PERÚ | Ministerio del Ambiente

OEFA
ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL

INFORME DE EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL EMBALSE PASTO GRANDE, AÑOS 2014 Y 2015

COORDINACIÓN DE EVALUACIONES AMBIENTALES INTEGRALES

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

Diciembre de 2015

"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"
"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"

INFORME N°00026-2015-OEFA/DE-SDCA-CEAI

ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL
SUBDIRECCIÓN DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL
RECIBIDO
21 ENE. 2016
V°B° ..... Hora: 11:02
Firma .....

A : **ADY ROSIN CHINCHAY TUESTA**
Subdirectora de Evaluación de la Calidad Ambiental

DE : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**
Coordinador de Evaluaciones Ambientales Integrales

JULIO ANDRÉS GONZALES ROSSEL
Especialista en Calidad Ambiental del Agua

DANIEL FERNANDO PEÑA GUIMAS
Tercero Evaluador

MARIO ESCOBEDO TORRES
Tercero Evaluador

VICTOR CHAMA MOSCOSO
Tercero Evaluador

CARLOS FERNANDO GUTIERREZ ROJAS
Tercero Evaluador

ASUNTO : Informe de la Evaluación Ambiental del Embalse Pasto Grande, ejecutado durante los años 2014 y 2015.

FECHA : Lima, 17 DIC 2015

2015-I01-043867

EVALUACIONES AMBIENTALES V°B° DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

I. INFORMACIÓN GENERAL

a.	**Zona**	Embalse Pasto Grande				
b.	**Ámbito de influencia**	Distrito de Carumas, Provincia Mariscal Nieto, Departamento Moquegua.				
c.	**Problemática de la zona**	Presunta contaminación del embalse Pasto Grande por actividades mineras.				
d.	**¿A pedido de qué se realizó la actividad?**	PLANEFA 2014 y 2015				
e.	**¿Se realizó en el marco de un espacio de diálogo, mesa de diálogo o mesa de desarrollo?**	**SI**		**NO**	X	

II. OBJETO

1. Determinar el estado de la calidad del ambiente del embalse Pasto Grande en sus componentes agua, sedimento, suelos e hidrobiología, así como flora y fauna; e identificar las principales fuentes de afectación.

III. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

2. El análisis se encuentra desarrollado en el Anexo Nº 1 referido al Informe de Evaluación Ambiental del embalse Pasto Grande, ejecutado durante los años 2014 y 2015, que se adjunta y forma parte del presente informe.

IV. CONCLUSIÓN

3. Mediante el presente Informe, se recomienda la revisión y aprobación del "Informe de Evaluación Ambiental del embalse Pasto Grande, años 2014 y 2015", que se adjunta como anexo.

Atentamente,

FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN
Coordinador de Evaluaciones Ambientales Integrales
Dirección de Evaluación

JULIO ANDRES GONZALES ROSSEL
Especialista en Calidad Ambiental del Agua
Dirección de Evaluación

DANIEL FERNANDO PEÑA GUIMAS
Tercero Evaluador
Dirección de Evaluación

MARIO ESCOBEDO TORRES
Tercero Evaluador
Dirección de Evaluación

VICTOR CHAMA MOSCOSO
Tercero Evaluador
Dirección de Evaluación

CARLOS FERNANDO GUTIERREZ ROJAS
Tercero Evaluador
Dirección de Evaluación

Lima, 17 DIC. 2015

Visto el Informe N°00026 -2015-OEFA/DE-SDCA-CEAI y habiéndose verificado que se encuentra enmarcado dentro de la función evaluadora, así como su coherencia lógica; la Subdirectora de Evaluación de la Calidad Ambiental recomienda su APROBACIÓN a la Dirección de Evaluación de la Calidad Ambiental, razón por la cual se TRASLADA el presente Informe.

Atentamente,

ADY ROSIN CHINCHAY TUESTA
Subdirectora de Evaluación de la Calidad Ambiental
Dirección de Evaluación

Lima, 17 DIC. 2015

Visto el Informe N° 00026 -2015-OEFA/DE-SDCA-CEAI, y en atención a la recomendación de la Coordinación de Evaluaciones Ambientales Integrales, así como de la Subdirección de Evaluación de la Calidad Ambiental, la Dirección de Evaluación ha dispuesto aprobar el presente Informe.

Atentamente,

GIULIANA PATRICIA BECERRA CELIS
Directora de la Dirección de Evaluación
Dirección de Evaluación

ÍNDICE

1.0 INTRODUCCIÓN 7
1.1 Antecedentes 7
1.2 Objetivos 9
1.2.1 Objetivo general 9
1.2.2 Objetivos específicos 9
1.3 Alcance del estudio 9
1.4 Área de estudio 13
1.4.1 Problemática del embalse 16
1.4.2 Actividad minera de la zona 16
2.0 MÉTODOS 17
2.1 Etapa de precampo 17
2.2 Etapa de Campo 17
2.2.1 Calidad de agua y sedimentos 18
2.2.2 Características biológicas 21
2.3 Análisis de datos 24
2.3.1 Calidad de agua 24
2.3.2 Calidad de sedimentos 24
2.3.3 Características biológicas 25
2.3.4 Estudios complementarios: 27
3.0 RESULTADOS Y ANÁLISIS 29
3.1 Calidad de agua 30
3.1.1 Resultados de las mediciones en campo 30
3.1.2 Resultados de los parámetros fisicoquímicos 35
3.1.3 Concentración de metales en los tributarios del embalse 39
3.1.4 Resultados de metales en el embalse 54
3.2 Calidad de sedimentos 59
3.2.1 Resultados de metales totales en sedimento 59
3.2.2 Extracción secuencial de metales pesados 77
3.3 Características biológicas 86
3.3.1 Hidrobiología 86
3.3.2 Fauna silvestre 104
3.3.3 Flora 107
4.0 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS 110
4.1 Evaluación geológica 110
4.1.1 Caracterización geomorfológica 111
4.1.2 Caracterización litológica 111
4.1.3 Metalogenia y Mineralización 116
4.1.4 Actividad Minera 117
4.1.5 Análisis de la información geológica recopilada 122
4.2 Análisis estadístico para la identificación de fuentes 133
4.2.1 Análisis de clúster 133
4.2.2 Análisis de Componentes Principales (ACP) 137
4.2.3 Otras fuentes de metales y metaloides 146
4.2.4 Fuentes de acidez del embalse Pasto Grande 156
4.3 Análisis de imágenes satelitales en el ámbito del Embalse Pasto Grande 167
5.0 CONCLUSIONES 169
6.0 RECOMENDACIONES 171
7.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 172
8.0 ANEXOS 176

EVALUACIONES AMBIENTALES V°B° DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1: Descripción de puntos de muestreo realizados en la Evaluación Ambiental Integral 11
Tabla 1- 2: Puntos de muestreo en el ámbito del embalse Pasto Grande (Agua superficial) durante el año 2014 15
Tabla 1-3: Pasivos mineros ubicados cerca al embalse Pasto Grande 16

Tabla 2- 1: Conformación de equipos técnicos del estudio 17
Tabla 2- 2: Parámetros requeridos en los monitoreos 18
Tabla 2- 3: Metodología para la preservación de muestras de agua 19
Tabla 2- 4: Metodología para la preservación de muestras de sedimento 19
Tabla 2- 5: Métodos analíticos utilizados por el laboratorio (2014) 20
Tabla 2- 6: Métodos analíticos utilizados por el laboratorio (2015) 20
Tabla 2- 7: Coordenadas de los transectos evaluados en el embalse Pasto Grande 22
Tabla 2- 8: Coordenadas de los puntos evaluados 23
Tabla 2- 9: Registro de individuos por recorrido de evaluación 24

Tabla 3- 1: Resultados de los parámetros DBO, DQO, sulfuro, sulfato, cianuros (total, libre y WAD), mercurio y sólidos totales en suspensión (febrero - 2014) 35
Tabla 3- 2: Resultados de los parámetros cianuro total, sulfato, sólidos totales disueltos y sólidos totales en suspensión (julio - 2014) 36
Tabla 3- 3: Resultados de los parámetros sólidos totales disueltos, sólidos totales en suspensión y potencial Redox 37
Tabla 3- 4: Resultados de los parámetros sólidos totales en suspensión, cianuro total, cianuro WAD y hierro III 38
Tabla 3- 5: Fundamentos del análisis de Tessier 78
Tabla 3- 6: Suma de fracciones por puntos de muestreo 78
Tabla 3- 7: Lista de especies del Fitoplancton del embalse Pasto Grande durante julio de 2014 88
Tabla 3- 8: Índices de diversidad de la comunidad de Fitoplancton en el embalse Pasto Grande en Agosto de 2015 92
Tabla 3- 9: Lista de especies de Fitoplancton del embalse Pasto Grande en agosto de 2015 93
Tabla 3- 10: Índices de diversidad de la comunidad de Zooplancton en Pasto Grande 98
Tabla 3- 11: Lista de especies del Zooplancton del embalse Pasto Grande 99
Tabla 3- 12: Índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande 102
Tabla 3- 13: Lista de especies de macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande 103
Tabla 3- 14: Especies de mamíferos silvestres registrados en los transectos ubicados al borde del embalse Pasto Grande. 105
Tabla 3- 15: Especies de aves registradas al borde del embalse Pasto Grande 105
Tabla 3- 16: Lista de especies en cada recorrido 109
Tabla 3- 17: Categoría de especies silvestres amenazadas DS-043-2006-AG 109

EVALUACIONES AMBIENTALES - DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN - V°B°

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1- 1: Ubicación del embalse Pasto Grande 14

Gráfico 3- 1: Mapa de ubicación de cuerpos de agua y componentes mineros en el área de estudio 29
Gráfico 3- 2: Potencial de hidrógeno en los tributarios del embalse Pasto Grande 31
Gráfico 3- 3: Resultados de potencial de hidrógeno en el río Patara - Cacachara 32
Gráfico 3- 4: Resultados de potencial de hidrógeno dentro del embalse Pasto Grande 33
Gráfico 3- 5: Resultados de conductividad eléctrica en los tributarios del embalse Pasto Grande 33
Gráfico 3- 6: Resultados de conductividad eléctrica dentro del embalse Pasto Grande 34
Gráfico 3- 7: Resultados de oxígeno dentro del embalse Pasto Grande 34
Gráfico 3- 8: Valores comparados de sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales 37
Gráfico 3- 9: Resultados de arsénico en los tributarios del embalse 39
Gráfico 3- 10: Resultados de arsénico en el río Patara – Cacachara 40
Gráfico 3- 11: Resultados de cobre en los tributarios del embalse Pasto Grande 41
Gráfico 3- 12: Resultados de la concentración de cobre en el río Patara – Cacachara 42
Gráfico 3- 13: Resultados de la concentración de cobre en el río Antajarane y su tributario, la quebrada Hualcane 42
Gráfico 3- 14: Resultados de la concentración de cadmio en los tributarios del embalse Pasto Grande 43
Gráfico 3- 15: Resultados de la concentración de cadmio en el río Patara - Cacachara 44
Gráfico 3- 16: Resultados de la concentración de mercurio obtenidos en los tributarios del embalse Pasto Grande 45
Gráfico 3- 17: Concentración de mercurio en el río Patara – Cacachara 46
Gráfico 3- 18: Resultados de la concentración de níquel en los tributarios del embalse Pasto Grande 47
Gráfico 3- 19: Resultados de la concentración de níquel en el río Patara - Cacachara 47
Gráfico 3- 20: Resultados de la concentración de níquel en la quebrada Millojahuira 48
Gráfico 3- 21: Resultados de la concentración de plomo en los tributarios del embalse 49
Gráfico 3- 22: Resultados de las concentraciones de plomo en el río Patara - Cacachara 50
Gráfico 3- 23: Resultados de las concentraciones de plomo en la quebrada Millojahuira y en el río Antajarane 51
Gráfico 3- 24: Resultado de las concentraciones de zinc en los aluentes del embalse Pasto Grande 51
Gráfico 3- 25: Resultados de la concentración de zinc en el río Patara - Cacachara 52
Gráfico 3- 26: Resultados de la concentración de zinc en la quebrada Millojahuira y el río Antajarane 53
Gráfico 3- 27: Resultados de la concentración de hierro en los tributarios del embalse Pasto Grande 54
Gráfico 3- 28: Resultados de las concentraciones de cobre dentro del embalse Pasto Grande 55
Gráfico 3- 29: Resultados de la concentración de cadmio dentro del embalse Pasto Grande 55
Gráfico 3- 30: Resultados de la concentración de zinc dentro del embalse Pasto Grande 56
Gráfico 3- 31: Resultados de la concentración de arsénico dentro del embalse Pasto Grande 57
Gráfico 3- 32: Resultados de la concentración de mercurio dentro del embalse Pasto Grande 57
Gráfico 3- 33: Resultados de la concentración de mercurio dentro del embalse Pasto Grande 58
Gráfico 3- 34: Resultados de la concentración de cromo dentro del embalse Pasto Grande 59
Gráfico 3- 35: Resultados de la concentración de cromo en los tributarios del embalse 61

DIRECCIÓN DE EVALUACIONES AMBIENTALES

Gráfico 3- 36: Resultados de la concentración de zinc dentro del embalse Pasto Grande 62
Gráfico 3- 37: Resultados de la concentración de zinc en los tributarios del embalse 64
Gráfico 3- 38: Resultados de la concentración de arsénico dentro del embalse Pasto Grande 65
Gráfico 3- 39: Resultados de la concentración de arsénico en los tributarios del embalse 67
Gráfico 3- 40: Resultados de la concentración de cadmio dentro del embalse Pasto Grande 68
Gráfico 3- 41: Resultados de la concentración de cadmio en los tributarios del embalse 70
Gráfico 3- 42: Resultados de la concentración de mercurio dentro del embalse Pasto Grande 71
Gráfico 3- 43: Resultados de la concentración de mercurio en los tributarios del embalse. 73
Gráfico 3- 44: Resultados de la concentración de plomo dentro del embalse Pasto Grande 74
Gráfico 3- 46: Arsénico soluble de acuerdo a las fracciones 79
Gráfico 3- 47: Cadmio soluble de acuerdo a las fracciones 80
Gráfico 3- 48: Hierro soluble de acuerdo a las fracciones 81
Gráfico 3- 49: Níquel soluble de acuerdo a las fracciones 82
Gráfico 3- 50: Hierro soluble de acuerdo a las fracciones 83
Gráfico 3- 51: Plomo soluble de acuerdo a las fracciones 84
Gráfico 3- 52: Zinc soluble de acuerdo a las fracciones 85
Gráfico 3- 53: Distribución de especies de Fitoplancton por phylum en el embalse Pasto Grande en julio de 2014 87
Gráfico 3- 54: Distribución de especies de Fitoplancton por phylum en el embalse Pasto Grande en agosto de 2015 89
Gráfico 3- 55: Densidad del Fitoplancton por phylum en el embalse Pasto Grande en agosto de 2015 91
Gráfico 3- 56: Relación de los Números de Hill para el Fitoplancton del embalse Pasto Grande en Agosto de 2015 92
Gráfico 3- 57: Análisis de conglomerados de las estaciones de muestreo de Fitoplancton del embalse Pasto Grande en agosto de 2015 94
Gráfico 3- 58: Análisis de ordenamiento del Fitoplancton del embalse Pasto Grande en agosto de 2015 95
Gráfico 3- 59: Distribución de especies de Zooplancton por phylum en el embalse Pasto Grande 96
Gráfico 3- 60: Densidad del Zooplancton por Phylum en el embalse Pasto Grande 97
Gráfico 3- 61: Relación de los Números de Hill para el Zooplancton del embalse Pasto Grande 98
Gráfico 3- 62: Análisis de similaridad mediante Conglomerados de las estaciones de muestreo de Zooplancton en el embalse Pasto Grande 100
Gráfico 3- 63: Distribución de táxones por órdenes de macroinvertebrados bentónicos en el embalse Pasto Grande 101
Gráfico 3 - 64: Densidad de táxones de macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande 102
Gráfico 3- 65: Relación de los Números de Hill para los macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande 103
Gráfico 3- 66: Análisis de similaridad mediante Conglomerados de las estaciones de muestreo de macrobentos en el embalse Pasto Grande 104
Gráfico 3- 67: Especies por familia, presentes en el Embalse de Pasto Grande 107
Gráfico 3- 68: Flora del ámbito que pertenece al embalse de Pasto Grande 108

Gráfico 4- 1: Mapa metalogenético de la parte sur del Perú (modificado de Acosta et al., 2008), la franja correspondiente al área de estudio pertenece a la zona XII, "depósitos epitermales de Au, Ag del Mio Plioceno. 117
Gráfico 4- 2: Actividad minera que hubo en la parte alta de la cuenca del embalse 119

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

Gráfico 4- 3: Mapa de zonas de alteraciones hidrotermales en el entorno del embalse (Tomado de Huanacuni *et al.*, 2012) 121
Gráfico 4- 4: Ubicación de las muestras de roca, las cuales se analizaron mineralógicamente y petrográficamente 122
Gráfico 4- 5: Microfotografía de cristales de pirita (py) y magnetita (mt) alterada por hematita como inclusiones en gangas (Muestra M4) 124
Gráfico 4- 6: Microfotografía de cristales de calcopirita (cp) como inclusión en gangas (Muestra M3) 125
Gráfico 4- 7: Mircofotografia de particulas libres de óxidos de hierro, plagioclasas y cuarzo 127
Gráfico 4- 8: Microfotografía de particulas libres de óxidos de hierro, feldespatos alterados a arcillas, plagioclasas y cuarzo 127
Gráfico 4- 9: Análisis de clúster de los tributarios del embalse 134
Gráfico 4- 10: Análisis de clúster de los puntos de muestreo ubicados en el río Patara - Cacachara 136
Gráfico 4- 11: Gráfico de dispersión del ACP para los puntos tributarios del embalse 139
Gráfico 4- 12: Gráfico de dispersión del ACP para los puntos tributarios del embalse (propiedad BIPLOT) 141
Gráfico 4- 13: Gráfico de dispersión del ACP para los puntos ubicados en el cauce del río Patara – Cacachara 143
Gráfico 4- 14: Gráfico de dispersión del ACP para los puntos ubicados en el cauce del río Patara – Cacachara (propiedad BIPLOT) 145
Gráfico 4- 15: Mapa hidrogeológico de la subcuenca Coralaque, donde se observan las fuentes termales alrededor del embalse Pasto Grande. (Tomado de Ingemmet, 2007) 146
Gráfico 4- 16: Diagrama esquemático sobre el origen de las aguas termales 147
Gráfico 4- 17: Localización de las surgencias termales en el área de influencia del embalse. En rojo las fuentes termales identificadas (Ingemmet, 2007) y en verde las estaciones de muestreo. 148
Gráfico 4- 18: Gráfico de dispersión de las fuentes de aguas termales (ACP) 152
Gráfico 4- 19: Ubicación de fuentes de aguas termales, antiguos componentes de la actividad minera y pasivos mineros; además se observan las características geológicas de la quebrada Millojahuira y del río Patara 155
Gráfico 4- 20: Diagrama esquemático de como la cabecera de cuencas que presentan actividad minera (izquierda) y mineralización natural de montañas (derecha) pueden generan aguas acidas 157
Gráfico 4- 21: Resultados de pH, hierro III, hierro total y conductividad eléctrica 158
Gráfico 4- 22: Localización de la muestra M1 y su ámbito geoGráfico 161
Gráfico 4- 23: Tendencia del pH en un ciclo de 20 de semanas del THC 165
Gráfico 4- 24: Tendencia de la alcalinidad en un ciclo de 20 semanas del THC 165
Gráfico 4- 25: Tendencia del hierro en un ciclo de 20 semanas del THC 166
Gráfico 4- 26: Tendencia de los Sulfatos en un ciclo de 20 semanas del THC 166

1.0 INTRODUCCIÓN

1. El embalse Pasto Grande se ubica en el departamento de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, distrito de Carumas. Fue construido con el fin de fomentar la agricultura e industria en las provincias de Mariscal Nieto e Ilo.

2. Las condiciones climáticas de la zona corresponden a características típicas de la puna, con altitudes mayores a 4 000 msnm. Las temperaturas del ambiente son bajas durante todo el año; la temperatura mínima desciende normalmente de 12 a 10 °C, por debajo del punto de congelación, mientras que la temperatura diurna varía entre 15 a 20 °C[1].

3. En un inicio se realizaron proyectos para el cultivo de truchas en el embalse, la cual sería fuente de ingresos para los pobladores del lugar. No obstante, a partir del año 2006 la población aledaña percibió cambios en las condiciones de las aguas del embalse (coloración y turbidez), las cuales ya no permitirían la crianza de truchas.

4. Diversas instituciones (ANA, DIGESA, Gobierno Regional de Moquegua) han realizado actividades de muestreo en la zona, las cuales han concordado en que las aguas del embalse tienen características ácidas.

5. Es por ello que en el marco de la función evaluadora, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), consideró llevar a cabo una evaluación ambiental que contribuya a la explicación del fenómeno que viene afectando la calidad de las aguas del embalse Pasto Grande.

1.1 Antecedentes

6. En 1991, con el fin de aprovechar el cuerpo de agua generado por el embalse, se sembraron alevinos[2] (truchas) para el consumo y la comercialización, convirtiéndose en una de las principales prácticas productivas de la población aledaña[5].

7. En el año 2001, con Resolución Directoral N° 242-2001-EM/DGAA, se aprobó el "Estudio de Impacto Ambiental para la etapa de explotación del proyecto Santa Rosa de la Compañía Minera Aruntani S.A.C". En este estudio se detallan resultados de los ríos y quebradas en el área de influencia con valores de potencial de hidrógeno (pH) menores a cuatro (4,0) unidades y concentraciones de metales sobre los valores de referencia de aquella época.

8. En el año 2002, la Compañía Minera Aruntani S.A.C. inició las actividades de preparación, desarrollo y explotación en el yacimiento Santa Rosa ubicado en el cerro Cotañani a 2,5 Km al este de la antigua mina Cacachara[3].

---

1 Texto conforme al: "Estudio de la Calidad de Aguas del Embalse Pasto Grande, distrito de Carumas, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua", 2012, Consorcio V5. Capítulo 2, p. 4.

2 La palabra alevino es utilizada comúnmente en actividades como la piscicultura y la acuicultura, o en ciencias como la ictiología, para designar a las crías recién nacidas de peces (al momento en el cual las crías rompen el huevo y comienzan a alimentarse).

3 "Plan de cierre de la Unidad Minera Santa Rosa. 2009. Aprobado con Resolucion Directoral N° 125-2009-MEM-DGAAM, p.21.

9. En el año 2006, se produjo la muerte de alevinos de truchas que alertó a las autoridades de la Región Moquegua, quienes conformaron una comisión técnica multisectorial encargada del monitoreo de la calidad de las aguas del embalse. Luego del cual en el año 2007 determinaron valores bajos de Potencial de Hidrógeno (pH) en los ríos Millojahuira y Antajarane[4].

10. En el año 2009, con Resolución Directoral N° 346-2009-MEM/AAM, se aprobó el "Plan de cierre de los pasivos mineros Cacachara" realizado por la empresa MDH S.A. Este estudio detalla el historial minero de la cabecera del río Cacachara, desde sus inicios hasta el año 1964 cuando el administrador fue la empresa Colquiminas S.A.

11. En el año 2009, con Resolución Directoral N° 125-2009-MEM-DGAAM, se aprobó el "Plan de cierre de la Unidad Minera Santa Rosa" realizado por la Compañía Minera Aruntani S.A.C. Este estudio detalla el desarrollo de las actividades del cierre de los componentes mineros de la Unidad Minera Santa Rosa; además, proporciona información importante de la historia de la actividad minera desde los inicios de las exploraciones en el año 1990, la constitución de la Compañía Minera Aruntani S.A.C. en el año 2000; y posteriormente, el inicio de las operaciones de explotación en el año 2002.

12. En el año 2012, el consorcio V-5 por encargo del Gobierno Regional de Moquegua, elaboró el "Estudio de la calidad de aguas del embalse Pasto Grande del distrito Carumas, provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua". Este estudio tiene la finalidad de definir un plan de acciones referidas al mejoramiento de la calidad de las aguas contenidas en dicho embalse. En el análisis físico – químico del estudio se indicaron valores de metales por encima de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (en adelante, ECA para agua) así como bajas concentraciones de potencial de hidrógeno en los tributarios ubicados al norte y noreste del embalse.

13. En el 2013, la Autoridad Nacional del Agua, mediante Informe N° 003-2013-ANA-AAA-CO/ALA.MOQ-ECRH/LVUC, detalló la situación de la calidad del agua del embalse Pasto Grande, indicando que este se encuentra afectado por metales que se encuentran sobre los ECA para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM) y valores bajos de potencial de hidrógeno en los tributarios ubicados al Norte y Noreste del embalse.

14. Con Oficio N° 1415-2013-MAGA/CR, el Congresista de la República, Sr. Mesías Guevara Amasifuen, trasladó al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) un documento presentado por la señora Patricia Maldonado Sotomayor, presidenta de la Asociación Promoción y Defensa de los Derechos Humanos de Moquegua, denunciando la presencia de metales pesados en el embalse Pasto Grande.

15. Mediante Resolución de Consejo Directivo N° 048-2014-OEFA/CD, publicada con fecha 01 de enero de 2015 en el diario oficial El Peruano, se aprobó el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Planefa) del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) correspondiente al año 2015, en el cual se señala que, como parte de la función evaluadora, el OEFA efectúa el diagnóstico de la

[4] "Estudio de la Calidad de Aguas del Embalse Pasto Grande, distrito de Carumas, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua", 2012, Consorcio V5. Capítulo 2, p. 4.

calidad ambiental en forma integrada y continua, con énfasis en aquellas actividades fiscalizadas directamente, a través de estudios ambientales especializados y monitoreos sistematizados de componentes ambientales.

16. En ese sentido, el OEFA consideró necesario efectuar una evaluación ambiental integral del embalse Pasto Grande, debido a que en ella se viene presentando una problemática de carácter ambiental, lo cual impide el desarrollo de importantes actividades económicas productivas que podrían beneficiar a la población.

17. Mediante Informe N° 1283-2014-OEFA/DE-SDCA se aprobó el Plan de Evaluación Ambiental Integral del embalse Pasto Grande, en el cual se detallan las actividades a desarrollar, así como el cronograma de ejecución, donde se establece la realización de cuatro (4) salidas de campo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

18. Determinar el estado de la calidad del ambiente del embalse Pasto Grande en sus componentes agua, sedimento, hidrobiología, suelos, así como flora y fauna.

1.2.2 Objetivos específicos

19. Diagnosticar la calidad ambiental del agua, sedimento, hidrobiología, del embalse y sus tributarios, asimismo analizar la calidad del suelo, flora y fauna.

20. Determinar las principales fuentes que se encuentran afectando el embalse.

21. Identificar las características geológicas del aréa de influencia del embalse que podrían estar influyendo en la calidad del agua y sedimento.

1.3 Alcance del estudio

22. Mediante el presente estudio se busca evaluar aquellos componentes de la zona que podrían verse influenciados por actividades cuya fiscalización son de competencia directa del OEFA[5].

23. En cumplimiento de lo indicado, la evaluación ambiental integral del embalse Pasto Grande y tributarios fue realizada mediante cuatro (4) salidas de campo; dos (2) en el año 2014 (febrero y julio) y dos (2) en el año 2015 (marzo y agosto). De donde:

    - En la primera salida de campo, los componentes ambientales evaluados fueron: aguas superficiales e hidrobiología (24 puntos de muestreo), sedimentos (18 puntos de muestreo), y suelos (4 rocas para análisis).

[5] Reglamento de la Ley Nº 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental - SINEFA, Artículo 24°.- Alcance de la Función Evaluadora. Corresponde al OEFA ejercer la función evaluadora a efectos de brindar soporte técnico para las acciones de fiscalización ambiental que le han sido transferidas, así como para las acciones de supervisión a las EFA en su condición de ente rector del SINEFA. La información que se genera como consecuencia de ella sirve de sustento para el inicio de las acciones de supervisión, ya sea directa o a través de las EFA.

- En la segunda salida de campo, los componentes ambientales evaluados fueron: aguas superficiales e hidrobiología (15 puntos de muestreo), sedimentos (16 puntos de muestreo) y suelos (4 rocas para análisis).

- En la tercera salida de campo, los componentes ambientales evaluados fueron: aguas superficiales e hidrobiología (14 puntos de muestreo), sedimentos (14 puntos de muestreo) y suelos (1 análisis de roca).

- En la cuarta salida de campo, los componentes ambientales evaluados fueron: aguas superficiales e hidrobiología (30 puntos de muestreo) y sedimentos (26 puntos de muestreo).

24. Para realizar la evaluación ambiental integral se establecieron puntos de muestreo que se distribuyeron en los principales tributarios del embalse.

25. En la Tabla 1-1 se especifican los códigos de los puntos de muestreo por cada componente ambiental evaluado, en cada una de las salidas de campo.

Tabla 1- 1: Descripción de puntos de muestreo realizados en la Evaluación Ambiental Integral

Código	Primera Evaluación Febrero de 2014				Segunda Evaluación Julio de 2014				Tercera Evaluación Marzo de 2015				Cuarta Evaluación Agosto de 2015			
	Fecha	Agua Superficial	Sedimento	Suelo (Roca)	Fecha	Agua Superficial	Sedimento	Suelo (Roca)	Fecha	Agua Superficial	Sedimento	Suelo (Roca)	Fecha	Agua Superficial	Sedimento	Suelo (Roca)
QM-1					07/07/2014	X	X		11/03/2015	X	X		05/08/2015	X	X	
QM	18/02/2014	X	X		08/07/2014	X	X		11/03/2015	X	X		04/08/2015	X	X	
QCH	18/02/2014	X	X		08/07/2014	X	X						04/08/2015	X	X	
QQ	18/02/2014	X	X		08/07/2014	X	X						04/08/2015	X	X	
QHUIS	17/02/2014	X	X													
QH/RA	18/02/2014	X	X		08/07/2014	X	X		09/03/2015	X	X		04/08/2015	X	X	
QH-1													05/08/2015	X	X	
QAS	19/02/2014	X	X										05/08/2015	X	X	
QIN	18/02/2014	X	X													
RA-1					10/07/2014	X	X						06/08/2015	X	X	
RTocco					10/07/2014	X	X		09/03/2015	X	X		04/08/2015	X	X	
QCHU	18/02/2014	X	X										05/08/2015	X	X	
QCA-1					09/07/2014	X	X		10/03/2015	X	X		07/08/2015	X	X	
QCA-2					09/07/2014	X	X		10/03/2015	X	X		07/08/2015	X	X	
RC3/RC-4	19/02/2014	X	X		09/07/2014	X	X		10/03/2015	X	X		07/08/2015	X	X	
QA	19/02/2014	X	X		09/07/2014	X	X		10/03/2015	X	X		07/08/2015	X	X	
QVI					09/07/2014	X	X		10/03/2015	X	X		06/08/2015	X	X	
RC2/RC-3	19/02/2014	X	X		09/07/2014	X	X		10/03/2015	X	X		06/08/2015	X	X	
RC-3A									10/03/2015	X	X		06/08/2015	X	X	
RP-2	19/02/2014	X	X		10/07/2014	X	X		10/03/2015	X	X		06/08/2015	X	X	
RP	19/02/2014	X	X		10/07/2014	X	X		12/03/2015	X	X		04/08/2015	X	X	
RP-1	18/02/2014	X	X		08/07/2014		X		09/03/2015	X	X		04/08/2015	X	X	
RVI-1	17/02/2014	X											05/08/2015	X	X	
RVI-2	18/02/2014	X											05/08/2015	X	X	
LPG-1	20/02/2014	X											06/08/2015	X		
LPG-2	20/02/2014	X	X										06/08/2015	X	X	

Código	Primera Evaluación Febrero de 2014				Segunda Evaluación Julio de 2014				Tercera Evaluación Marzo de 2015				Cuarta Evaluación Agosto de 2015			
	Fecha	Agua Superficial	Sedimento	Suelo (Roca)	Fecha	Agua Superficial	Sedimento	Suelo (Roca)	Fecha	Agua Superficial	Sedimento	Suelo (Roca)	Fecha	Agua Superficial	Sedimento	Suelo (Roca)
LPG-3	20/02/2014	X	X										06/08/2015	X	X	
LPG-4	20/02/2014	X	X										06/08/2015	X	X	
LPG-5	21/02/2014	X											06/08/2015	X		
LPG-6	21/02/2014	X											06/08/2015	X		
LPG-7	21/02/2015	X											07/08/2015	X		
LPG-8	21/02/2014	X	X										07/08/2015	X	X	
M-1	21/02/2014			X												
M-2	21/02/2014			X												
M-3	21/02/2014			X												
M-4	21/02/2014			X												
QCA					09/03/2014			X								
QCA-2					09/03/2014			X								
RA1					10/03/2014			X								
RC-4					09/03/2014			X								
MILLO-1			X						10/03/2015			X				

Fuente: Elaboración propia.

EVALUACIONES AMBIENTALES · DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

26. La distribución de los puntos de muestreo respondió a la finalidad de identificar la calidad de los tributarios del embalse y las características físico - químicas que aporta cada uno. En cuanto a los puntos dentro del embalse, estos se distribuyeron en todo el cuerpo de agua para obtener información del estado y calidad de las aguas del embalse.

1.4 Área de estudio

27. El embalse Pasto Grande se ubica en el departamento de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, distrito de Carumas, a 128 km al noroeste de la ciudad de Moquegua, dentro la microcuenca del río Vizcachas, perteneciente a la subcuenca Coralaque (Gráfico 1-1) de la cuenca del río Tambo.

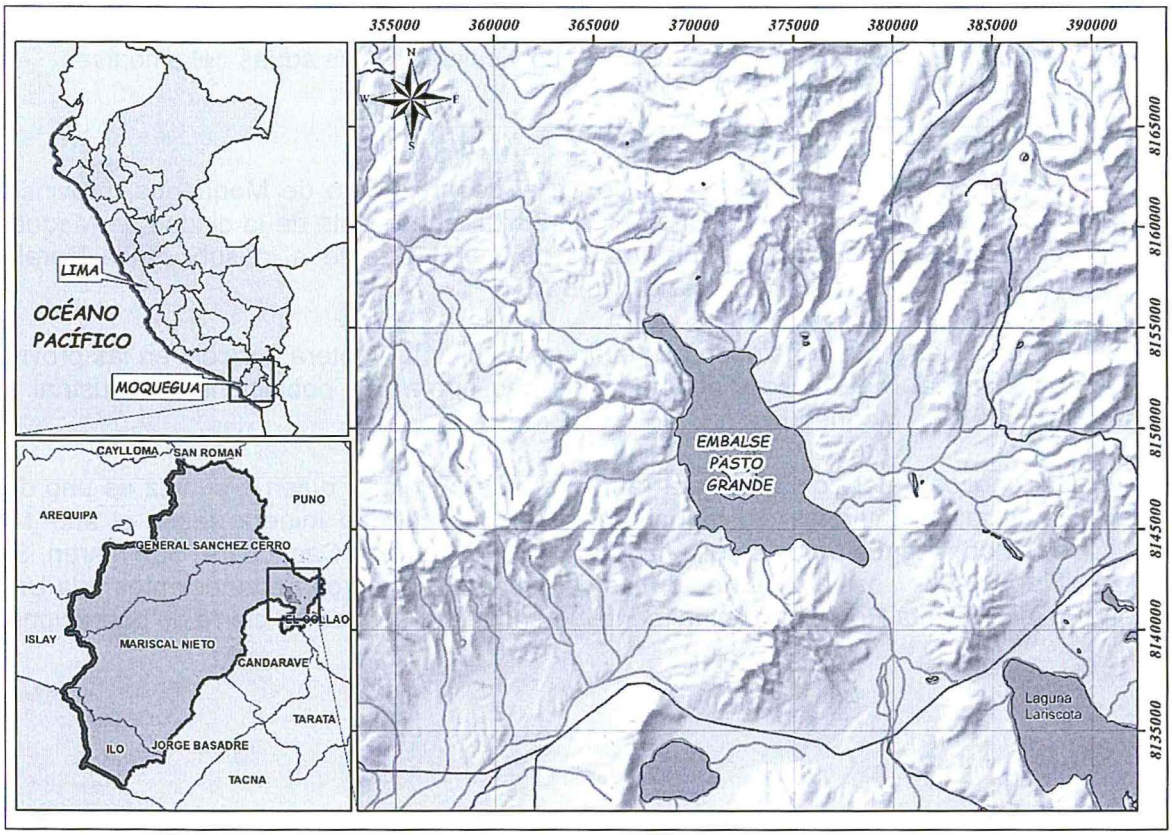
28. Este embalse fue construido con el fin de ampliar la frontera agrícola en las provincias de Mariscal Nieto e Ilo y abastecer de agua para uso poblacional e industrial a las ciudades de Moquegua e Ilo.

