPara2 con 65 %. El segundo grupo está conformado por dos puntos: HID-QSN-16 y HID-QSN-10 con una similitud del 30 %.

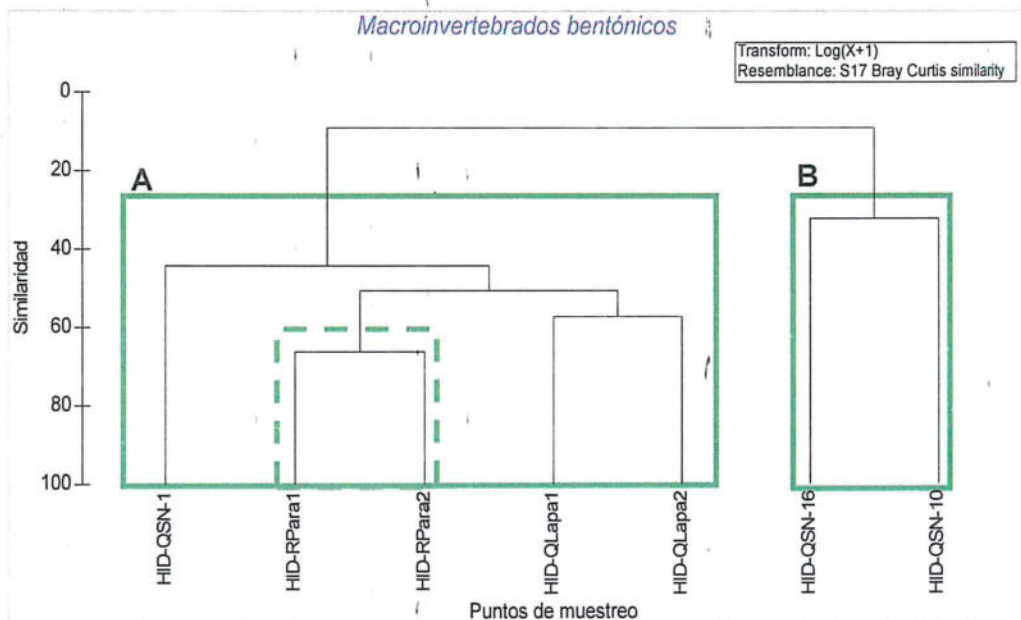


Figura 10-29. Dendrograma de similitud de macroinvertebrados bentónicos

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

416. En la Tabla 10-18 se presenta la calidad hidromorfológica obtenida de las características de hábitat en cada punto de muestreo, la calidad biológica y la calidad ecológica del río Sancos y sus tributarios evaluados, ver Anexo C.5. Los resultados de este análisis fueron tomados de forma referencial, puesto que el método original exige un muestreo multihábitat de naturaleza cualitativa.

417. Se puede observar, que los puntos evaluados de acuerdo a las características de los hábitas registran una calidad mala y moderada, esto puede estar asociado a la poca vegetación de la zona y la presencia de estiércol en la mayoría de los puntos evaluados. Además, específicamente en los puntos HID-QSN-16, HID-



- QSN-1 y HID-QSN-10 se observan que los valores de pH están por debajo de 5 unidades de pH; es decir que sus aguas son ácidas lo que podría estar afectando al crecimiento de las especies de plantas; así como, a las comunidades del agua.
418. En cuanto a la calidad biológica, dos puntos HID-Lapa1 y HID-Lapa2 se registraron una buena calidad, esto coincide con la presencia de los géneros *Andesiops* (Ephemeroptera: Baetidae), *Gigantodax* (Diptera: Simuliidae), *Claudioperla* (Plecoptera: Gripopterygidae) y *Anomalocosmoecus* (Trichoptera: Limnephilidae). El punto HID-QSN-16 registró una mala calidad que podría estar reflejado con la presencia del género *Podonomus* (Diptera: Chironomidae), ya que los chironomidos son bastante resistentes a grados de contaminación. Asimismo ocurre en el punto HID-QSN-10, donde la calidad es pésima se observa la presencia de quironómidos característicos por ser organismos bastante tolerantes. Los puntos restantes presentan una calidad de agua moderada, ver Tabla 10-18.

Tabla 10-18. Calidad ecológica de acuerdo al protocolo CERA-S

Punto de muestreo	Calidad hidromorfológica	Calidad biológica (ABI)	Calidad ecológica
HID-QSN-16	Mala	Mala	Mala
HID-QSN-1	Mala	Moderada	Moderada
HID-QSN-10	Mala	Pésima	Pésima
HID-QLapa1	Moderada	Buena	Moderada
HID-QLapa2	Moderada	Buena	Moderada
HID-RPara1	Moderada	Moderada	Moderada
HID-RPara2	Moderada	Moderada	Moderada

### 10.2.3. Manantiales

419. En los manantiales de la localidad de Para se evaluaron un total de 03 puntos de muestreo en los que se realizó solo la colecta de perifiton. Los resultados obtenidos se pasaran a detallar.

#### 10.2.3.1. Perifiton

##### a. Microalgas del perifiton

##### • Composición y riqueza

420. Fueron encontrados un total de 26 taxa de las microalgas del perifiton distribuidos en 3 puntos de muestreo, las cuales están agrupadas en 18 familias, 13 órdenes y 4 clases, pertenecientes a 4 phyla distribuidos de la siguiente manera: Bacillariophyta con 20 taxa, Cyanobacteria con 4 taxa, Chlorophyta con 22 taxa y Charophyta con un solo taxa, como se puede ver en el Anexo C4.
421. En la Figura 10-30 se presentan los valores de riqueza o número de taxa de las microalgas del perifiton por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada phylum.
422. El valor de riqueza más alto corresponde al punto de muestreo HID-Mana3 con 20 taxa. En los 3 puntos de muestreo el phylum Bacillariophyta presentó el mayor número de taxa, seguido por el phylum Cyanobacteria, mientras que el phylum Charophyta es el de menor riqueza.



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

423. En lo que se refiere al nivel de phyla, el punto de muestreo HID-Mana3 presentó la mayor composición, es decir, presentaron los 4 phyla registrados en los manantiales.
424. Finalmente, las especies de mayor riqueza son *Nitzschia* sp., *Achnanthydium* sp. y *Pinnularia* sp. presentes en los 3 puntos de muestreo de los manantiales.

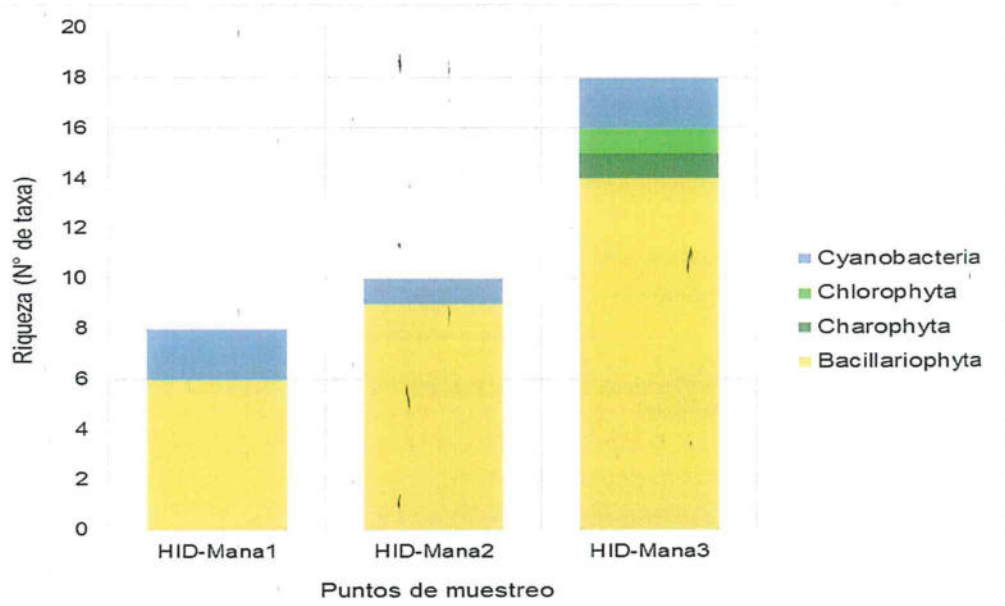


Figura 10-30. Riqueza o número de taxa de las microalgas del perifiton y phylum en los manantiales

• **Abundancia**

425. En la Figura 10-31 se presentan los valores de abundancia o número de organismos de las microalgas del perifiton por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada phylum. Se aprecia que la abundancia de las microalgas está representada principalmente por 4 phyla: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Charophyta y Chlorophyta, donde en todos los puntos de muestreo el phylum Bacillariophyta presentó la mayor abundancia, con 310 317 organismos en los 3 puntos de muestreo de los manantiales, seguida del phylum Cyanobacteria 2130 organismos.
426. El mayor valor de abundancia se encontró en el punto de muestreo HID-Mana2 con 310 317 organismos, mientras que la menor abundancia se presentó en el punto de muestreo HID-Mana2 con 13 938 organismos.
427. Finalmente, la especie de mayor abundancia fue *Navicula* sp., con 223 438 organismos en los 3 puntos de muestreo.



Handwritten blue ink marks, including a signature and the number '9'.

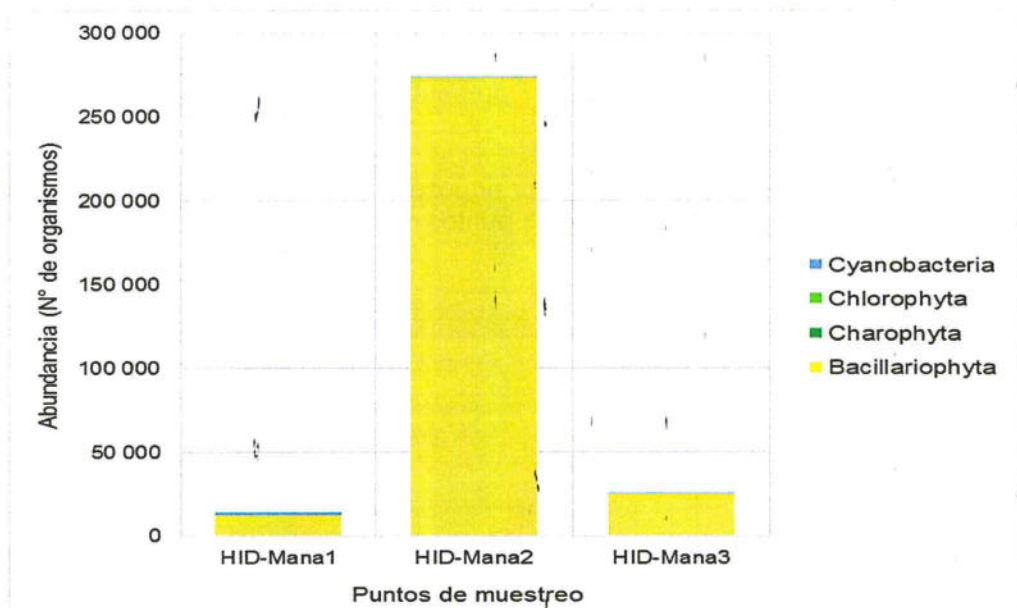


Figura 10-31. Abundancia o número de organismos de las microalgas del perifiton por phylum en los manantiales

• **Diversidad alfa**

- 428. 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 10-19.
- 429. Con respecto al índice J', el mayor valor se presentó en el punto de muestreo HID-Mana1, lo cual indica un valor alto de equidad, lo que significa una distribución homogénea de las abundancias de los organismos registrados en este punto de muestreo.
- 430. Con respecto al índice N1 y N2, los mayores valores se presentó en el punto de muestreo HID-Mana1, mientras que el menor valor se presentó en el punto de muestreo HID-Mana2.

Tabla 10-19. Diversidad alfa de las microalgas del perifiton por punto de muestreo en los manantiales

Puntos de muestreo	N1	N2	J'
HID-Mana1	6,441	5,34	0,8957
HID-Mana2	2,172	1,565	0,3368
HID-Mana3	2,776	2,108	0,3533

Donde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill; J': Índice de equidad de Pielou

■ : Valores máximos de índices de diversidad alfa

■ : Valores mínimos de índices de diversidad alfa

• **Diversidad beta**

- 431. En la Figura 10-32 se presenta el dendrograma de similitud de las microalgas del perifiton calculado mediante el índice de Bray Curtis, el cual permitió observar que los puntos de muestreo HID-Mana2 e HID-Mana3 tienen un porcentaje de similitud



*[Handwritten signature]*

del 48 %; es decir, que ambos puntos de muestreo están mas relacionados en cuanto a las especies de microalgas registradas que con el punto HID-Mana1.