29. La cabecera del río Cacachara (afluente del río Patara, quien a su vez es uno de los principales tributarios del embalse), ha tenido actividad minera desde el año 1841[6], dejando rezagos propios de la minería como los pasivos Cacachara, San Martín, Santa María y San José 1; además de los componentes mineros pertenecientes a la Unidad Minera Santa Rosa, que actualmente se encuentra en fase de cierre de operaciones.

EVALUACIONES AMBIENTALES - DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

[6] Texto conforme al: "Plan de cierre de los pasivos mineros Cacachara". 2009. MDH S.A. Aprobado con Resolución Directoral N° 346-2009-MEM/AAM, p. 15.

Gráfico 1- 1: Ubicación del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1- 2: Puntos de muestreo en el ámbito del embalse Pasto Grande (Agua superficial) durante el año 2014

Ubicación	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM - 19K (WGS 84)		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
Tributarios del Embalse Pasto Grande	QM-1	371 375	8 157 782	4 674	Cabecera de la quebrada Millojahuira.
	QM	372 213	8 154 295	4 550	Quebrada Millojahuira, antes de la desembocadura al Embalse
	QCH	372 998	8 154 177	4 552	Quebrada Chapoco, antes de la desembocadura al Embalse Pasto
	QQ	374 037	8 153 610	4 554	Quebrada Queñuani, antes de la desembocadura al Embalse
	QHUIS	367 702	8 156 178	4 561	Quebrada Huiscacollo, antes de la desembocadura al Embalse
	QH/RA[7]	373 705	8 151 693	4 547	Río Antajarani, antes de la desembocadura al Embalse Pasto
	QH-1	376 137	8 151 846	4 588	Quebrada Hualcane antes de la confluencia con el río Antajarani.
	QAS	370 393	8 144 258	4 559	Quebrada Asnuni, antes de la desembocadura al Embalse Pasto
	QIN	369 069	8 147 916	4 552	Quebrada Incacachi, antes de la desembocadura al Embalse
	RA-1	379 404	8 154 306	4 662	Cabecera del río Antajarani.
	RTocco	379 864	8 139 594	4 562	Río Tocco, antes de su desembocadura en el embalse Pasto
	QCHU	369 049	8 148 478	4 545	Quebrada Chullumpini, antes de la desembocadura al Embalse
Río Patara y Cacachara	QCA-1	386 516	8 157 888	4 681	Quebrada Cacachara, antes de la desembocadura en el río Cacachara. Aguas abajo del Pasivo Cacachara.
	QCA-2	385 912	8 159 498	4 736	Cabecera de la Quebrada Cacachara.
	RC3/RC-	387 236	8 158 290	4 736	Río Cacachara, antes de la confluencia con la quebrada Acosiri.
	QA	387 458	8 158 324	4 681	Quebrada Acosiri, aguas debajo de antiguo PAD de lixiviación.
	QVI	386 436	8 156 648	4 681	Quebrada Vizcachas, antes de la desembocadura con el río
	RC2/RC-	383 760	8 152 213	4 648	Río Cacachara, aguas debajo de la confluencia con la quebrada
	RC-3A	385 637	8 155 758	4 681	Río Cacachara, aguas abajo del punto RC-3.
	RP-2	385 481	8 148 459	4 582	Río Patara, antes de confluencia con el río Cacachara.
	RP	380 735	8 147 902	4 582	Río Patara, después de la confluencia con el río Cacachara.
	RP-1	376 718	8 147 375	4 555	Río Patara, antes de la desembocadura al Embalse Pasto Grande.
Aguas que salen del embalse	RVI-1	368 954	8 150 783	4 538	Río Vizcachas, dentro del reservorio.
	RVI-2	368 373	8 150 996	4 532	Río Vizcachas, aguas abajo del reservorio
Aguas del Embalse Pasto Grande	LPG-1	372 194	8 153 236	4 540	Embalse Pasto Grande, frente a desembocadura de quebrada Millojahuira
	LPG-2	369 367	8 150 535	4 540	Embalse Pasto Grande frente al desembalse.
	LPG-3 LPG-3F	369 657	8 153 649	4 540	Embalse Pasto Grande, a dos kilómetros al sur de la desembocadura de la Quebrada Huiscacollo.
	LPG-4S LPG-4F	369 819	8 148 178	4 540	Embalse Pasto Grande, frente a la desembocadura de la Quebrada Incacachi.
	LPG-5	371 609	8 149 544	4 540	Centro de Embalse Pasto Grande.
	LPG-6	374 178	8 148 619	4 540	Embalse Pasto Grande, frente al río Patara.
	LPG-7	374 377	8 145 649	4 540	Zona sur de Embalse Pasto Grande.
	LPG-8S LPG-8F	372 398	8 144 715	4 540	Laguna Pasto Grande, frente a la desembocadura de la quebrada Asnuni

Leyenda: *Para diferenciar los códigos de muestras en superficie y fondo se agregó la notación "S" (superficie) o "F" (fondo); ejemplo: "LPG-2S" corresponde a muestra superficial (0,3 m de la superficie) y "LPG-2F" a muestra en fondo (profundidad variable).*
A los códigos de muestras de sedimento no se agregó notación alguna (todas corresponden a fondo).

Fuente: Elaboración propia.

[7] El código de la muestra en febrero de 2014 fue QH y en julio del mismo año fue RA posterior a estas fechas el punto fue definido como QH/RA (marzo y agosto de 2015). Debido a que se encuentran en la misma ubicación, en el informe se referencia como QH/RA.

[8] El código de la muestra en febrero de 2014 fue RC3 y posterior a esta fecha (julio de 2014 y marzo y agosto de 2015) fue RC-4. Debido a que ambos se encuentran en la misma ubicación, en el informe se referencia como RC3/RC-4.

[9] El código de la muestra en febrero de 2014 fue RC2 y posterior a esta fecha (julio de 2014 y marzo y agosto de 2015) fue RC-3. Debido a que ambos se encuentran en la misma ubicación, en el informe se referencia como RC2/RC-3.

1.4.1 Problemática del embalse

30. La imposibilidad de crianza de truchas, fuente de ingreso de muchos pobladores de la zona, generó el descontento de las comunidades cercanas a este, señalando como la principal responsable del problema a la actividad minera emplazada en la cabecera del río Cacachara, afluente del río Patara[10].

31. Estudios realizados por distintas autoridades como la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, la Autoridad Nacional del Agua - ANA, y del Proyecto Especial Pasto Grande han confirmado las condiciones ácidas del embalse y de algunos tributarios, así como la presencia de altas concentraciones de metales.

32. Las condiciones de acidez actuales del embalse no permitirían la crianza de truchas, dado que estas son especies que viven bajo condiciones de pH (potencial de hidrógeno) cercano al neutro, y tienen problemas de mortandad, debido a la acidez o por alcalinidad (Takashima, Fumio y T. Hibiya 1995).

1.4.2 Actividad minera de la zona

33. Aguas arriba de la confluencia del río Patara con el embalse Pasto Grande, exactamente en la naciente del río Cacachara, se encuentra la Unidad Minera Santa Rosa de la Compañía Minera Aruntani S.A.C., quien explotó el yacimiento constituido por mineral aurífero ubicado en la cabecera, realizando actividades extractivas por el método de tajo abierto y el proceso de beneficio mediante PAD de lixiviación, empleando soluciones cianuradas.

34. Actualmente, en la Unidad Minera Santa Rosa se han concluido los trabajos de cierre establecidos en el Plan de Cierre de Minas aprobado mediante Resolución Directoral N° 125-2009-MEM-DGAAM y cuya modificación fue aprobada mediante Resolución Directoral N° 357-2010-MEM/AAM.

35. Cerca de la referida unidad se encuentran otros rezagos de actividad minera, los cuales fueron clasificados como pasivos mineros por el Ministerio de Energía y Minas, según consta en la Resolución Ministerial N° 102-2015-MEM/DM. En la Tabla 1-3 se especifica acerca de dichos pasivos.

Tabla 1-3: Pasivos mineros ubicados cerca al embalse Pasto Grande

Pasivo Minero	Tipo	Sub Tipo	Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas UTM (WGS84)	
						Norte (m)	Este (m)
San José 1	Labor Minera	Bocamina	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas	8 156 036	385 803
San Martín	Labor Minera	Bocamina	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas	8 157 751	385 793
Santa María	Labor Minera	Bocamina	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas	8 156 693	385 980
Cacachara	Residuo Minero	Relaves	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas	8 158 764	385 890
Cacachara	Labor Minera	Bocamina	Moquegua	Mariscal Nieto	Carumas	8 159 721	385 749

Fuente: R.M. N° 102-2015-MEM/DM.

[10] Denuncia SINADA SC-0595-2011. Oficio N° 479-2011-PP/MINAM. 2011. Denuncia de la coordinadora agraria de Moquegua sobre las consecuencias de las actividades de la empresa Aruntani S.A.C.

36. De los pasivos especificados, sólo los denominados Cacachara ("Residuos Mineros" y "Labor Minera") cuentan con un Plan de Cierre específico, realizado por la empresa MDH S.A.C. y aprobado mediante Resolución Directoral N° 346-2009-MEM/AAM.

2.0 MÉTODOS

2.1 Etapa de precampo

37. El trabajo de precampo incluyó la sistematización y análisis de la información relevante relacionada a los objetivos del presente estudio: planificación, coordinaciones, elaboración de cronograma de actividades y plan de trabajo.

2.2 Etapa de Campo

38. Las campañas de campo para la evaluación se desarrollaron:

- Del 17 al 21 de febrero y del 6 al 12 de julio del 2014.
- Del 08 al 13 de marzo y del 3 al 8 de agosto de 2015.

39. La evaluación consistió en el análisis de los componentes físico – químicos del agua y sedimento, geológico, biológico y el procesamiento de imágenes satelitales (cobertura vegetal y glaciar). En la Tabla 2-1 se observan la relación de participantes de los distintos trabajos de campo realizados.

Tabla 2- 1: Conformación de equipos técnicos del estudio

Evaluador	Especialidad	Fecha de participación				Institución
		Feb 2014	Jul 2014	Mar 2015	Ago 2015	
Julio Gonzales Rossel	Ingeniero Ambiental	X	X	X	X	Dirección de Evaluación del OEFA
Daniel Peña Guimas	Ingeniero Geólogo	X	X	X	X	
Giovanna Pinto Alcarraz	Química	X				
Antonio Tejada Moncada	Biólogo	X	X			
Víctor Chama Moscoso	Biólogo				X	
Mario Escobedo Torres	Biólogo				X	
Saúl Aldave Aguero	Biólogo Pesquero				X	
Julio Monzón Anticona	Biólogo Pesquero				X	
Ulises Giraldo Malca	Ingeniero Geógrafo		X			Dirección de Supervisión del OEFA
Hernán Aliaga Bustinza	Biólogo	X	X	X		Oficina Desconcentrada de Moquegua

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1 Calidad de agua y sedimentos

2.2.1.1 Parámetros evaluados

40. En todos los puntos de muestreo de agua se registraron mediciones de campo (*in situ*) de potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T°) y conductividad eléctrica (C.E.). Ver Tabla 2-2.

Tabla 2- 2: Parámetros requeridos en los monitoreos

Primer muestreo febrero de 2014	Segundo muestreo julio de 2014	Primer muestreo marzo de 2015	Segundo muestreo agosto de 2015
Demanda Bioquímica de Oxígeno Sólidos Suspendidos totales Demanda Química de Oxígeno Sulfuro Sulfato Cianuros libre, total y WAD Mercurio Metales (ICP)	Cianuro total Sulfato Sólidos totales disueltos Sólidos suspendidos totales Metales (ICP)	Sólidos totales disueltos Sólidos suspendidos totales Potencial Redox Metales (ICP)	Cianuro total Cianuro WAD Sólidos suspendidos totales Metales (ICP)

Fuente: Elaboración propia.

41. Asimismo, en las muestras de sedimentos se determinó la concentración de metales, mercurio y ABA (Acid-Base Accounting). En las muestras de sedimento obtenidas en el 2015 se realizó el análisis secuencial de metales por el método de Tessier.

2.2.1.2 Protocolos de monitoreo

42. A fin de garantizar la calidad de los resultados se utilizaron los siguientes protocolos:

- "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial" aprobado en marzo del 2011, publicado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Procedimiento para muestreo de aguas y sedimentos para determinación de metales, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia.

43. En la Tabla 2-3 se detalla la metodología de preservación sugerida por el laboratorio para las muestras de agua y en la Tabla 2-4 para las muestras de sedimento.

Tabla 2- 3: Metodología para la preservación de muestras de agua

Parámetros	Tipo de frasco	Volumen	Preservación
DBO_5	Polietileno	1 L	Refrigeración 4°C (tiempo máx. 48 horas)
Sólidos suspendidos totales y sólidos totales disueltos	Polietileno	1 L	Refrigeración 4°C (tiempo máx. 7 días)
Cianuro total, WAD y libre	Polietileno	1 L	NaOH - Refrigeración 4°C
Sulfuros	Polietileno	1 L	Acetato de Zinc + NaOH hasta pH >9 Refrigeración 4°C
Metales totales ICP	Polietileno	500 mL	HNO3 1:1 hasta pH<2. Refrigeración 4°C
Sulfatos	Polietileno	500 mL	Refrigeración 4°C (tiempo máx. 7 días
Mercurio (vapor frío)	Polietileno	250 mL	HNO3 1:1 hasta pH<2. Refrigeración 4°C
DQO	Polietileno	250 mL	H_2SO_4 1:1 hasta pH<2. Refrigeración 4°C

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2- 4: Metodología para la preservación de muestras de sedimento

Parámetros	Tipo de frasco	Volumen	Preservación
Metales totales (incluye mercurio)	Polietileno (boca ancha)	500	≤ 6 °C (metales 6 meses/ mercurio 28 días)
ABA (Acid – Base Acounting)	Polietileno (boca ancha)	500	≤ 6 °C (28 días)

Fuente: Elaboración propia.

44. Todas las muestras fueron preservadas según lo indicado por el laboratorio y junto con su cadena de custodia fueron trasladadas desde la ciudad de Moquegua para los ensayos respectivos.

2.2.1.3 Metodología utilizada por el laboratorio para el análisis

45. Las muestras de agua y sedimento se enviaron al laboratorio Inspectorate Services Perú S.A.C. De acuerdo a los informes de ensayo, los métodos analíticos utilizados se presentan en la Tabla 2-5:

Tabla 2- 5: Métodos analíticos utilizados por el laboratorio (2014)

AGUA		SEDIMENTOS	
PARÁMETRO	**MÉTODO DE ANÁLISIS**	**PARÁMETRO**	**MÉTODO DE ANÁLISIS**
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EPA 405.01 - 1999	ABA (Acid-Base Accounting)	EPA – 600/2-78/054
Sólidos Suspendidos totales	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D	Metales (ICP)	EPA 6020A 2007, ICP
Sólidos Disueltos totales	EPA 160.1 – 1999 Reside, Filterable (Gravimetric, Dried at 180°C)	Mercurio	EPA.245.5 Mercury In Sediment
Demanda Química de Oxígeno	EPA 410.2 - 1999	--	--
Sulfuro	EPA 376.2 – 1999	--	--
Sulfato	EPA 375.4 – 1999	--	--
Cianuro libre	D 7237-06 Standard Test Method for Aquatic Cyanide with flow injection Analysis (FIA)	--	--
Cianuro total	ISP-401 – 2009 total Cyanide by Segmented flow injection analysis	--	--
Cianuros WAD	USEPA Method OIA-1677 – 2004 Method OIA – 1677, available cyanide by flow injection, ligand exchange and amperometry	--	--
Metales totales y disueltos	EPA 200.8 – 1999 Revision 5.4 1999, Determination of trace elements in waters and wastes by ICP	--	--
Mercurio	EPA 245.1 – 1999 Determination of Mercury in wáter by Cold Vapor AA Spectroetry	--	--

Fuente: Informes de ensayo Inspectorate Services Perú S.A.C.

Tabla 2- 6: Métodos analíticos utilizados por el laboratorio (2015)

AGUA		SEDIMENTOS	
PARÁMETRO	**MÉTODO DE ANÁLISIS**	**PARÁMETRO**	**MÉTODO DE ANÁLISIS**
Sólidos Suspendidos totales	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D	Metales (ICP)	EPA 6020A 2007, ICP
Sólidos Disueltos totales	EPA 160.1 – 1999 Reside, Filterable (Gravimetric, Dried at 180°C)	Mercurio	EPA.245.5 Mercury In Sediment
Metales totales y disueltos	EPA 200.8 – 1999 Revision 5.4 1999, Determination of trace elements in waters and wastes by ICP	Extracción secuencial de metales por Tessier	PE-4421
Mercurio	EPA 245.1 – 1999 Determination of Mercury in wáter by Cold Vapor AA Spectroetry	--	--
Potencial Redox	SM 25800B Ed 22	--	--
Hierro III	SM 3500 Fe B		

AGUA		SEDIMENTOS	
PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Cianuros total	SM 4500 CN-F,C		
Cianuros WAD	SM 4500 CN-F,I		

Fuente: Informes de ensayo Inspectorate Services Perú S.A.C y AQG S.A.C.

2.2.2 Características biológicas

2.2.2.1 Hidrobiología

46. La evaluación de las comunidades hidrobiológicas permite expresar la dinámica del medio y su variación en el tiempo, constituyéndose en una base para la estimación del estado de la calidad de los cuerpos de agua.

a. Caracterización fisicoquímica

47. Se consideró la toma de parámetros fisicoquímicos *in situ* para cada uno de los puntos de muestreo, con el fin de generar un diagnóstico de la calidad de las aguas y determinar la afectación de las comunidades hidrobiológicas.

48. Los parámetros fueron: temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), conductividad específica (µS/cm), sólidos totales disueltos (mg/L) y pH (Unid. de pH).

b. Fitoplancton

49. Se realizó el recorrido en cada uno de los puntos de muestreo (Tabla 1-5), utilizando una embarcación tipo "zodiac"[11] pequeña con un motor fuera de borda de 35 HP.

50. En cada uno de los puntos de muestreo, se realizó el arrastre de la red de plancton de 20 micras de luz para poder capturar fitoplancton; la maniobra se realizó durante un tiempo de cinco minutos y a una velocidad mínima.

51. Una vez realizada la toma de muestras, fueron almacenadas en sus respectivos frascos, rotuladas y fijadas con lugol al 5 % para su posterior análisis en el laboratorio acreditado. El análisis fue cualitativo.

c. Macroinvertebrados bentónicos (Bentos)

52. La toma de muestras para el análisis de bentos se realizó a través de una draga de 12 Kg de peso y de 30 x 30 cm de dimensión de las palas de captura. Esta se arrojó desde la embarcación en cada uno de los puntos de muestreo, activando el mecanismo de captura. Cuando no se obtenía muestra se repetía la operación hasta obtener una muestra considerable.

[11] Marca de embarcaciones neumáticas con motor fuera de borda (características de la unidad alquilada).

53. Una vez realizada la toma de muestras, estas fueron almacenadas en sus respectivos frascos, rotuladas y fijadas con formol al 5 % para su posterior análisis (tipo cuantitativo) en el laboratorio acreditado.

2.2.2.2 Fauna silvestre

54. La evaluación se efectuó en ambas márgenes del embalse, así como en las cabeceras y cuenca media de los principales ríos que desembocan en el embalse. Para ejecutar este método de evaluación se consideraron los siguientes aspectos:

55. Los transectos12 fueron ubicados tanto en la margen izquierda y derecha del embalse como en las márgenes de los ríos Antajarani, Patará y aguas arriba del río Millojauira, se registró la presencia de la fauna silvestre por medio de evidencias directas e indirectas. Las evidencias directas corresponden a observaciones y vocalizaciones, y las indirectas a todo tipo de indicio dejado por las especies de fauna silvestre, como huellas, heces, comederos, pelos, rasguños, dormidero entre otros. Para el propósito de la evaluación se establecieron cinco transectos de evaluación, siendo éstos los siguientes: transecto (01) ubicado al margen izquierdo del embalse, transecto (02) ubicado al margen izquierdo del embalse, transecto (03) ubicado en la margen derecha de la quebrada Antajarani, transecto (04), ubicado en la margen derecha del río Patará, y transecto (05) ubicado en la naciente del Millojauira.

Tabla 2- 7: Coordenadas de los transectos evaluados en el embalse Pasto Grande

Descripción	Coordenadas UTM-Datum WGS 84 Zona 18			
	Inicio		Final	
	Este	Norte	Este	Norte
Transecto 01	374 014	8 143 865	374 920	8 144 119
Transecto 02	372 274	8 153 221	371 574	8 153 873
Transecto 03	374 079	8 151 644	374 208	8 151 821
Transecto 04	376 754	8 147 365	376 307	8 147 543
Transecto 05	380 760	8 147 925	371 631	8 158 090

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.3 Flora

56. La metodología escogida fue: recorridos de 500 m lineales, teniendo como punto de inicio "referencial" los sitios de muestreo de agua y suelo, esta metodología ha demostrado ser eficiente para diagnosticar y caracterizar de manera rápida la vegetación presente.

12 Un transecto es una franja, es una unidad de muestreo donde se realizan observaciones y registros de datos de flora y/o fauna o de parámetros ambientales.

57. En base a los datos registrados en cada recorrido, se analizó el estado actual de la vegetación y su influencia en relación a la problemática del PEA.

Criterios de evaluación para flora

58. Se consideró los siguientes criterios, tomando en cuenta que el presente trabajo, no se hicieron colectas botánicas por ser una visita de evaluación de carácter descriptivo.

- Evaluar el 100 % de la vegetación presente durante los recorridos.
- Se hicieron registros fotoGráficos de cada una de las especies presentes, para confirmar la determinación correcta.
- Los sitios de muestreo fueron ubicados a partir de los puntos referenciales para la toma de muestras de agua.
- Se tomaron en cuenta, presencia y ausencia de las especies vegetales, cobertura y tipo de hábito.

59. Para su respectiva confirmación de las determinaciones taxonómicas, se realizó usando diferentes herbarios virtuales *on line* del Missouri Botanical Garden[13] (MOBOT) y Field Museum of Chicago[14], a fin de determinar los táxones por comparación, uso de claves dicotómicas y bibliografía especializada.

Puntos de evaluación

60. Los puntos de evaluación se obtuvieron a través de referencias anteriores, donde se hicieron evaluaciones de suelo y agua, los cuales fueron tomados como puntos referenciales de inicio.

Tabla 2- 8: Coordenadas de los puntos evaluados

Lugar de recorrido	Coordenadas UTM –Datum WGS 84	
	Este	Norte
Embalse	374 014	8 143 865
Millojahuira	372 274	8 153 221
Antajarani	374 079	8 151 644
Patara	376 754	8 147 365
Patara-arriba	380 760	8 147 925
Qh-01	376 137	8 151 846
Millojahuira-arriba	370 197	8 158 131

Fuente: Elaboración propia.

[13] www.tropicos.org
[14] www.fm2.fieldmuseum.org

61. Para esta evaluación se realizaron 07 recorridos, en los cuales se hizo un levantamiento rápido de datos cuantitativos de la flora presente, como se muestra en la Tabla 2-9.

Tabla 2- 9: Registro de individuos por recorrido de evaluación

Recorrido N°	PEA	Lugar Recorrido	Registro por recorrido	
			Especies	Individuos
1	Pasto Grande	Embalse	6	180
2		Millojahuira	5	310
3		Antajarani	8	380
4		Patara	7	350
5		Patara-arriba	12	370
6		Qh-01	9	320
7		Millojahuira-arriba	13	397

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Análisis de datos

62. Los datos generados son procesados y sistematizados con el fin de realizar tablas, gráficas comparativas y análisis estadísticos como parte del cumplimiento de los objetivos de la evaluación, esta información es analizada de acuerdo a los resultados ya sea con normas ambientales o con criterios del especialista.

2.3.1 Calidad de agua

63. El Perú cuenta con Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, los cuales fueron aprobados a través del Decreto Supremo Nº 002-2008-MINAM "Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA - AGUA)".

64. Asimismo, la Autoridad Nacional del Agua mediante la Resolución Jefatura N° 202-2010-ANA aprueba la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino – costeros, clasifica al embalse Pasto Grande dentro de la Categoría 4 "lagos y lagunas" y al río Vizcachas (salida del embalse Pasto Grande) en la Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales".

65. Por otra parte, conforme a lo señalado en el Artículo 3° inciso 3.3 del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM[15], los tributarios del embalse Pasto Grande se consideraron dentro de la Categoría 4 "Ríos".

2.3.2 Calidad de sedimentos

66. Los resultados en sedimento son comparados referencialmente con los valores PEL (Probable Effect Level - Nivel de Efecto Probable en español) establecidos en las

[15] Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM aprobado el 19 de diciembre del 2009, Artículo 3°, inciso 3.3 "Para aquellos cuerpos que no se le haya asignado categoría de acuerdo a su calidad, se considerará transitoriamente la categoría del recurso hídrico al que tributan".

Directrices del Ministerio de Ambiente de Canadá (Canadian Environmental Quality Guidelines - CEQG).

2.3.3 Características biológicas

Hidrobiología

a. Abundancia y riqueza de especies

67. La abundancia total es el valor en número de individuos (Org./0,09 m^2 en el caso de macroinvertebrados bentónicos) calculado para cada punto de muestreo. No se consideró el análisis cuantitativo para fitoplancton.

68. Por otro lado, la riqueza específica es la forma más sencilla de medir la diversidad biológica (Magurran, 1988; Moreno, 2001), basándose solo en el número de especies presentes en el medio y sin tomar en cuenta la importancia relativa de cada una de ellas.

b. Índice de diversidad de Shannon (H')

69. El valor del índice es cero cuando todos los individuos recolectados pertenecen a una sola especie (es decir, mayor dificultad de predicción). El valor teórico máximo del índice "$\log_2$ (pi)" se alcanza en casos cuando cada individuo colectado pertenece a una especie diferente.

$$H' = - \sum pi \, Log_2 \, pi$$

Donde:

H': Índice de diversidad de Shannon
pi: Abundancia proporcional de la especie (ni/N)
ni: Número de individuos de la especie
N: Número total de individuos

c. Dominancia de Simpson (D)

70. Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influenciado por la importancia de las especies más dominantes. Como su valor es inverso a la equidad. Se expresa como

$$D = \sum pi^2$$

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

d. Diversidad verdadera (Números de Hill)

71. Recientemente, Jost (2006) acuñó el término diversidad verdadera (true diversity) para referirse de manera particular a medidas que conservan las propiedades intuitivamente esperadas del concepto de diversidad, y para diferenciar estas medidas de la gran cantidad de índices que se pueden encontrar en la literatura bajo el nombre de diversidad y que no cumplen con estas propiedades intuitivas (Moreno *et al.*, 2011).

72. De manera relativamente rápida, se ha hecho evidente el impacto que empiezan a tener los números efectivos de especies, que son las unidades de medición de la diversidad verdadera (Moreno *et al.*, 2011). Asimismo, estas medidas han sido incorporadas en comentarios y revisiones conceptuales recientes sobre la diversidad de especies (*e.g.* Moreno & Rodríguez, 2010; Tuomisto, 2010).

73. De ese modo, los datos obtenidos de las comunidades hidrobiológicas se analizaron con números efectivos (medidas de diversidad verdadera). Para determinar valores de diversidad verdadera que permita hacer comparaciones espaciales y temporales, se calcularon los índices de orden 1 (N_1) y orden 2 (N_2), recomendados por Moreno *et al.* (2011) de acuerdo a las ecuaciones modificadas por Jost (2006).

$$N_1 = \exp(H')$$

Donde:

H': Es el índice de diversidad Shannon en base "e".

$$N_2 = 1/D$$

Donde:

D: Es el índice de dominancia de Simpson.

e. Análisis estadístico

74. Los presentes análisis se aplicaron solo a las comunidades cuyos datos lo permitieron; por lo tanto, no fue aplicable a todos.

75. Para los análisis estadísticos, a los datos de abundancia obtenidos se le aplicó la transformación de log (x+1). Esta transformación permite comparar comunidades eliminando el efecto de las especies más abundantes, por ejemplo, si hay una especie muy abundante y presente en casi la totalidad de los puntos y los datos se utilizarían sin transformar, en los análisis de ordenación los puntos se agruparían únicamente por esta condición, sin importar la presencia de otros organismos menos abundantes (Marreno, 2012).

76. La similaridad de especies de las comunidades evaluadas en los cuerpos de agua se realizó a través de un dendrograma basado en la matriz de similitud de Bray-Curtis (Clarke y Warwick, 2001).

77. Los cálculos se realizaron con el software libre Past v.3.1

Fauna y Flora Silvestre

78. El análisis de resultados se basó en la lista de especies registradas en campo, tanto de flora como de fauna. Se compararon los resultados con la lista de especies amenazadas por la IUCN16 y en el caso de flora se compararon los resultados son las especies categorizadas según en Decreto Supremo N° 043-20006-AG y para el caso de fauna Decreto Supremo 004-2004-MINAGRI.

2.3.4 Estudios complementarios:

Evaluación geológica

79. Se basó principalmente en identificar, describir y analizar las rocas (litología) que se encuentran presentes en el ámbito de estudio; así como su composición petrológica, sus características geoquímicas y su mineralogía, de manera indirecta (estudios bibliográficos) y directas (trabajos de campo y análisis de muestras). Se realizó la recopilación bibliográfica en base a la geología, geomorfología y mineralogía, correspondiente a estudios previos, informes, mapas, etc., sobre el área de influencia del embalse Pasto Grande (Ingeomin, 1978; Ingemmet 2000 y 2008, Consorcio V-5, 2012 y D&MA, 2001).

80. Todo ello nos permitió tener un conocimiento fidedigno de la litología que se emplaza en el embalse, así como los yacimientos metálicos que se asocian a éste. Los resultados complementaron la evaluación ambiental, pues de esta manera se relacionó el medio geológico con los componentes ambientales (agua, suelo, sedimento, aire) para determinar si la calidad de los mismos está siendo influenciada por procesos naturales, propios de la geología.

81. Incluyó la caracterización geomorfológica, litológica, metalogenia y mineralización, actividad minera, análisis de la información geológica recopilada.

Análisis estadístico para la identificación de fuentes

82. Es una herramienta que se usa para dar respuestas a las interrogantes que surgieron al planificar y ejecutar el estudio de evaluación ambiental en el embalse. La estadística proporciona un conjunto de métodos que se utilizan para recolectar, resumir, clasificar, analizar e interpretar el comportamiento de los datos con respecto a una característica, materia de estudio o investigación.

83. Con la finalidad de aclarar la relación de metales que aporta cada afluente, se utilizó métodos estadísticos multivariables, utilizando el software libre PAST 3.10, como:

84. **Análisis de clúster:** El análisis de clúster es un método estadístico multivariado utilizado para identificar grupos y subgrupos de acuerdo a matrices de similaridad, el método utilizado en este análisis se basa en la agrupación jerárquica de Ward, también conocido como el método de varianza mínima de Ward (Hair Joseph *et al*,. 2010). Este

16 The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015-3. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 14 September 2015

método considera etapas donde se unen los dos grupos para los cuales se tenga el menor incremento en el valor de la suma de los cuadrados de las diferencias, dentro de cada grupo. Las distancias de agrupamiento aplicadas para la presentación del clúster depende del algoritmo utilizado por el software que se usa; siendo en este caso de 0 a 300 unidades la distancia empleada por el software libre PAST 3.10. A menor distancia, mayor similitud entre puntos de muestreo. Para la interpretación de los grupos y subgrupos formados, se pueden hacer distintos cortes a las distancias de agrupamiento (unidades), lo cual depende del tipo de datos y el dendograma[17] resultante.

85. En el presente informe, el análisis de clúster servirá para determinar cuan similares son los puntos evaluados de acuerdo a la concentración de los metales totales (variable) presentes en ellos. Al ser el análisis de clúster un método estadístico multivariado, este permite comparar las concentraciones de todos los metales (variables) en un mismo análisis.

86. **Análisis de Componentes Principales (ACP):** El Análisis de Componentes Principales es una técnica que construye con el conjunto de datos originales, combinaciones lineales que representan el menor número de variables correlacionadas entre sí, denominados componentes principales, con el fin de facilitar la interpretación de los resultados (Orús, 2014). También se puede definir como, una técnica de síntesis de información o reducción de la dimensión (reducción del número de variables), perdiendo la menor cantidad de información posible.

87. En el presente informe, el análisis de ACP, permitirá determinar cuáles son las principales variables (metales totales) que explican mejor las diferencias entre los puntos evaluados.

88. **Coeficiente de correlación de Pearson (*r*):** es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente, siendo así una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Este análisis permitirá conocer las variables (parámetros). La explicación de un coeficiente de correlación como medida de la intensidad de la relación lineal entre dos variables es puramente matemática y libre de cualquier implicación causa/efecto. El Valor del coeficiente varia de -1 a 1; donde la interpretación viene dada de la siguiente manera:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva (directa) perfecta, cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva (directa).
- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa (inversa).
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa (inversa) perfecta, cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

[17] El dendograma es la representación gráfica (en forma de árbol) que mejor ayuda a interpretar el resultado de un análisis clúster.