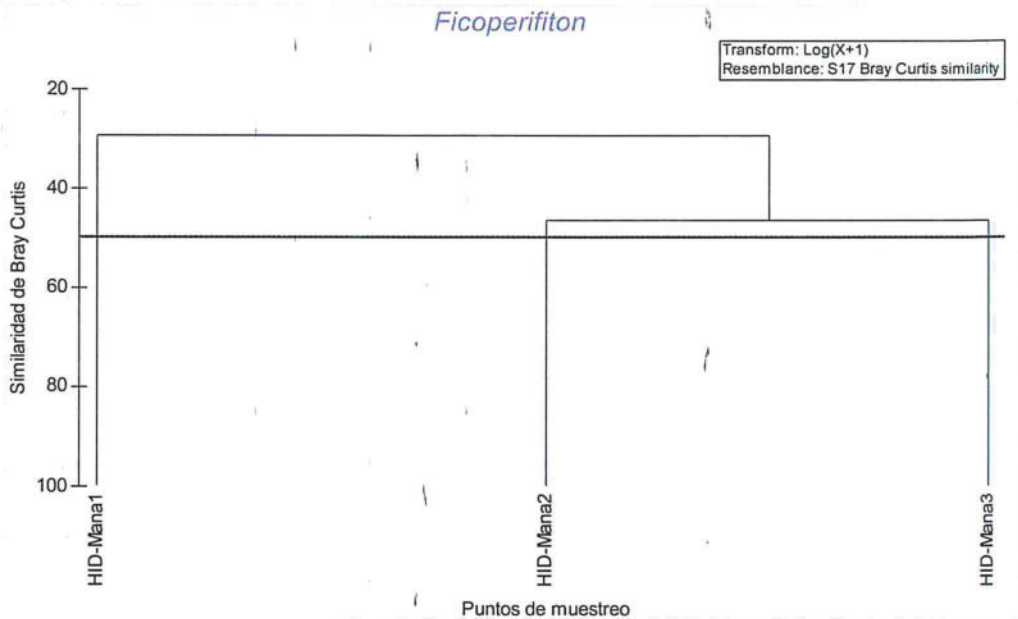


Figura 10-32. Dendrograma de similitud de las microalgas del perifiton en los manantiales

**b. Microorganismos del perifiton**

432. En relación con los microorganismos del perifiton como se muestra en la Tabla 10-20, solo se reportó un taxa, perteneciente al phylum Protozoa en el punto de muestreo HID-Mana1 con una abundancia de 131 organismos. En los puntos restantes no se halló ningún organismo; además, no se calcularon índices de diversidad por haberse encontrado una sola especie, lo cual es poco útil para el análisis.

Tabla 10-20. Composición, riqueza y abundancia de zooperifiton en los manantiales

Phylum	Riqueza (Taxa)	HID-Mana1
Protozoa	<i>Trinema</i> sp.	131

**10.3. Calidad de suelo**

**10.3.1. Datos para la determinación del nivel de fondo – NF y valor de referencia VR**

433. Los datos para la evaluación del nivel de fondo, se toman a partir de los puntos ubicados en el área del proyecto minero Sancos (ver Tabla 9-14), estos 26 puntos evaluados se encuentran sobre la geología Grupo Tacaza. Debido a que, el número de datos es insuficiente, no se calculó el nivel de fondo, sin embargo, esta información complementará a los datos que se obtengan de la evaluación temprana ambiental del 2018 para el cálculo de nivel de fondo y valor de referencia.



*[Handwritten signatures and marks in blue ink]*



434. Por otro lado, los resultados de metales totales del análisis realizado por el laboratorio AGQ Peru S.A.C., se muestran en el Anexo D4 y la ubicación espacial se muestra en el Anexo D1.
435. En la Tabla 10-21 se presentan los resultados obtenidos del análisis de los metales y metaloides (arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo)

**Tabla 10-21.** Datos par el nivel de fondo y valores de referencia de metales para el área de estudio

Parámetros (mg/kg PS)	Arsénico Total	Bario total	Cadmio total	Mercurio total	Plomo total
SUE-SAN-01	113	100	0,2169	0,26	55,2
SUE-SAN-02	98	120	0,1695	0,13	56,7
SUE-SAN-03	197	144	0,2545	0,12	52,1
SUE-SAN-04	87	130	0,3702	0,21	46,6
SUE-SAN-05	284	136	0,2551	0,05	32,5
SUE-SAN-06	85	103	0,1444	<0,03	23,4
SUE-SAN-07	79	125	0,2795	0,06	24,4
SUE-SAN-08	79	127	0,3258	<0,03	28,3
SUE-SAN-09	103	75,3	0,0875	0,09	21,6
SUE-SAN-10	11	155	0,3488	<0,03	8,35
SUE-SAN-11	21	146	0,1569	<0,03	8,43
SUE-SAN-12	36	152	0,1511	<0,03	7,81
SUE-SAN-13	379	122	0,1104	0,27	66,3
SUE-SAN-14	341	168	0,2251	0,14	105
SUE-SAN-15	619	126	0,1404	0,29	165
SUE-SAN-16	62	151	0,0922	<0,03	12,3
SUE-SAN-17	42	178	0,0855	0,09	10,4
SUE-SAN-18	39	125	0,1238	<0,03	11,5
SUE-PAR-01	26	290	0,2089	0,06	9,29
SUE-PAR-02	51	175	0,192	0,1	20,9
SUE-PAR-03	44	193	0,1277	0,1	18,7
SUE-PAR-04	32	191	0,2141	<0,03	13,7
SUE-PAR-05	37	174	0,185	0,07	16,7
SUE-PAR-06	45	164	0,2085	0,07	15,1
SUE-PAR-07	45	189	0,138	0,07	18,5
SUE-PAR-08	83	179	0,1389	0,15	19,9



*[Handwritten signature and initials in blue ink]*

#### 10.4. Tejido vegetal

436. El Perú no presenta estándares nacionales de calidad ambiental para metales en tejidos vegetales, que establezcan los valores máximos permitidos de contaminantes en el entorno, por tal motivo, no se realizaron comparaciones con normas referenciales.



437. La información generada, servirá de conocimiento y referencia para posteriores trabajos de vigilancia ambiental.
438. En la Tabla 10-22, se muestra los resultados obtenidos de contenido de metales en las muestras de pastos extraídas del área de influencia del proyecto Sancos, áreas pertenecientes a las comunidades campesinas de Sancos y Para.

**Tabla 10-22.** Concentraciones de metales obtenidas en pastos dentro del área de influencia del proyecto minero Sancos

Metales mg/kg	TEJ-SAN-01	TEJ-SAN-02	TEJ-SAN-03	TEJ-SAN-04	TEJ-SAN-05	TEJ-PAR-01	TEJ-PAR-02
Aluminio	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50
Antimonio	0,23	0,50	0,32	0,49	0,13	0,16	0,11
Arsénico	1,00	2,08	1,20	2,05	2,29	2,32	2,28
Bario	> 20,0	> 20,0	> 20,0	> 20,0	> 20,0	> 20,0	> 20,0
Berilio	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	0,04	0,03
Boro	6,00	10,00	9,00	12,00	8,00	7,00	7,00
Cadmio	0,23	0,28	0,24	0,24	0,08	0,07	0,07
Cobalto	0,16	0,29	0,22	0,29	1,40	1,40	1,30
Cobre	5,10	8,00	7,10	8,20	8,10	7,30	7,80
Cromo	0,95	1,82	1,33	1,60	4,85	4,51	4,83
Estaño	0,03	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Estroncio	> 20,0	> 20,0	> 20,0	> 20,0	> 20,0	> 20,0	> 20,0
Hierro	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50
Litio	0,116	0,167	0,125	0,189	0,373	0,387	0,387
Manganeso	0,148	0,231	0,205	0,228	0,150	0,132	0,134
Mercurio	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Molibdeno	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Níquel	0,43	0,76	0,52	0,74	1,94	1,75	1,82
Plata	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Plomo	0,539	0,979	0,713	1,080	0,980	0,946	0,938
Selenio	0,190	0,480	0,288	0,427	0,227	0,229	0,256
Titanio	1,70	6,02	1,44	5,40	9,19	9,76	10,00
Vanadio	0,67	1,47	0,81	1,54	4,94	4,86	4,83
Zinc	12,0	17,5	15,70	16,9	16,4	15,1	17,0

439. Los puntos con codificación TEJ-SAN, se encuentra ubicado en el distrito de Sancos, asimismo, los puntos con codificación TEJ-PAR, están en el distrito de Chaviña en tierras de la comunidad Para.
440. Cabe señalar que las concentraciones de metales encontradas en los pastos evaluados, servirán de conocimiento y referencia para posteriores trabajos de vigilancia ambiental.
441. Finalmente, la sistematización total, cadenas de custodia y los informes de ensayo se detalla en el Anexo E4.



*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*



## 11. DISCUSIONES

442. En la presente sección se discuten brevemente los resultados obtenidos para los diferentes componentes ambientales analizados.

### 11.1. Calidad de agua

443. De acuerdo a los resultados obtenidos en el agua superficial, las concentraciones de aluminio, manganeso y hierro registraron concentraciones que excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2, por lo que se explicará el comportamiento que estos tienen en el medio evaluado.

444. Al respecto, las concentraciones de aluminio son mayores, en el rango de 20 a 32 mg/L, cuando el pH es menor a 4,0 para el río Sancos y sus tributarios (ver Figura 11-1). Asimismo, las concentraciones de aluminio están en un rango mayor de 16 a 62 mg/L cuando el pH es menor a 5,0 para el río Para y sus tributarios (ver Figura 11-2).

445. Un comportamiento similar del aluminio tiene el hierro, cuyo rango mayor está de 1 a 2,5 mg/L para el río Sancos y tributarios a pH menor a 4,0, excepto para la quebrada sin nombre QSN-15 (ver Figura 11-3) con 1,298 mg/L, mientras que en el río Para y sus tributarios, su concentración está en el rango de 1,0 a 5,5 mg/L a pH menor a 4,0 (ver Figura 11-4).

446. En caso del manganeso, se registra la mayor concentración del río Sancos y sus tributarios con 2,4 mg/L en la quebrada Chuchuñaqui que registra un pH de 3,41; mientras los demás puntos de muestreo registraron concentraciones menores a 0,8 mg/L en un rango de pH de 2,95 a 6,11 (ver Figura 11-5). En tanto, el rango de mayor concentración de manganeso en el río Para y sus tributarios es de 1,8 a 6,7 mg/L cuando el pH es menor a 5,0 (ver Figura 11-6).

447. Las referidas mayores concentraciones de aluminio y hierro predominan en su forma disuelta (mayores al 80 % y 83 % respectivamente) a pH bajos menores a 5,0, excepto para la quebrada sin nombre QSN-15 el cual tiene 97 % en la forma suspendida. En relación al manganeso, su concentración en todos los puntos de muestreo con pH de 2,95 a 7,01 predomina la forma disuelta, excepto para la quebrada Lambre (QLamb1) y el río Para (RPara1) con 33 y 10 % para la citada forma.