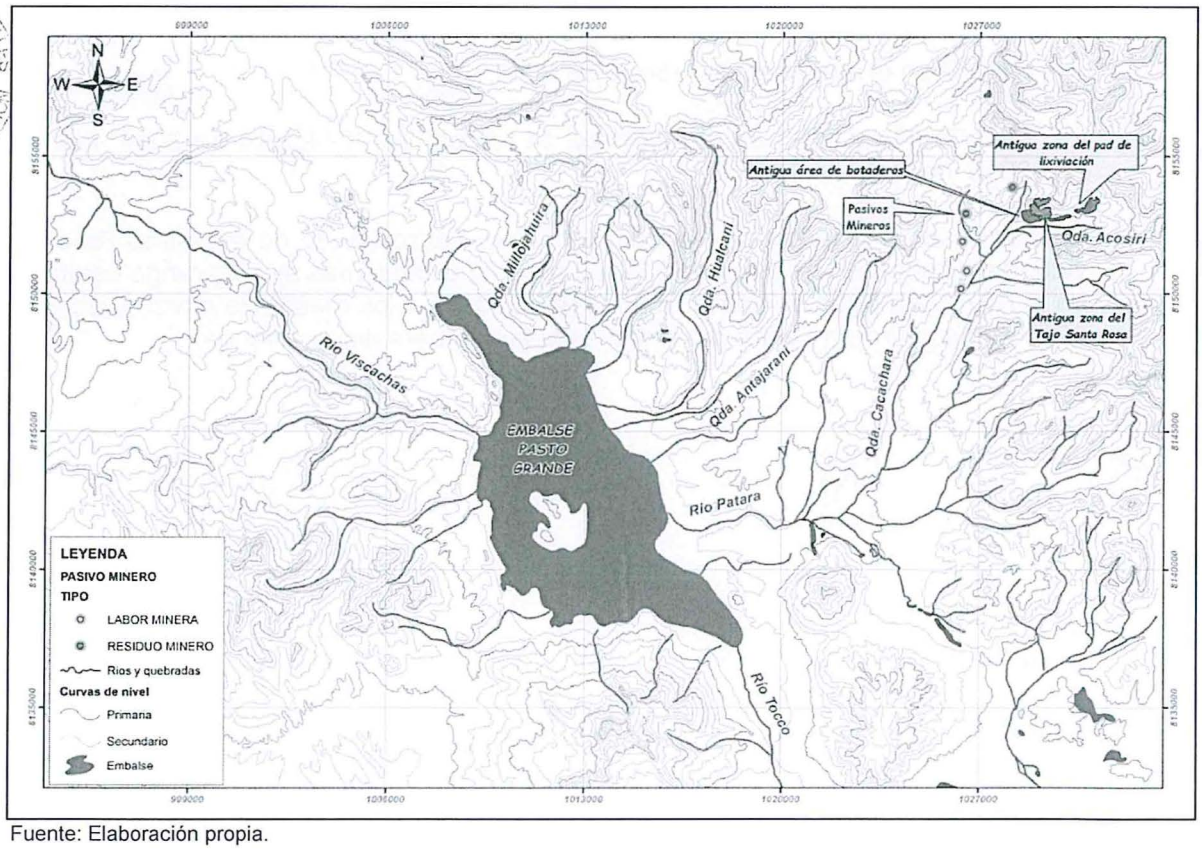
Análisis de imágenes satelitales

89. En coordinación y apoyo con el área de SIG del OEFA, se realizó estudios de procesamiento de imágenes satelitales como parte de los estudios complementarios. Estos representan una alternativa apropiada y accesible para desarrollar los análisis espaciales para diferentes estudios, ya sea un estudio de suelos, de cobertura vegetal, o de la geomorfología. Incluso para conocer la disminución de un nevado a lo largo de los años.

3.0 RESULTADOS Y ANÁLISIS

90. Con el fin de buscar una mejor comprensión del análisis de resultados, se presenta a continuación la ubicación de los ríos más importantes del embalse Pasto Grande; incluido el río Patara - Cacachara, el cual está influenciado por antigua actividad minera. A este Gráfico se le complementa el mapa de ubicación de puntos el cual se encuentra en el Anexo F.

Gráfico 3- 1: Mapa de ubicación de cuerpos de agua y componentes mineros en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

3.1 Calidad de agua

3.1.1 Resultados de las mediciones en campo

91. Como complemento a los análisis de laboratorio se realizaron las mediciones en campo del potencial de hidrogeno y conductividad eléctrica.

3.1.1.1 Potencial de hidrógeno

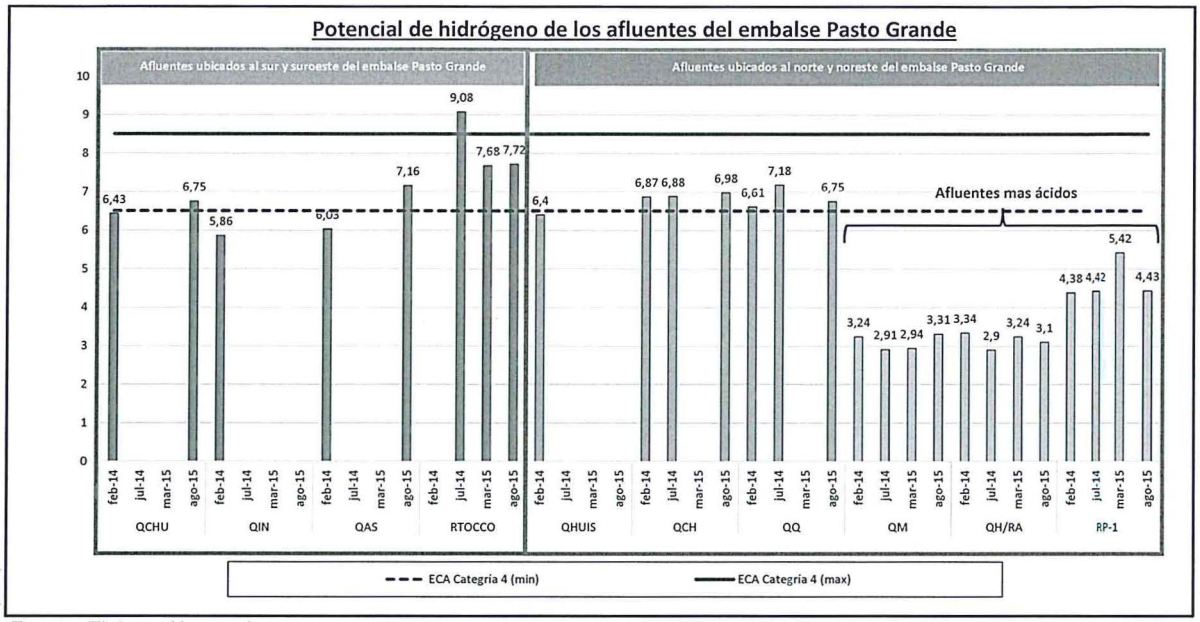
92. Como se puede observar en el Gráfico 3-1, de los principales afluentes del embalse, los valores en los puntos ubicados al norte y noreste del embalse Pasto Grande tienden a ser ácidos, sobre todo en los puntos de muestreo QM, QH/RA y RP-1 con valores de pH que varían de 2,91 unidades a 5,42 unidades. El valor más ácido registrado fue de 2,9 unidades de pH para el mes de julio de 2014 en la quebrada Millojahuira.

93. Comparando los resultados obtenidos con los ECA para Agua de la categoría 4 (ríos de la costa y sierra, rango de 6,5 a 8,5 unidades), los puntos de muestreo que fueron menores al valor más bajo del rango establecido como estándar fueron:

- QIN y QAS en el muestreo de julio de 2014.
- QHUIS en el muestreo de febrero de 2014.
- QM, QH/RA y RP-1 en el muestreo de febrero de 2014, julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015.

94. Para el caso de la medición realizada en el río Tocco (punto de muestreo Rtocco), el valor de pH obtenido en julio de 2014 fue superior al valor más alto del rango establecido en el ECA para Agua, mientras que los resultados de los meses de marzo y agosto de 2015 se encontraron dentro del rango establecido para dicho estándar.

Gráfico 3- 2: Potencial de hidrógeno en los tributarios del embalse Pasto Grande (Resultados 2014 y 2015)

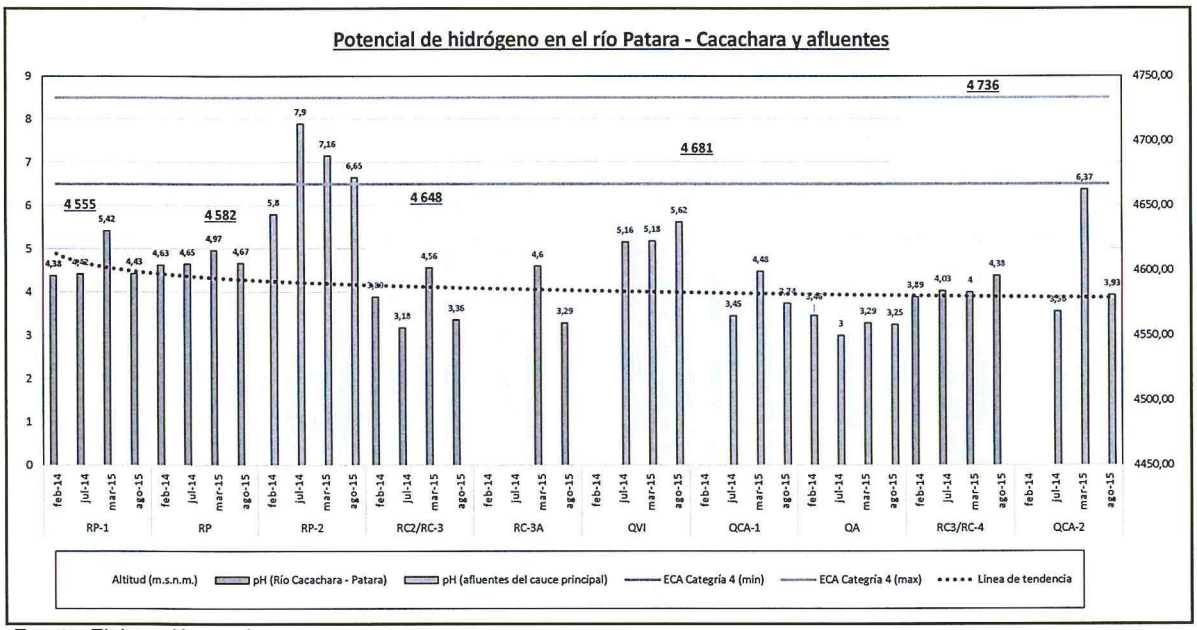


Fuente: Elaboración propia.

95. En el caso de los resultados de pH en el río Patara - Cacachara en el Gráfico 3-2 se puede observar que desde aguas arriba (a mayor altitud), los valores tienden a ser menores a 6 unidades de pH (valor mínimo del rango establecido en el ECA para Agua en la categoría 4) y conforme se acerca a la desembocadura (punto RP-1) aumentan los valores de pH.

96. Por ejemplo, el valor de pH antes de la confluencia del río Cacachara con el río Patara (punto RC2/RC-3) varió de 3,18 a 4,56 unidades de pH; después de la confluencia los valores de pH (punto RP) variaron de 4,63 a 4,97 unidades de pH y antes de la desembocadura (punto RP-1) variaron de 4,38 a 5,42 unidades de pH.

Gráfico 3- 3: Resultados de potencial de hidrógeno en el río Patara - Cacachara



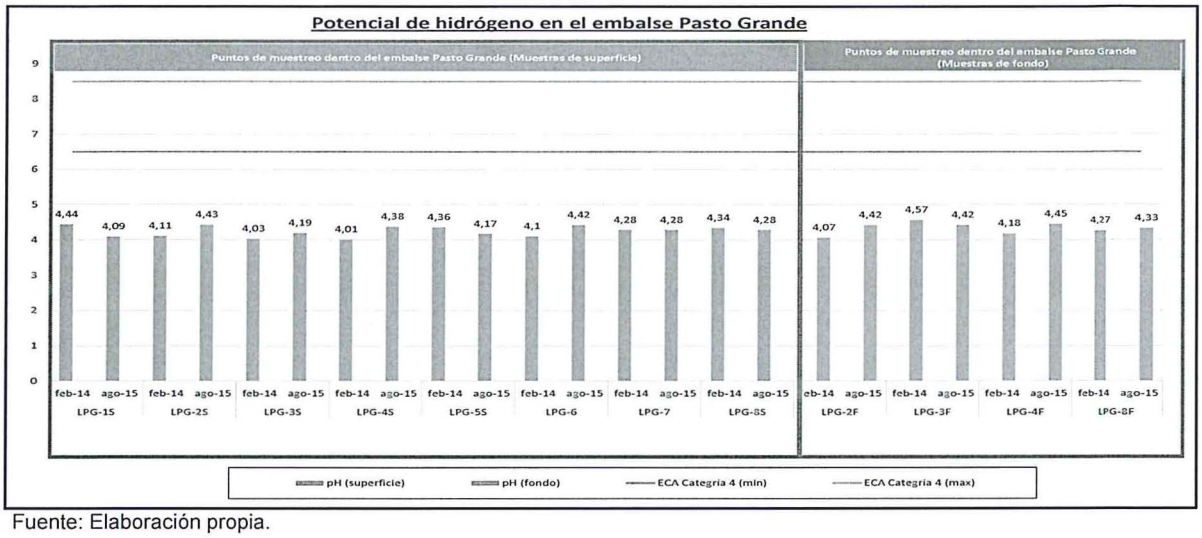
Fuente: Elaboración propia.

97. La explicación de los resultados ácidos registrados en la quebrada Millojahuira y en los ríos Antajarane y Patara, es uno de los objetivos importantes en este informe; para lo cual, se han realizado estudios fisicoquímicos, geológicos y de imágenes satelitales, con el fin de proponer una explicación a la acidez del embalse. Este tema se abordará en los siguientes capítulos.

98. Además, se realizaron mediciones de pH a la salida del embalse, obteniéndose que en febrero de 2014 los resultados fueron de 4,03 y 5,04 unidades de pH en los puntos de muestreo RVI-1 y RVI-2, respectivamente, mientras que en agosto de 2015 fueron de 6,73 y 6,12 unidades de pH en los puntos de muestreo RVI-1 y RVI-2, respectivamente.

99. Dentro del embalse Pasto Grande se realizaron registros de potencial de hidrógeno (ver cuadro del anexo A y mapa del anexo F), los resultados se pueden observar en el Gráfico 3-3, donde se puede ver que los valores son prácticamente homogéneos en todo el embalse, variando en el mes de febrero de 4,01 unidades de pH (en el punto LPG-4S) a 4,57 unidades de pH (en el punto LPG-3F); y en el mes de agosto, de 4,09 unidades de pH (en el punto LPG-1S) a 4,45 unidades de pH (en el punto LPG-4F), en todos los casos menores al valor más bajo del rango establecido en el ECA para Agua para la categoría 4.

Gráfico 3- 4: Resultados de potencial de hidrógeno dentro del embalse Pasto Grande



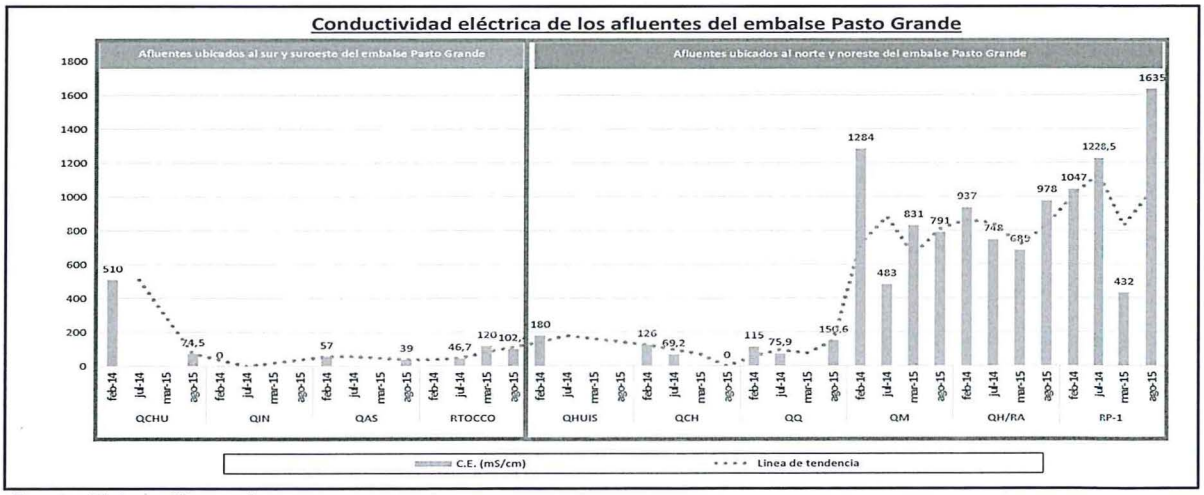
Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.2 Conductividad Eléctrica

100. En cuanto a los resultados obtenidos de conductividad eléctrica, los valores más altos se encuentran al norte y noreste del embalse Pasto Grande (quebrada Millojahuira, y en los ríos Antajarane y Patara).

101. El valor más elevado (1 635 uS/cm) de conductividad eléctrica se registró en el mes de agosto en el río Patara (RP-1).

Gráfico 3- 5: Resultados de conductividad eléctrica en los tributarios del embalse Pasto Grande

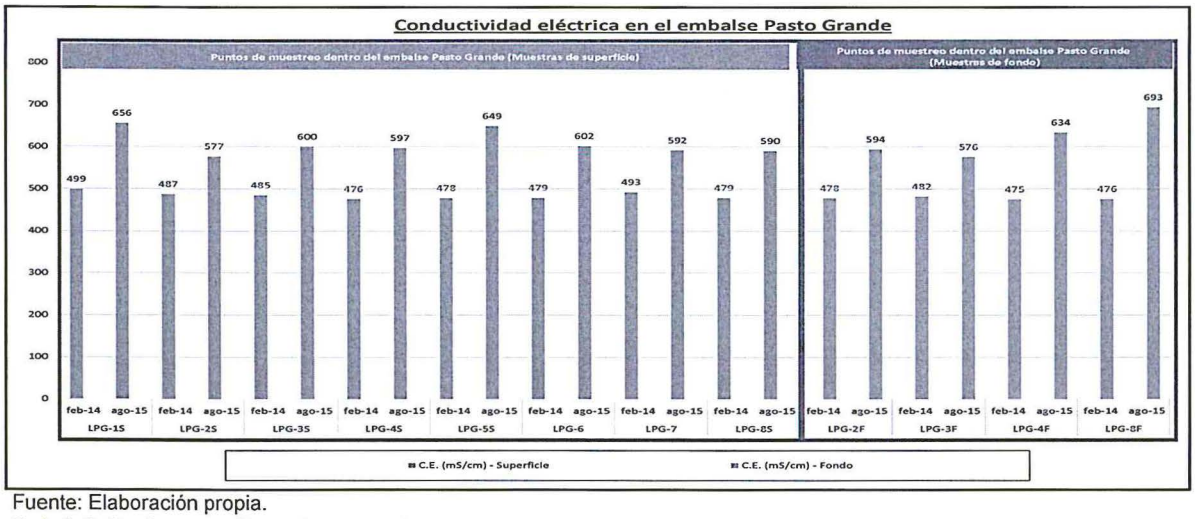


Fuente: Elaboración propia.

102. Dentro del embalse los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica variaron en el mes de febrero de 475 µS/cm (en el punto LPG-4F) a 499 µS/cm (en el punto LPG-1S); y en el mes de agosto de 576 µS/cm (en el punto LPG-3F) a 693 µS/cm (en el punto LPG-8F).

103. Como se puede observar en el Gráfico 3-6, los resultados de la conductividad eléctrica son casi homogéneos en todo el embalse.

Gráfico 3- 6: Resultados de conductividad eléctrica dentro del embalse Pasto Grande

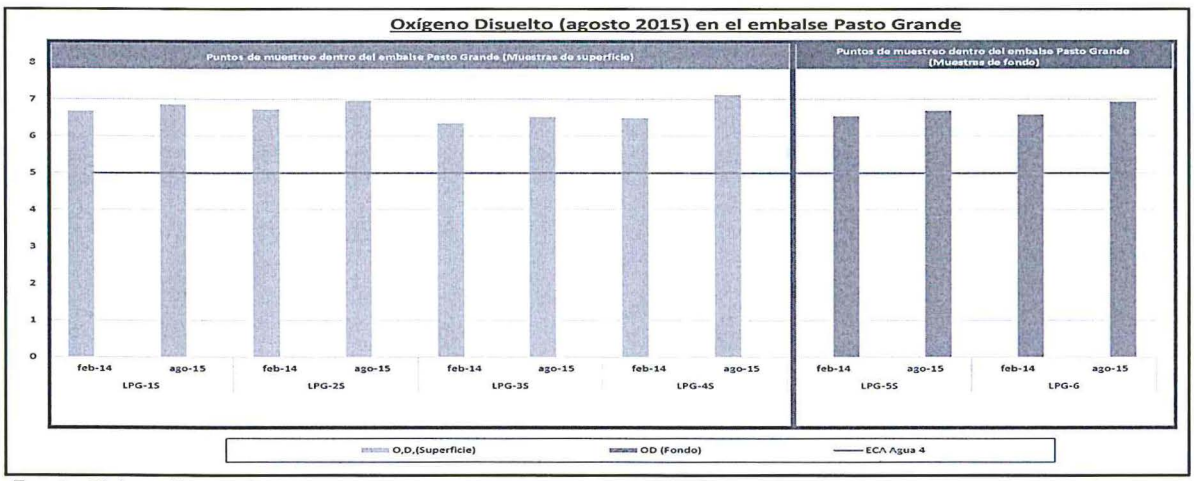


Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.3 Oxígeno disuelto en el embalse

104. Como se puede observar en el Gráfico 3-7 los valores de oxígeno disuelto dentro del embalse fueron mayores al valor mínimo establecido en el ECA para agua de la categoría 4 (≥ 5 mg/L).

Gráfico 3- 7: Resultados de oxígeno dentro del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Resultados de los parámetros fisicoquímicos

3.1.2.1 Resultados obtenidos en febrero de 2014

105. En los puntos ubicados en los tributarios del embalse Pasto Grande, los resultados de los parámetros de sulfuro, cianuro libre, cianuro total, cianuro WAD, fueron menores al límite de cuantificación de los métodos utilizados por el laboratorio.

106. Los resultados de los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) fueron menores a los valores ECA para agua de la categoría 4 "Ríos de Sierra". Ver tabla 3-1.

Tabla 3- 1: Resultados de los parámetros DBO, DQO, sulfuro, sulfato, cianuros (total, libre y WAD), mercurio y sólidos totales en suspensión (febrero - 2014)

Ubicación	Código	DBO mg/L	SST mg/L	DQO mg/L O_2	Sulfuro mg/L	Sulfato mg/L	CN libre mg/L	CN total mg/L	CN WAD mg/L
Tributarios del Embalse Pasto Grande	QHUIS	--	<3,0	24,9	--	17,2	<0,002	<0,002	<0,002
	QIN	<2,0	<3,0	5,1	<0,002	4,5	<0,002	<0,002	<0,002
	QCHU	<2,0	<3,0	19,8	<0,002	12,4	<0,002	<0,002	<0,002
	QM	<2,0	<3,0	19,8	<0,002	417,8	<0,002	<0,002	<0,002
	QCH	<2,0	<3,0	16,0	<0,002	17,8	<0,002	<0,002	<0,002
	QQ	<2,0	<3,0	12,8	<0,002	16,5	<0,002	<0,002	<0,002
	QH	<2,0	3,6	3,2	<0,002	526,5	<0,002	<0,002	<0,002
	QAS	<2,0	<3,0	5,4	<0,002	3,5	<0,002	<0,002	<0,002
Río Patara y Cacachara	RP	6,1	18,4	9,3	<0,002	226,5	<0,002	<0,002	<0,002
	RP 2	<2,0	<3,0	5,7	<0,002	3,8	<0,002	<0,002	<0,002
	RC2	6,2	6,8	9,3	<0,002	348,8	<0,002	<0,002	<0,002
	RC3	6,7	<3,0	9,9	<0,002	214,5	<0,002	<0,002	<0,002
	QA	5,7	24,8	9,3	<0,002	369,2	<0,002	<0,002	<0,002
	RP1	<2,0	12,0	8,3	<0,002	218,8	<0,002	<0,002	<0,002
*ECA Agua - Categoría 4		≤10	≤25-100	--	--	--	0.022	--	--
		Supera el ECA 4							
(*)Estándar de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 4 "Ríos – Costa y Sierra".									

Fuente: Informe de Ensayo N° 20977L/14-MA y N°20948L/14.

3.1.2.2 Resultados obtenidos en julio de 2014

107. En el mes de julio de 2014 se realizó la toma de muestras para el análisis de cianuro total, sulfato, sólidos suspendidos totales y sólidos totales disueltos. Los resultados fueron:

- Las concentraciones de cianuro total en todos los puntos fueron menores al límite de cuantificación del método utilizado por el laboratorio.

- Los valores de sólidos totales disueltos variaron entre 88 y 1 696,00 mg/L; y se encontraron superando el valor establecido en el ECA para agua de la categoría 4 en los puntos QM-1, QM, RA, RC-3, QA, RP y RP-1.

- Los valores de sólidos suspendidos totales variaron entre 6 y 87,6 mg/L; y se superó el valor establecido en el ECA para agua de la categoría 4 en los puntos QA y QCA-1.

108. Como se puede observar en la Tabla 3-2, los valores de sólidos disueltos totales son muchos mayores a los sólidos suspendidos totales, lo que indicaría que la mayor parte de los elementos de las cuencas altas se transporta en forma disuelta, sobre todo en las muestras ubicadas en el río Patara.

Tabla 3- 2: Resultados de los parámetros cianuro total, sulfato, sólidos totales disueltos y sólidos totales en suspensión (julio - 2014)

Ubicación	Estación de muestreo	Cianuro total mg/L	Sulfato mg/L SO_4^{-2}	Sólidos totales Disueltos mg/L	Sólidos totales Suspendidos mg/L
Tributarios del Embalse Pasto Grande	QM-1	<0,002	431,4	666	<3,0
	QM	<0,002	418,9	602	87,6
	QQ	<0,002	36,3	92	<3,0
	QCH	<0,002	32,2	108	10,4
	RA-1	--	95,9	210	7
	RA	<0,002	530,9	736	29,2
	QCA-2	<0,002	47,8	116	48,8
	QCA-1	<0,002	183,2	332	326
	Río Tocco	<0,002	4,1	88	<3,0
Río Patara y Cacachara	RC-4	<0,002	229,2	380	6
	RC-3	<0,002	537,7	746	34,4
	QA	<0,002	765,9	990	108
	QVI	<0,002	45,9	136	<3,0
	RP-2	<0,002	13,9	138	23,2
	RP	<0,002	351,4	1 696,00	41,6
	RP-1	<0,002	310,9	1 040,00	18,4
*ECA Agua - Categoría 4		--	--	500	≤25-100
		Supera el ECA 4			

(*) Estándar de Calidad Ambiental, aprobado con Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM Categoría 4 "Ríos de Costa y Sierra".

Fuente: Informe de Ensayo N° Informe de Ensayo N° 75167L/14-MA, N° 75444L/14-MA, N°75447L/14-MA, N°756614L/14-MA y N° 75448L/14.

3.1.2.3 Resultados obtenidos en marzo de 2015

109. Al igual que los resultados obtenidos en el 2015, en la Tabla 3-3 y en el Gráfico 3-8, se detalla las concentraciones de Sólidos totales Disueltos (STD) son superiores a las concentraciones de Sólidos Suspendidos totales (SST); incluso en los puntos QM-1, QM y QA los resultados de STD fueron concentraciones superiores al valor ECA para Agua para la Categoría 4 (valor ECA 500 mg/L).

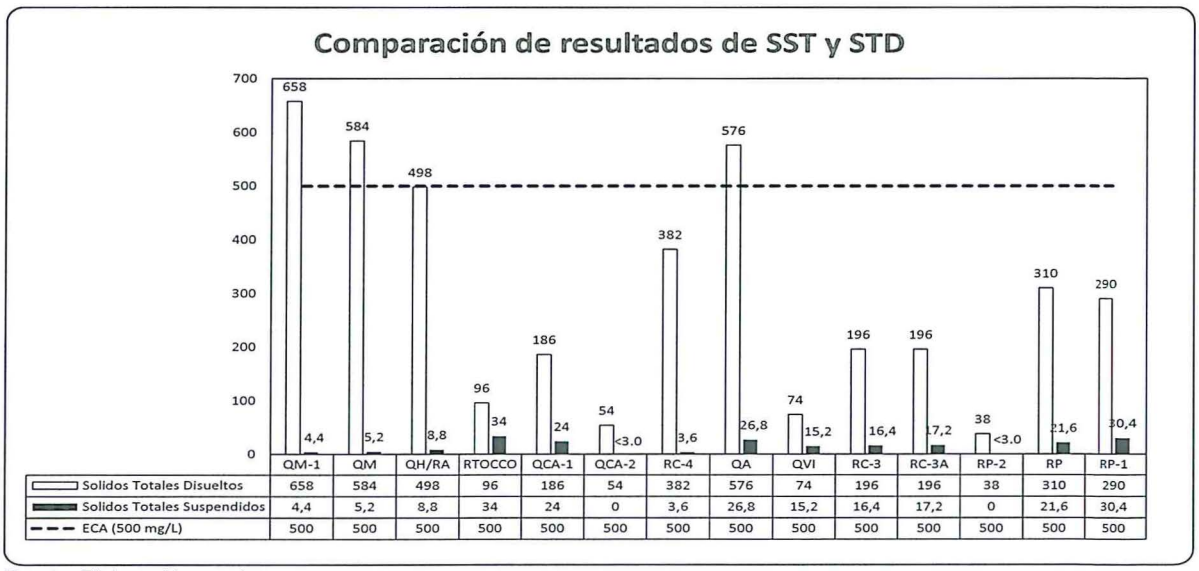
Tabla 3- 3: Resultados de los parámetros sólidos totales disueltos, sólidos totales en suspensión y potencial Redox

Ubicación	Estaciones de Monitoreo	Parámetros		
		Sólidos totales Disueltos (mg/L)	Sólidos totales Suspendidos (mg/L)	Potencial Redox (mV)
Tributarios del Embalse Pasto Grande	QM-1	658	4,4	523
	QM	584	5,2	540
	QH/RA	498	8,8	433
	RTOCCO	96	34	188
Río Patara y Cacachara	QCA-1	186	24	452
	QCA-2	54	<3,0	226
	RC-4	382	3,6	425
	QA	576	26,8	457
	QVI	74	15,2	377
	RC-3	196	16,4	454
	RC-3A	196	17,2	428
	RP-2	38	<3,0	250
	RP	310	21,6	553
	RP-1	290	30,4	269
ECA 4*		500	≤25-100	
		Supera el ECA 4		

(*)Estándar de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 4 "Ríos – Costa y Sierra".
Fuente: Informe de ensayo N° 32105L/15-MA,32201L/15-MA

110. En lo relacionado a los SST, ninguno de los resultados fue mayor al valor ECA para Agua de la Categoría 4.

Gráfico 3- 8: Valores comparados de sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.4 Resultados obtenidos en agosto 2015

111. En el mes de agosto de 2015 se tomaron muestras para el análisis de sólidos suspendidos totales, cianuro total, cianuro WAD y hierro III.

112. Los resultados indicaron que las concentraciones de cianuro total y WAD fueron menores al límite de cuantificación del método utilizado por el laboratorio. Los resultados de hierro mostraron que este varió de 0,08 mg/L a 25,4 mg/L estando el mayor valor en el punto de muestreo QA.

113. Las mayores concentraciones de hierro III se encontraron en los ríos con características rojizas (ver anexo C: Registro fotoGráfico) como son las quebradas Millojahuira, Hualcane, Acosiri y el río Antajarane, también caracterizados por tener valores bajos de potencial de hidrógeno (pH).

114. El ECA para agua de la categoría 4 sólo establece valor estándar para sólidos suspendidos totales, el cual es de 100 mg/L. Comparado con los resultados obtenidos, la concentración de SST en el punto RC3/RC-4 fue mayor a lo indicado como estándar.

Tabla 3- 4: Resultados de los parámetros sólidos totales en suspensión, cianuro total, cianuro WAD y hierro III

Parámetros (mg/L)	SST mg/L	CN total mg/L	CN WAD mg/L	Hierro III
QCHU	<2,00	<0,016	<0,016	0,12
QAS	<2,0	<0,016	<0,016	0,18
RTOCCO	<2,00	<0,016	<0,016	0,27
QCH	2,75	<0,016	<0,016	0,36
QQ	2,5	<0,016	<0,016	0,65
QM	14,5	<0,016	<0,016	12,5
QM-1	<2,00	<0,016	<0,016	10,2
QH/RA	8,5	<0.016	<0.016	15
QH-1	4,75	<0,016	<0,016	16,4
RA-1	11,3	<0,016	<0,016	0,24
RP-1	16,5	<0,016	<0,016	1,25
RP	33,5	<0,016	<0,016	0,85
RP-2	3,5	<0,016	<0,016	0,24
RC2/RC-3	2	<0,016	<0,016	6,21
RC-3A	12	<0,016	<0,016	12,1
RC3/RC-4	107	<0,016	<0,016	0,08
QCA-1	90	<0,016	<0,016	0,71
QCA-2	9,25	<0,016	<0,016	1,41
QVI	4	<0,016	<0,016	0,08
QA	39,5	<0,016	<0,016	25,4
ECA 4	100	--	--	--
	Supera el ECA 4			

(*)Estándar de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 4 "Ríos – Costa y Sierra".

3.1.3 Concentración de metales en los tributarios del embalse

115. A pesar de que el análisis de metales totales realizado en las muestras de agua consideró alrededor de 35 elementos, para el presente análisis sólo serán evaluados los elementos arsénico, cobre, cadmio, mercurio, níquel, plomo y zinc, que son parámetros que cuentan con valores estándar aprobados en el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.

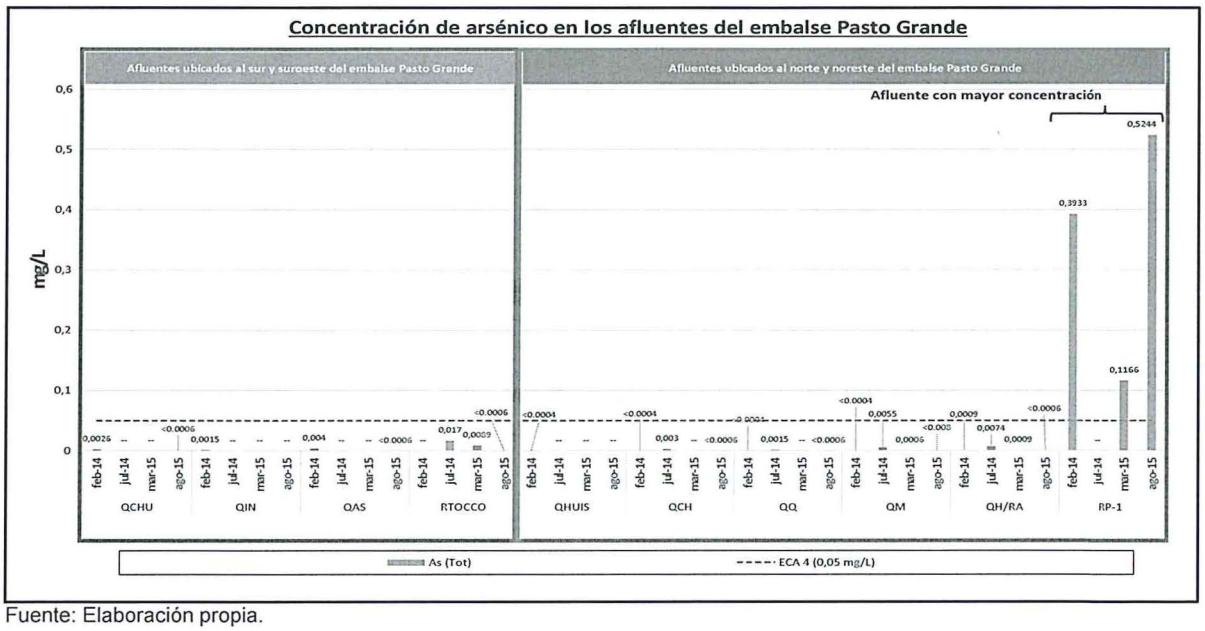
116. Además, estos parámetros y el hierro son representativos de la zona en estudio (Ver Anexo A).

3.1.3.1 Arsénico total

117. Como se puede observar en el Gráfico 3-9 de los tributarios del embalse, los valores de arsénico son representativos y superaron el valor estándar del ECA para Agua de la categoría 4 en el punto RP-1 (río Patara).