"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

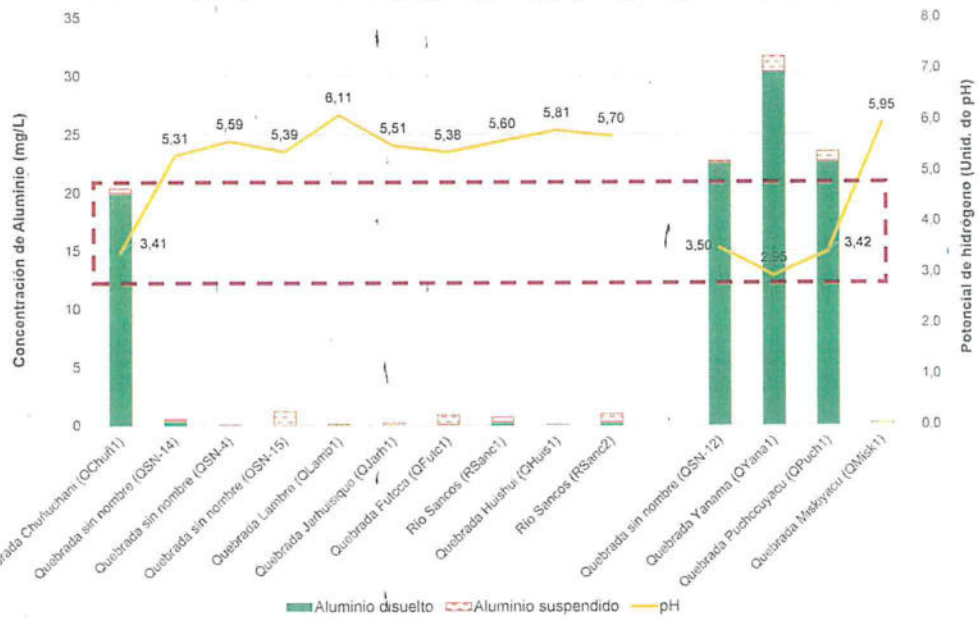


Figura 11-1. Relación de concentraciones de aluminio y pH en el río Sancos y sus tributarios

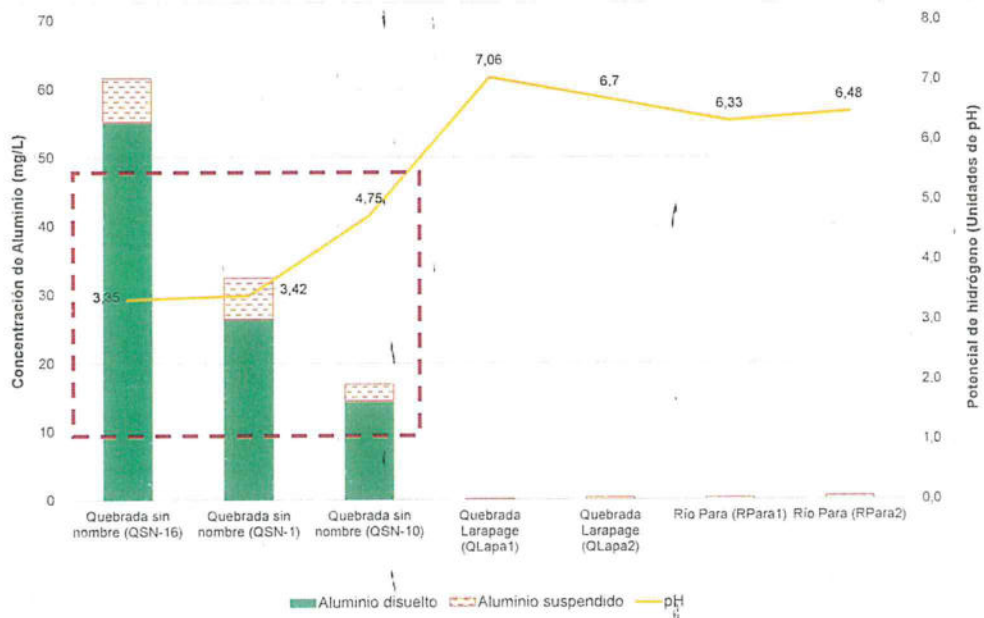


Figura 11-2. Relación de concentraciones de aluminio y pH en el río Para y sus tributarios



Handwritten signature in blue ink.

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

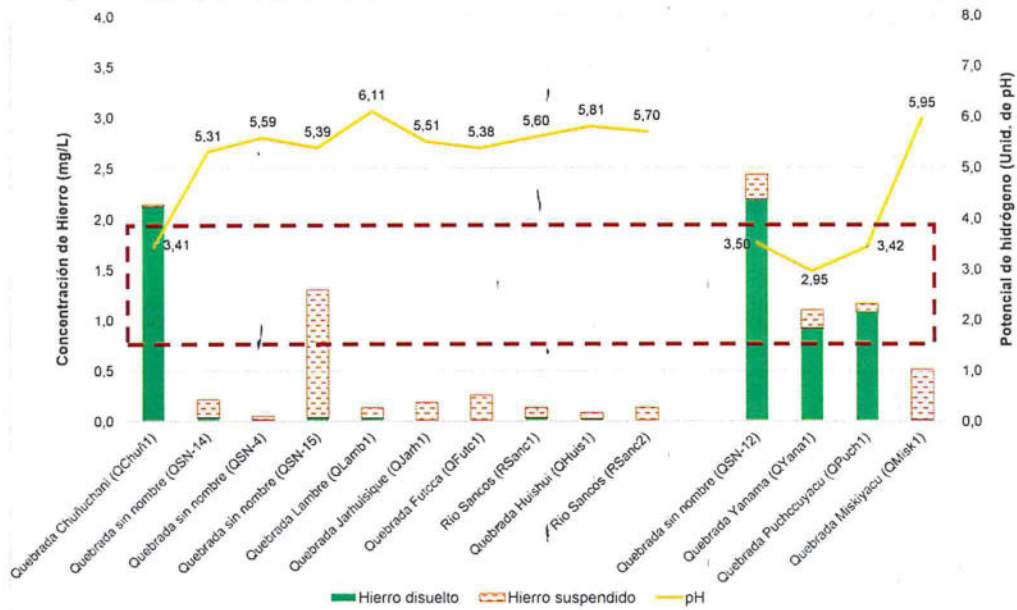


Figura 11-3. Relación de concentraciones de hierro y pH en el río Sancos y sus tributarios



Handwritten signatures and initials in blue ink.

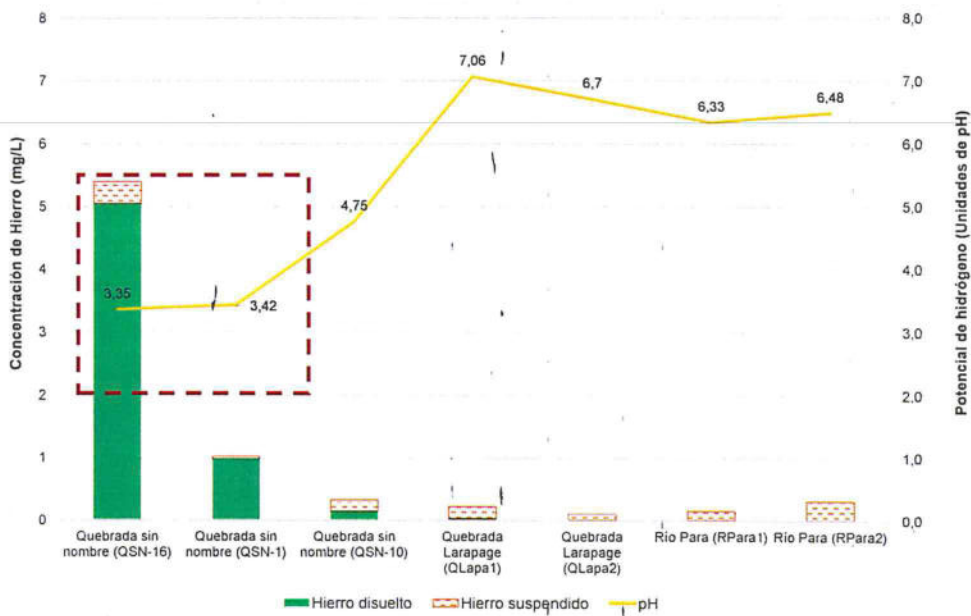


Figura 11-4. Relación de concentraciones de hierro y pH en el río Para y sus tributarios

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

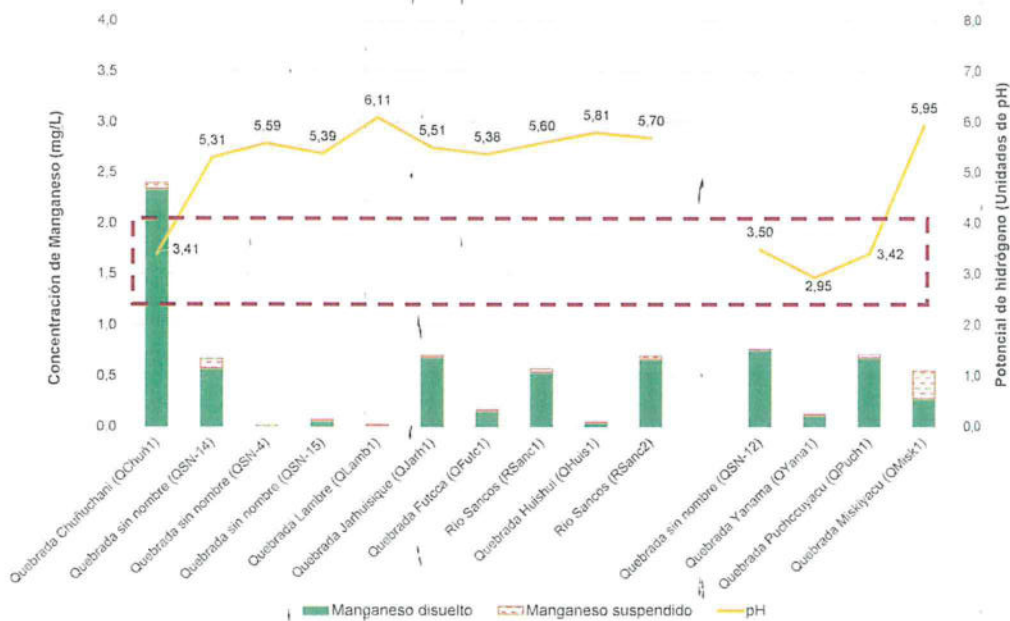


Figura 11-5. Relación de concentraciones de manganeso y pH en el río Sancos y sus tributarios

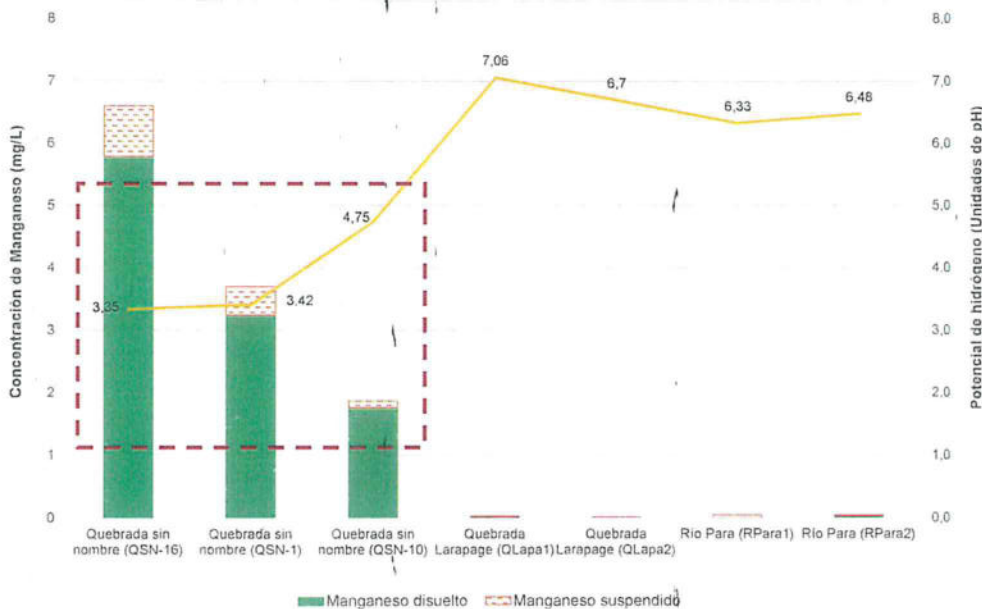


Figura 11-6. Relación de concentraciones de manganeso y pH en el río Para y sus tributarios

448. De la distribución geográfica de los citados puntos de muestreo, ver Figura 11-7, podemos ver que se han determinados dos grupos: A y B en relación aquellos cuerpos de agua con los pH menores a 5,0 y concentraciones altas de Aluminio (Al), Manganeso (Mn) y hierro (Fe). En la zona A se encuentra las quebradas Chuñuchani (QChuñ1), sin nombre QSN-1, sin nombre QSN-16 y sin nombre QSN-10, y en la zona B se encuentra las quebradas sin nombre QSN-12, Puchccuyacu (QPuch1) y Yanama (QYana1).