118. En los tres (3) muestreos realizados en este punto RP-1 (febrero de 2014, marzo de 2014 y agosto de 2015) los valores de arsénico superaron el valor ECA para Agua de la categoría 4 para este elemento.

Gráfico 3- 9: Resultados de arsénico en los tributarios del embalse



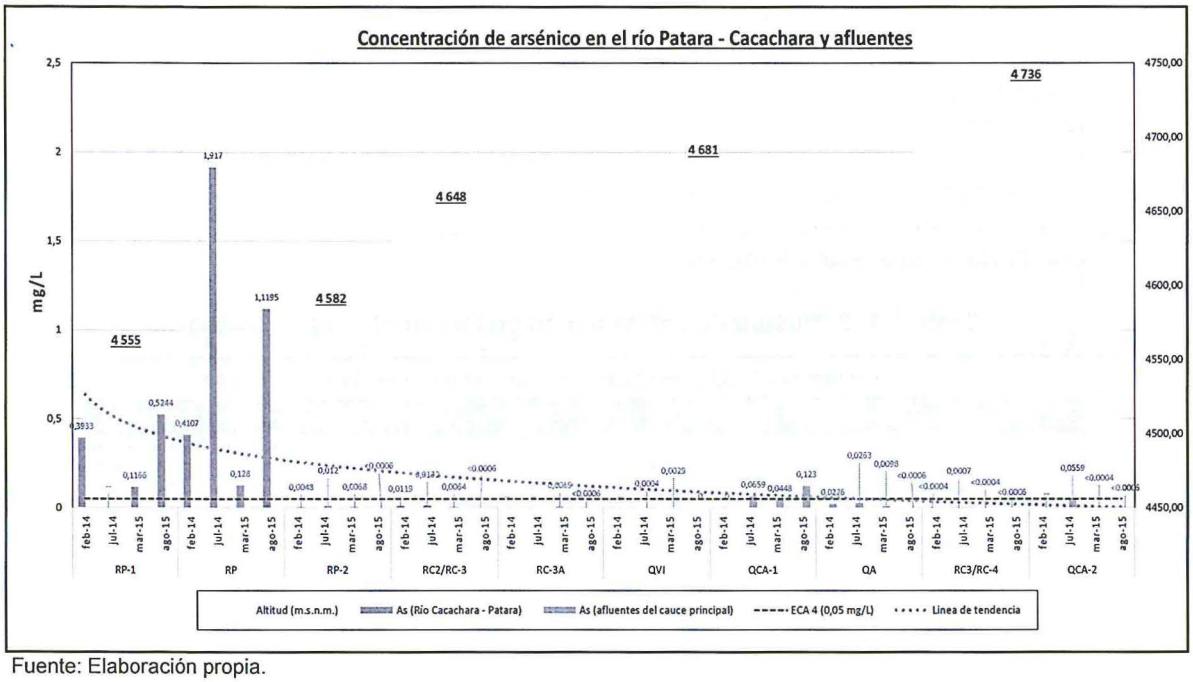
Fuente: Elaboración propia.

119. En el Gráfico 3-10 se puede observar como la concentración de arsénico en el río Patara - Cacachara son más elevados en los puntos RP y RP-1.

120. La concentración en el punto QCA-1 supera el valor ECA; sin embargo, no se observa una clara influencia de estas concentraciones sobre los puntos de muestreo ubicados en la parte baja antes de la confluencia con el embalse Pasto Grande.

121. Este resultado puede estar relacionada a lo observado en la visita realizada en el mes de agosto, donde se pudo apreciar que cerca al punto RP (ubicado en el río Patara) existen focos de aguas termales, los cuales estarían influyendo en los resultados de algunos elementos, incluyendo el arsénico. Este tema se analiza más adelante. Ver capítulo de los estudios complementarios y fotografías del Anexo C.

Gráfico 3- 10: Resultados de arsénico en el río Patara – Cacachara



Fuente: Elaboración propia.

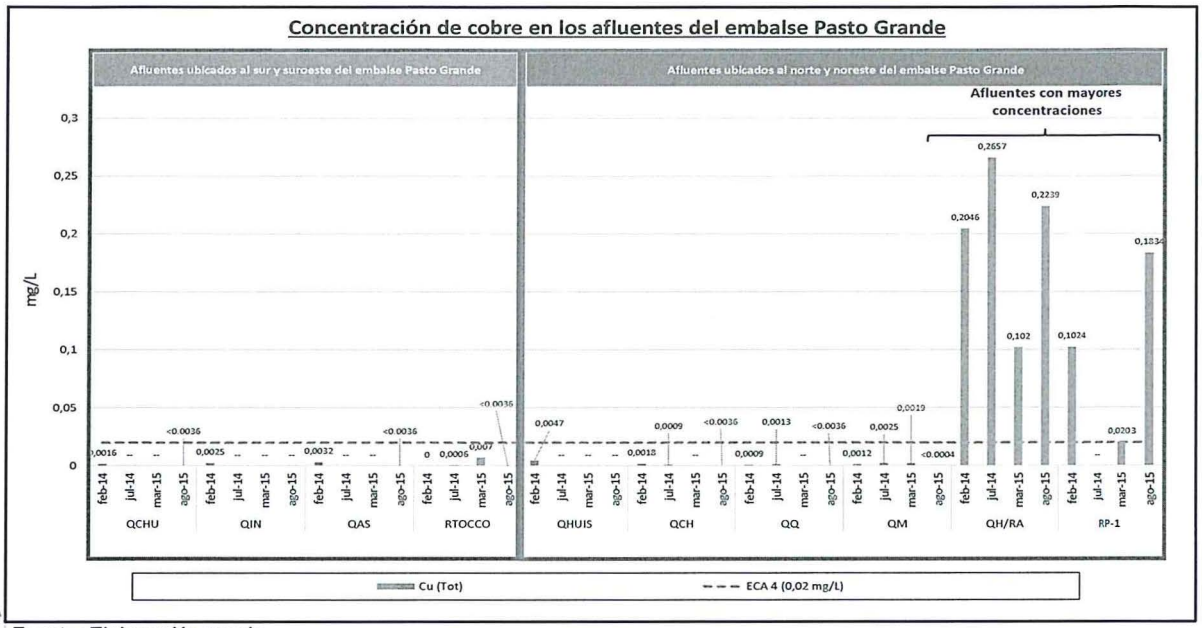
3.1.3.2 Cobre total

122. En el caso de cobre los mayores resultados se encontraron en los puntos RP-1 (río Patara) y QH/RA (río Antajarane), todos superando el valor ECA para Agua de la categoría 4.

123. Cabe recalcar que en el punto QH/RA se realizaron muestreos en cuatro oportunidades (febrero de 2014, julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015), en lo referido al punto RP-1 se realizaron muestreos en tres oportunidades (febrero de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015).

124. Como se puede observar en el Gráfico 3-11 ambos puntos se encuentran al norte y noreste del embalse Pasto Grande.

Gráfico 3- 11: Resultados de cobre en los tributarios del embalse Pasto Grande



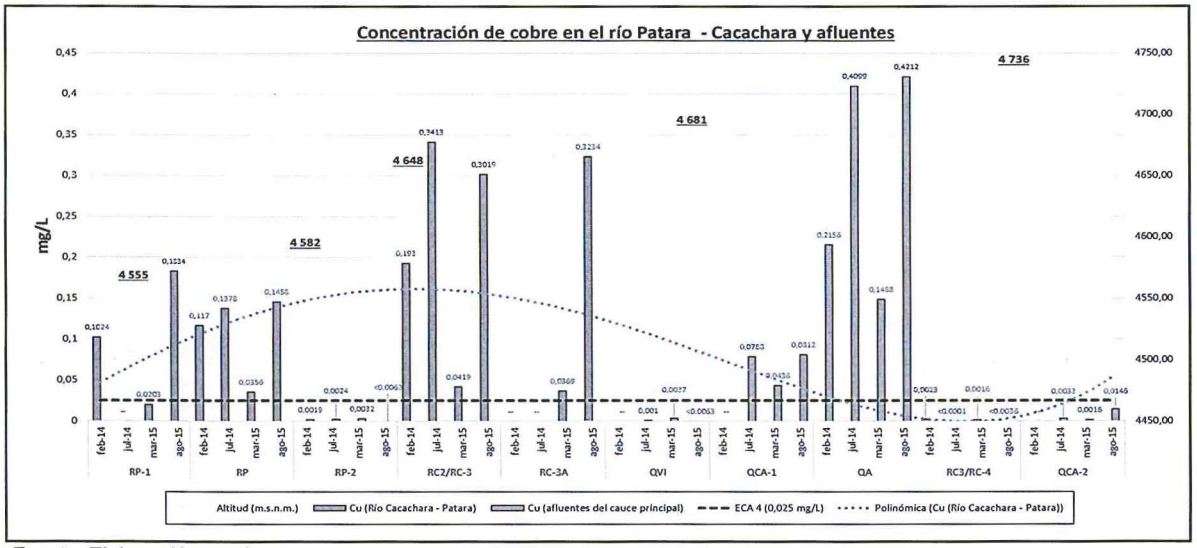
Fuente: Elaboración propia.

125. Si analizamos los resultados del punto RP-1 (punto más bajo del río Patara – Cacachara, antes de la confluencia con el embalse), podemos apreciar que la tendencia aumenta después de los puntos QA y QCA-1 (tributarios del río), ambos ubicados aguas arriba en la cabecera del río. Indicando que ambos son aportantes de cobre.

126. Cabe señalar que la Quebrada Acosiri (punto QA) se encuentra aguas abajo del antiguo PAD de lixiviación de la mina Santa Rosa y el punto QCA-1 se encuentra aguas abajo del Pasivo Cacachara.

127. En el Gráfico 3-12 también se puede observar que en el punto QCA-2, aguas arriba del pasivo Cacachara los valores de cobre son menores al valor ECA para agua de la Categoría 4. Al parecer este pasivo influye en el resultado de las muestras, dado que el resultado aguas abajo del mismo (punto QCA-1) se dio en tres oportunidades.

Gráfico 3- 12: Resultados de la concentración de cobre en el río Patara – Cacachara

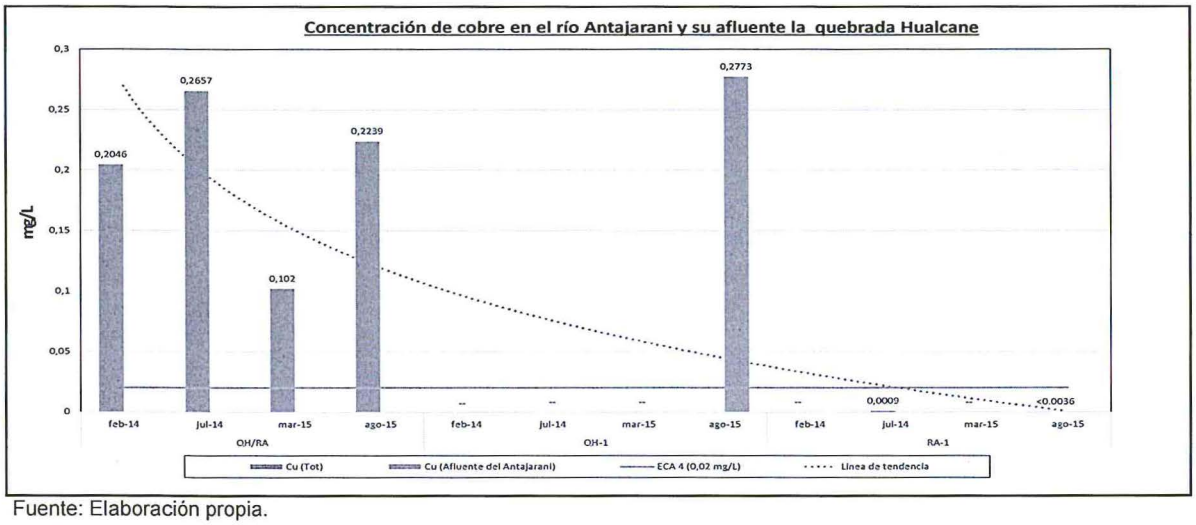


Fuente: Elaboración propia.

128. De acuerdo a lo que se detalla en el Gráfico 3-12, los resultados obtenidos en el punto QH/RA superaron en los cuatro meses muestreados el valor ECA para Agua de la categoría 4 establecido para este parámetro.

129. Aguas arriba antes de la confluencia de la quebrada Hualcani y el río Antajarane el valor en QH-1 (muestreado sólo en el mes de agosto de 2015) los valores de cobre superaron el valor ECA para este parámetro; esto supone que la quebrada Hualcani es el aportante de cobre del río Antajarane.

Gráfico 3- 13: Resultados de la concentración de cobre en el río Antajarane y su tributario, la quebrada Hualcane

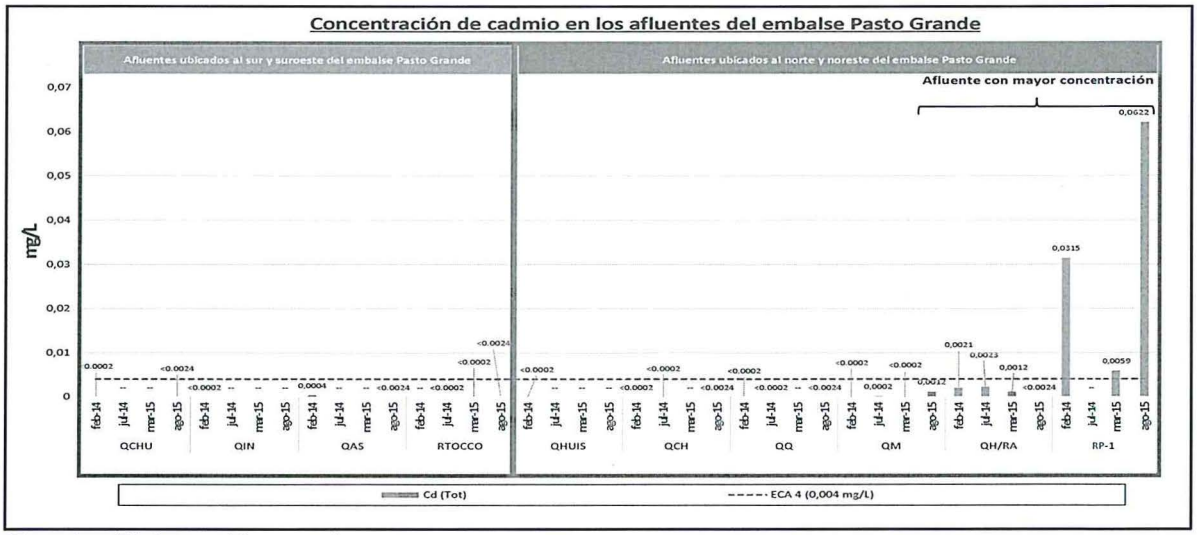


Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.3 Cadmio total

130. Los resultados de cadmio sólo superaron el valor establecido como ECA para Agua de la Categoría 4 en el punto RP-1 (río Patara - Cacachara), también se reportaron valores superiores al límite de cuantificación de este elemento en los puntos QM y QH/RA; sin embargo, los resultados de estos últimos no superaron el valor ECA para Agua de la Categoría 4.

Gráfico 3- 14: Resultados de la concentración de cadmio en los tributarios del embalse Pasto Grande

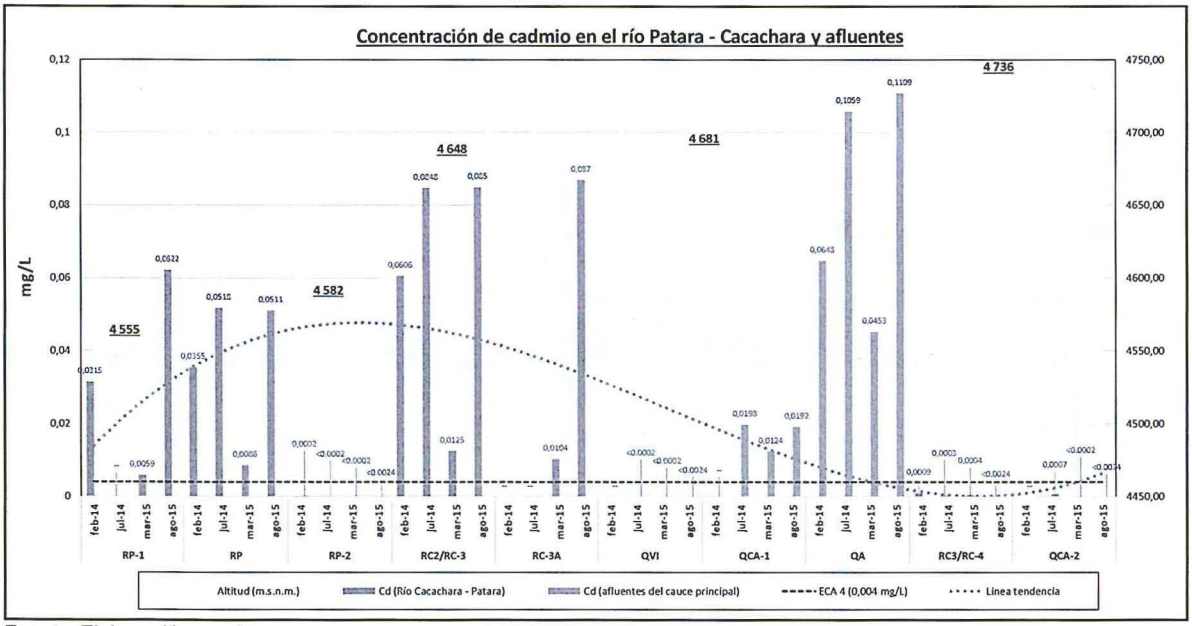


Fuente: Elaboración propia.

131. Al igual que en los resultados de cobre, la concentración de cadmio proviene de los puntos de muestreo QCA-1 y QA, en este último en mayor proporción. Ver Grafica 3-15.

132. Como se observa en el Gráfico 3-15, la tendencia aumenta después de los puntos QCA-1 y QA (barras de color plomo); tanto así, que en el punto RP-1 los valores de cadmio (febrero 2014 y marzo y agosto de 2015) superaron el valor ECA para Agua de la Categoría 4.

Gráfico 3- 15: Resultados de la concentración de cadmio en el río Patara - Cacachara



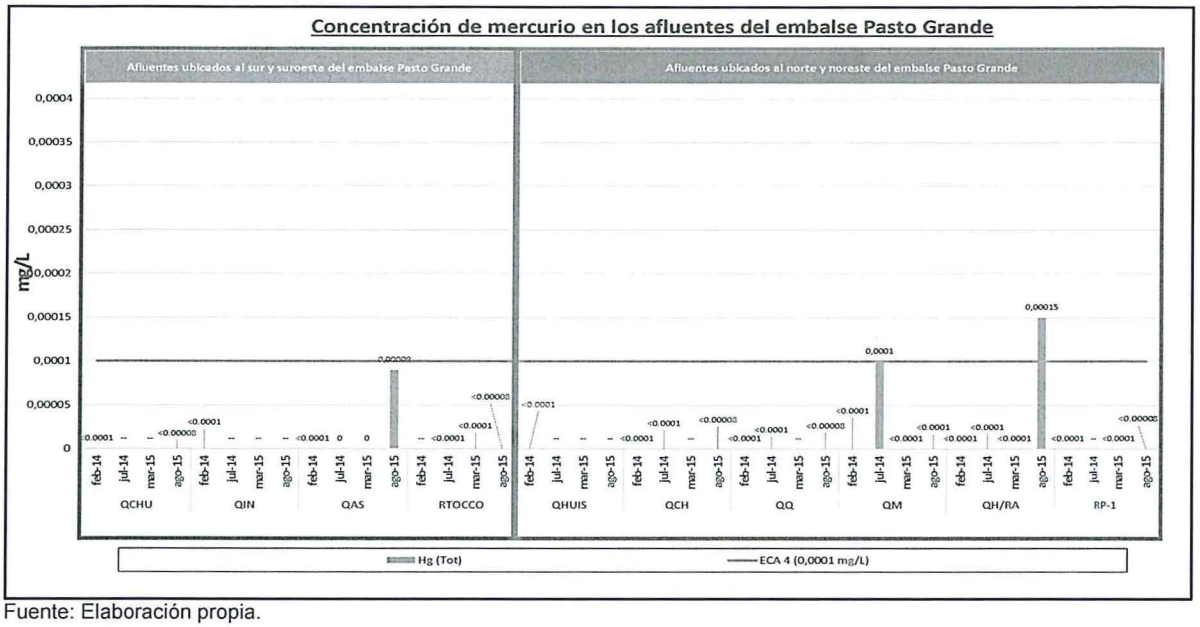
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.4 Mercurio total

133. En lo que respecta a los resultados de mercurio, sólo en el mes de agosto de 2015 en el punto de muestreo QH/RA se obtuvo un valor superior al ECA para Agua de la Categoría 4, siendo un resultado distinto al de los demás meses.

134. Lo mismo sucede con los resultados de los puntos de muestreo QAS del mes de agosto de 2015 y QM del mes de julio de 2014; sin embargo estos no superaron el ECA.

Gráfico 3- 16: Resultados de la concentración de mercurio obtenidos en los tributarios del embalse Pasto Grande



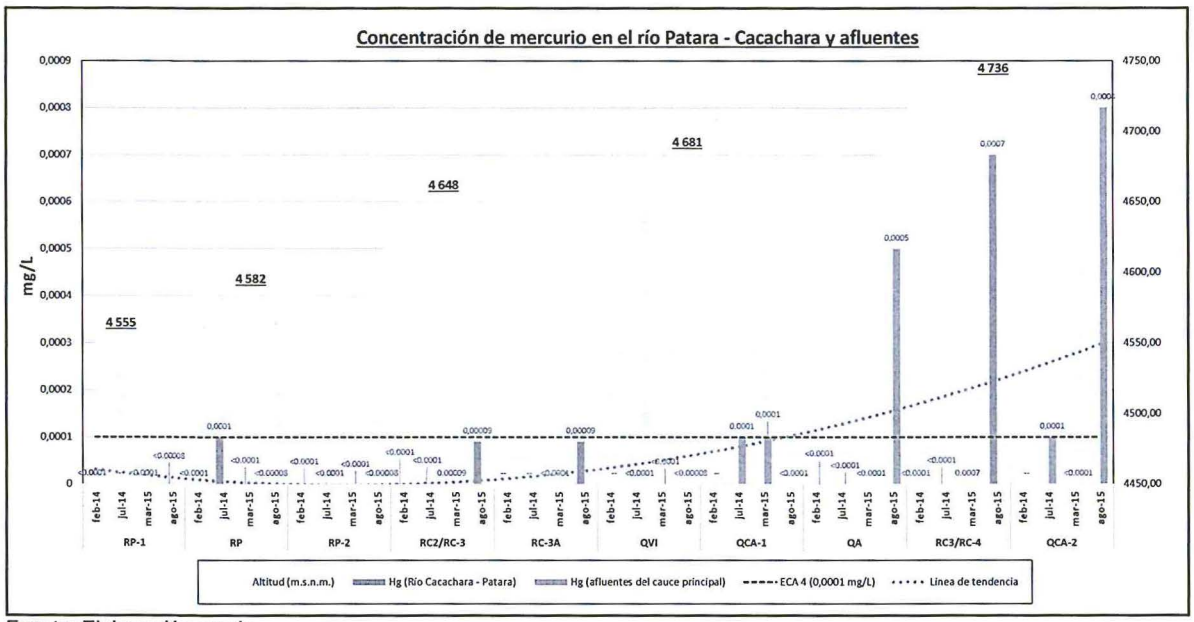
Fuente: Elaboración propia.

135. En cuanto a los resultados de mercurio en el río Patara – Cacachara, aguas arriba del punto de muestreo RP-1 (antes de la confluencia con el embalse Pasto Grande) se detectaron valores sobre los ECA para Agua de la Categoría 4 en los puntos de muestreo:

- QA para el muestreo realizado en el mes de agosto de 2015.
- RC3/RC-4 para el muestreo realizado en el mes de agosto de 2015.
- QCA-2 para el muestreo realizado en el mes de agosto de 2015.

136. Estos resultados no son constantes (no se registraron en los cuatro muestreos realizados); sin embargo, están cercanos a las antiguas operaciones mineras de la Unidad Minera Santa Rosa y del Pasivo Patara.

Gráfico 3- 17: Concentración de mercurio en el río Patara – Cacachara

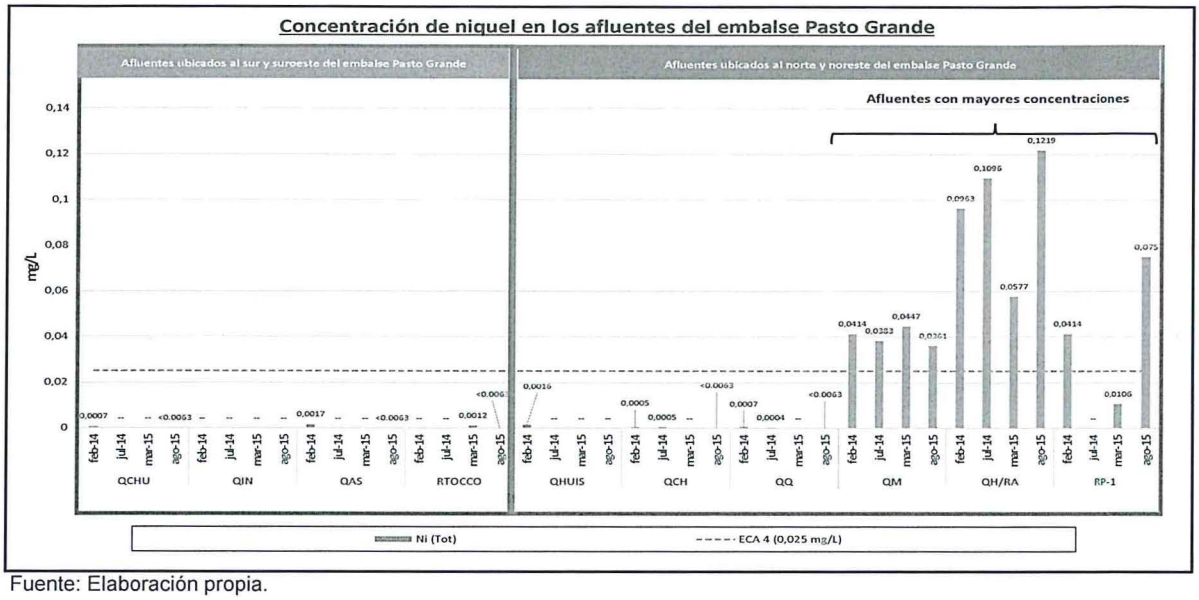


Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.5 Níquel total

137. En el Gráfico 3-16 se observan los resultados de níquel en los tributarios del embalse; como se detalla, las mayores concentraciones se encuentran en los tributarios ubicados al norte y noreste del embalse, específicamente en los puntos QM, QH/RA y RP-1. En el caso de los dos primeros puntos descritos, los valores superaron el ECA para Agua en los cuatro (4) muestreos realizados; y en el punto de muestreo RP-1 los valores obtenidos fueron mayores al ECA en dos (2) de los tres (3) muestreos realizados (febrero del 2014 y agosto de 2015).

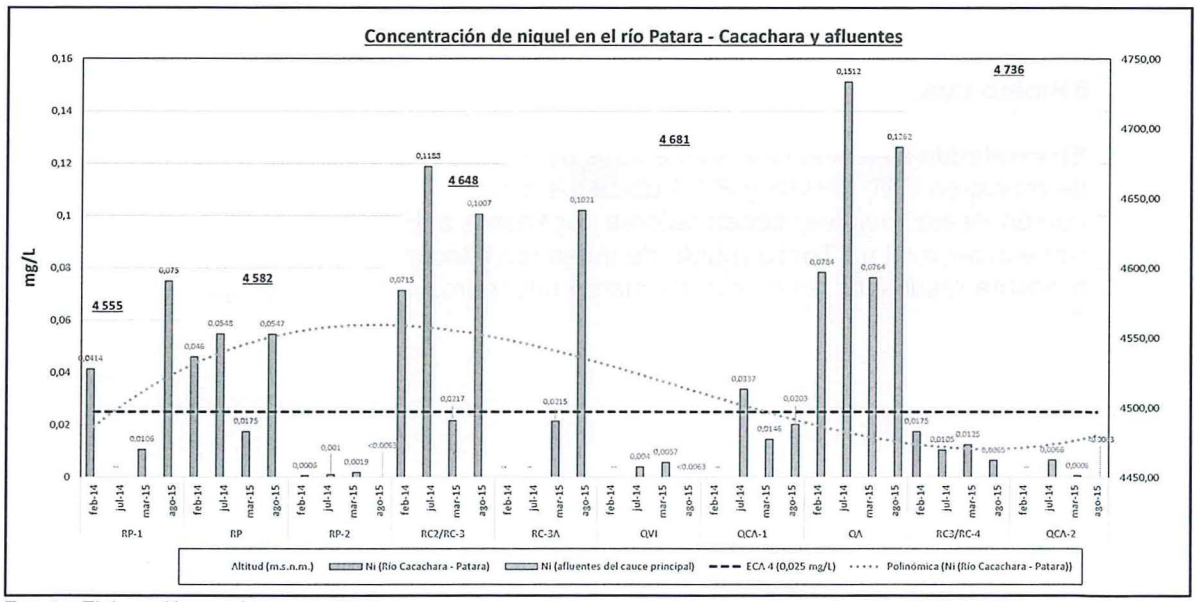
Gráfico 3- 18: Resultados de la concentración de níquel en los tributarios del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

138. Los resultados de niquel obtenidos en el río Patara - Cacachara, detallados en la Gráfico 3-19, muestra la misma tendencia que los resultados de cobre y cadmio, donde los puntos QA y QCA-1 son valores que superaron el ECA para Agua de la Categoria 4 e influyen sobre los puntos ubicados aguas abajo sobre todo en RP y RP-1, que tambien superaron en los meses de febrero de 2014 y agosto de 2015, el valor ECA para niquel.

Gráfico 3- 19: Resultados de la concentración de níquel en el río Patara - Cacachara

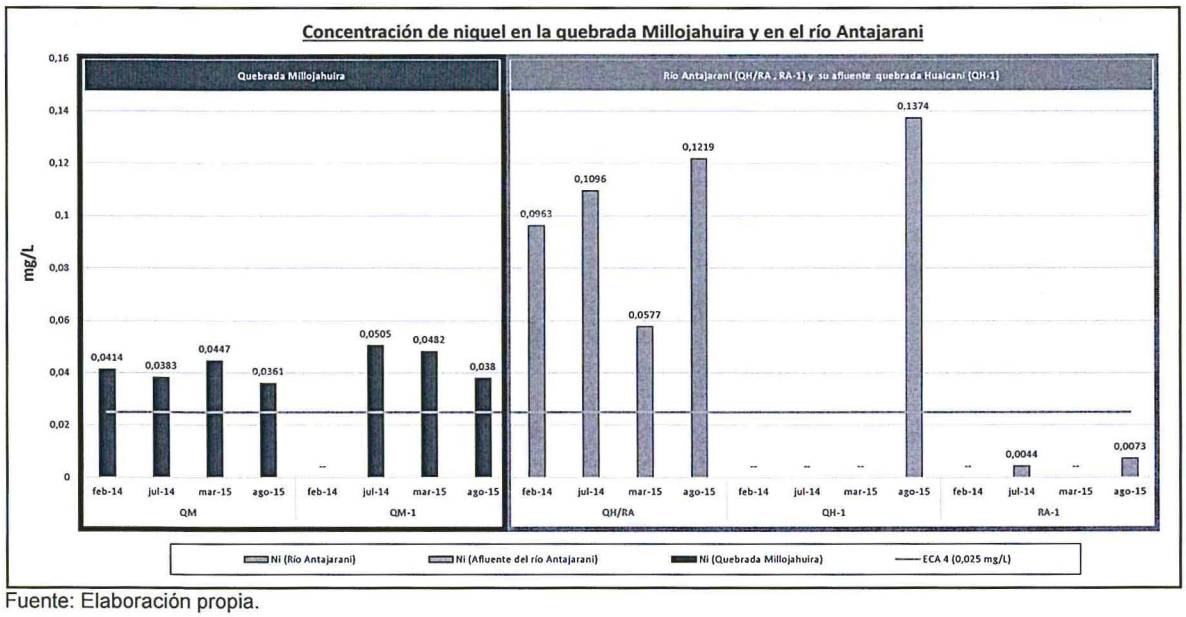


Fuente: Elaboración propia.

139. En el caso de la quebrada Millojahuira, las concentraciones de níquel también se encuentran sobre los ECA para Agua Categoría 4, para ríos de sierra en la cabecera de la quebrada, por lo que el origen de la concentración de dicho metal puede ser natural.

140. En el caso del río Antajarane los valores también son superiores a los ECA; sin embargo, en la cabecera del mismo no se encuentran valores sobre los estándares; pero si, en el afluente del río (quebrada Hualcani), la razón de esta concentración en la quebrada Hualcani puede deberse a la similitud geológica que tiene con la quebrada Millojahuira; por lo que, las concentraciones también pueden ser de origen natural.

Gráfico 3- 20: Resultados de la concentración de níquel en la quebrada Millojahuira

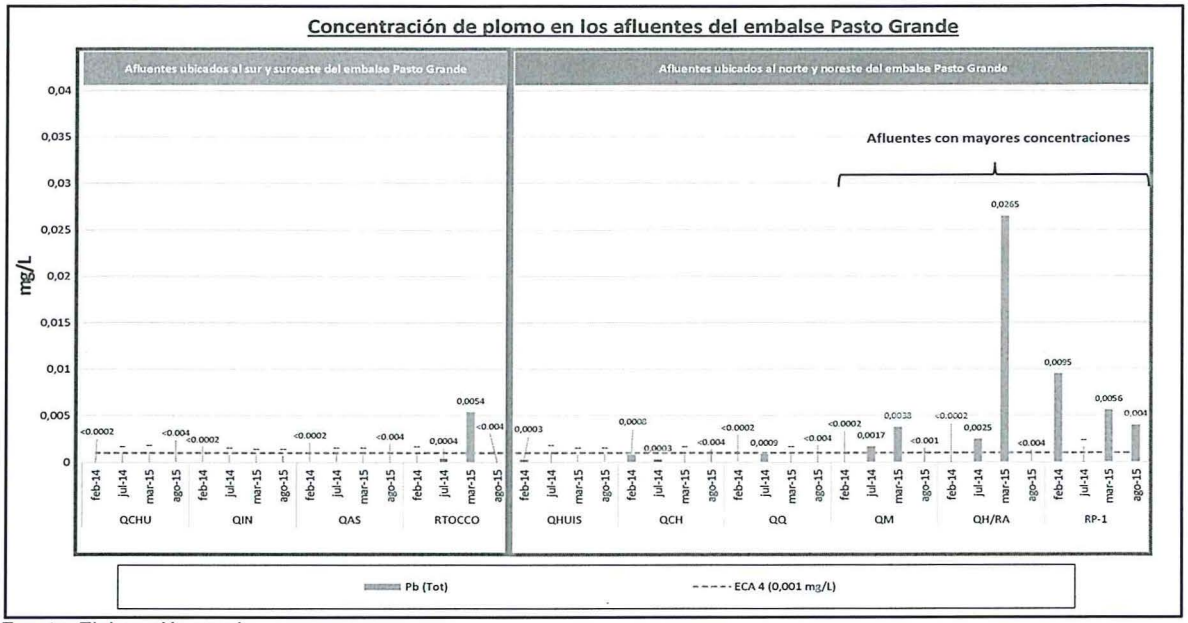


Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.6 Plomo total

141. En lo referido a los resultados obtenidos de plomo, el Gráfico 3-21 detalla que los puntos de muestreo QM, QH/RA y RP-1 ubicados al norte y noreste del embalse (procedencia común de los metales) tienen valores superiores al ECA para Agua de la Categoría 4. Sin embargo, el río Tocco (punto de muestreo Rtocco) ubicado al sureste del embalse, presenta resultados en el mes de marzo superiores al ECA para Agua de la Categoría 4.