*[Handwritten signature and initials]*



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

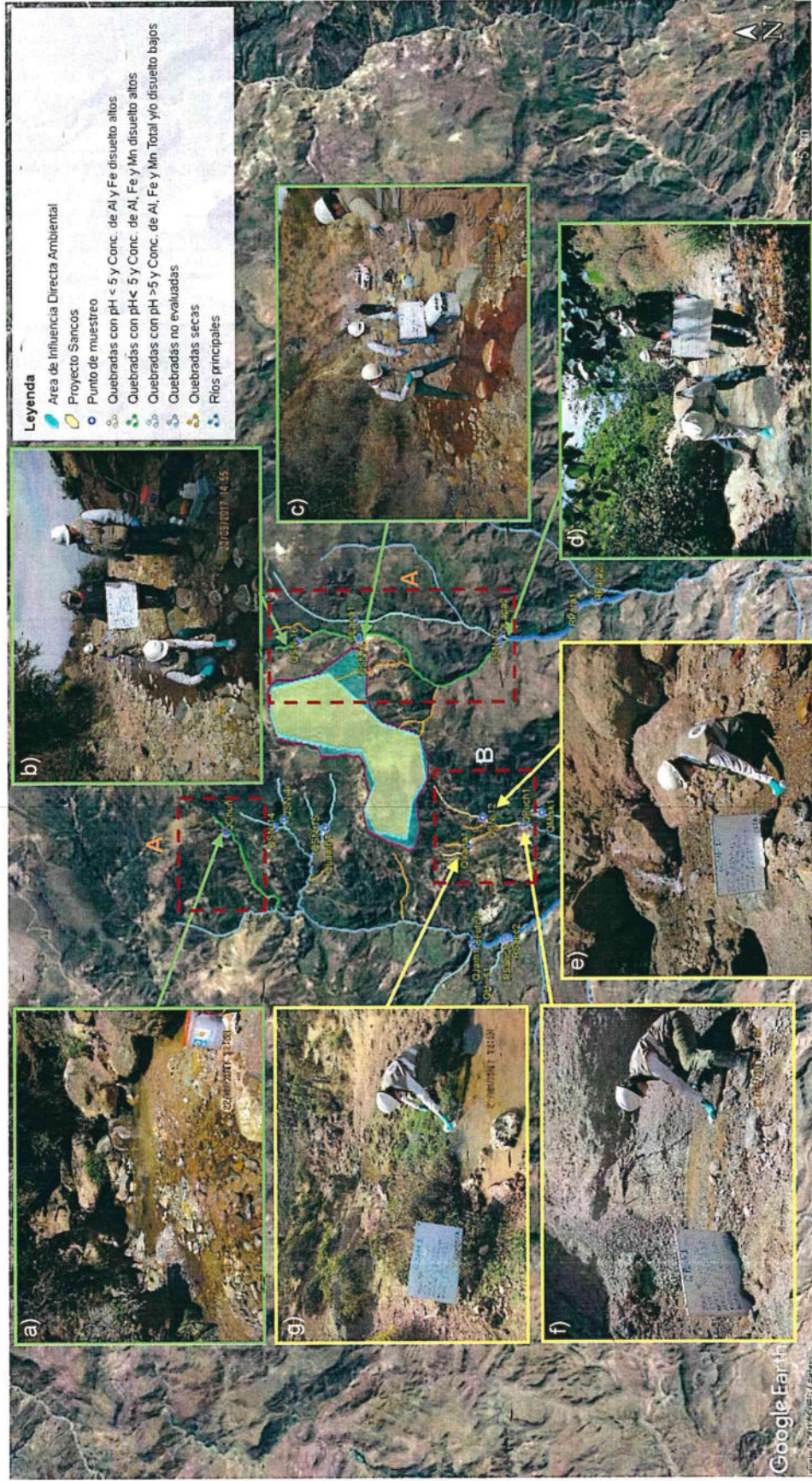
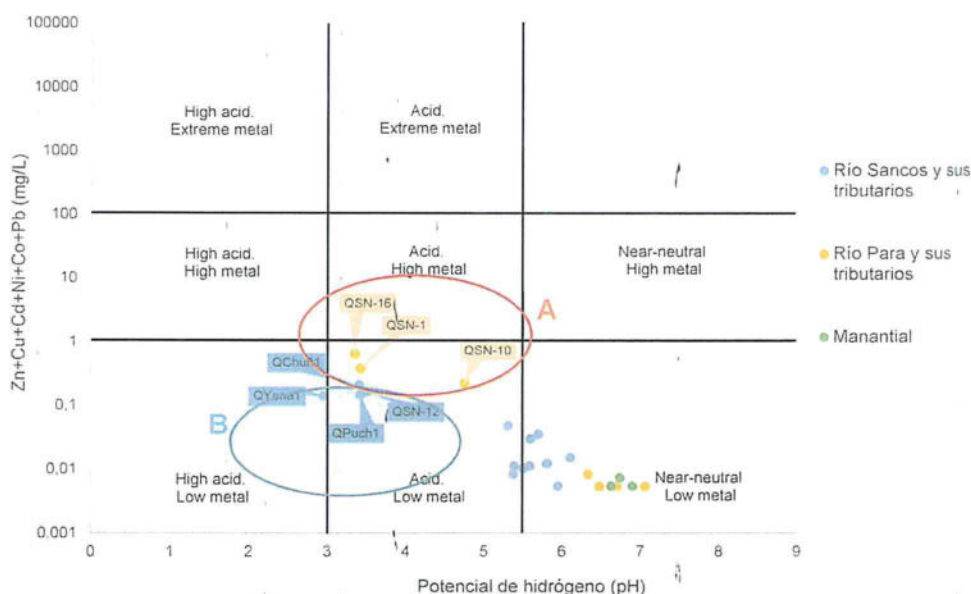


Figura 11-7. Esquema de los puntos de muestreo en a) Quebrada Chuñuchani (QChuñ1), b) Quebrada sin nombre (QSN-16), c) Quebrada sin nombre (QSN-1), d) Quebrada sin nombre (QSN-10), e) Quebrada sin nombre (QSN-12), f) Quebrada Puchccuyacu (QPuch1) y g) Quebrada Yanama (QYana1)



Handwritten signature in blue ink.

449. La evaluación del comportamiento de otros metales se considera tomando en cuenta el diagrama de Ficklin, ver Figura 11-8, el cual realizó una clasificación geoquímica del agua superficial y los manantiales en el área del presente estudio en base a la suma de los metales disueltos: zinc (Zn), cobre (Cu), cadmio (Cd), plomo (Pb), cobalto (Co) y níquel (Ni), siendo el zinc el que mayor aporta a la suma de las concentraciones y no considerándose a los metales aluminio, manganeso y hierro al tener diferente comportamiento químico.



**Figura 11-8.** Clasificación geoquímica en base al diagrama de Ficklin de los río Sancos y para con sus tributarios y los manantiales

450. De esa manera, los puntos de muestreo de la zona A fueron clasificados como ácidos de baja carga de metales y la zona B fue clasificado de la misma manera que la zona A, excepto para la quebrada Yanama, el cual está en el límite a cuerpos altamente ácidos y de baja carga metálica. Mientras, la mayoría de los demás cuerpos de agua son clasificados como cercano a la neutralidad y baja carga de metales. Los cuerpos de agua superficial del grupo A tiene concentraciones de cobalto que excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat3D1, excepto el punto QChu1.
451. Por lo que de acuerdo al comportamiento de los metales de mayor concentración: aluminio, hierro y manganeso y los metales de menores concentraciones (trazas): zinc, cobre, cadmio, níquel, cobalto y plomo, indicarían que las zonas A y B están asociados a la oxidación de materiales sulfurosos por los drenaje ácido de roca (DAR), ver sección 8.1.6, que contienen los citados metales en forma disuelta debido a las condiciones de pH ácidos formando especies específicas de los metales (ve sección 8.1.2), siendo la zona A la de mayor asociación al DAR.
452. Esta característica del DAR se puede observar por la coloración rojiza o naranja producto de la precipitación de los óxidos de hierro que tiene el sustrato en mayor o menor intensidad y dispersión en los cuerpos de agua (las quebradas sin nombre



Handwritten signatures and initials in blue ink.

QSN-16 y QSN-1 tiene mayor coloración), excepto en la quebrada QSN-10 cuya coloración del sustrato es turquesa claro (ver Figura 11-7).

453. Con respecto a la quebrada sin nombre QSN-10, sus concentraciones de los metales hierro, aluminio y manganeso y la suma de los metales pesados considerados en el diagrama de Ficklin disminuyen con respecto a los puntos QSN-16 y QSN-1 (cabe señalar que las quebradas sin nombre QSN-10, QSN-16 y QSN-1 están ubicados en el mismo curso de agua), ver Figura 11-9.