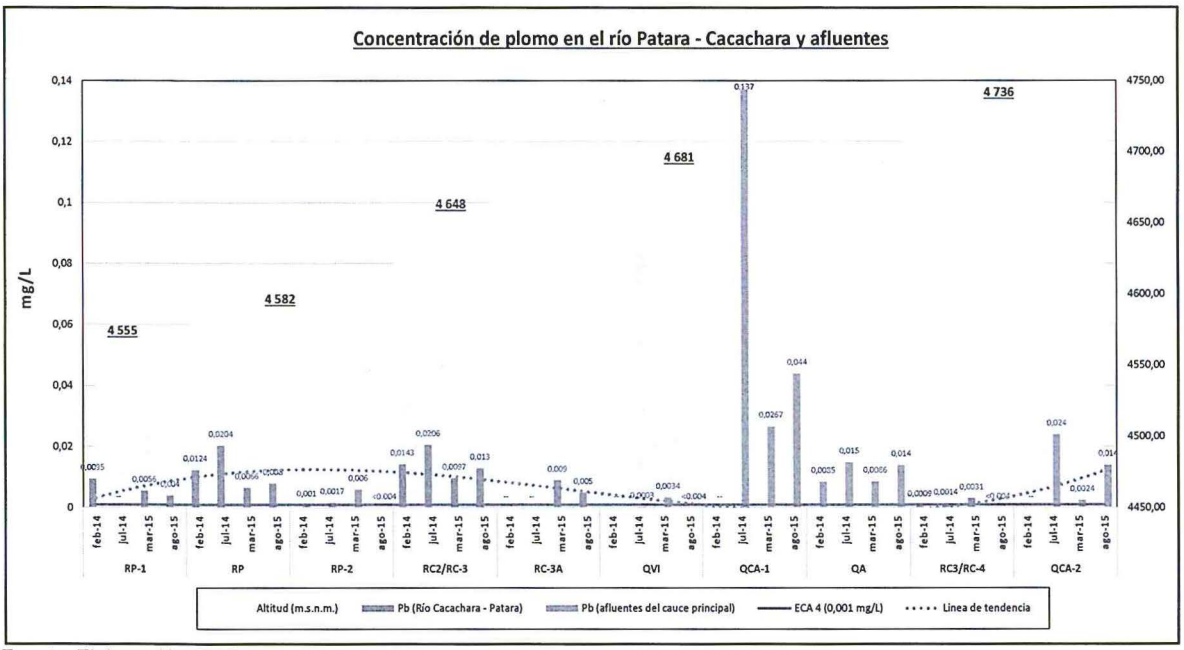
Gráfico 3- 21: Resultados de la concentración de plomo en los tributarios del embalse



Fuente: Elaboración propia.

142. En el caso de las concentraciones de plomo sobre el ECA en el río Patara – Cacachara, estos siguen la misma tendencia de las concentraciones de los elementos cobre, cadmio y níquel; sin embargo, el efecto no es muy marcado agua abajo de los tributarios (representados por los puntos QCA-1 y QA) aun así antes de la confluencia con el embalse Pasto Grande las concentraciones de plomo son mayores que los valores establecidos como ECA para Agua de la Categoría 4.

Gráfico 3- 22: Resultados de las concentraciones de plomo en el río Patara - Cacachara

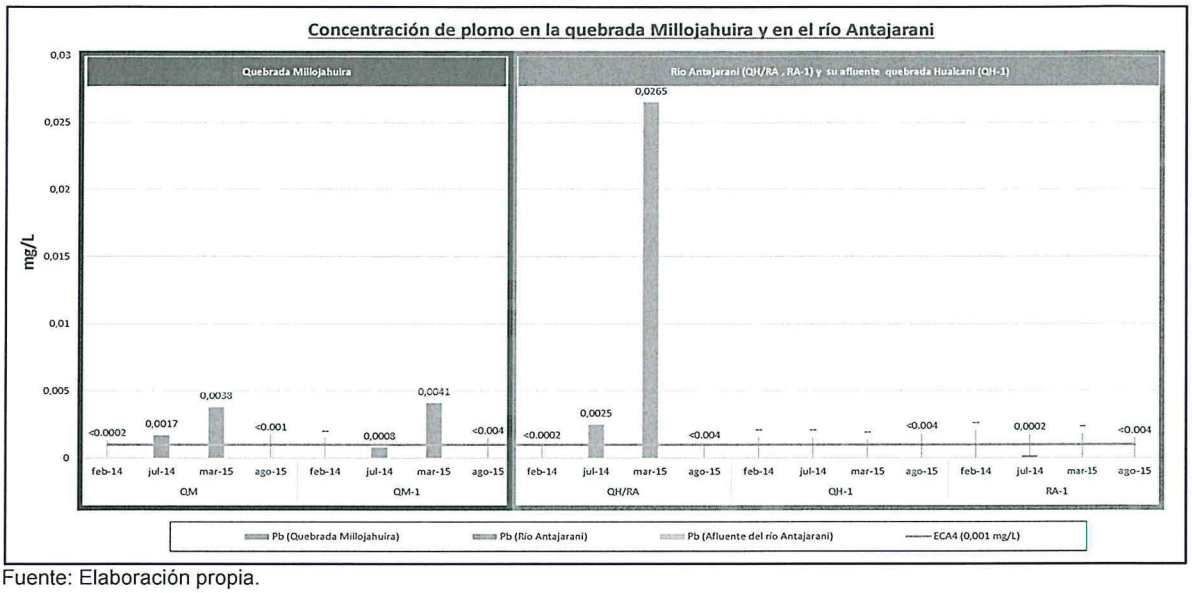


Fuente: Elaboración propia.

143. Los resultados de plomo en la quebrada Millojahuira muestran valores que superaron el valor ECA para Agua en el mes de marzo de 2015 en los puntos QM y QM-1 y en el mes de julio de 2014 en el punto de muestreo QM. Hay que recordar que el punto QM-1 se ubica en la cabecera de la quebrada Millojahuira, por lo que se puede suponer que es de origen natural en esta quebrada.

144. En cuanto a los resultados en el río Antajarane, como se detalla en la Gráfico 3-23 los valores sobre el ECA para Agua de la Categoría 4 sólo se muestran en el punto ubicado antes de la desembocadura (QH/RA), cabe recalcar que en este punto se realizaron cuatro muestreos y sólo dos presentan resultados positivos.

Gráfico 3- 23: Resultados de las concentraciones de plomo en la quebrada Millojahuira y en el río Antajarane

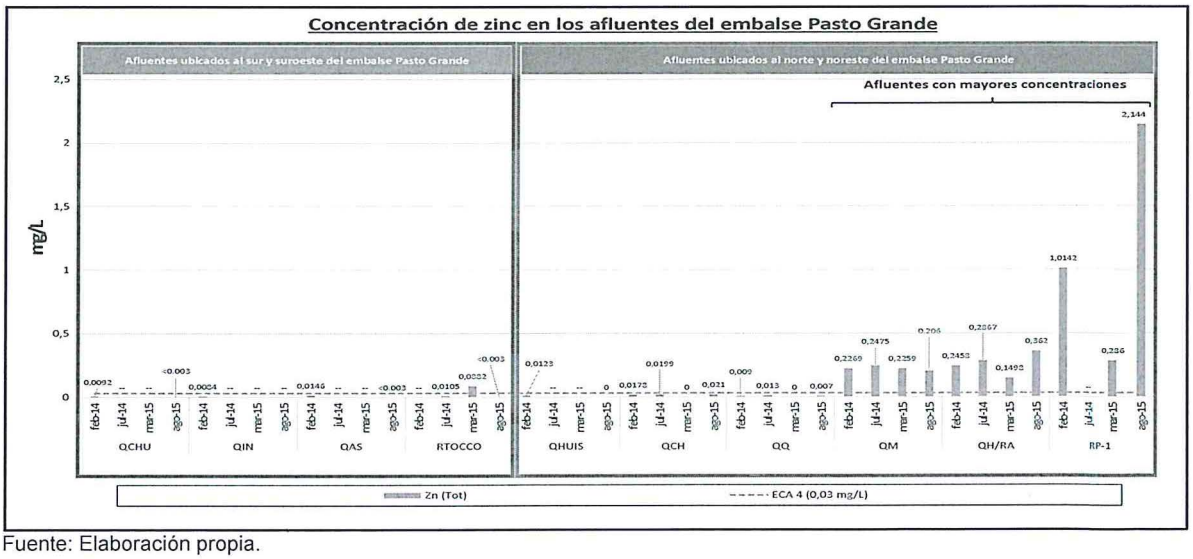


Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.7 Zinc total

En el Gráfico3-24 se puede observar que los resultados de zinc están presentes sobre el ECA para Agua de la Categoría 4, en los puntos de muestreos QM, QH/RA y RP-1 ubicados al norte y noreste del embalse y en el punto de muestreo Rtocco el cual está ubicado al sureste del embalse. Las mayores concentraciones se encuentran en el punto de muestreo RP-1, sobre todo en el resultado obtenido en el mes de agosto de 2015.

Gráfico 3- 24: Resultado de las concentraciones de zinc en los aluentes del embalse Pasto Grande



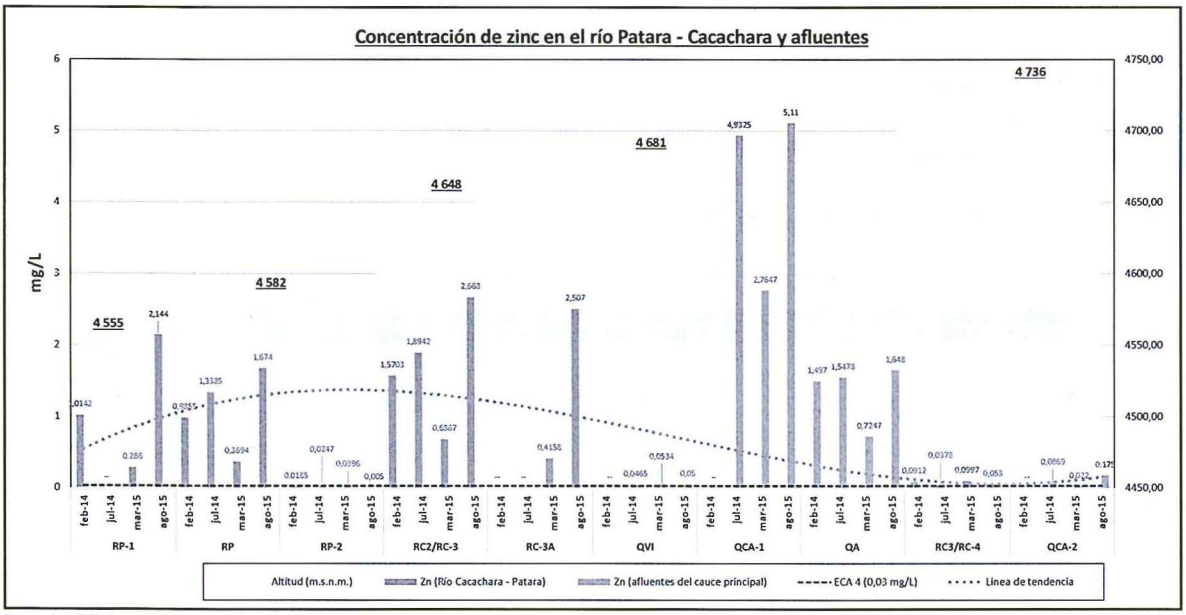
Fuente: Elaboración propia.

145. En el río Patara – Cacachara las concentraciones sobre los ECA para Agua de la Categoría 4, se encuentran en los puntos de muestreo:

- RP-1, en los resultados del muestreo de los meses de febrero de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015.
- RP en los resultados obtenidos en los cuatro muestreos realizados.
- RC2/RC-3 en los resultados obtenidos de los cuatro muestreos realizados.
- RC3/RC-4 en los resultados de marzo de 2015 y agosto de 2015.
- RC-3A en los resultados obtenidos del muestreo en marzo y agosto de 2015[18].
- QCA-1 en los resultados del muestreo en julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015.
- QA en los resultados obtenidos en los cuatro muestreos realizados.
- QCA-2 en los resultados obtenidos del muestreo de julio de 2014 y agosto de 2015.

146. La influencia de los tributarios sobre el río principal (Patara - Cacachara) es notoria en la línea de tendencia; dado que, posterior a la confluencia del río Cacachara con la quebrada Cacachara (punto de muestreo QCA-1) y quebrada Acosiri (punto de muestreo QA) la línea de tendencia aumenta. Sin embargo, después del aporte del agua del río Patara representado por el punto de muestreo RP-2 el cual no presentó valores mayores al ECA para Agua (Ver Gráfico 3-25).

Gráfico 3- 25: Resultados de la concentración de zinc en el río Patara - Cacachara



Fuente: Elaboración propia.

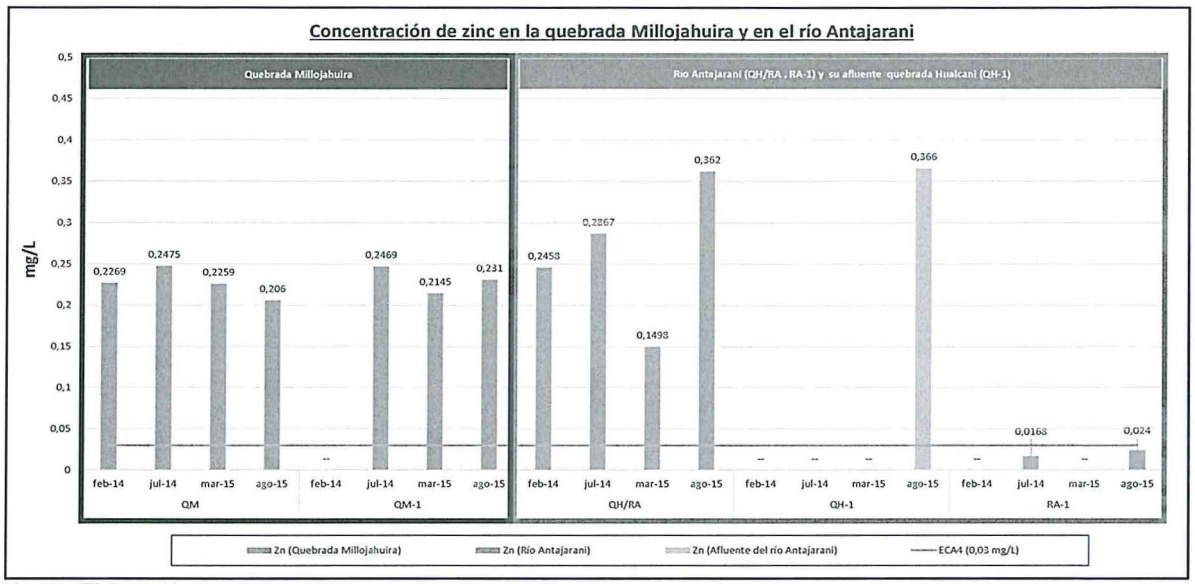
147. Los resultados de zinc en la quebrada Millojahuira y en el río Antajarane se muestran en el Gráfico 3-26, aquí se puede ver que en la quebrada Millojahuira tanto en la

18 En el punto de muestreo denominado RC-3A, solo se tomaron muestras en el 2015 (marzo y agosto).

cabecera (punto de muestreo QM-1) como aguas abajo antes de la confluencia con el embalse, las concentraciones de zinc superaron el ECA para Agua de la Categoría 4.

148. En el caso de la quebrada Hualcani[19], afluente del río Antajarane se puede observar que la concentración de zinc es superior al ECA para este parámetro, lo que no sucede en la cabecera del río. Esto indicaría que la concentración de zinc en las aguas del río Antajarane en el punto QH/RA supera el ECA debido al aporte de la quebrada Hualcani.

Gráfico 3- 26: Resultados de la concentración de zinc en la quebrada Millojahuira y el río Antajarane



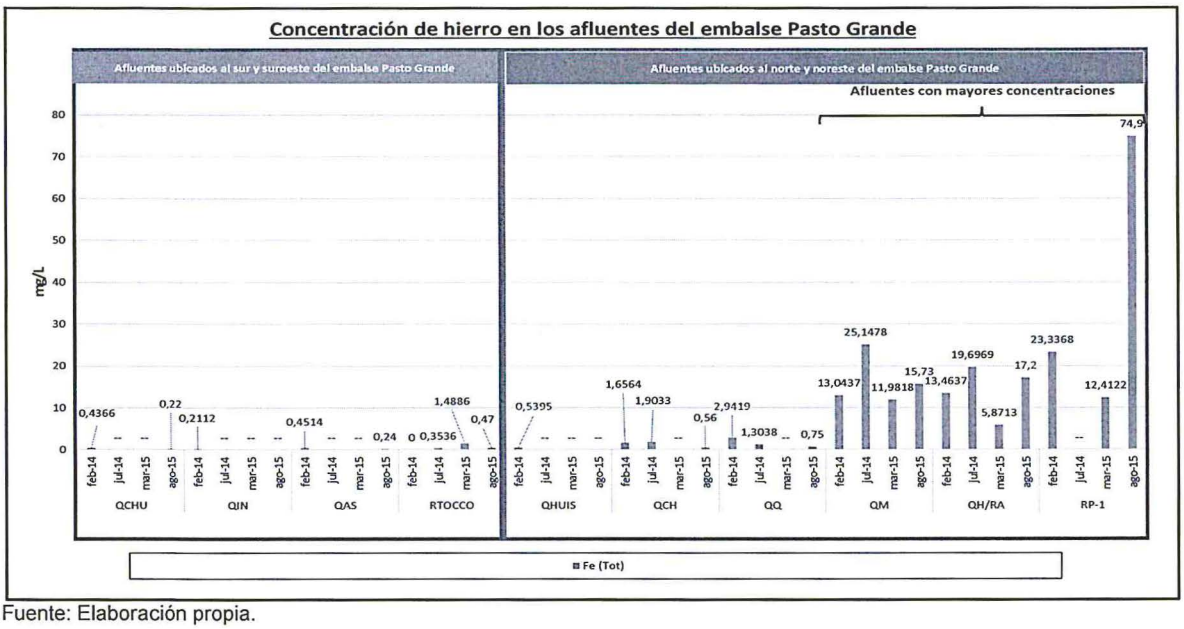
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.8 Hierro total

149. Si analizamos las concentraciones de hierro, las mayores concentraciones se encuentran al norte y noreste del embalse Pasto Grande, en los puntos de muestreo QM, QH/RA y RP-1; los que a su vez, son los puntos con menores valores de pH.

[19] En este afluente solo se tomaron muestras en el mes de agosto de 2015.

Gráfico 3- 27: Resultados de la concentración de hierro en los tributarios del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Resultados de metales en el embalse

150. Las concentraciones de cobre, zinc, arsénico, mercurio y plomo en el embalse, influenciada por los aportes de sus tributarios principales[20], se encuentran por encima de los valores establecidos en los ECA para Agua de la Categoría 4 para ríos de Costa y Sierra.

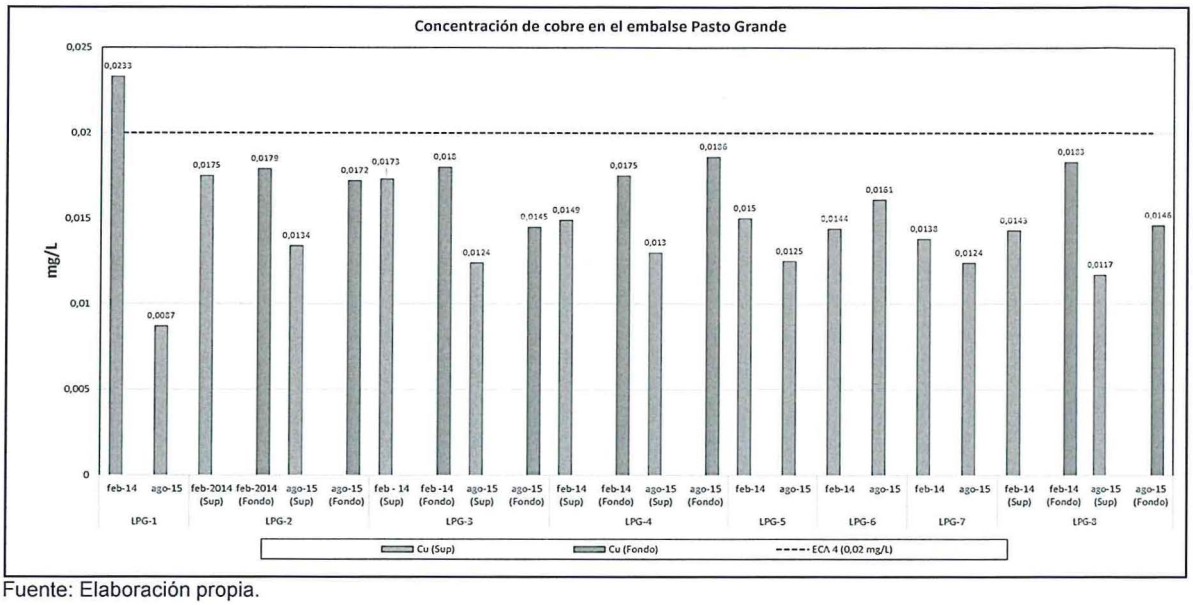
3.1.4.1 Cobre total en agua superficial

151. La concentración de cobre que superaron el valor de los ECA para Agua Categoría 4, para ríos de Costa y Sierra (0,02 mg/L), se encuentra en el punto de muestreo LPG-1, para el mes de febrero de 2014.

152. El punto LPG-1 está ubicado frente a la quebrada Millojahuira; sin embargo, hay que aclarar que en este punto se realizaron dos muestreos (febrero de 2014 y marzo de 2015) y sólo en el mes de febrero se superó el valor establecido en los ECA para Agua Categoría 4, para ríos de Costa y Sierra (0,02 mg/L). Ver gráfica 3-28.

[20] Los principales tributarios del embalse son la quebrada Millojahuira y los ríos Tocco, Patara y Antajarane.

Gráfico 3- 28: Resultados de las concentraciones de cobre dentro del embalse Pasto Grande

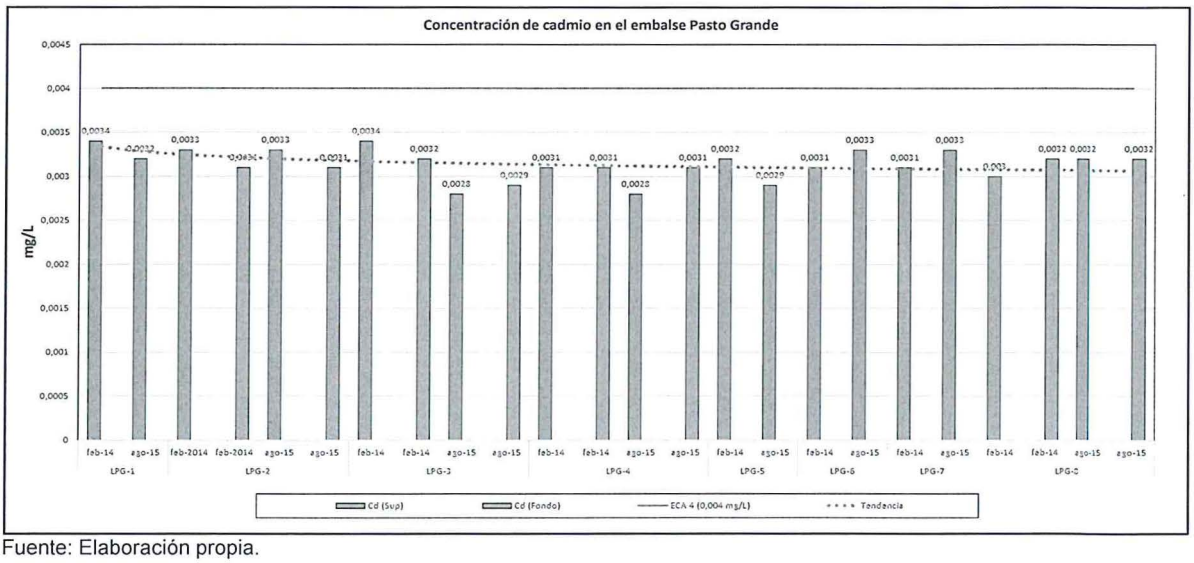


Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.2 Cadmio total en agua superficial

153. La concentración de cadmio en el embalse Pasto Grande es prácticamente homogéneo con una pequeña tendencia a ser mayor en el norte del embalse. Los resultados obtenidos no son mayores al valor ECA para Agua de la categoría 4; sin embargo, es importante considerar su presencia.

Gráfico 3- 29: Resultados de la concentración de cadmio dentro del embalse Pasto Grande



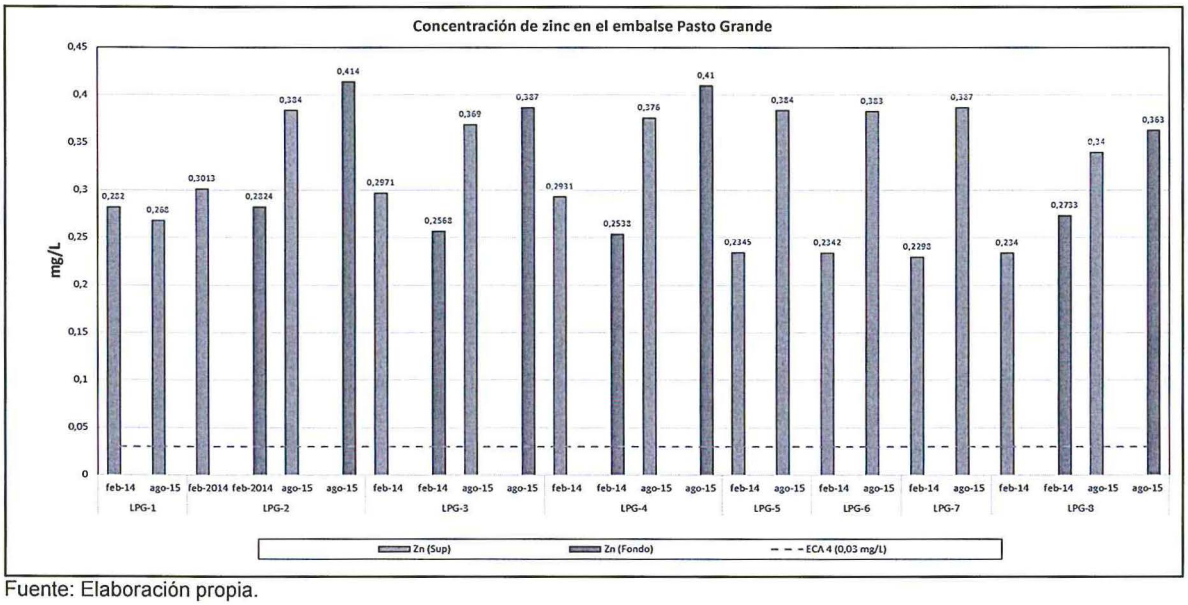
Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.3 Zinc total en agua superficial

154. Para el caso de las concentraciones de zinc en el embalse Pasto Grande, los resultados indican que en todos los puntos muestreados (febrero de 2014 y agosto de 2015) los resultados fueron mayores a los valores establecidos en los ECA para Agua de la Categoría 4, para ríos de Costa y Sierra.

155. Los mayores valores registrados fueron los ubicados en los puntos de muestreo LPG-2F (fondo) y LPG-4F (fondo) a un metro del fondo del embalse. Ver gráfica 3-30.

Gráfico 3- 30: Resultados de la concentración de zinc dentro del embalse Pasto Grande



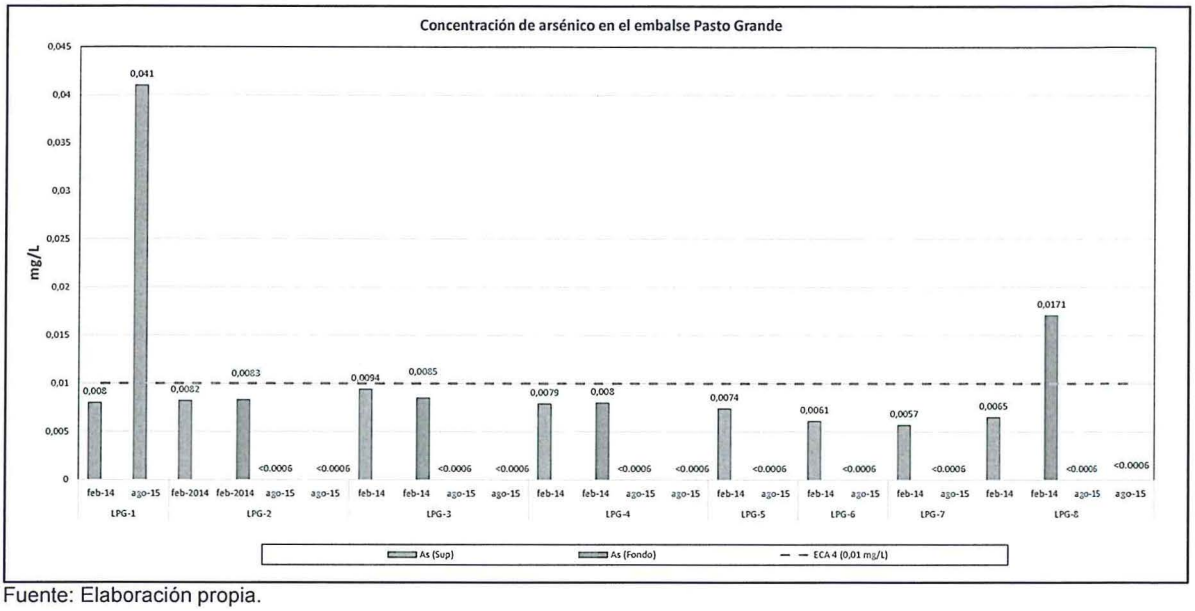
Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.4 Arsénico total en agua superficial

156. Las concentraciones de arsénico se detallan en la Gráfico 3-31, aquí se indica que la mayoría de los puntos de muestreo muestran valores menores a los establecidos en el ECA para Agua de la Categoría 4.

157. Los puntos que superaron el valor ECA fueron LPG-1 en el mes de agosto de 2015 y LPG-8 (fondo) en el mes de febrero de 2014.

Gráfico 3- 31: Resultados de la concentración de arsénico dentro del embalse Pasto Grande

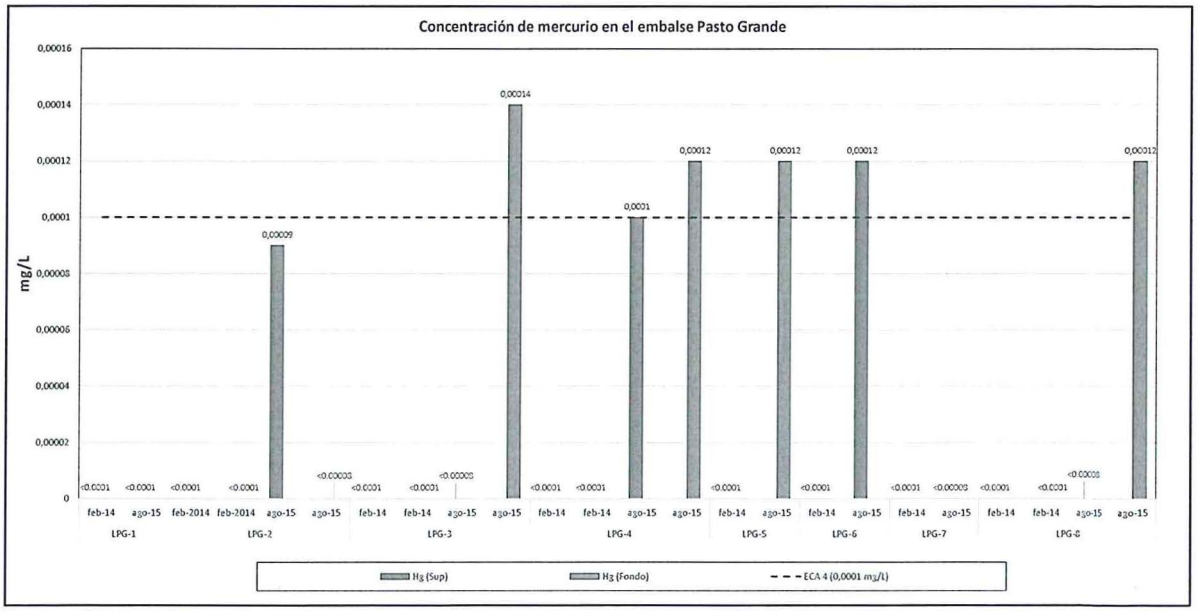


Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.5 Mercurio total en agua superficial

158. En cuanto a los resultados obtenidos de mercurio, estos superaron el valor establecido en los ECA para Agua de la Categoría 4 en los puntos LPG-4F (muestra de fondo), LPG-5F (muestra de fondo), LPG-6 y LPG-8F (muestra de fondo). Ver gráfica 3-32.

Gráfico 3- 32: Resultados de la concentración de mercurio dentro del embalse Pasto Grande



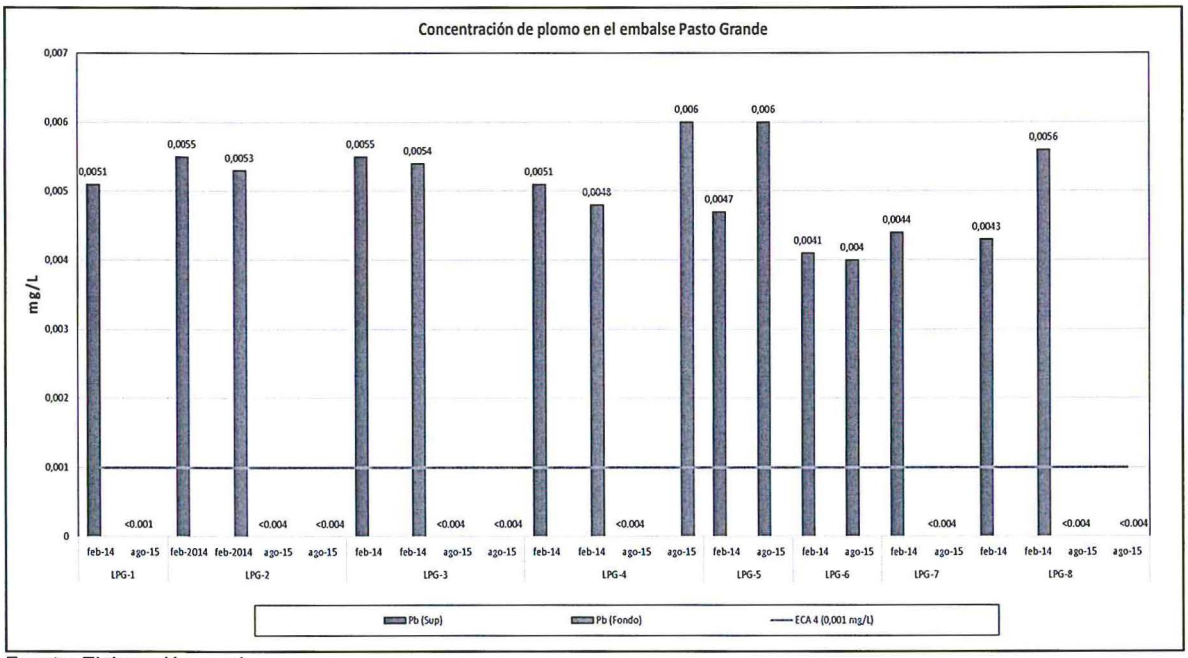
Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.6 Plomo total en agua superficial

159. Los resultados de plomo obtenidos en el embalse superaron los ECA para Agua Categoría 4, para ríos de Costa y Sierra en los puntos de muestreo:

- LPG-1, en el muestreo realizado en febrero de 2014 en superficie.
- LPG-2, en el muestreo realizado en febrero de 2014, en superficie y fondo.
- LPG-3, en el muestreo realizado en febrero de 2014, en superficie y fondo.
- LPG-4, en el muestreo realizado en febrero de 2014, en superficie y fondo y en agosto de 2015 en fondo.
- LPG-5, en el muestreo realizado en febrero de 2014 y agosto de 2015 en superficie.
- LPG-6, en el muestreo realizado en febrero de 2014 y agosto de 2015 en superficie.
- LPG-7, en el muestreo realizado en febrero de 2014 en superficie.
- LPG-8, en el muestreo realizado en febrero de 2014, en superficie y fondo.

Gráfico 3- 33: Resultados de la concentración de mercurio dentro del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Calidad de sedimentos

3.2.1 Resultados de metales totales en sedimento

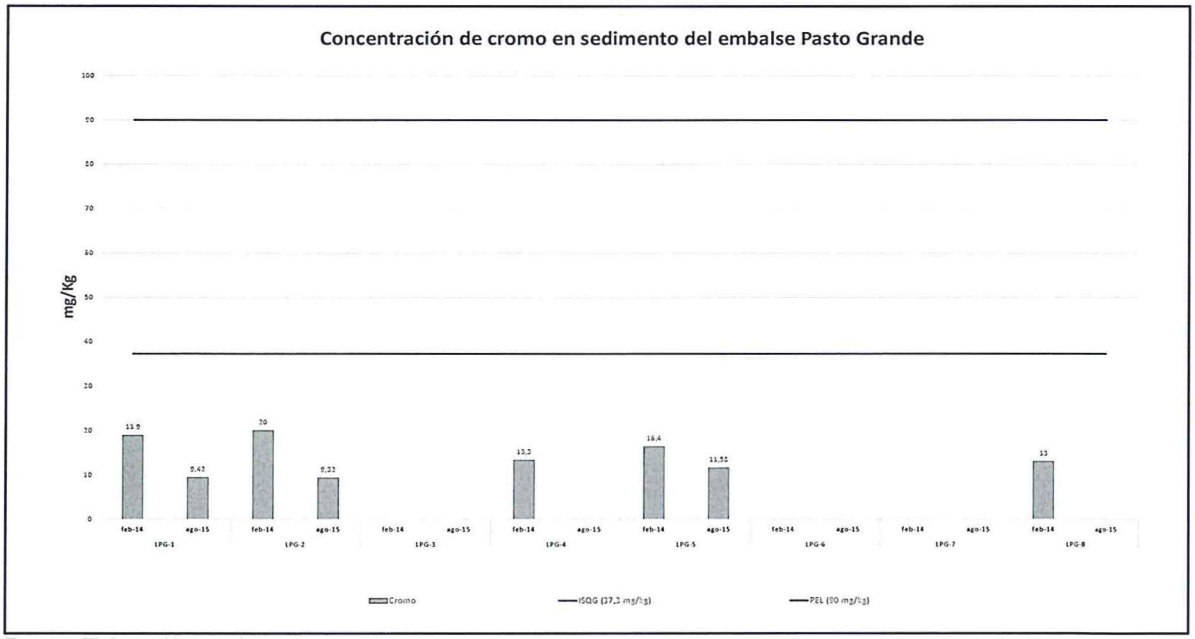
160. Los resultados obtenidos en sedimento son comparados con los valores ISQG y PEL[21] para sedimentos en aguas continentales, establecidos en la *Canadian Environmental Quality Guidelines* (*CEQG)* del Ministerio del Ambiente de Canadá.

161. La no existencia de resultados de algunos puntos como se aprecia en el Gráfico 3-34, se debe a que no se obtuvieron muestras de metales en los puntos LPG-4, LPG-6 y LPG-7 para el mes de febrero de 2014 y en los puntos de muestreo LPG-3, LPG-6 y LPG-7 en el mes de agosto del mismo año. Esto debido a que los sedimentos del embalse tienen características muy finas y es complicado retenerlas en algún recipiente.

3.2.1.1 Cromo en sedimentos

162. En el Gráfico 3-34 se detalla las concentraciones de cromo en sedimentos del embalse Pasto Grande, como se puede observar las concentraciones son menores que los valores establecidos en la Guía Canadiense, tanto para los valores ISQG como para los valores PEL.

Gráfico 3- 34: Resultados de la concentración de cromo dentro del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

21 ISQG (Interim sediment quality guideline)
PEL (Probable effect Level)

163. La concentración de cromo en los tributarios del embalse se muestra en la Gráfico 3-35, la que detalla que los sedimentos tomados en las quebradas Chullumpini, Incacachi, Asnuni, Huiscacollo, Chapoco, Queñuani y Millojahuira y los ríos Tocco y Antajarane no presentan concentraciones de cromo sobre los valores de la guía canadiense para este parámetro.

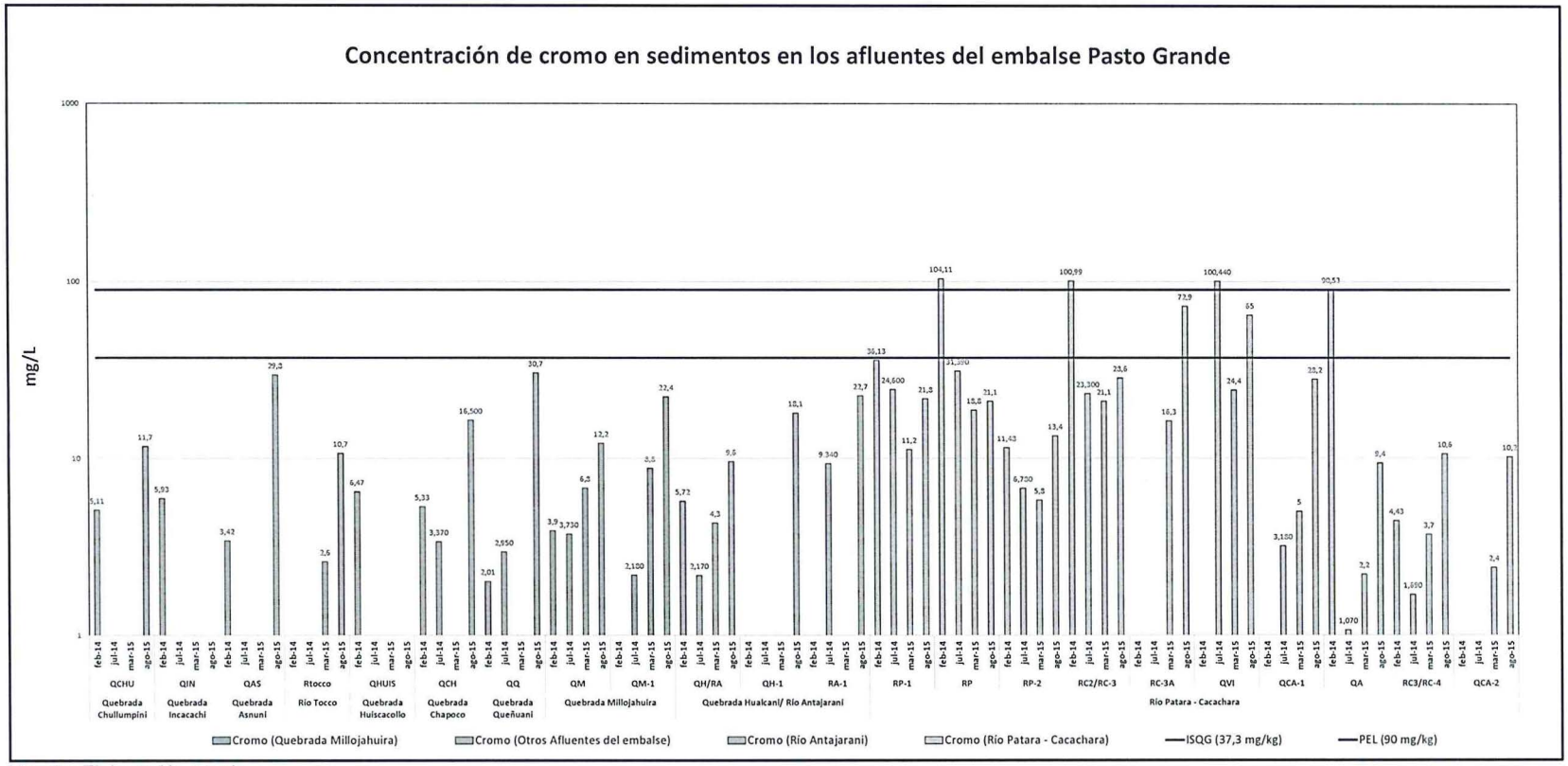
164. En lo que respecta a las muestras de sedimento tomadas en el río Patara – Cacachara, existen valores que superaron referencialmente la guía canadiense; sin embargo, estos no son constantes en el tiempo; dado que, sólo superaron los valores ISQG y PEL los puntos de muestreo:

- RP en el muestreo realizado en febrero de 2014.
- RC2/RC-3 en el muestreo realizado en febrero de 2014.
- QVI en el muestreo realizado en julio de 2014.
- QA en el muestreo realizado en febrero de 2014.

165. Además, superaron sólo el valor ISQG de la Guía Canadiense los resultados de las muestras:

- RC-3A en el muestreo realizado en agosto de 2015.
- QVI en el muestreo realizado en agosto de 2015.

Gráfico 3- 35: Resultados de la concentración de cromo en los tributarios del embalse



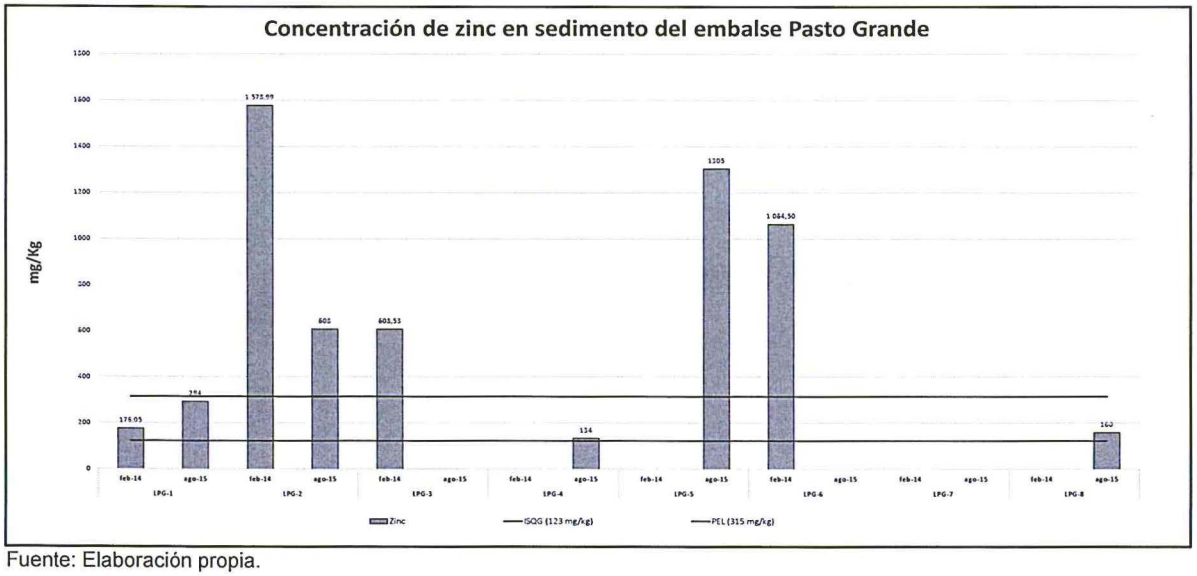
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Zinc en sedimentos

166. En lo que respecta a las concentraciones de zinc en el embalse Pasto Grande, todos los resultados fueron mayores al valor ISQG y sólo los resultados de las muestras a continuación fueron mayores al valor PEL establecido en la Guía Canadiense:

- LPG-2 en el muestreo realizado en febrero de 2014 y agosto de 2015.
- LPG-3 en el muestreo realizado en agosto de 2015.
- LPG-5 en el muestreo realizado en agosto de 2015.
- LPG-6 en el muestreo realizado en febrero de 2014.

Gráfico 3- 36: Resultados de la concentración de zinc dentro del embalse Pasto Grande

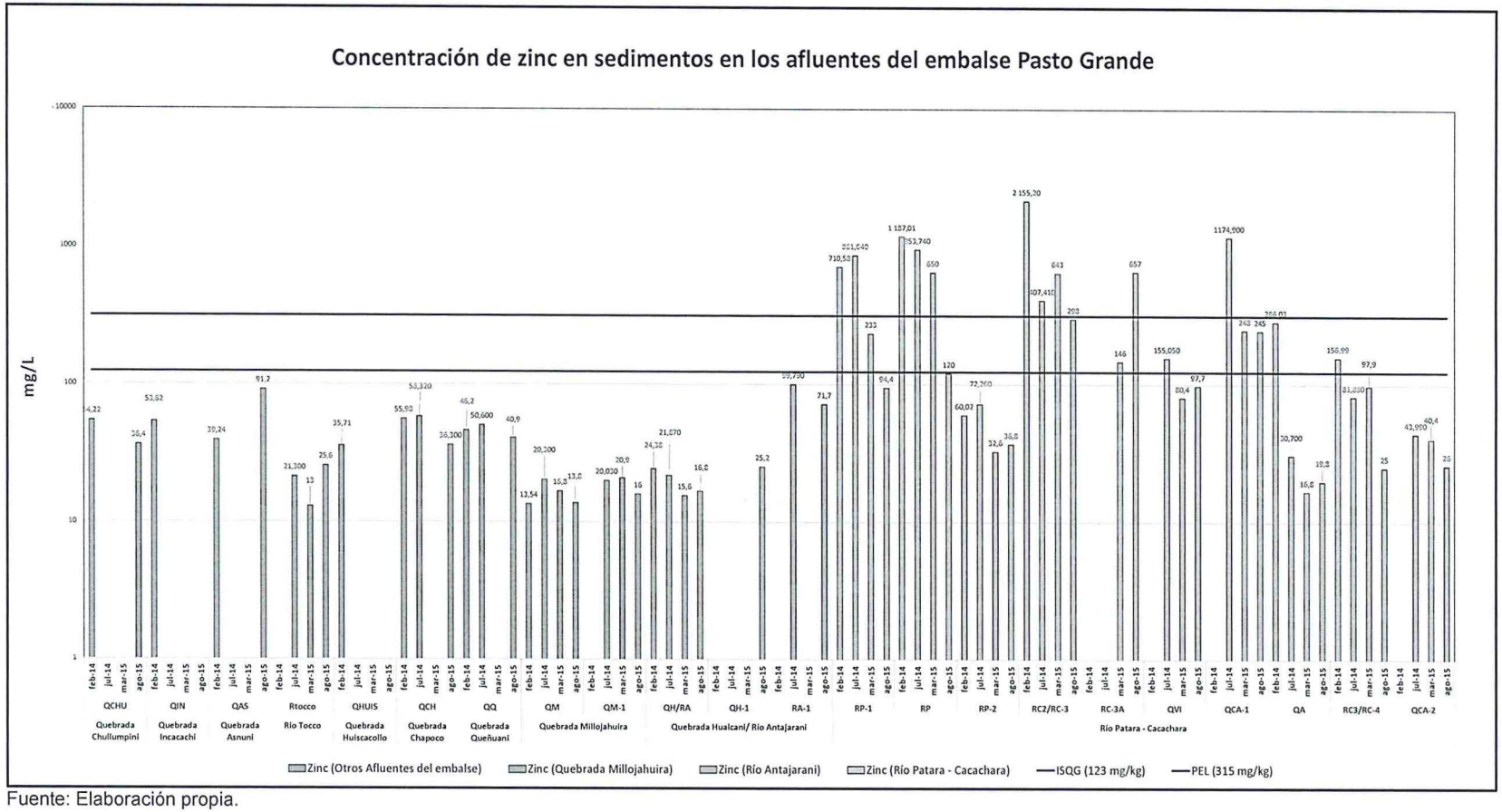


Fuente: Elaboración propia.

167. La concentración de zinc en las muestras de sedimento en las quebradas Chullumpini, Incacachi, Asnuni, Huiscacollo, Chapoco, Queñuani y Millojahuira y de los ríos Tocco y Antajarane no fue mayor a los valores ISQG y PEL de la Guía Canadiense. Sin embargo, en las muestras de sedimento que se obtuvieron del cauce del río Patara - Cacachara los puntos de muestreo que superaron el valor Guía Canadiense fueron:

- RP-1, en el muestreo realizado en los meses de febrero y julio de 2014 superaron el valor PEL y en el mes de marzo de 2015 sólo superaron el valor ISQG de la Guía Canadiense.
- RP, en el muestreo realizado en los meses de febrero de 2014, julio de 2014 y marzo de 2015 se obtuvieron valores mayores al ISQG y PEL de la Guía Canadiense.
- RC2/RC-3, en el muestreo realizado en los meses de febrero de 2014, julio de 2014 y marzo de 2015 se obtuvieron valores mayores al ISQG y PEL establecido en la Guía. En el mes de agosto de 2015 la concentración fue mayor que el valor ISQG establecido en la Guía Canadiense.

Gráfico 3- 37: Resultados de la concentración de zinc en los tributarios del embalse



Fuente: Elaboración propia.

- RC-3A, en el muestreo realizado en el mes de marzo de 2015 la concentración de zinc es mayor que el valor ISQG de la guía Canadiense, en lo que respecta a los resultados de agosto de 2015 la concentración es mayor que el valor ISQG y PEL de la Guía Canadiense.
- QVI, en el muestreo realizado en el mes de julio de 2014 la concentración de zinc fue mayor que el valor ISQG de la Guía.
- QCA-1, en el muestreo realizado en el mes de julio de 2014 la concentración de zinc fue mayor que el valor ISQG y PEL; y en los meses de marzo y agosto de 2015 el resultado fue mayor que el valor ISQG de la Guía Canadiense
- QA, en el muestreo realizado en el mes de febrero de 2014 la concentración de zinc fue mayor que el valor de ISQG de la Guía Canadiense
- RC3/RC-4, en el muestreo realizado en el mes de febrero de 2014 la concentración de zinc fue mayor que el valor ISQG de la Guía Canadiense.

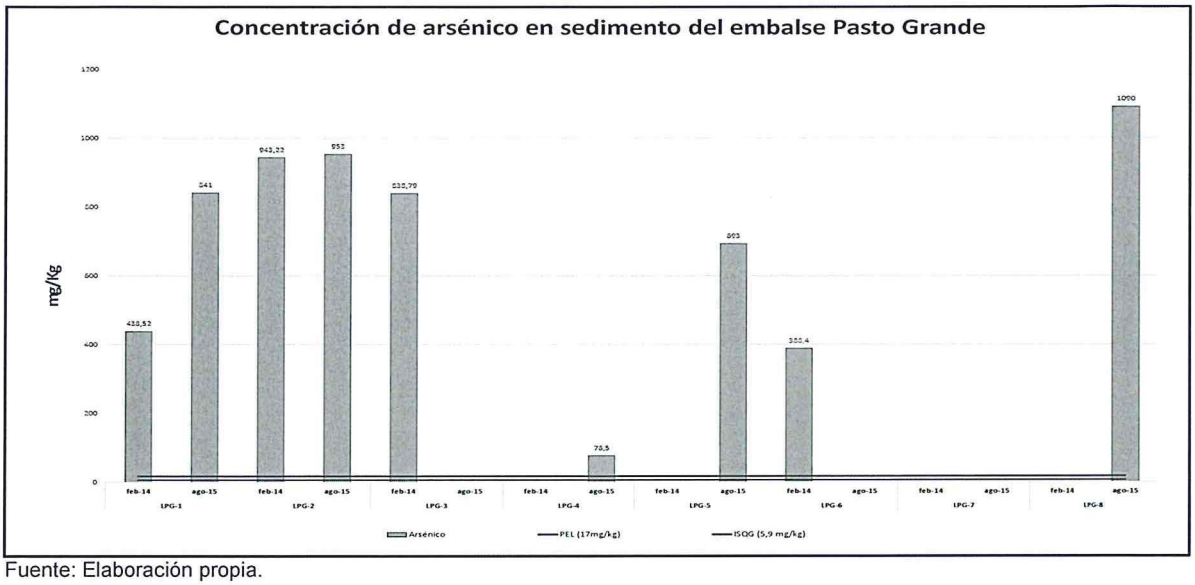
168. En el Gráfico 3-37 se puede observar con mayor claridad la diferencia entre las concentraciones de zinc en el río Patara - Cacachara y los demás tributarios del embalse.

EVALUACIONES AMBIENTALES - DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN - V°B°

3.2.1.3 Arsénico en sedimentos

169. En el Gráfico 3-38 se puede observar que los resultados de arsénico son mayores al valor ISQG y PEL establecidos en la Guía Canadiense.

Gráfico 3- 38: Resultados de la concentración de arsénico dentro del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

170. A excepción del resultado obtenido en el mes de marzo de 2015 en el río Tocco, la concentración de arsénico en los sedimentos de los tributarios del embalse Pasto Grande (incluido el cauce del río Patara - Cacachara), fueron mayores al valor ISQG de la Guía Canadiense.

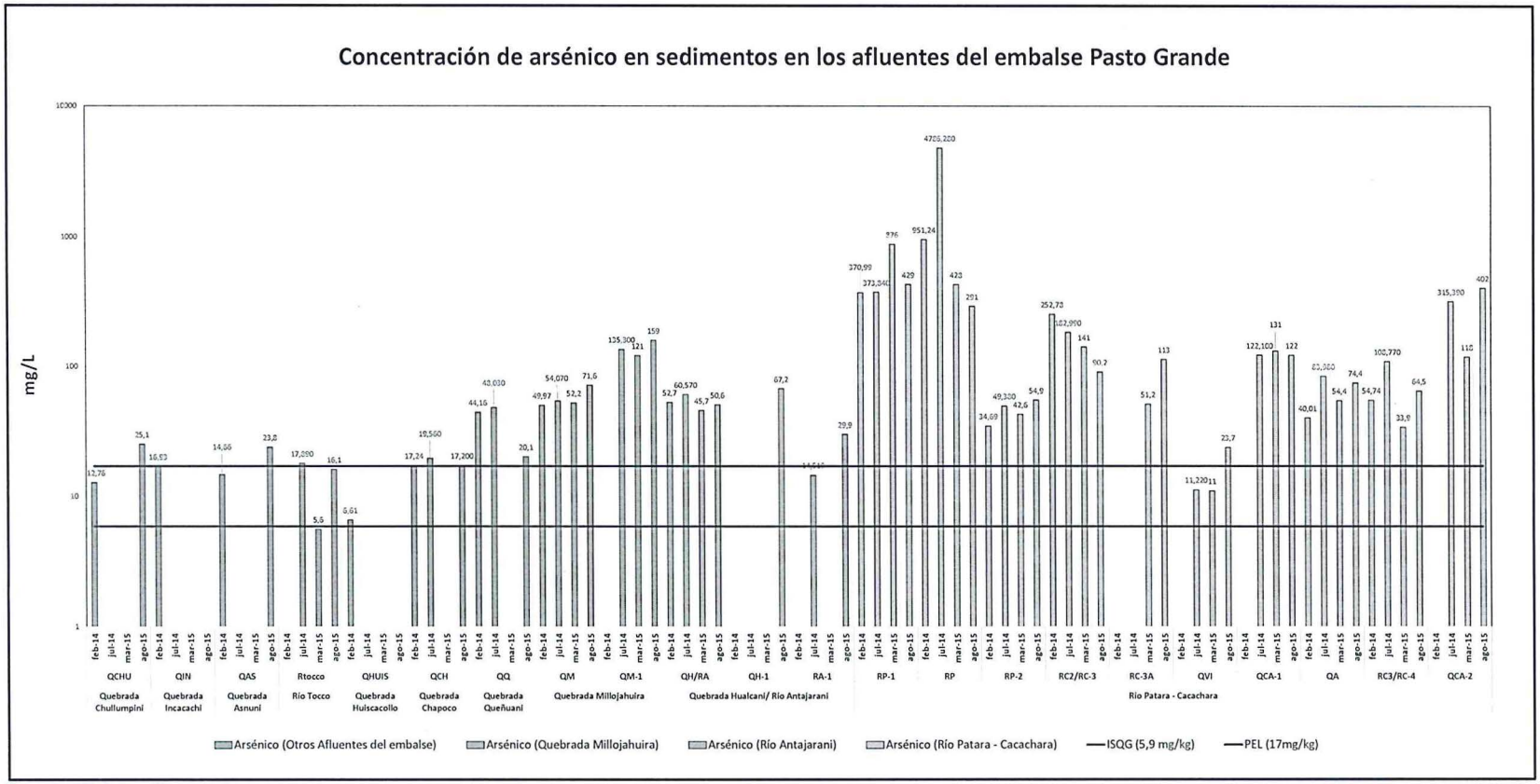
171. En las quebradas Chullumpini, Incacachi, Asnuni, Huiscacollo, Chapoco, Queñuani y Millojahuira y los ríos Tocco y Antajarane los resultados mayores al valor PEL de la Guía Canadiense se encontraron en los puntos de muestreo:

- QCHU, en el muestreo realizado en el mes de agosto de 2015
- QAS, en el muestreo realizado en el mes de agosto de 2015
- RTocco, en el muestreo realizado en el mes de julio de 2014
- QCH, en el muestreo realizado en el mes de julio de 2014
- QQ, en el muestreo realizado en los meses de febrero y julio de 2014
- QM, en el muestreo realizado en los meses de febrero de 2014, julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015
- QM-1, en el muestreo realizado en los meses de julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015
- QH/RA, en el muestreo realizado en los meses de febrero de 2014, julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015
- QH-1, en el único muestreo realizado en esta ubicación (agosto de 2015)
- RA-1, en el muestreo realizado en el mes de agosto de 2015

172. En las muestras obtenidas del cauce del río Patara - Cacachara; salvo las muestras del punto QVI (julio de 2014 y marzo de 2015), fueron mayores al valor PEL establecido en la Guía Canadiense para arsénico en sedimento en aguas continentales.

173. Con relación a lo descrito se puede apreciar en el Gráfico 3-39 que el arsénico es un elemento común de la zona en evaluación ya que en casi en su totalidad de los sedimento de los tributarios, se encuentran sobre el valor ISQG de la Guía Canadiense utilizada como referencia.

Gráfico 3- 39: Resultados de la concentración de arsénico en los tributarios del embalse



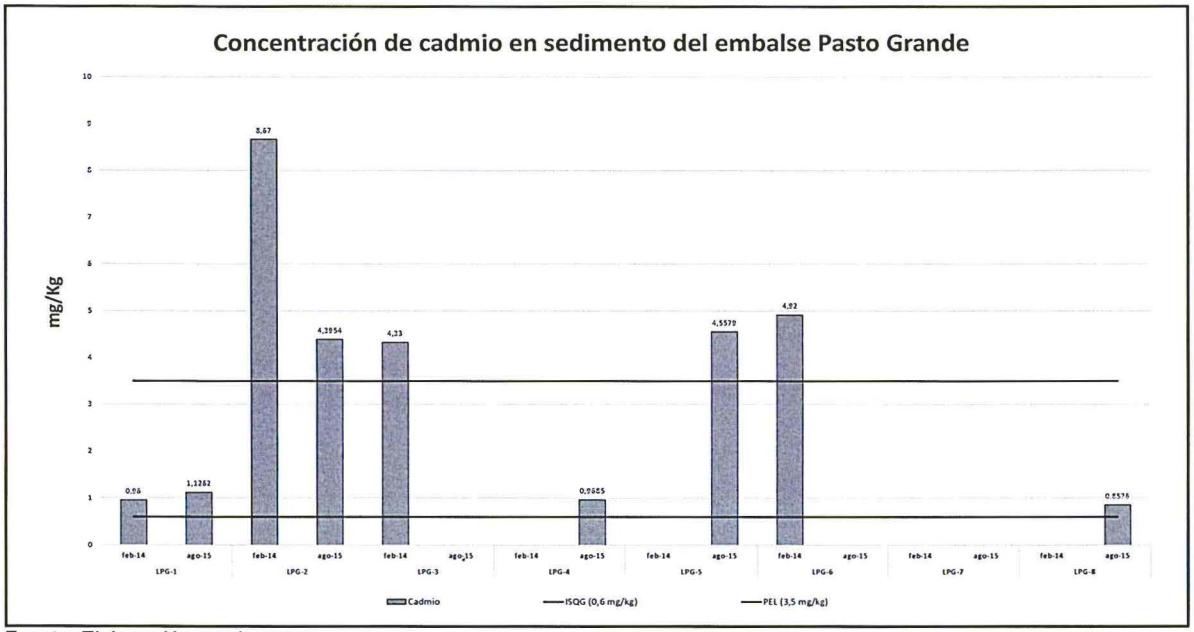
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4 Cadmio en sedimentos

174. Las concentraciones de cadmio en sedimento presentadas en el Gráfico 3-40 muestran concentraciones mayores al valor ISQG de la Guía Canadiense en todos los puntos donde se obtuvieron muestras de sedimento dentro del embalse. Y en los puntos de muestreo LPG-2 (febrero de 2014), LPG-3 (febrero de 2014), LPG-5 (agosto de 2015) y LPG-6 (febrero de 2014) se obtuvieron resultados mayores al valor PEL de la Guía Canadiense.

175. La mayor concentración de cadmio en sedimento se registró en el punto de muestreo LPG-2 (8,67 mg/kg) ubicado frente al dique del embalse.

Gráfico 3- 40: Resultados de la concentración de cadmio dentro del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

176. Por otro lado, los resultados de sedimento en el cauce del río Patara – Cacachara son mucho mayores que los resultados en el resto de tributarios del embalse, este detalle se puede ver en el Gráfico 3-41.

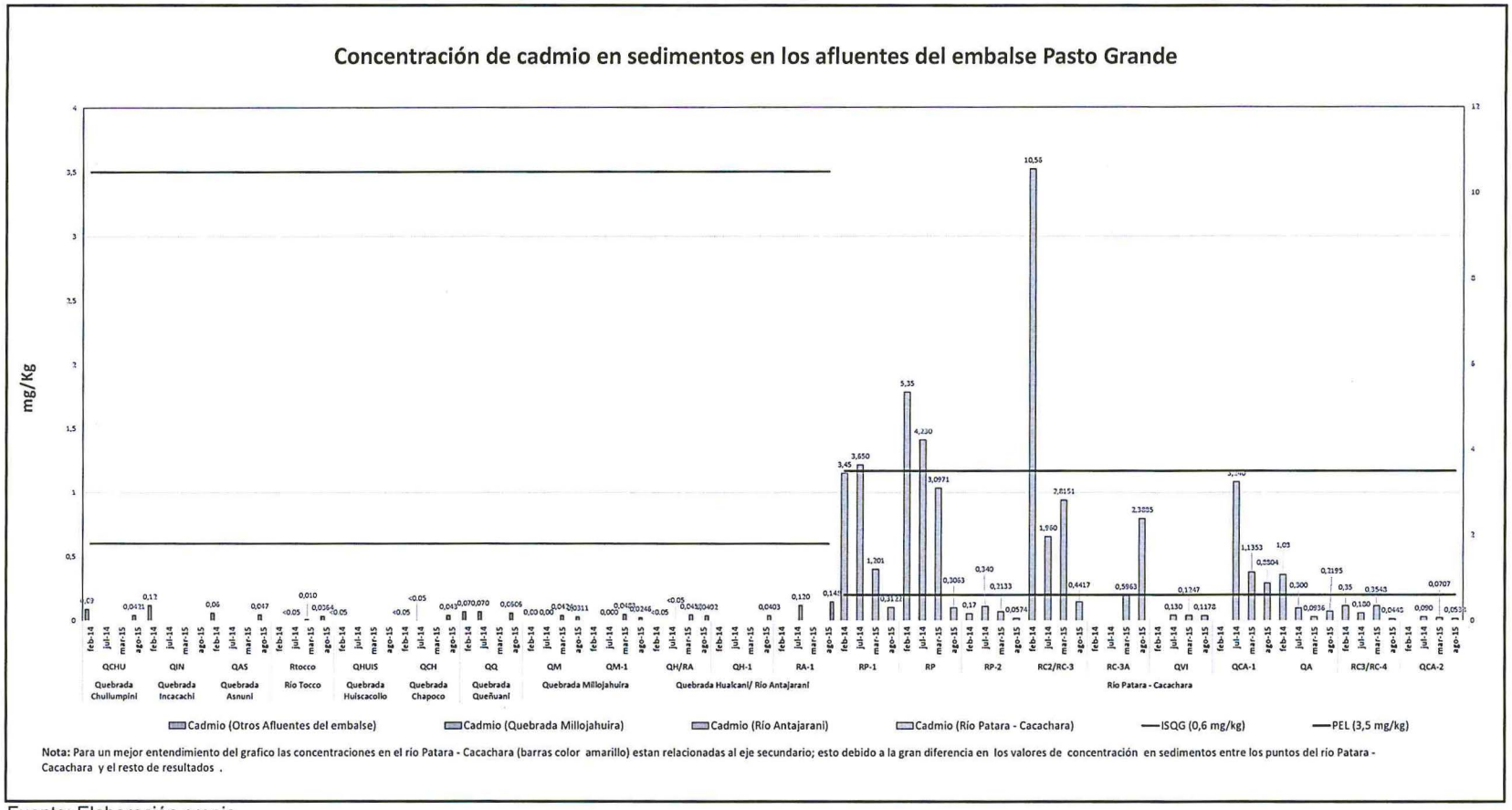
177. Con el fin de obtener una mejor comprensión de los resultados, los valores obtenidos en el cauce del río Patara – Cacachara, debido a que son mucho mayores a los demás resultados, están referenciados con el eje secundario (eje al lado derecho); estos valores son mayores que lo establecido en la Guía Canadiense en los puntos:

- RP-1, en los meses de febrero de 2014 y marzo de 2015 son mayores que el valor ISQG y en el mes de julio de 2014 es mayor que el valor PEL de la Guía Canadiense.

- RP, en los meses de febrero y julio de 2014 los resultados son mayores al valor PEL y en el mes de marzo de 2015 el resultado fue mayor al valor ISQG de la Guía Canadiense.
- RC2/RC-3, en el mes de febrero de 2014 (mayor concentración obtenida) superó el valor PEL establecido en la Guía Canadiense. En el mes de julio de 2014 y marzo de 2015 el resultado fue mayor que el valor ISQG.
- RC-3A, en el mes de agosto de 2015 el resultado fue superior al valor ISQG establecido en la Guía Canadiense.
- QCA-1, en los meses de julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015 los resultados en este punto fueron mayores al valor ISQG de la Guía Canadiense
- QA, en el mes de febrero de 2014 se obtuvo un resultado mayor que el valor ISQG establecido para este parámetro en la Guía Canadiense.