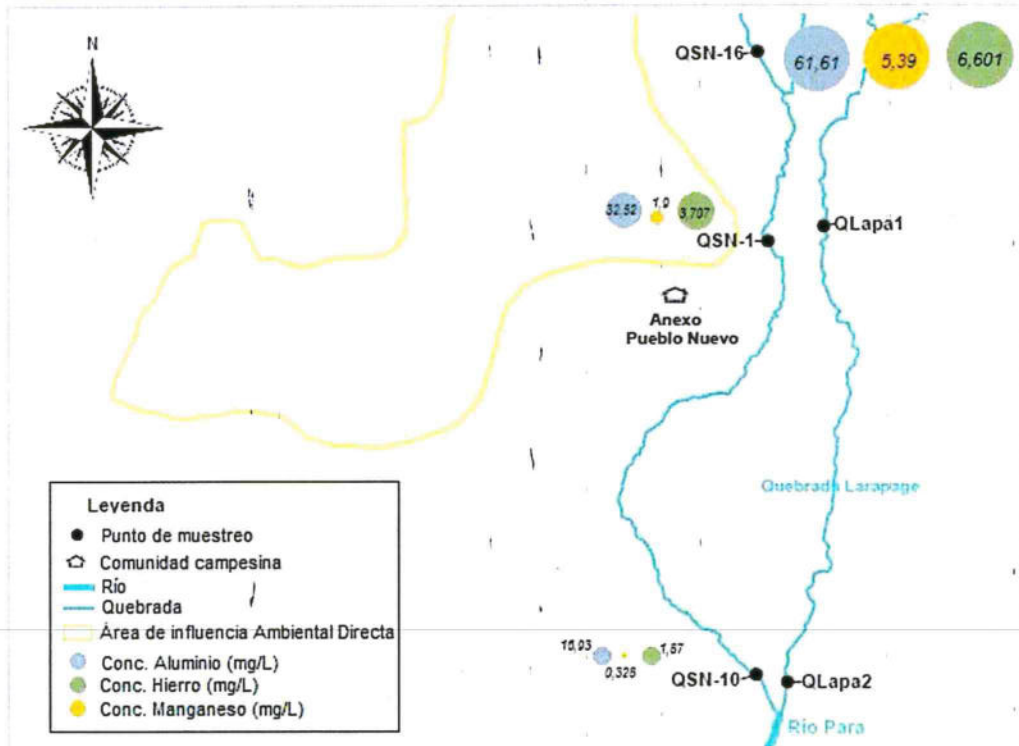


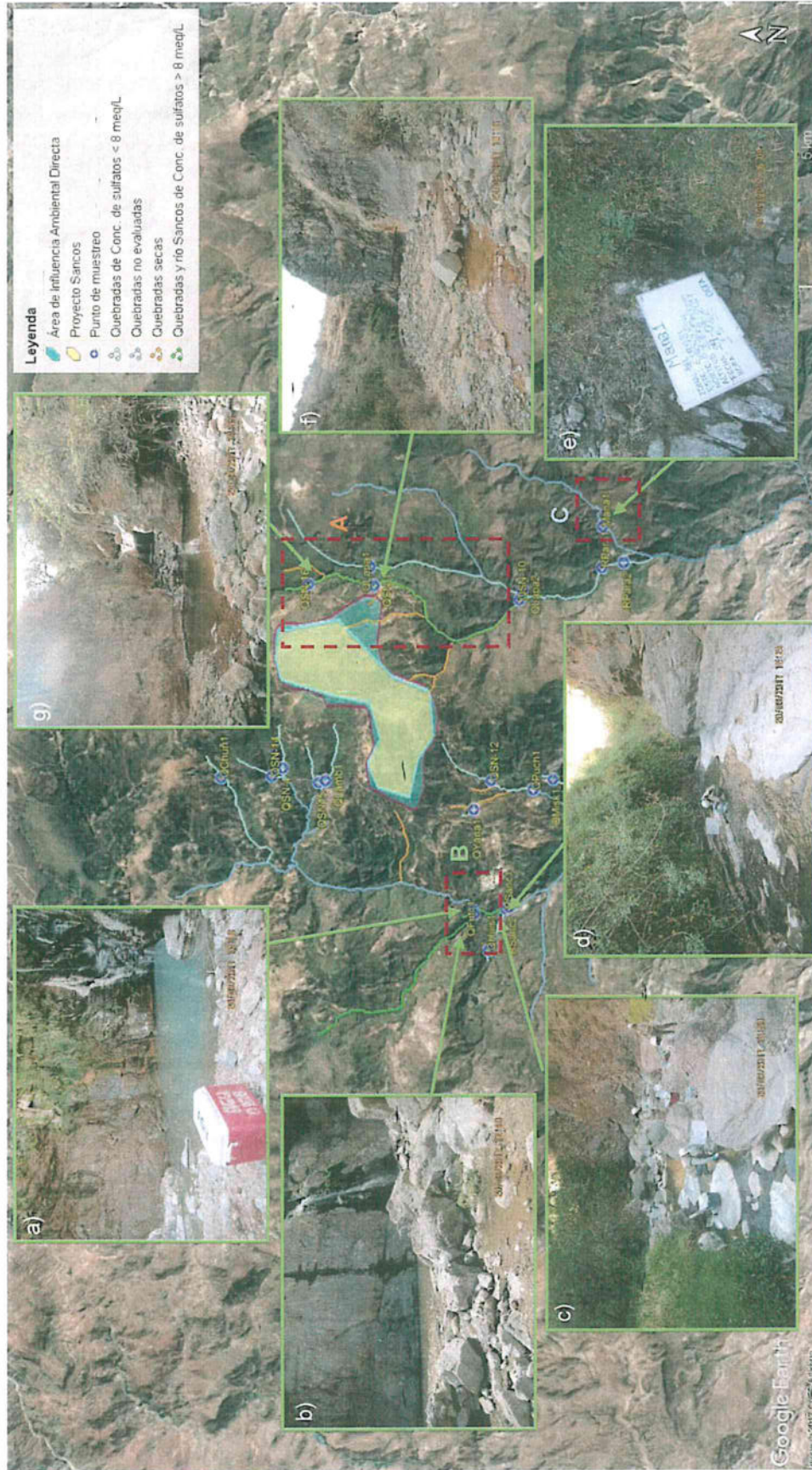
Figura 11-9. Esquema de las concentraciones de los aluminio, hierro y manganeso en el curso de agua donde se ubican los puntos de muestreo QSN-16, QSN-1 y QSN-10

454. Por otro lado, en los cuerpos de agua evaluados predominan los sulfatos clasificados como sulfatadas cálcicas y mixtas (magnésicas-cálcicas y sódicas-cálcicas), excepto en la quebrada Larapage (Lapa1) con la misma concentración de sulfatos y bicarbonatos mixtas (sódicas-cálcicas) y los manantiales Mana2 y Mana3 que son bicarbonatadas cálcicas, de acuerdo a la evaluación hidroquímica indicado por los diagrama de Piper, ver sección 10.1.3.2.
455. En relación a los cuerpos de agua con las mayores concentraciones de sulfatos en base a los resultados del diagrama de Stiff, la Figura 11-10 muestra la distribución geográfica de los puntos de muestreo con las mayores concentraciones de sulfatos (> 8 meq/L equivalente a 384,23 mg/L). Los citados puntos de muestreo se asociaron en tres grupos:
- En el grupo A se encuentra las quebradas sin nombre QSN-16 y QSN-1, en el grupo B se encuentra el río Sancos (RSanc1 y RSanc2) y las quebradas Jarhuisique (QJarh1) y Futcca (QFutc1) y en el grupo C se encuentra el manantial denominado Mana1.



*[Firma manuscrita]*

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



456. En relación a los grupos formados en la Figura 11-10, se realizó el gráfico de dispersión o relación binaria entre las concentraciones de los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y la suma de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) (cationes predominantes en la evaluación hidroquímica) y relacionados a la disolución de minerales constituyentes de la corteza terrestre como la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaMgCO}_3$ )<sub>2</sub> entre otros y las arcillas (ver sección 8.1.1).

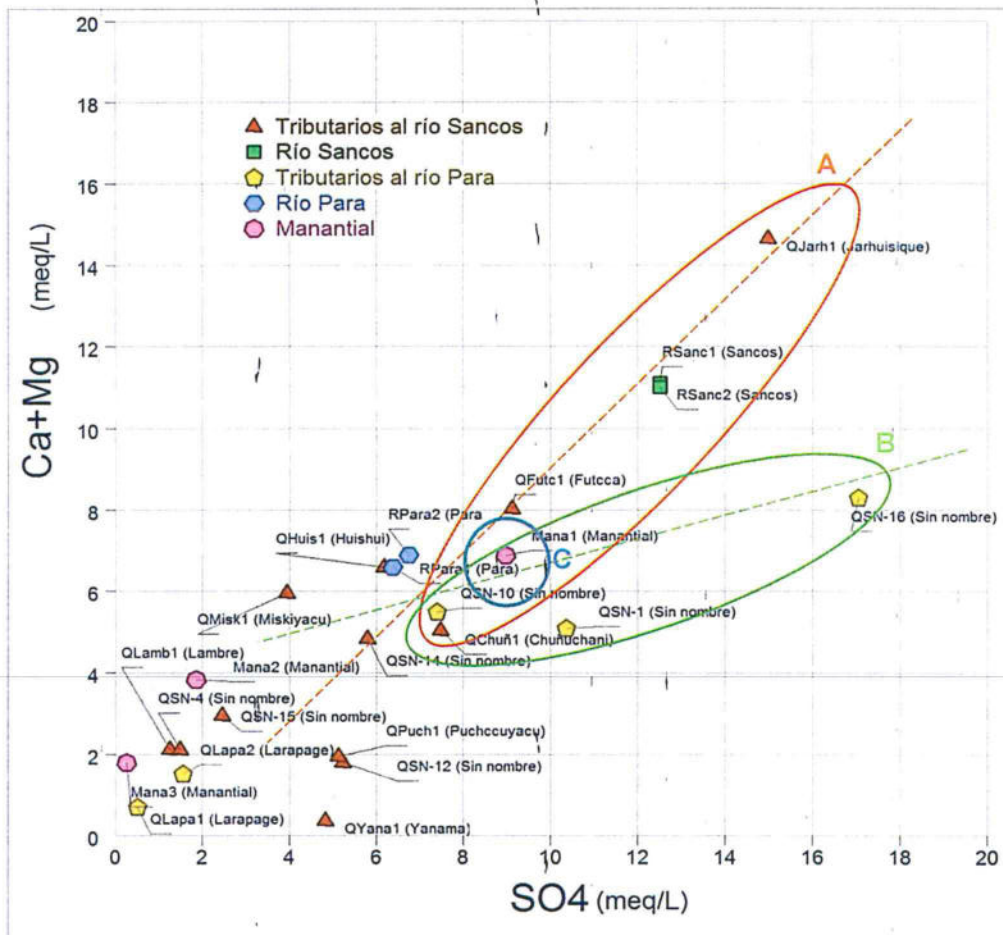


Figura 11-11. Relación binaria entre las concentraciones (meq/L) de los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y la suma de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) disuelto

457. Con respecto a los resultados, los grupos A y B tienen diferente proporcionalidad entre las concentraciones de los sulfatos y la suma de calcio y magnesio, en el cual el manantial denominado Mana1 se encuentra casi en la intersección de dichos grupos a una concentración mayor a 8,0 meq/L de sulfatos. Mientras que, las quebradas Chuñuchani (QChuf1) y sin nombre (QSN-10) están también en la citada intersección de los grupos A y B pero a concentraciones de sulfatos menores a 8,0 meq/L.

458. Esta desigualdad en las tendencias de los grupos puede notarse en las características del color del agua y sustrato, principalmente entre los que tienen mayores concentraciones de sulfatos. De esa manera, la quebrada Jarhuisique (QJarh1) proviene de aguas de color turquesa y de sustratos de piedras y sedimentos de color marrón, mientras la quebrada sin nombre (QSN-16), al igual



Handwritten signature and date '2010' in blue ink.

que la quebrada (QSN-1), es transparente y con sustratos que contienen arenas, gravas y cantos rodados de color rojo. Cabe señalar que el color del agua y sustrato de la quebrada sin nombre (QSN-10) es diferente a los puntos de muestreo aguas arriba (QSN-16 y QSN-1), con tendencia a los colores del punto QJarh1, esto es de tonalidad turquesa, ver Fotografías 11-1 y 11-2.



Fotografía 11-1. Quebrada sin nombre QSN-10



Fotografía 11-2. Quebrada Jarhuisique (QJarh1)

459. La quebrada Jar|huisique (QJarh1) es el mayor aportante de sulfatos y suma de calcio y magnesio del río Sancos, ver Figura 11-12, permitiendo que el río Sancos tenga mayor concentración que sus otras dos quebradas tributarias evaluados: Futcca (QFuct1) y Huishui (QHuis1).



Handwritten signature and initials.

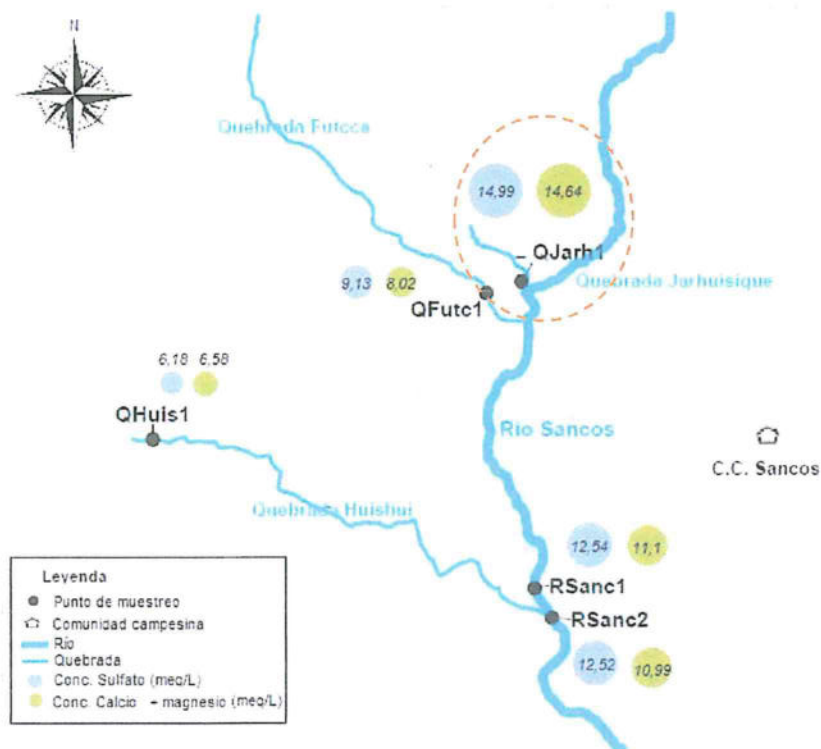


Figura 11-12. Concentraciones de sulfatos y suma de calcio y magnesio del río Sancos y sus tres principales tributarios

460. En tanto, la quebrada sin nombre (QSN-10) aporta mayor concentración de sulfatos, suma de calcio y magnesio que la quebrada Larapage (QLapa2), así como mayor concentración de metales pesados evaluados en el diagrama de Ficklin (entre ellos el cobalto), ver Figura 11-13. Cabe mencionar que dichos metales están en mayor proporción en forma disuelta así como el aluminio, hierro y manganeso, ver Figuras 11-2, 11-4 y 11-6 respectivamente.

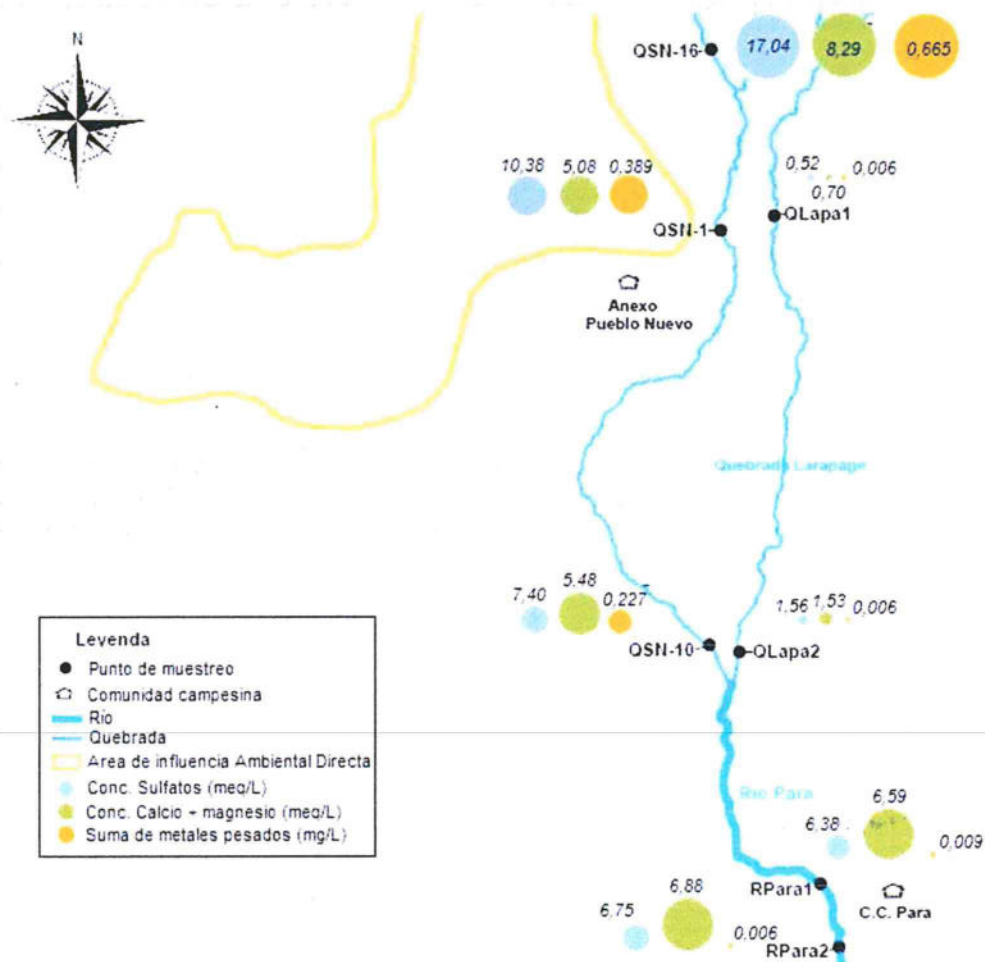


Figura 11-13. Esquema de las concentraciones de sulfatos, suma de calcio y magnesio y metales pesados del río Para y sus tributarios

461. Con respecto al manantial denominado Mana1, difiere de los otros dos manantiales denominados Mana2 y Mana3, teniendo mayores concentraciones de sulfatos y la suma de calcio y magnesio, siendo el manantial Mana1 de facie sulfatada cálcica y los manantiales Mana2 y Mana3 de facie bicarbonatadas cálcicas, indicando que son aguas de diferente origen geoquímico y con distinta salinidad de sus aguas, lo cual puede observarse en las Fotografías 11-3, 11-4 y 11-5. El manantial Mana1 emana directamente a la superficie, el manantial Mana2 fue canalizado por una tubería de 2" pulgadas y el manantial Mana3 sale por tres tuberías de 1" hacia una caja de inspección (Cj.ins).

462. Asimismo, la diferencia de origen geoquímico que tiene el manantial Mana1 con respecto a Mana2 y Mana3 también es dada por sus diferentes concentraciones



*Handwritten signature in blue ink.*

de arsénico (As) y boro (B). Al respecto, las Figuras 11-14 y 11-15 muestra las concentraciones de dichos metaloides en todos los cuerpos de agua evaluados.



Fotografía 11-3. Manantial Mana1 (directo)



Fotografía 11-4. Manantial Mana2 (tubería)



Fotografía 11-5. Manantial Mana3 (Cj.Ins)



*Handwritten signature in blue ink.*

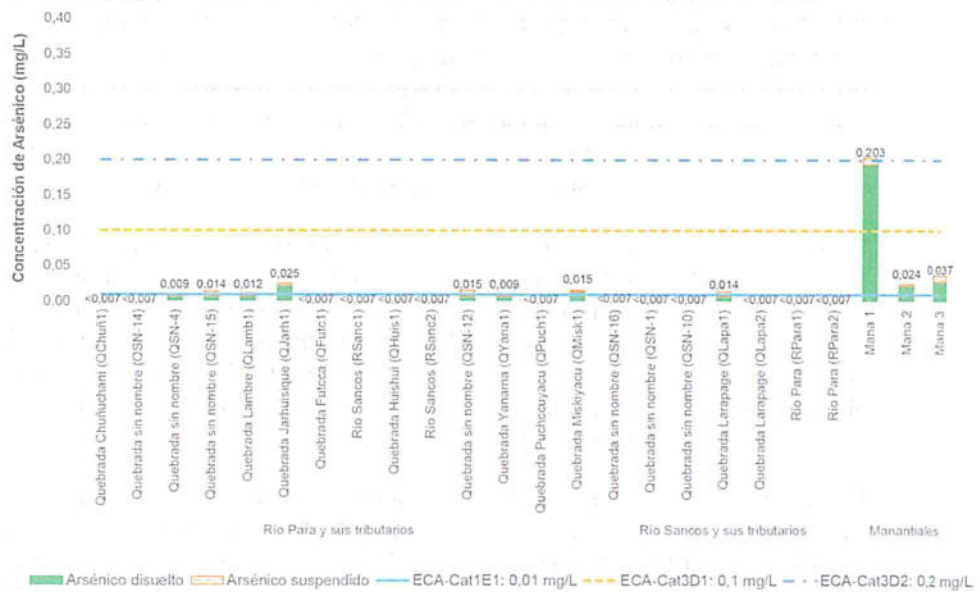


Figura 11-14. Resultados de arsénico del río Sancos y Para con sus tributarios y los manantiales

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

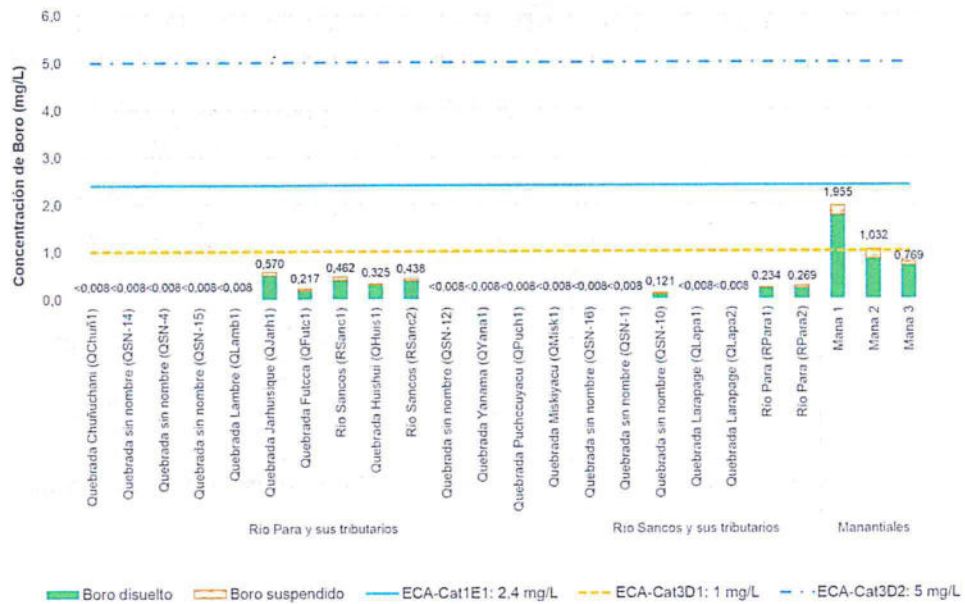


Figura 11-15. Resultados de boro del río Sancos y Para con sus tributarios y los manantiales

- 463. En dichas gráficas se puede observar que los manantiales registran las mayores concentraciones de arsénico y boro; no obstante, de los otros cuerpos de agua superficial, es la quebrada Jarhuisque (QJarh1) la que registra mayores concentraciones de dichos metaloides, estando en un ambiente de mayores concentraciones de sulfatos de color turquesa similar a los estanques del Parque Nacional Yellowstone de origen termal realizado por Nugent et al., 2015.
- 464. En relación a los sólidos suspendidos totales o materia suspendida, no se registra relación directa con los metales suspendidos, excepto para bario y hierro en la quebrada Sin nombre QSN15, de acuerdo a la agrupación realizada por el análisis de factor (AF), el cual es corroborado con los metales aluminio, manganeso y silicio (mayores concentraciones en la forma suspendida) mediante las Figuras B2-1, B2-2 y B2-3 del Anexo B2, cuyos R<sup>2</sup> son muy bajos con valores de 0,0285, 0,0027 y 0,0149 para aluminio, manganeso y silicio respectivamente.
- 465. En las citadas Figuras se observa que los puntos de muestreo QSN-16, QSN-1 y QSN-10 registraron las mayores concentraciones de la forma suspendida de los citados metales en rango bajos de SST sin estar relacionados con los demás. Con respecto a la relación del bario y hierro con los SST, las Figuras B2-5 y B2-6 del Anexo B2 muestra que la quebrada sin nombre QSN-15 influye positivamente en las citadas relaciones, puesto que el R<sup>2</sup> aumenta de 0,062 a 0,5112 para bario y de 0,0748 a 0,5419 para hierro.
- 466. En la Figura 11-16 se muestra la distribución de los puntos de muestreo que registraron las mayores concentraciones de los metales de acuerdo a la agrupación del AF, ver Tablas 10-6 y 10-7. No obstante, solamente e dos puntos de muestreo están relacionados con las mayores concentraciones de SST en las quebradas sin nombre QSN-15 y Miskiyacu (QMisk1).



*[Handwritten signature]*



468. Para aquellos cuerpos de agua que tienen mayores concentraciones de la materia suspendida que no están indicados en la Figura 11-16, se tiene a las quebrada Yanama (QYana1) con 22,8 mg/L y Puchuccuyacu (QPuch1) con 19,4 mg/L, ver Fotografía 11-6 y 11-7.



**Fotografía 11-6.** Quebrada Yanama (QYana1)



**Fotografía 11-7.** Quebrada Puchccuyacu (QPuch1)

469. De los cuatros puntos de muestreo con las mayores concentraciones de SST de acuerdo a la evaluación del AF, tenemos que en tres de las cinco quebradas: Yanama (QYana1), sin nombre QSN-15 y Miskiyacu (QMisk1), la toma de muestra fue en medio de vegetación ribereña con presencia de materia orgánico y tierra removida como se puede observar en sus respectivas Fotografías 11-6, Figura 11-6a y Figura 11-6e, por lo que la interacción con otro tipo de materia suspendida de origen biológico es otra posible fuente de los sólidos suspendidos que los de origen mineralógico que puede darse en otros cuerpos de agua.

470. Finalmente, se menciona que en la presente área de estudio se realizaron evaluaciones ambientales por parte de los administrados del proyecto minero "Sancos" (primero Santa Barbara Resources S.A.C. en noviembre de 2010 y diciembre 2013 y luego Apumayo S.A.C. en noviembre de 2015) y la Dirección de Supervisión del OEFA en octubre de 2014, ver Tabla B1-4. Dentro de dichas evaluaciones, se tiene que cuatro puntos de ~~en el~~ mismo cuerpo de agua superficial que los evaluados en el presente estudio, en las quebradas sin nombre QSN-1 y Puchccuyacu (QPuch1) y en el ríos Para y Sancos, en un punto de muestreo cada uno, ver Tabla B1-5 del Anexo B1.

471. Los resultados indican que los valores de pH fueron ácidos y que estuvieron por debajo del rango establecido en los ECA para Agua 2008 Cat3 (riego de vegetales y bebida de animales). Asimismo, las concentraciones de sulfatos, aluminio, hierro y manganeso fueron mayores a la categoría 3 del citado ECA. No obstante, en años anteriores se registraron concentraciones de mercurio, boro y calcio ligeramente mayores al citado ECA. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente estudio en cada uno de los puntos de muestreo, lo que indicaría que el comportamiento fisicoquímico y sus orígenes o procesos geoquímicos no han sufrido alteraciones en relación a los parámetros de campo (caso de pH), metales y principales fisicoquímicos entre ellos los sulfatos.



Handwritten blue ink marks, possibly initials or a signature, located on the left margin of the page.