178. Las concentraciones de cadmio en sedimentos son característicos del cauce del río Patara - Cacachara, esto se puede observar de manera clara en el Gráfico 3-41.

Gráfico 3- 41: Resultados de la concentración de cadmio en los tributarios del embalse



Nota: Para un mejor entendimiento del grafico las concentraciones en el rio Patara - Cacachara (barras color amarillo) estan relacionadas al eje secundario; esto debido a la gran diferencia en los valores de concentración en sedimentos entre los puntos del rio Patara - Cacachara y el resto de resultados .

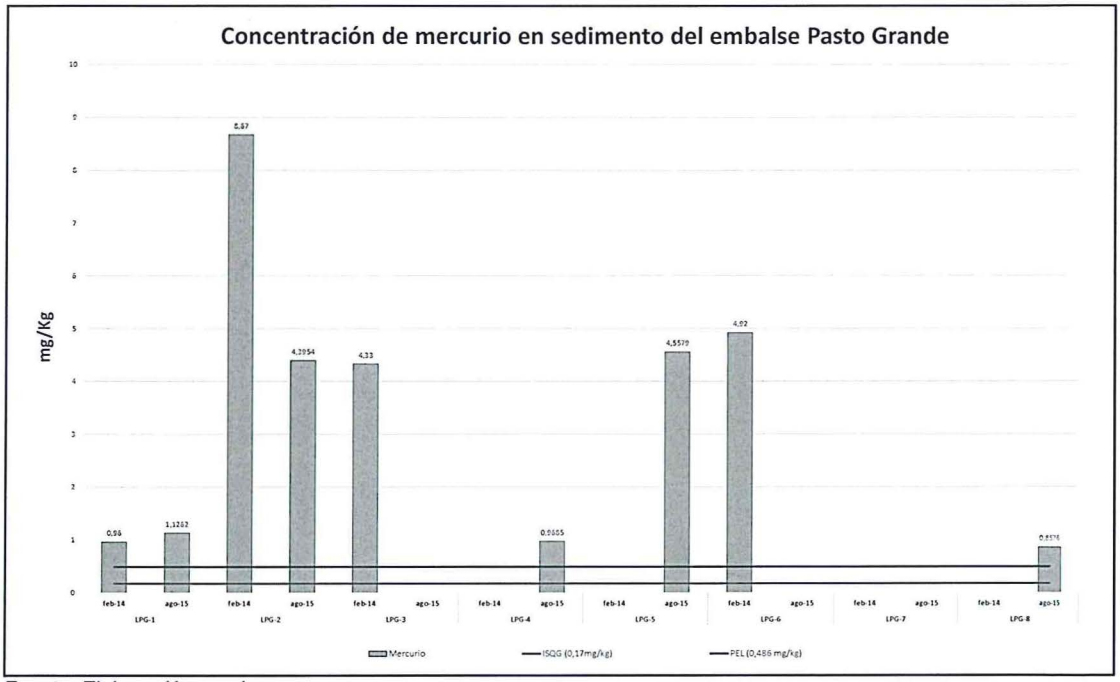
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5 Mercurio en sedimentos

179. La concentración de mercurio en el embalse Pasto Grande, en todas las muestras tomadas la concentración de este elemento fue mayor al valor PEL de la Guía Canadiense.

180. En lo que respecta a la mayor concentración, esta se registró en el mes de febrero de 2014 en el punto de muestreo LPG-2 (8,67 mg/Kg), este punto de muestreo se ubica frente al dique del embalse.

Gráfico 3- 42: Resultados de la concentración de mercurio dentro del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

181. Al igual que en las concentraciones de cadmio, los resultados obtenidos de mercurio en sedimento del cauce del río Patara – Cacachara son mayores a los resultados de mercurio del resto de tributarios del embalse.

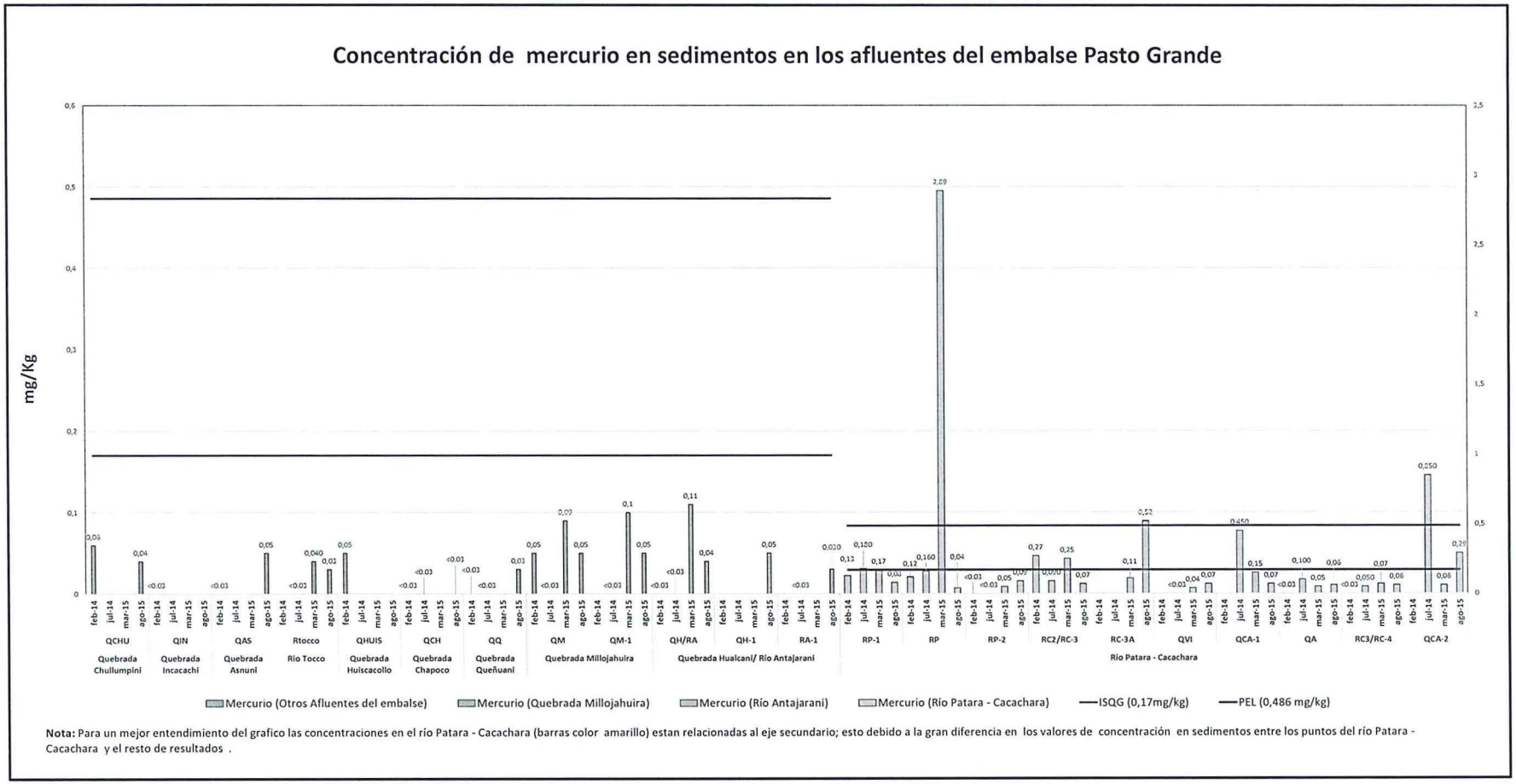
182. Los resultados obtenidos en las quebradas Chullumpini, Incacachi, Asnuni, Huiscacollo, Chapoco, Queñuani y Millojahuira y los ríos Tocco y Antajarane fueron menores al valor ISQG de la Guía Canadiense.

183. En lo que respecta a los resultados de las muestras de sedimento en el río Patara – Cacachara, los puntos de muestreo que muestran valores mayores a los establecidos en el la Guía Canadiense son:

- RP-1, en el mes de julio de 2014 se obtuvieron valores sobre el valor ISQG de la Guía Canadiense.
- RP, en el mes de marzo de 2015 los valores en este punto de muestreo fueron mayores que los valores ISQG y PEL de la Guía Canadiense.
- RC2/RC-3, en los meses de febrero de 2014 y marzo de 2015 los resultados fueron mayores al valor ISQG de la Guía Canadiense.
- RC-3A, en el mes de agosto de 2015 el valor obtenido fue mayor al establecido como ISQG y PEL en la Guía Canadiense.
- QCA-1, en el mes de julio de 2014 se obtuvo un resultado mayor a lo establecido como valor ISQG en la Guía Canadiense.
- QCA-2, en el mes de julio de 2014 los resultados obtenidos en este punto de muestreo fue mayor al valor PEL y en el mes de agosto de 2015 el resultado obtenido fue mayor que el valor ISQG de la Guía Canadiense utilizada como referencia.

184. En el Gráfico 3-43 y 3-44 se puede observar que los valores de mercurio no son ajenos al embalse Pasto Grande y a los tributarios; cabe recalcar, que los valores más marcados se relacionan con el cauce del río Patara - Cacachara. Sin embargo, debido a que los valores no son constantes y se presentan sólo en algunos meses, es necesario profundizar los análisis para identificar la fuente.

Gráfico 3- 43: Resultados de la concentración de mercurio en los tributarios del embalse.



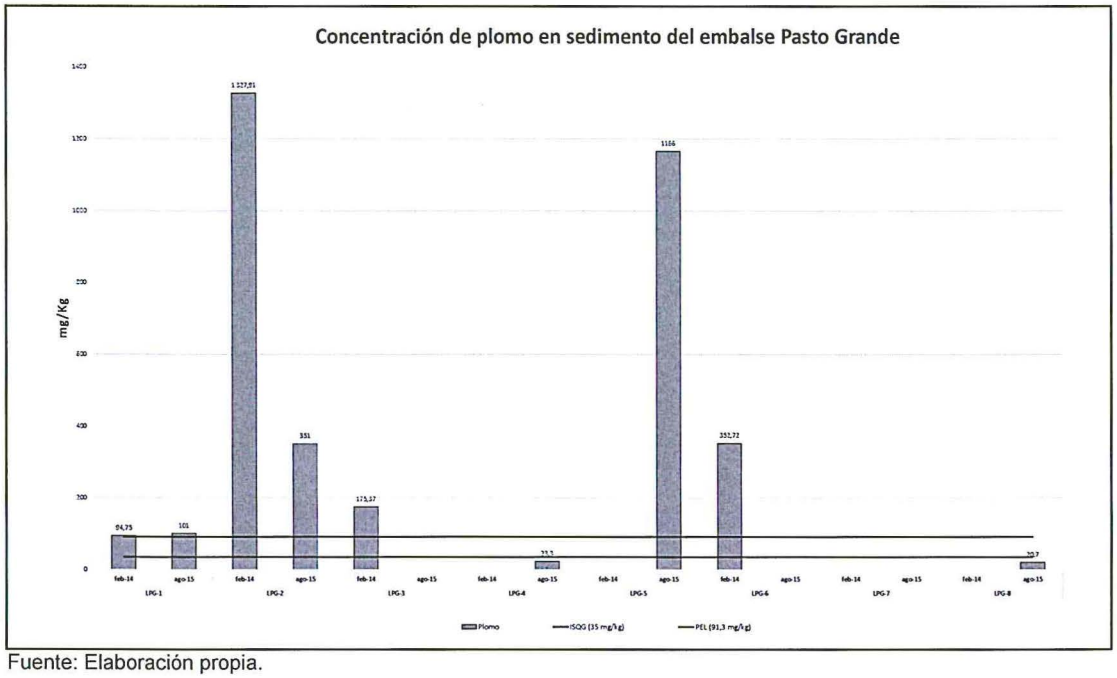
Nota: Para un mejor entendimiento del grafico las concentraciones en el río Patara - Cacachara (barras color amarillo) estan relacionadas al eje secundario; esto debido a la gran diferencia en los valores de concentración en sedimentos entre los puntos del río Patara - Cacachara y el resto de resultados .

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.6 Plomo en sedimento

185. La concentración de plomo en sedimento del embalse es mayor que los valores ISQG y PEL en los puntos LPG-1 en marzo y agosto de 2015, LPG-2 en marzo y agosto de 2015, LPG-3 en febrero de 2014, LPG-5 en agosto de 2015) y LPG-6 en febrero de 2014.

Gráfico 3- 44: Resultados de la concentración de plomo dentro del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

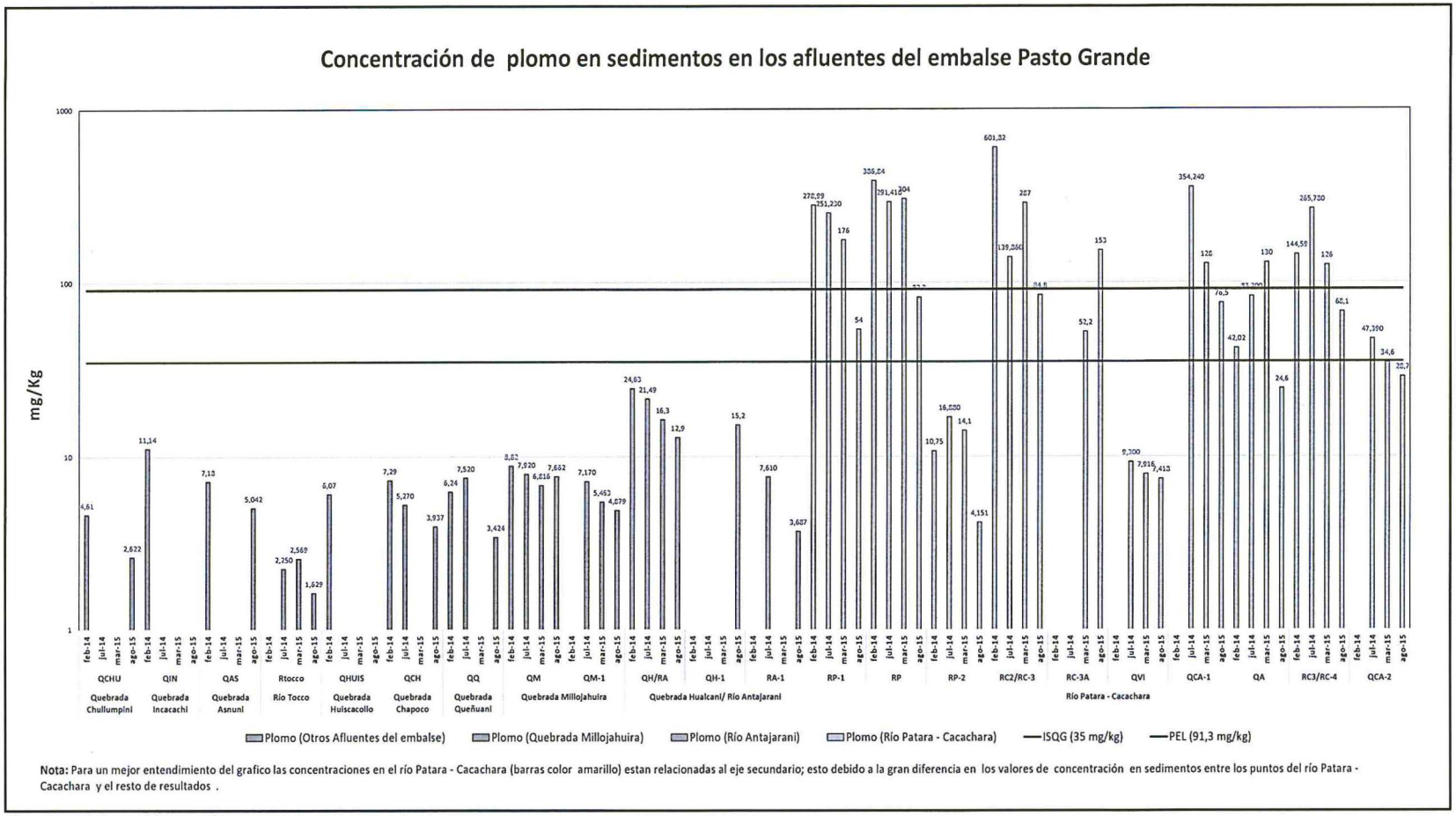
186. En lo que respecta al río Patara – Cacachara, los resultados obtenidos de la concentración de metales fueron comparados con los valores establecidos en la Guía Canadiense, de donde los puntos de muestreo con concentraciones mayores al estándar de referencia fueron:

- RP-1, RP, RC2/RC-3 y RC3/RC-4, en los meses de febrero y julio de 2014 y marzo de 2015 fueron mayores al valor ISQG y PEL de la Guía Canadiense. En el mes de agosto de 2015 la concentración sólo fue mayor al valor ISQG.
- RC-3A, en el mes de marzo de 2015 los resultados de plomo en sedimento fueron mayores al valor ISQG de la Guía Canadiense. En el mes de agosto de 2015 el resultado fue mayor al valor ISQG y PEL de la Guía Canadiense.
- QCA-1, en los meses de julio de 2014 y marzo de 2015 los resultados obtenidos de plomo en sedimento fueron mayores al valor ISQG y PEL de la Guía Canadiense. En el mes de agosto de 2015 la concentración sólo fue mayor al valor ISQG.
- QA, en los meses de febrero y julio de 2014 los valores de plomo en sedimento fueron mayores al valor ISQG y en marzo de 2015 el resultado fue mayor que el valor ISQG y PEL de la Guía Canadiense.

- QCA-2, sólo en el mes de julio de 2014 la concentración de plomo en sedimento fue mayor que el valor ISQG de la Guía Canadiense.

187. Como se puede apreciar en el Gráfico 3-45 los valores obtenidos de la concentración de plomo en sedimentos del río Patara – Cacachara, en la mayoría de los puntos de muestreo, son mayores que los obtenidos en el resto de puntos ubicados en los tributarios del embalse Pasto Grande.

Gráfico 3- 45: Resultados de la concentración de plomo en los tributarios del embalse Pasto Grande



Nota: Para un mejor entendimiento del grafico las concentraciones en el río Patara - Cacachara (barras color amarillo) estan relacionadas al eje secundario; esto debido a la gran diferencia en los valores de concentración en sedimentos entre los puntos del río Patara - Cacachara y el resto de resultados .

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Extracción secuencial de metales pesados

188. La presencia en los suelos de algunos elementos traza (metales) en concentraciones elevadas que puedan tener un efecto adverso sobre algunos organismos, se les denomina contaminantes, el origen de estos puede ser geogenético (naturales) o antropogénicos.

189. El suelo o sedimento al entrar en contacto con estos metales, funciona como un depurador natural, siendo esta la capacidad de retener metales a través de procesos como la absorción, complejación o quelación, condicionado principalmente por algunos factores como el pH, materia orgánica, minerales de arcillas, carbonatos, etc.

190. Kabata-Pendias (1995) señala que según como se encuentre el metal retenido en el suelo o sedimento, así será su disponibilidad relativa para las plantas y por tanto la incorporación a los organismos vivos.

191. La denominada metodología de especiación secuencial química, valora el grado de peligrosidad (movilidad, disponibilidad) que presenta un suelo o sedimento afectado por la presencia anómala de metales asociados a los distintos componentes del suelo con diferente capacidad de retención de metales.

192. Estos resultados nos describen el comportamiento del suelo o sedimento como una posible fuente contaminante, determinado por la potencial movilidad y disponibilidad de los metales y la facilidad para ser transferido a los organismos.

193. La metodología de especiación más aceptada y utilizada (laboratorio AGQ Perú S.A.C) es la propuesta por **Tessier** *et al.* (1979), esta consta de cinco (5) etapas basadas en la exposición sucesiva a una misma muestra sólida (suelo o sedimento), a soluciones extractantes de fuerza creciente y/o de características diferentes, obteniéndose luego concentraciones de metales en cada una de las extracciones.

194. Esta metodología determina con la mayor precisión posible, la distribución de los metales existentes entre las fracciones extraídas. Las fases de extracción detalladas se describen en la Tabla 3-5.

Tabla 3- 5: Fundamentos del análisis de Tessier

Extracción	Fracción	Fundamento
Extracción 5 (f5)	Fracción residual	Son metales ligados a los minerales, formando parte de sus estructuras cristalinas. La liberación de metales de esta fase, en un período razonable de tiempo es ciertamente improbable.
Extracción 4 (f4)	Metales ligados a la materia orgánica	Estos metales representan la fracción que se liberaría al pasar a condiciones oxidantes. Un caso típico es la deposición de los sedimentos anóxicos sobre superficies en contacto con la atmósfera.
Extracción 3 (f3)	Metales asociados a óxidos de hierro (Fe) y manganeso (Mn).	Los metales presentes en esta fase pasarán al agua en aquellas zonas donde el sedimento se encuentre bajo condiciones reductoras. Estos óxidos son sustancias de alto poder de adsorción y son termodinámicamente inestables en condiciones anóxicas (valores bajos de potencial redox).
Extracción 2 (f2)	Metales ligados a carbonatos	Se considera que los metales unidos a esta fase se liberarán al descender el pH de los sedimentos, al disolverse los metales precipitados en forma de carbonatos.
Extracción 1 (f1)	Metales en forma de iones intercambiables	Éstos pueden ser fácilmente liberados de los sistemas acuáticos por pequeños cambios ambientales.

Fuente: informes de ensayos de laboratorio AGQ Perú S.A.C.

Tabla 3- 6: Suma de fracciones por puntos de muestreo

Parámetros	Unid.	Suma de fracciones analizadas por metodología de extracción secuencial de Tessier												Norma Canadiense (CEQG)	
		QCA-1	RC-4	QVI	RC-3	RC-3A	RP2	RP	RP-1	QH/RA	RTOCCO	LPG-4	LPG-2	ISQG	PEL
Cadmio Soluble	mg/Kg	0,93	0,36	0	2,3	0,68	0,14	2,94	2,98	5,53	0,54	2,24	12,64	0,6	3,5
Cobre Soluble	mg/Kg	50,2	18,8	26,3	38,0	34,1	24,7	219,1	37,9	31,8	834,1	93,1	110,1	35,7	197
Hierro Soluble	mg/Kg	45766	25362	25491	29723	29545	19386	55157	44049	76204	41459	18956	37304		
Níquel Soluble	mg/Kg	11,8	5,9	17,3	13,3	12,7	11,7	12,2	11,9	4,2	9,3	15,9	23,2		
Plomo Soluble	mg/Kg	83,3	119,7	8,3	112,7	46,2	23,3	129,5	96,3	122,0	20,9	27,4	318,2	35	91,3
Zinc Soluble	mg/Kg	267,9	144,0	56,5	412,0	170,0	58,2	381,9	261,5	768,9	120,7	154,5	673,4	123	315
Arsénico Soluble	mg/Kg	44,2	0	0	14,3	0	0	252,5	424,3	0	0	76,2	1099	5,9	17

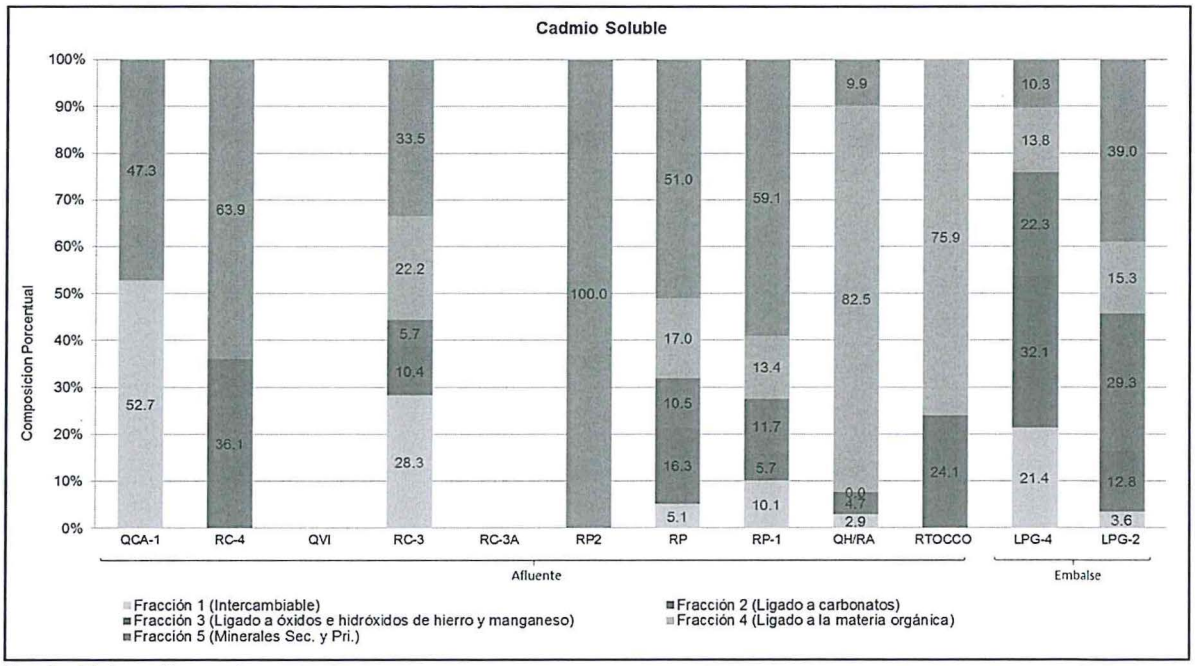
Fuente: Informes de ensayo de AGQ S.A.C.

3.2.2.2 Cadmio soluble

199. El cadmio se encuentra en diez de los doce puntos de muestreo evaluados, de los cuales en ocho (8), la suma de las concentraciones de las fracciones (0,68 – 12,6 mg/kg) superaron los valores de la Norma Canadiense. Ver Tabla 3-6.

200. La forma dominante del cadmio no se pudo identificar claramente, puesto que, la distribución de las diferentes fracciones en todos los puntos de monitoreo en conjunto no presentaron una distribución uniforme, habiendo un comportamiento particular en cada punto. Sin embargo, se puede señalar que la disponibilidad del cadmio presente en las fracciones más solubles es importante en los puntos de monitoreo QCA-1, RC-4, RC-3, RC-3A, RP, RP-1, QH/RA, LPG-4 y LPG-2 en los cuales se presentan concentraciones en los rango de (0,2 - 07 mg/kg) en la F1 y (0,7 - 1,7) en la fracción F2, esto quiere decir que el cadmio presenta un alto potencial de movilidad y disponibilidad y puede liberarse a los sistemas acuático y ser transferido a los organismos ante pequeños cambios en el ambiente o un ligero descenso en el pH. A continuación se presentan los resultados en el Gráfico 3-47.

Gráfico 3- 46: Cadmio soluble de acuerdo a las fracciones



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.1 Arsénico soluble

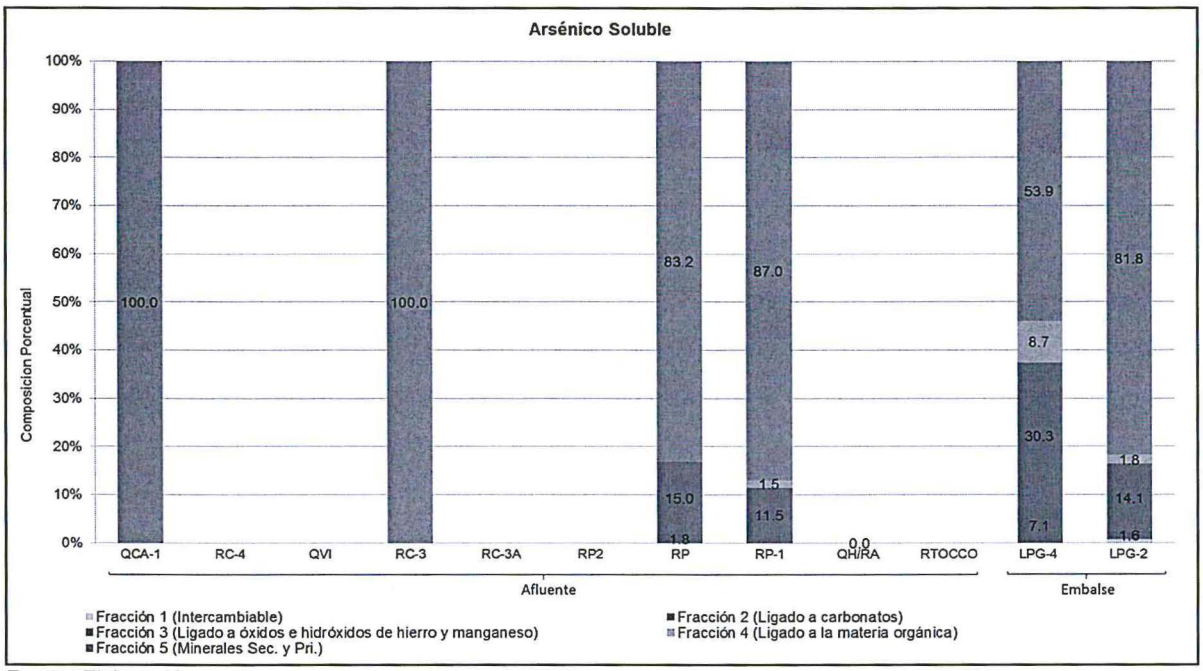
195. De los doce puntos de muestreo evaluados, el arsénico se encuentra presente en seis (6) puntos, en los cuales, la suma de las concentraciones de las fracciones (14,3 – 1099 mg/kg) superaron los valores de la Norma Canadiense. Ver Tabla 3-6.

196. La forma dominante del arsénico en los puntos de muestreo donde se encontró este metal, fue la F5 (14,3 – 899 mg/kg) que representa entre el 53,9 - 100 %. Le sigue en importancia y en menor proporción la F3 (48,8 - 155 mg/kg) que representa entre el 11,5 - 30,3 % seguida de la F4 (1,5 - 8,7 %) y la F2 (1,6 - 7,1 5 %) y finalmente la concentración del arsénico en la F1 se registró sólo en el punto LPG-2 (0,7%).

197. Los resultados obtenidos, muestran que el arsénico está ligado amplia y fuertemente a la fracción residual (F5) donde los metales están en las estructuras cristalinas de los minerales resistentes, por lo cual su liberación al ambiente es poco probable en esta fracción.

198. No obstante, existen concentraciones elevadas de arsénico en las fracciones más solubles, la F2 (4,6 – 17,7 mg/kg) en los puntos RP, LPG-4 y LPG-2, y en la F1 (7,8 mg/kg) en el punto LPG-2, en los cuales, el arsénico se liberaría al descender el pH en los sedimentos o ante pequeños cambios ambientales respectivamente. A continuación se presentan los resultados en el Gráfico 3-46.

Gráfico 3- 45: Arsénico soluble de acuerdo a las fracciones



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3 Cobre soluble

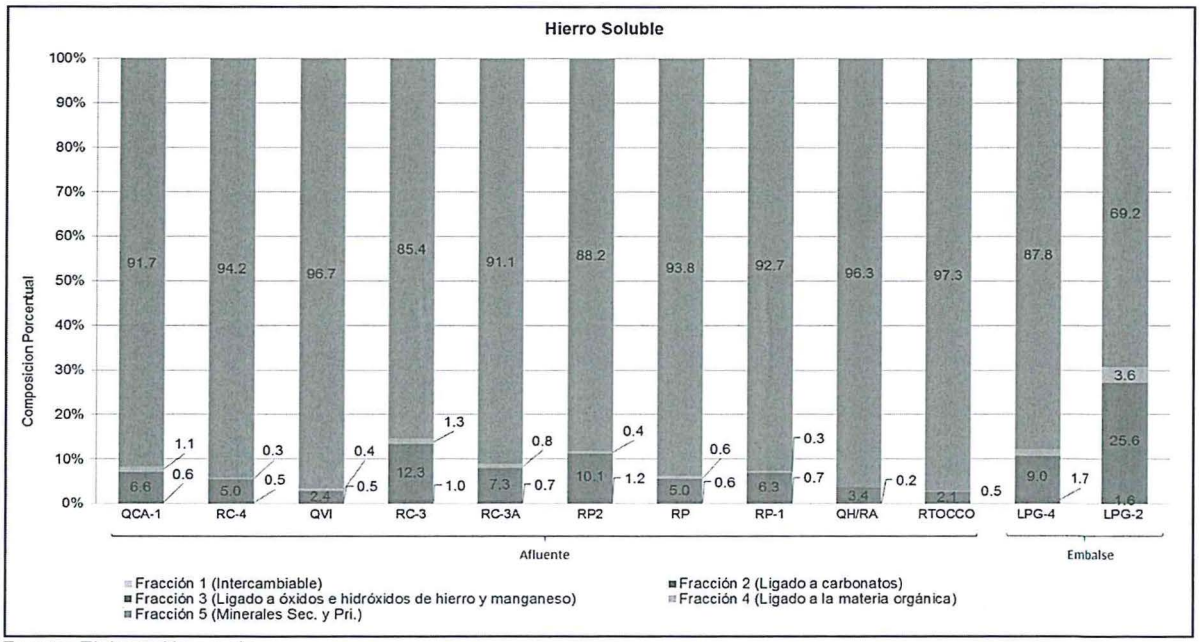
201. El cobre se encuentra presente en todos los puntos de muestreo, en los cuales la suma de las concentraciones de las fracciones (37,9 - 834,1 mg/kg) en siete (7) de estos, superaron los valores que indica la Norma Canadiense. Ver tabla 3-6.

202. La forma dominante del cobre en todos los puntos de muestreo (excepto QCA-1, RP, RTOCCO, LPG-4 y LPG-2, en los cuales domina la F4) se encuentra presente en la F5 (11,0 - 295 mg/kg) que representa entre el 51,1 - 72,9 %, le sigue en importancia la F4 (4 - 163 mg/kg) (en el punto RTOCCO, alcanzó el valor 528 mg/kg) que representa entre el (44,1 - 74,3 %), seguido en menor proporción la F2 (0,7 - 13,4%) y la F3 (0,7 - 10,3%) y finalmente la concentración del hierro en la F1 (0,05 - 2,1 %) presente en todos los puntos a excepción de los puntos de monitoreo QH/RA y LPG-4 que estuvieron por debajo del límite de detección (<0,18).

203. Los resultados obtenidos, muestran que el cobre está ligado amplia y fuertemente a las fracciones menos solubles (F5, F4 y F3), es decir, en estos puntos el cobre muestra mayor afinidad por la fase residual, por la materia orgánica y por los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, por lo que este metal se encontraría fuertemente adsorbidos y su liberación al ambiente es poco probable.

204. El cobre en las fracciones más solubles (F2 y F1), se encuentran presentes en bajas concentraciones, por lo cual, este metal se liberaría ante un descenso del pH o ante pequeños cambios en al ambiente. A continuación se presentan los resultados en el Gráfico 3-48.

Gráfico 3- 47: Hierro soluble de acuerdo a las fracciones



Fuente: Elaboración propia.