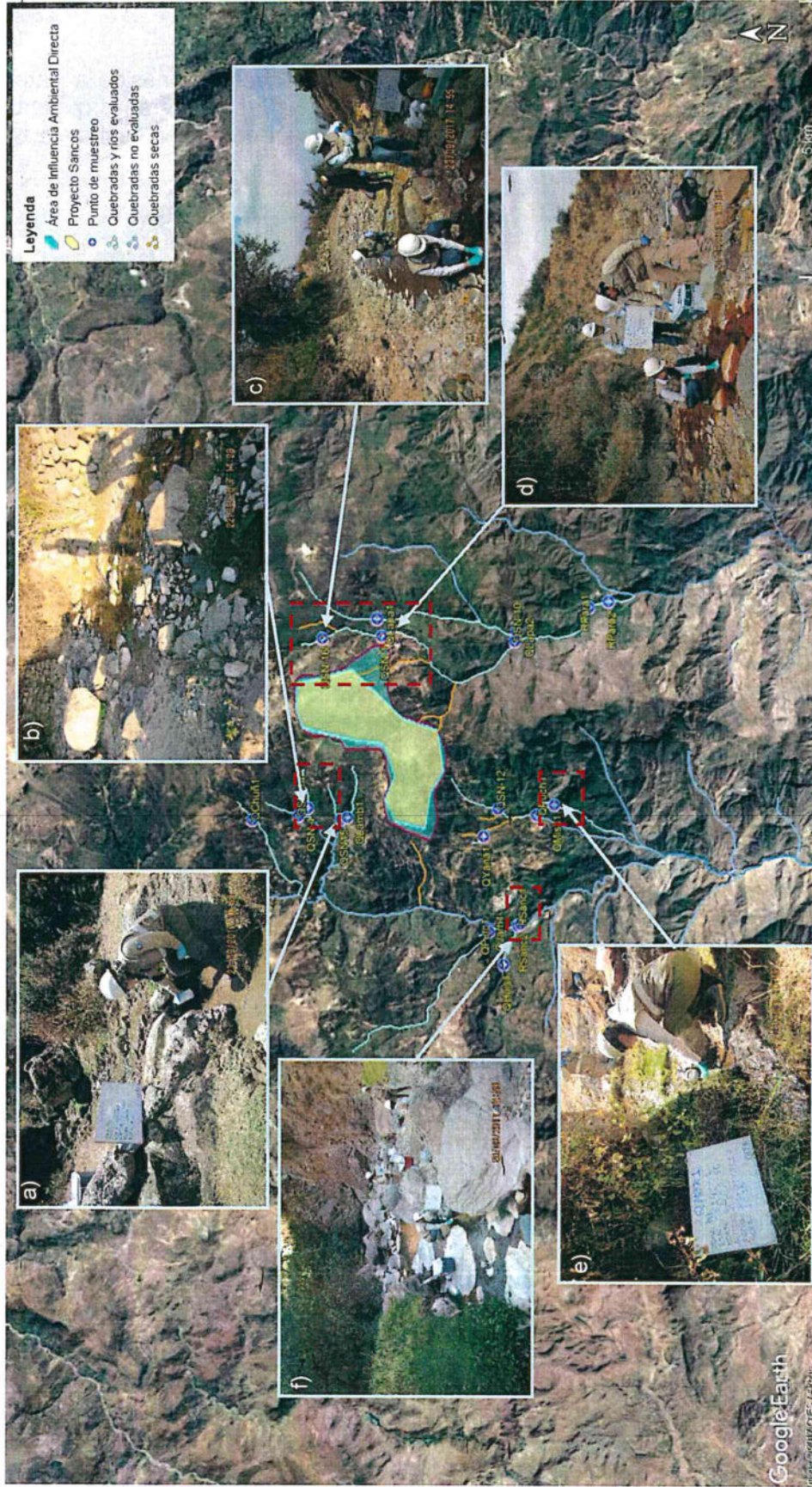
PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



Handwritten signatures in blue ink



## 11.2. Comunidades hidrobiológicas

472. Con respecto a las microalgas del perifiton, se ha encontrado que Bacillariophyta y Cyanobacteria fueron los phyla dominantes tanto en riqueza como en abundancia en todos los sistemas hidrológicos, lo cual es una condición muy común en los ríos tal como lo describe Jorgensen (2009). No obstante, también se encontraron taxa pertenecientes a los phyla Chlorophyta y Charophyta, aunque en escaso número.
473. Las microalgas del perifiton perteneciente a la comunidad del perifiton está compuesta 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 del perifiton, el phylum Bacillariophyta (diatomeas) fue dominante en los ríos Sancos y Para, y sus respectivos tributarios. Los organismos de este phylum pueden ser utilizados como buenos indicadores, ya que presentan una amplia distribución (organismos cosmopolitas), siendo algunas de estas especies muy sensibles a cambios ambientales, mientras que otras muy tolerantes, y otras son muy sensibles a cambios ambientales por periodos muy largos (Vásquez et al., 2006). 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 los puntos de muestreo de códigos HID-QSN1 e HID-QSN10, probablemente debido a los valores de los pH del agua registrados en dichos puntos, cuyos valores son 3,42, y 4,75.
474. Por otro lado para los microorganismos del perifiton perteneciente a la comunidad del perifiton evaluado, la dominancia fue mayor del phylum Protozoa en el río Sancos y Para, estos organismos tienen gran importancia ecológica, ya que ocupan un lugar esencial en el circuito microbiano de las comunidades naturales acuáticas, alimentándose y asociándose con bacterias, cianobacterias, diatomeas, otros protozoos y hongos (Seki, 1971; Porter et al., 1985). Además de ser heterótrofos, tienen la capacidad de alimentarse tanto de forma osmótrofa (consumen materia orgánica disuelta), como holozóica (ingieren bacterias, materia particulada y otros organismos) por fagocitosis, de esta forma controlan a las poblaciones de bacterias; son reconocidas como las más importantes depredadoras de bacterias ya que llegan a consumir casi un 50 % de la biomasa bacteriana y de la materia orgánica particulada en suspensión (Marciano-Cabral, 1988; Bitton, 1999).
475. La dominancia del orden Arthropoda dentro de los macroinvertebrados bentónicos es bastante común en todos los ambientes acuáticos, debido a su gran adaptación a los diferentes microhábitats.
476. La calidad de las aguas evaluada de forma referencial mediante los macroinvertebrados bentónicos, señalan que sus aguas en la parte alta presentan una calidad entre pésima a moderada; excepto en el punto HID-QSN4 y los puntos



Handwritten signature in blue ink.

de la quebrada Larapage (HID-QLapa1 y HID-QLapa2) como se observa en la Figura 11-17.

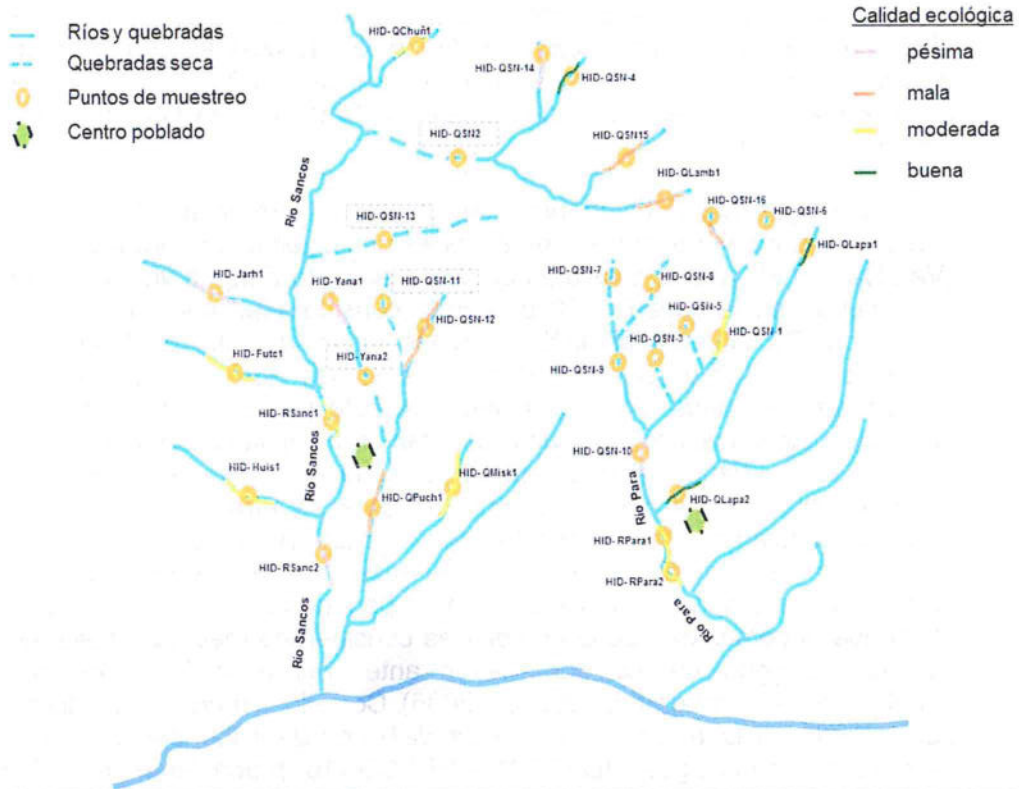


Figura 11-17. Esquema calidad ecológica de los ríos Sancos y Para y sus tributarios

477. Al comparar la diversidad y abundancia del perifiton y macroinvertebrados bentónicos de las dos zonas de estudio, se puede apreciar que en el río Sancos y sus tributarios presentan menor abundancia y diversidad de taxa de las microalgas del perifiton, en comparación con el río Para y sus tributarios, probablemente asociado a las características del sustrato que fue mayormente rocas, que permitieron el adecuado desarrollo de estos organismos en la zona de Para.

### 11.3. Calidad de suelo

478. Es importante mencionar que los resultados de metales y metaloides obtenidos en los 26 puntos evaluados, servirán para la obtención de los valores de nivel de fondo en el periodo de evaluación del 2018, ya que, durante el 2018 se continuara con el monitoreo de suelo en el área circundante del proyecto minero Sancos.

479. Además del análisis de metales, también se evaluó el contenido de cianuro total en el área de influencia del proyecto Sancos, por ser un proyecto de extracción de oro, el cual en su proceso de recuperación de este metal podría utilizar el cianuro. Este cianuro por alguna mala maniobra en su uso podría entrar en contacto con el componente suelo. En la Tabla 11-1, se muestra las concentraciones de cianuro total.

Tabla 11-1. Concentraciones de cianuro total en los puntos de muestreo

Concentraciones de cianuro (mg/kg PS)								
SUE-SAN-01	SUE-SAN-02	SUE-SAN-03	SUE-SAN-04	SUE-SAN-05	SUE-SAN-06	SUE-SAN-07	SUE-SAN-08	SUE-SAN-09
<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
SUE-SAN-10	SUE-SAN-11	SUE-SAN-12	SUE-SAN-13	SUE-SAN-14	SUE-SAN-15	SUE-SAN-16	SUE-SAN-17	SUE-SAN-18
<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
SUE-PAR-01	SUE-PAR-02	SUE-PAR-03	SUE-PAR-04	SUE-PAR-05	SUE-PAR-06	SUE-PAR-07	SUE-PAR-08	
<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	

479. Los resultados las concentraciones de cianuro total fueron menores al límite de detección del método de análisis utilizados por el laboratorio (<0,30 mg/kg PS), el cual es la tercera parte del ECA para suelo de uso agrícola de cianuro libre (0,9 mg/kg PS). Se debe tener en cuenta que el cianuro libre, cianuro wad y complejos de cianuron, conforman el cianuro total.

#### 11.4. Tejido vegetal

480. Es importante precisar que se requieren estudios más complejos en el diseño muestral y en otros parámetros que podrían estar asociados, de tal forma, se pueda correlacionar los resultados obtenidos con las concentraciones de metales y metaloides en el componente suelo, dichos estudios deberían ejecutarlo el organismo de sanidad agraria u otra entidad competente.

## 12. CONCLUSIONES

### 12.1. Calidad de agua

- El agua superficial del río Sancos y Para como sus tributarios y los manantiales evaluados, excepto en la quebrada Larapage (QLapa1) de aguas casi neutras con 7,07 unidades de pH, registraron valores de pH ácidos, con varios puntos de muestreo cuyos valores de pH fueron inferiores al valor mínimo del rango del ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2.
- De los citados cuerpos de agua superficial que incumplen el ECA, aquellos de aguas más ácidas (menores a 4,0 y 5,0 de pH en los distritos de Sancos y Para respectivamente) registraron concentraciones de aluminio y manganeso, excepto en la quebrada Yanama (QYana1), mayores a la Cat3D1 y Cat3D2.
- La quebrada sin nombre QSN-16, tributario principal del río Para en su nacimiento, registró concentración mayor de hierro a la Cat3D1, asimismo la concentración de cobalto en QSN-16, QSN-1 y QSN-10, ubicadas en la misma quebrada, fueron mayores a la Cat3D1 y Cat3D2.
- En base a los resultados anteriores, cuyas concentraciones también excedieron en evaluaciones de años anteriores el ECA para agua 2008, el principal factor que determina que dichos parámetros registren valores mayores al ECA para agua actual (2017) es el drenaje ácido de roca (DAR), que permite que las aguas tengan



Handwritten signature and initials.

- un pH ácido y metales en concentraciones altas, estando además en mayor porcentaje en forma disuelta, tal como se comprueba con los resultados de la relación de los metales disueltos y suspendidos del presente estudio y de manera visual a través de la coloración rojiza del sustrato debido principalmente a la precipitación de óxidos de hierro y la coloración turquesa en aguas de menor acidez, tal como sucede en las quebradas Jarhuisique y sin nombre QSN-10.
- v. Lo antes mencionado indica que los cuerpos de agua superficial en el ámbito de estudio se diferencia por el proceso biogeoquímico del DAR, siendo evidente este proceso en la quebrada tributaria al río Para el cual cambia de coloración de sustrato rojizo en los puntos QSN-16 y QSN-1 a ligeramente turquesa en QSN-10, similar pero con menor intensidad que la quebrada Jarhuisique.
  - vi. El ambiente ácido y en concentraciones de los SST menores a 40 mg/L no hay relación entre este parámetro fisicoquímico y los metales en la forma suspendida, principalmente el hierro y aluminio; siendo recién a una concentración aproximada de 40 mg/L en la quebrada QSN-10 donde se han relacionado con los metales bario y hierro en suspensión al registrar los mayores valores.
  - vii. Entre los cuerpos de agua de menor concentración metálica y sulfatos tenemos a la quebrada Larapage aportante al río Para; mientras que, la contribución de menor concentración de sulfatos al río Sancos proviene de la quebrada Huishui. Por el contrario, los que proveen mayor concentración de metales y sulfatos al río Para proceden de la quebrada sin nombre QSN-10 y de mayor concentración de sulfatos al río Sancos se originan de la quebrada Jarhuisique.
  - viii. En caso de los manantiales, estos tienen diferente origen geoquímico, estando el Manantial denominado Mana1, cuya salida de agua a la superficie es directa desde la corteza terrestre, con mayor concentración de sulfatos, arsénico y boro que los manantiales Mana2 y Mana3, cuyas aguas han sido canalizadas por tuberías.

## 12.2. Comunidades hidrobiológicas

- ix. En el río Sancos y tributarios fueron encontrados un total de 68 taxa de las microalgas del perifiton, pertenecientes a los phyla Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta y Cyanobacteria. La riqueza y abundancia estuvo representada por los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria. Los índices de diversidad presentaron mayores valores en la quebrada Lambre (HID-QLamb1) y en la quebrada sin nombre (HID-QSN4). Para el caso de los microorganismos del perifiton fueron encontrados un total de 10 taxa, la quebrada sin nombre (HID-QSN4) fue la que presentó mayores valores de riqueza y abundancia.
- x. Con respecto a los macroinvertebrados bentónicos se registraron un total de 39 taxa, distribuidos en 14 órdenes, donde los predominantes en riqueza fueron Diptera y Ephemeroptera; mientras que, en la abundancia también destacó el orden Coleoptera. Los índices de riqueza mostraron los mayores valores en los puntos HID-QSN-14 y HID-QHuis-1, también se registró que los puntos con mayor similitud (55 %) fueron HID-RSanc1, HID-QSN4 y HID-QHuis-1.
- xi. En el río Para y sus tributarios fueron encontrados un total de 35 taxa de las microalgas del perifiton, pertenecientes a los phyla Bacillariophyta, Charophyta,



Handwritten signature and initials in blue ink.



Chlorophyta y Cyanobacteria. Los índices de diversidad presentaron mayores valores en los puntos HID-QSN16, HID-RPara2 y HID-QSN-10. La presencia de los microorganismos del perifiton estuvo restringida a 2 puntos de muestreo donde solo se registró el taxa *Trinema* sp. para cada punto.

- xii. En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos se registraron un total de 35 taxa, correspondientes a 11 órdenes. Los órdenes Diptera y Coleoptera predominaron por su riqueza; mientras que por la abundancia predominaron Diptera y Ephemeroptera. Los índices de riqueza mostraron los mayores valores en los puntos HID-QLapa1 y HID-QLapa2, también se registró que los puntos con mayor similitud (65 %) fueron HID-RPara1 y HID-RPara2.
- xiii. La calidad ecológica de los ríos Sancos, Para y sus tributarios presentó un rango de pésima a moderada, a pesar de registrarse organismos que indican buena calidad como el género *Andesiops*.

### 12.3. Calidad de suelo

- xiv. Los resultados de metales y metaloides obtenidos servirán para determinar los niveles de fondo y de referencia en suelo superficial, en la zona geológica Grupo Tacaza, en el periodo de evaluación del 2018.
- xv. La concentración de cianuro en los 26 puntos evaluados fue inferior al límite de detección del método de análisis del laboratorio (<0,30 mg/kg PS), por tal motivo no se pudo obtener el valor de nivel de fondo.
- xvi. El empleo de métodos estadísticos en datos de concentración de metales pesados en suelo superficial demuestra ser útil para la obtención de niveles de fondo y valor de referencia en este componente ambiental.

### 12.4. Tejido vegetal

- xvii. Los resultados obtenidos respecto al contenido de metales y metaloides en las muestras de pastos en las áreas de pastoreo de los centros poblados Para y Sancos, fueron determinadas de manera referencial, a fin de utilizar dicha información en posteriores trabajos de vigilancia ambiental del sector competente.

## 13. RECOMENDACIONES

- i. Se recomienda realizar una comparación de la caracterización de los ambientes acuáticos y de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la temporada seca y húmeda de los ríos Sancos, Para y sus tributarios.
- ii. Se recomienda emplear los niveles de fondo y el valor de referencia calculados para las evaluaciones futuras dentro del área del proyecto.
- iii. Se recomienda realizar niveles de fondo de suelo en las diferentes evaluaciones ambientales, con la finalidad de conocer la calidad ambiental actual del suelo, ya que, el Perú tiene yacimientos de minerales lo hace que se tenga diversas concentraciones de metales en su extensión.
- iv. Remitir una copia del presente informe a la Oficina Desconcentrada de Ayacucho.





- v. Remitir una copia del presente informe a las municipalidades distritales de Sancos y Chaviña.
- vi. Remitir una copia del presente informe a la Autoridad Nacional del Agua.
- vii. Remitir una copia del presente informe al Gobierno Regional de Ayacucho (GORE-Ayacucho) – Gobernatura.
- viii. Remitir una copia del presente informe a la empresa Apumayo S.A.C.
- ix. Remitir una copia del presente informe a la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).
- x. Remitir una copia del presente informe a la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAAA) del Ministerio de Agricultura y Riego.
- xi. 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). 1030 E. Checking Analyses' Correctness. En R. B. Eugene W. Rice (Ed.), *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (22 nd ed., pág. 1-24). United States of America.

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.

Azapaganic, A. (2004). Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), 639-662. doi:10.1016/S0959-6526(03)00075-1

CCME. (2009). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Boron. En *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)*. Winnipeg.

Custodio, E., & Manuel, L. (1976). *Hidrología Subterránea*. Barcelona, España: Omega.



Handwritten signature in blue ink.



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

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*.

Nordstrom, D., Blaine McCleskey, R., & Ball, J. (2009). Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid-sulfate waters. *Applied Geochemistry*, 24, 191-207.

Nugent, P. W., Shaw, J. A., & Vollmer, M. (2015). Colors of thermal pools at Yellowstone National Park. *Applied Optics*, 54(4), B128-39. doi:10.1364/AO.54.00B128

Plumlee, G., Smith, K., Montour, M., Ficklin, W., & Mosier, E. (1999). Geologic Controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types. (L. Filipek, & G. Plumlee, Edits.) *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part B: case studies and research topics, vol 6B. Society of Economic Geologists*, 373-432.

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.

Rivera M., Hugo. (2007). *Introducción a la Geoquímica General y Aplicada*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Salimen, R., Plant, J., & Shaun, R. (2005). *the Geochemical Atlas of Europe Part 1. Background information, methodology and maps*. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland.

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](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

Shubhra Singh, N. J. (2015). Evaluation of Groundwater Quality and Its Suitability for Domestic and Irrigation Use in Parts of the Chandauli-Varanasi Region, Uttar



Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large 'OS' and several smaller marks.



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

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

Ficklin, W., Plumlee, G., Smith, K., & McHugh, J. (1992). Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. (Y. Kharaka, & A. Maes, Edits.) *Proceedings of water-rock interaction no 7, Vol I. Balkema, Rotterdam*, 381-394.

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.

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). *Hydrogical Process*, 22, 4386-4399. doi:10.1002/hyp.7042

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 Ist Speciation in Environmental Samples Using Hyphenated Techniques: A Review. *Journal of Elementology*, 20(4), 1061-1075. doi:10.5601/jelem.2014.19.4.787

Johnson, D., & Hallberg, K. (2005). Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of The Total Environment*, 338(1-2), 3-14. doi:10.1016/j.scitotenv.2004.09.002

Juan Carmilo 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/>

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

Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P., & Clark, D. (2009). *Biología de los microorganismos*. España: Pearson Education.

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



Handwritten signature and initials in blue ink.



Pradesh, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 7, 572-587. doi:10.4236/jwarp.2015.77046

Simate, G., & Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1785-1803. doi:10.1016/j.jece.2014.07.021

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., Durišić-Mladenović, N. (2010). Chemometric interpretation of heavy metal patterns in soils worldwide. *Chemosphere*, 80(1360-1369). doi:10.1016/j.chemosphere.2010.06.010

Soto, P. (2013). Diplomado Virtual de Hidrología Subterránea del Centro de Capacitación Minera - CECAMIN. IX. *Tratamiento de Datos Químicos I*. Lima, Perú.

IBM SPSS Statistics 23.0. (2015). *IBM (International Business Machines Corporation)*. Recuperado en diciembre de 2017, de [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB\\_23.0.0/spss/product\\_landing.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB_23.0.0/spss/product_landing.html)

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](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

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>

Walton, N. (1989). Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids - What is Their Precise Relationship? *Elsevier Science Publisher B.V*, 72(3), 276-292. doi:10.1016/0011-9164(89)80012-8

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

### Hidrobiología

APHA. (2012). Standard methods for the examination of water and waste water, 22 nd edn. American Public Health Association, Washington, DC.

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.



Handwritten signature and initials in blue ink.



Crisci, J.V.; López Armengol, M.F. (1983). Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Washington, DC: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, OEA, Serie de Biología.

DOCE. (2000). Directiva Marco en Política de Aguas de la Comunidad Europea (2000/60/CE), Bruselas.

Encalada A.C., Rieradevall M., Ríos Touma B., García, N. y N. Prat. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERAS-S). Quito: USFQ, UB, AECID, FONAG.

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.

Jorgensen, S.E. (2009). *Ecosystem ecology*: London: Elsevier Ltd, Oxford

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113, 363-375.

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

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.

Pielou, E. C. (1975). *Ecological diversity* (No. 574.524018 P5).

Pielou, E.C. (1984). *The interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination*. J.Wiley & Sons, New York. 263 pp.

Ríos-Touma, Blanca; Acosta, Raúl; Prat, Narcís. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, Abril, 249-273.

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col*. Medellín, Colombia: Ed Universidad de Antioquia.

Roldán, G. and Ramírez, J. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2. ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 439 p.



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"

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.

### 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 Standar 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.

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/>>.



*[Handwritten signature]*



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

## 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 : Comunidades hidrobiológicas
  - Anexo C1 : Mapa de puntos de muestreo
  - Anexo C2 : Hojas de campo
  - Anexo C3 : Registro fotográfico
  - Anexo C4 : Informes de ensayo, cadenas de custodia y sistematización
  - Anexo C5 : Calidad hidromorfológica y biológica
- Anexo D : Calidad de suelo
  - Anexo D1 : Mapa de puntos de muestreo
  - Anexo D2 : Hojas de campo
  - Anexo D3 : Registro fotográfico
  - Anexo D4 : Informes de ensayo, cadenas de custodia y sistematización
- Anexo E : Tejido vegetal en cultivos
  - Anexo E1 : Mapa de puntos de muestreo
  - Anexo E2 : Hojas de campo
  - Anexo E3 : Registro fotográfico
  - Anexo E4 : Informes de ensayo, cadenas de custodia y sistematización



*[Handwritten signatures and initials in blue ink]*