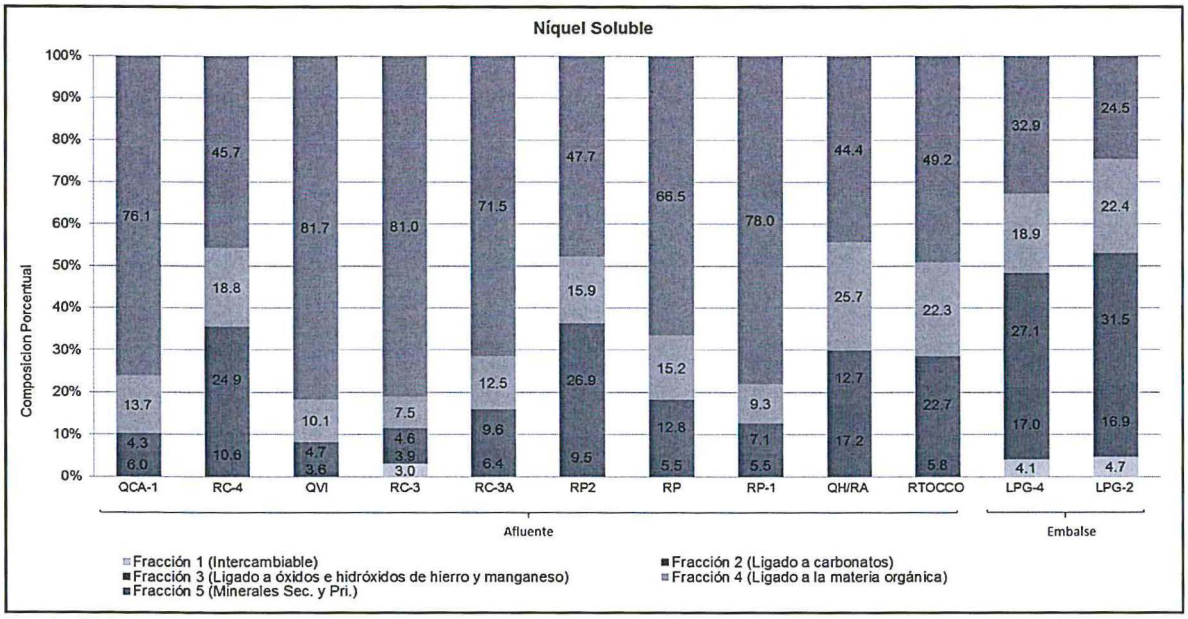
3.2.2.4 Níquel soluble

205. La forma dominante del níquel en los puntos de muestreo (excepto LPG-2, donde domina la F3) se encuentra presente en la F5 (1,9 – 14,1 mg/kg) que representan entre el 32,9 – 81,7 % del sumatorio de todas las fracciones, seguido y de manera relativamente similar la F3 (0,5 – 7,3 mg/kg) que representa entre el 4,3 – 31,5 % y la F4 (1,1 – 5,2 mg/kg) que representa entre el 7,5 y el 25,7 %, y finalmente la concentración del níquel en la F1 en todos los puntos de muestreo, estuvo por debajo del límite de detección (<0,315) a excepción del punto RC-3 correspondiente a un afluente y de los puntos LPG-2 y LPG-4 correspondientes al embalse.

206. Los resultados obtenidos, muestran que el níquel está ligado amplia y fuertemente a las fracciones menos solubles (F5, F4 y F3), por lo cual su liberación al ambiente es poco probable en estas fracciones. Los puntos de monitoreo correspondientes al embalse (LPG-4 y LPG-2), presentaron una mejor distribución en los porcentajes de las fracciones.

207. El níquel en las fracciones más solubles (F2 y F1), se encuentran presentes en bajas concentraciones, por lo cual, si este metal se liberase no afectaría al incorporarse al ambiente. A continuación se presentan los resultados en el Gráfico 3-49.

Gráfico 3- 48: Níquel soluble de acuerdo a las fracciones



Fuente: Elaboración propia.

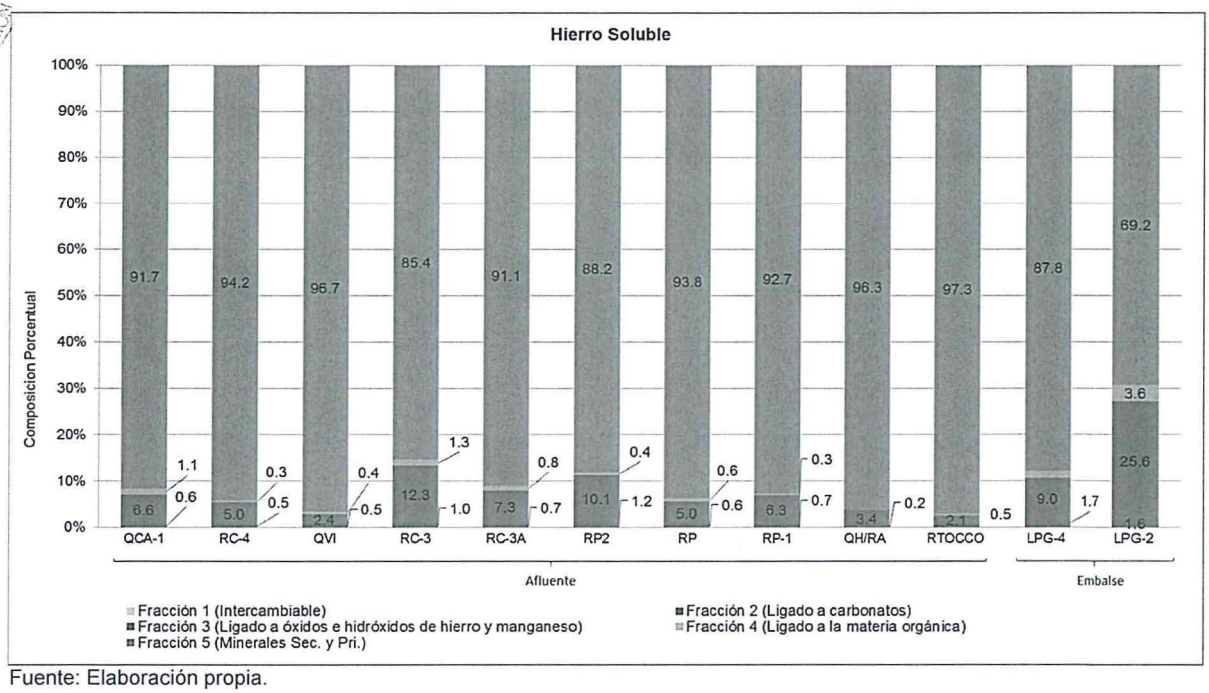
3.2.2.5 Hierro soluble

208. La forma dominante del hierro se encuentra ampliamente presente en la F5 (18956 - 76204 mg/kg) que representan entre el 69,2 - 97,3 % del sumatorio de todas las fracciones, le sigue en importancia la F3 (603 - 9555 mg/kg) que representa entre el 2,4 - 25,6 %, seguido y de manera relativamente similar la F4 (0,1 - 3,6 %) y F2 (0,2 - 1,7 %) y finalmente la concentración del hierro en la F1 en todos los puntos de monitoreo, estuvo por debajo del límite de detección (<1,97).

209. Los resultados obtenidos, muestran que el hierro está ligado amplia y fuertemente a la fracción residual (F5) donde los metales están en las estructuras cristalinas de los minerales resistentes, por lo cual su liberación al ambiente es poco probable en esta fracción.

210. Las fracciones más solubles y por tanto más biodisponibles (F1 y F2), se encuentran en bajas concentraciones (la F1 estuvo por debajo del límite de detección) por lo cual y en general, el hierro se liberaría al ambiente ante un descenso importante del pH (>4). A continuación se presentan los resultados en el Gráfico 3-50.

Gráfico 3- 49: Hierro soluble de acuerdo a las fracciones



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.6 Plomo soluble

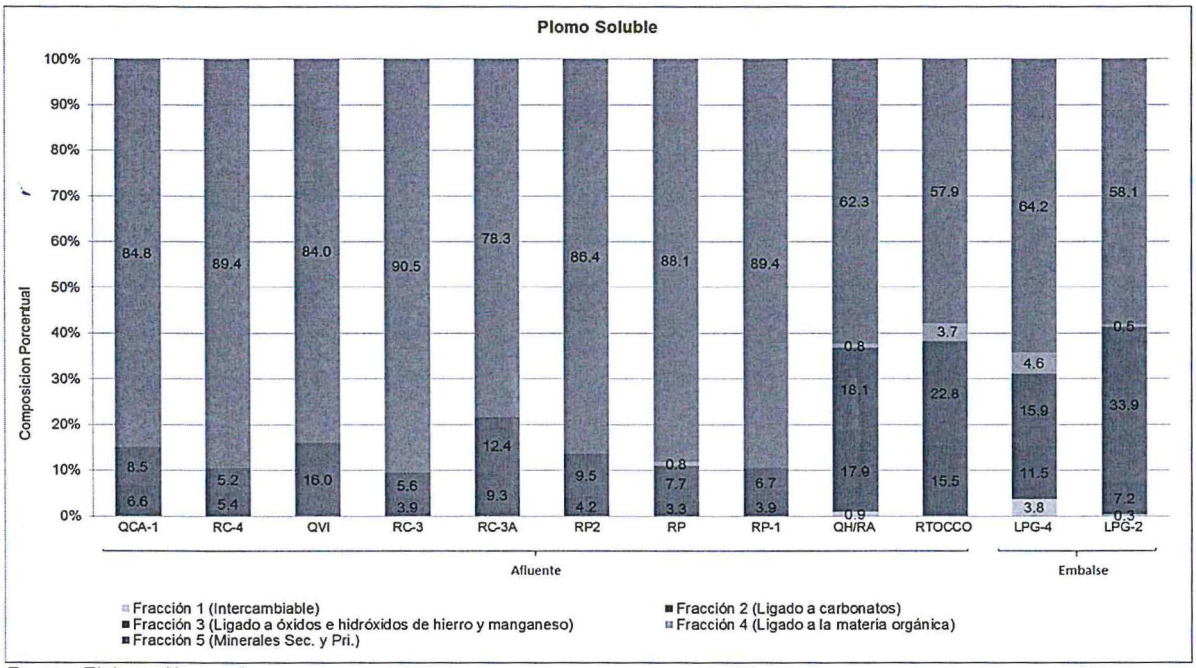
211. El plomo se encuentra presente en todos los puntos de muestreo, en los cuales la suma de las concentraciones de las fracciones (46,2 - 318,6 mg/kg) en ocho (8) de estos, superaron los valores que indica la Norma Canadiense. Ver Tabla 3-6.

212. La forma dominante del plomo se encuentra ampliamente presente en la F5 (36,2 - 185 mg/kg), que representan entre 57,9 - 90,5 % del sumatorio de todas las fracciones, le sigue en importancia la F3 (1,3 - 108 mg/kg) que representa entre el 5,3 - 33,9 %, seguido de la F2 (3,3 - 17,9 %) y F4 (0,5 - 4,6 %) y finalmente la concentración del plomo en la F1 (0,3 - 3,8 %) presente en sólo tres (3) puntos de monitoreo, los demás puntos estuvieron por debajo del límite de detección (<0,755).

213. Los resultados obtenidos, nos muestran que el plomo está ligado amplia y fuertemente a la fracción residual (F5), sobre todo en la puntos de monitoreo correspondientes a los tributarios, donde los metales están en las estructuras cristalinas de los minerales resistentes, por lo cual su liberación al ambiente es poco probable en esta fracción.

214. Las fracciones más solubles y por tanto más biodisponibles (F1 y F2) presentes en los puntos en donde se registró plomo, se encuentran en pequeñas concentraciones, por lo cual, este metal se liberaría ante un descenso del pH o ante pequeños cambios en el ambiente. A continuación se presentan los resultados en el Gráfico 3-51.

Gráfico 3- 50: Plomo soluble de acuerdo a las fracciones



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.7 Zinc soluble

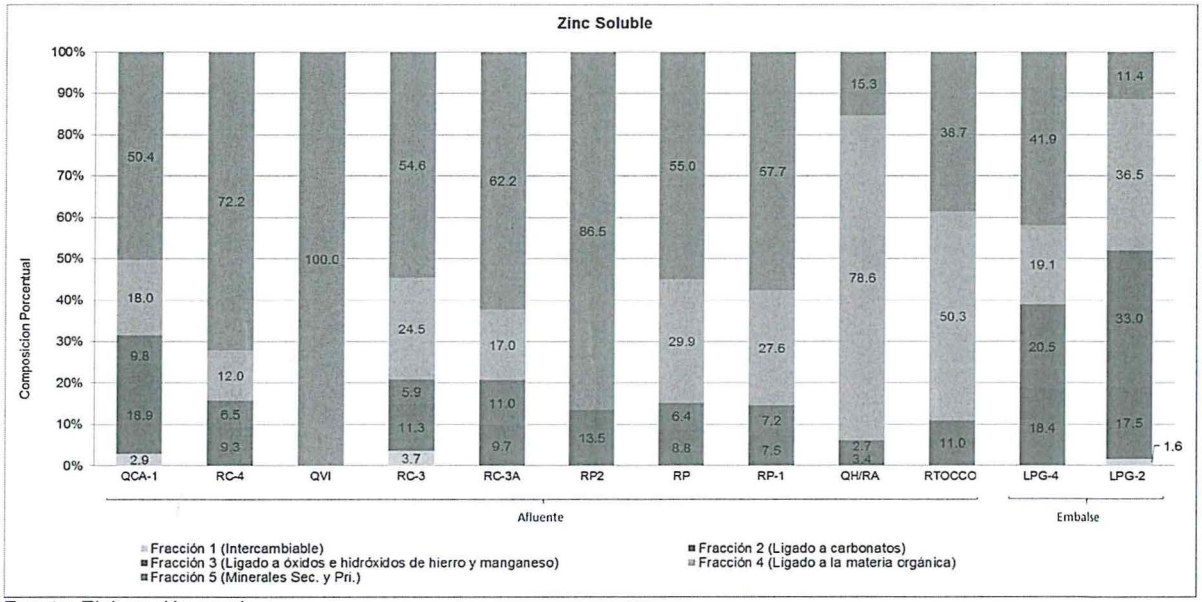
215. El zinc se encuentra presente en todos los puntos de muestreo, en los cuales la suma de las concentraciones de las fracciones (144 – 768,9 mg/kg) en nueve (9) de estos, superaron los valores que indica la Norma Canadiense. Ver tabla 3-6.

216. La forma dominante del zinc en los puntos de muestreo (excepto QH/RA, RTOCCO y LPG-2, donde domina la F4) se encuentra presente en la F5 (46,7 - 225 mg/kg), que representa entre 41,9 - 100 % del sumatorio de todas las fracciones, le sigue en importancia la F4 (17,3 - 114 mg/kg) que representa entre el 12,0 - 29,9 %, seguido de la F2 (0,5 - 33,0 %) y F3 (3,4 - 18,9 %) y finalmente la concentración del zinc en la F1 (1,6 - 3,7 %) presente en sólo tres (3) puntos de monitoreo, los demás puntos estuvieron por debajo del límite de detección (<0,755).

217. Los resultados obtenidos, nos muestran que el zinc está ligado a las fracciones menos solubles (F5 y F4), sobre todo en la puntos de monitoreo correspondientes a los tributarios; la F3, (ligada a los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso) se encuentra con mayor presencia en los puntos relacionados al embalse. Bajo estas características la liberación al ambiente de este metal es poco probable si las condiciones se mantienen estables.

218. En las fracciones más solubles y por tanto más biodisponibles (F1 y F2), el zinc se liberaría en bajas concentraciones al ambiente ante un descenso del pH o ante pequeños cambios en él. A continuación se presentan los resultados en el Gráfico 3-52.

Gráfico 3- 51: Zinc soluble de acuerdo a las fracciones



Fuente: Elaboración propia.

3.3 Características biológicas

3.3.1 Hidrobiología

3.3.1.1 Plancton

219. El plancton es una comunidad acuática constituida por organismos vegetales fotosintéticos (fitoplancton), representados principalmente por microalgas, las cuales forman parte de varios grupos (algas verdes, rojas, diatomeas, fito flagelados, cianobacterias). La mayoría vive sin movimiento, en la zona fótica, suspendidos y a merced de los movimientos del agua.

220. El otro constituyente de esta comunidad es el zooplancton, representado por organismos animales invertebrados, cuya característica distintiva es su tamaño, mayormente microscópico, con movilidad limitada y dependientes de los movimientos verticales y horizontales del agua (UNMSM-MHN, 2014).

221. En los embalses generalmente la productividad primaria es baja debido a que depende primordialmente de la variedad y densidad del fitoplancton, el cual tiene limitaciones de reproducción debido a la pobreza de nutrientes en la superficie y a la alta turbiedad (Roldan, 1992).

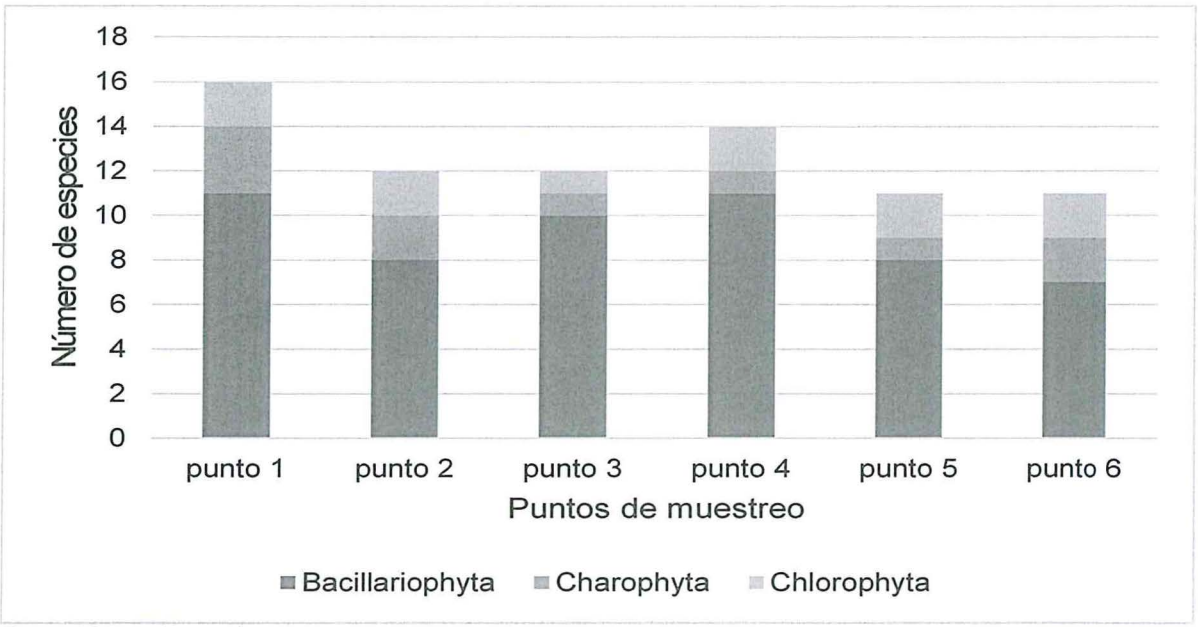
3.3.1.2 Fitoplancton (julio - 2014)

a. Composición y riqueza de especies:

222. Se colectaron muestras en seis (6) estaciones durante julio de 2014. Se registraron 23 especies distribuidas en 14 géneros, 14 familias, 13 órdenes, cinco (5) clases y tres (3) phyla. Bacillariophyta presentó 18 especies seguida de Charophyta con tres (3) especies y Chlorophyta con dos (2) especies (Gráfico 3-53 y Tabla 3-7).

223. Destacan las estaciones de muestreo 1 y 4 los cuales poseen mayor riqueza de especies (16 y 14 respectivamente).

Gráfico 3- 52: Distribución de especies de Fitoplancton por phylum en el embalse Pasto Grande en julio de 2014



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3- 7: Lista de especies del Fitoplancton del embalse Pasto Grande durante julio de 2014

PHYLUM	ESPECIE	punto 1	punto 2	punto 3	punto 4	punto 5	punto 6
Bacillariophyta	*Nitzschia* sp.	1	0	0	0	0	0
	Cocconeis placentula	0	1	0	0	0	1
	Cymbella lanceolata	0	0	1	1	0	0
	Cymbella sp.	0	0	0	1	0	0
	Gomphonema truncatum	1	0	1	1	1	0
	Navicula sp.	1	1	1	1	1	0
	Navicula sp. 1	0	0	0	1	0	0
	Navicula sp. 2	0	0	0	0	1	1
	Navicula sp. 3	0	0	0	0	0	1
	Pinnularia sp.	1	1	1	1	1	1
	Pinnularia sp. 1	1	0	1	1	1	0
	Epithemia zebra	1	1	1	1	1	1
	Surirella sp.	1	1	1	1	0	0
	Surirella sp. 1	1	1	1	1	1	1
	Surirella sp. 2	0	1	1	0	0	0
	fragilaria crotonensis	1	1	1	1	1	1
	Synedra acus	1	0	0	0	0	0
	Synedra ulna	1	0	0	0	0	0
Charophyta	*Staurastrum* sp.	1	1	1	1	1	1
	Spirogyra sp.	1	1	0	0	0	1
	Spirogyra sp. 1	1	0	0	0	0	0
Chlorophyta	*Pediastrum boryanum*	1	1	1	1	1	1
	Ulothrix sp.	1	1	0	1	1	1

EVALUACIONES AMBIENTALES · V°B° · DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

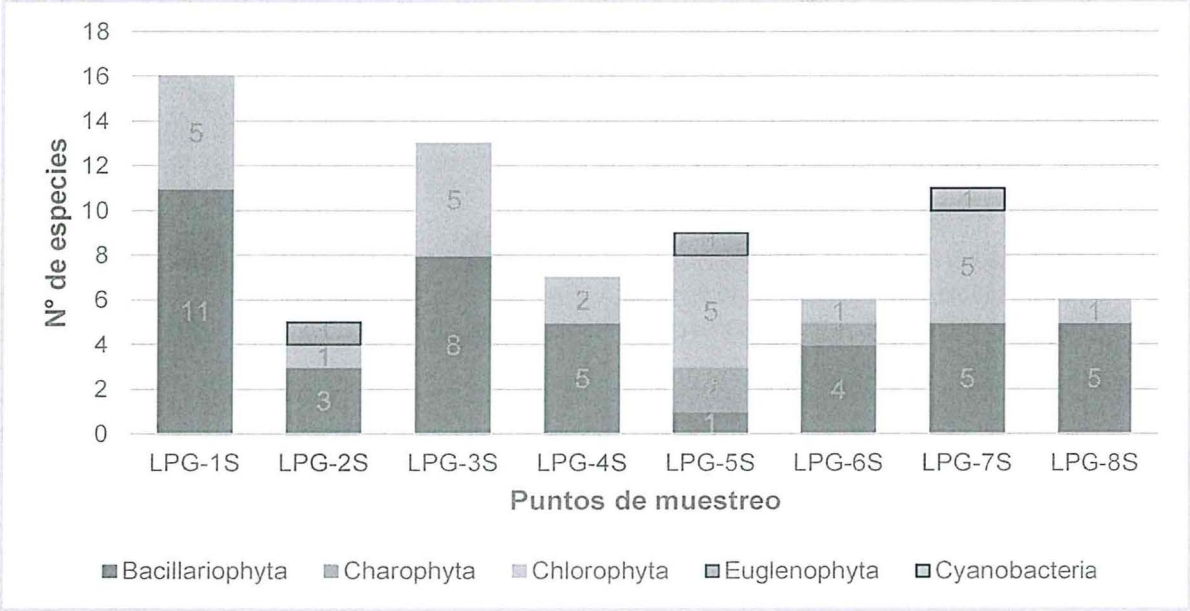
3.3.1.3 Fitoplancton (agosto - 2015)

a. Composición y riqueza de especies:

224. Se colectaron muestras en ocho (8) estaciones y se obtuvo un total 29 especies, representadas en 27 familias, 21 órdenes, nueve (9) clases y cinco (5) phyla. Destacó el phylum Bacillariophyta (Diatomeas) con 17 especies seguida de Chlorophyta con siete (7) especies, Charophyta con tres (3) especies, Euglenophyta y Cyanobacteria con una (1) especie cada uno (Gráfico 3-54).

225. Las estaciones con mayor riqueza de especies fueron LPG-1S LPG-3S y LPG-7S.

Gráfico 3- 53: Distribución de especies de Fitoplancton por phylum en el embalse Pasto Grande en agosto de 2015



Fuente: Elaboración propia.

b. Abundancia (Densidad):

226. El phylum con mayor densidad en todas las estaciones fue Chlorophyta, seguido por el phylum Bacillariophyta.

227. *Chlorogonium* sp. estuvo presente en todas las estaciones de muestreo en las cuales fue siempre la especie dominante. Destacan también Chlorophyta indeterminado 2 por su alta abundancia y la diatomea *Pinnularia* sp. por su alta densidad y presencia en la mayoría de estaciones.

228. La estación LPG-1S presentó la mayor densidad de *Chlorogonium* sp. con 7 138 563 Organismos/L de la abundancia relativa otras especies que destacan son *Surirella* sp. y *Pinnularia* sp. con 86 y 72 Organismos/L respectivamente.

229. En la estación LPG-2S *Chlorogonium* sp. tuvo 53 910 Organismos/L, seguido por *Aulacoseira* sp. (560 Organismos/L), *Pinnularia* sp. (24 Organismos/L) y *Euglena* sp. (12 Organismos/L) como las especies más abundantes.

230. En la estación LPG-3S dominó *Chlorogonium* sp. con 67 142 Organismos/L seguido de *Oedogonium* sp. (1064 Organismos/L), *Pediastrum duplex* (262 Organismos/L) y *Pinnularia* sp. (164 Organismos/L).

231. La estación LPG-4S *Chlorogonium* sp. dominó con 114 028 Organismos/L seguido de *Pediastrum dúplex* (48 Organismos/L), *Frustulia* sp. (32 Organismos/L) y *Pinnularia* sp. (30 Organismos/L) como las especies con mayor densidad.

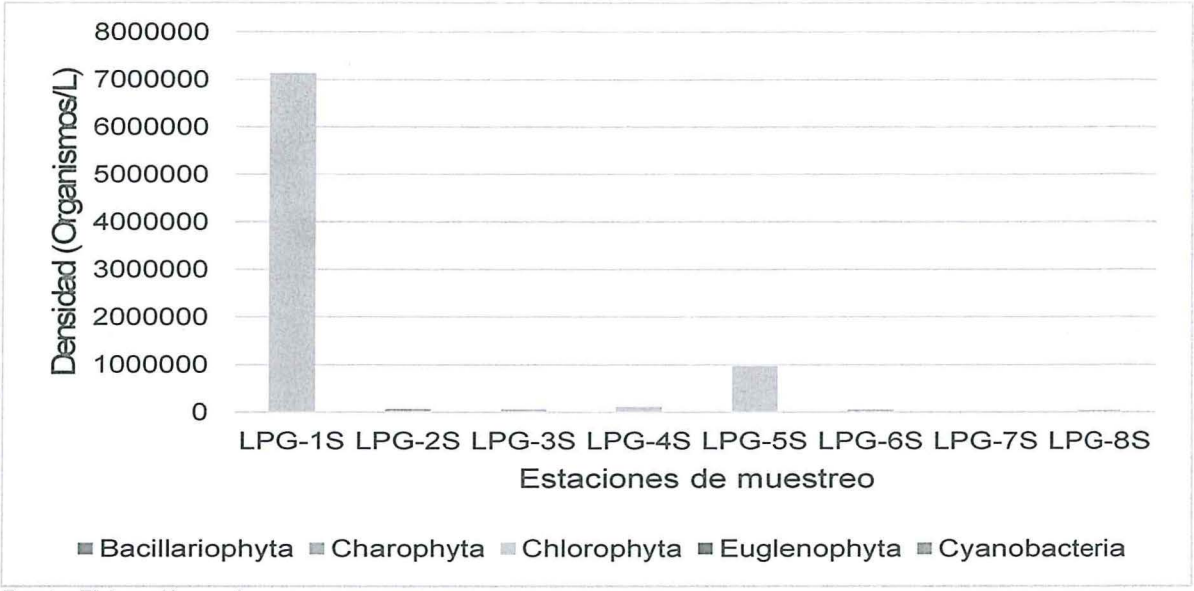
232. La estación LPG-5S estuvo dominada por *Chlorogonium* sp. con 568 472 Organismos/L, seguido por Chlorophiceae Indeterminado 2 con 385 515 Organismos/L, *Oedogonium* sp. con ocho (8) Organismos/L y Ulvophyceae Indeterminado 3 con ocho (8) Organismos/L.

233. La estación LPG-6S estuvo dominada por *Chlorogonium* sp. (58 454 Organismos/L), seguido por las diatomeas *Aulacoseira* sp. (72 Organismos/L), Bacillariophyta indeterminado 1 (16 Organismos/L) y *Synedra* sp. con ocho (8) Organismos/L.

234. En la estación LPG-7S dominaron las clorofitas *Chlorogonium* sp. (1152 Organismos/L), Chlorophyceae Indeterminado 2 (448 Organismos/L) y Ulvophyceae Indeterminado 3 (76 Organismos/L). Destacan también las diatomeas Bacillariophyta Indeterminado 1 (72 Organismos/L) y *Pinnularia* sp. (40 Organismos/L).

235. La estación LPG-8S estuvo dominada por *Chlorogonium* sp. (43 618 Organismos/L), seguido por las diatomeas *Pinnularia* sp. (152 Organismos/L), *Aulacoseira* sp. (84 Organismos/L).

Gráfico 3- 54: Densidad del Fitoplancton por phylum en el embalse Pasto Grande en agosto de 2015



Fuente: Elaboración propia.

c. Índices de diversidad:

236. Los valores de los índices de diversidad asociados a la comunidad de fitoplancton del embalse Pasto Grande se resumen en la Tabla 3-8.

237. La diversidad de Shannon (H') varió desde 0,013 bits/Individuo en la estación LPG-1S hasta 0,974 y 1,589 bits/Individuo en las estaciones LPG-5 y LPG-7S respectivamente, los valores fueron relativamente bajos, influenciados por la gran abundancia de *Chlorogonium* sp. y Chlorophyceae indeterminado 2.

238. El Índice de dominancia de Simpson (1-Lambda) varió desde 0,002 en la estación LPG-1S hasta 0,548 en la estación LPG-7S. Los valores observados son bajos, y están relacionados al alga verde *Chlorogonium* sp. cuya densidad fue mayor todas las estaciones.

239. El Número de Hill N1 varió desde 1,01 especies efectivas en la estación LPG-1S hasta 3,01 especies efectivas en la estación LPG-7S, lo que nos indica que la comunidad en todas las estaciones tiene una diversidad igual o menos que una comunidad conformada por sólo 3 especies con abundancias distribuidas uniformemente (Moreno *et al.*, 2010). El número de Hill N2 varió desde 1 en la estaciones PLG-1S, PLG-4S y PLG-6S hasta 2,21 en la estación PLG-7S.

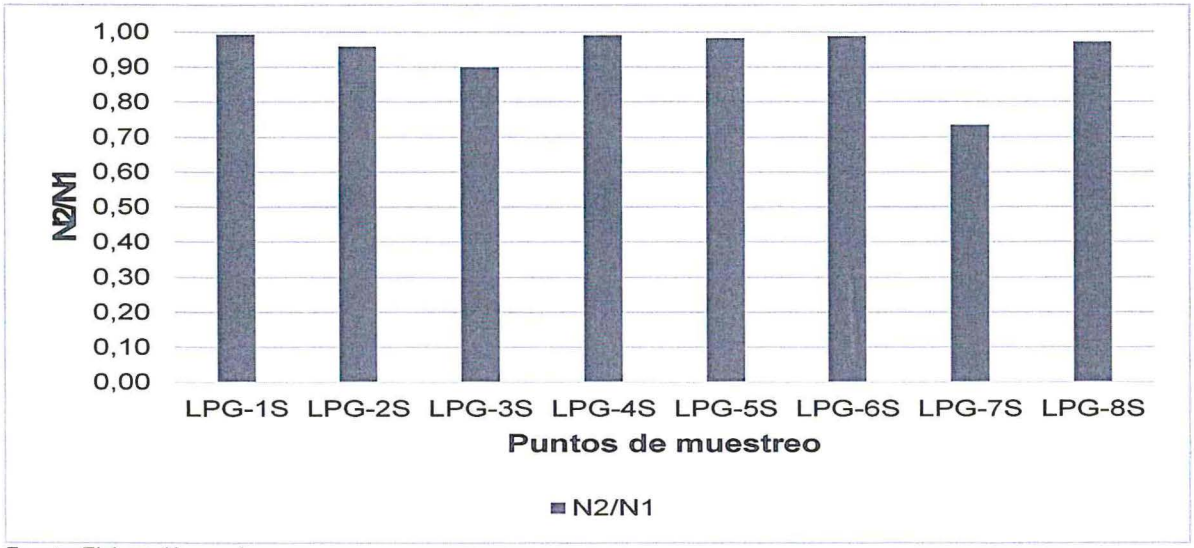
240. La relación entre N2 y N1 (Gráfico 3-56) es una medida de equitabilidad la cual no es afectada por la riqueza de especies (Hill, 1973), tenemos que varía desde 0,74 en la estación LPG-7S hasta 0,99 en las estaciones PLG-1S, PLG-4S Y PLG-6S. Esto nos indica que las abundancias se encuentran distribuidas equitativamente con la dominancia de unas pocas especies.

Tabla 3- 8: Índices de diversidad de la comunidad de Fitoplancton en el embalse Pasto Grande en Agosto de 2015

Código de las estaciones evaluadas	Índices de diversidad				
	H'(log2)	1-Lambda	N1	N2	N2/N1
LPG-1S	0,013	0,002	1,01	1,00	0,99
LPG-2S	0,093	0,022	1,07	1,02	0,96
LPG-3S	0,228	0,051	1,17	1,05	0,90
LPG-4S	0,016	0,002	1,01	1,00	0,99
LPG-5S	0,974	0,482	1,96	1,93	0,98
LPG-6S	0,021	0,004	1,02	1,00	0,99
LPG-7S	1,589	0,548	3,01	2,21	0,74
LPG-8S	0,059	0,011	1,04	1,01	0,97

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3- 55: Relación de los Números de Hill para el Fitoplancton del embalse Pasto Grande en Agosto de 2015



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3- 9: Lista de especies de Fitoplancton del embalse Pasto Grande en agosto de 2015

PHYLUM	ESPECIE	LPG-1S	LPG-2S	LPG-3S	LPG-4S	LPG-5S	LPG-6S	LPG-7S	LPG-8S
Bacillariophyta	*Brachysira* sp.	48	0	0	0	0	0	0	0
	Frustulia sp.	24	0	100	32	0	0	0	0
	Navicula sp.	68	0	32	0	0	4	0	0
	Pinnularia sp.	72	24	164	30	4	0	40	152
	Hantzschia sp.	0	0	0	4	0	0	0	0
	Eunotia sp.	4	0	0	0	0	0	0	0
	Surirella sp.	86	8	126	0	0	0	4	4
	Cocconeis placentula	0	0	16	0	0	0	0	0
	Achnanthidium sp.	0	0	0	20	0	0	0	0
	Cymbella sp.	0	0	12	0	0	0	0	0
	Ephitemia sp.	0	0	0	0	0	0	0	8
	Aulacoseira sp.	0	560	0	0	0	72	20	84
	Diatoma sp.	4	0	0	0	0	0	0	0
	fragilaria crotonensis	64	0	4	0	0	0	0	0
	Synedra sp.	58	0	32	6	0	8	4	0
	Ulnaria ulna	8	0	0	0	0	0	0	0
	Indeterminado 1	16	0	0	0	0	16	72	4
Charophyta	*Gonatozygon* sp.	0	0	0	0	4	0	0	0
	Staurastrum sp.	0	0	0	0	0	4	0	0
	Mougeotia sp.	0	0	0	0	4	0	0	0
Chlorophyta	Indeterminado 2	7515	0	16	0	385515	0	488	0
	Chlorogonium sp.	7138563	53910	67142	114028	568472	58454	1152	43618
	Pediastrum boryanum	4	0	0	0	4	0	0	0
	Pediastrum duplex	8	0	232	48	0	0	4	0
	Oedogonium sp.	0	0	1064	0	8	0	0	0
	Indeterminado 3	72	0	0	0	8	0	76	0
	Ulothrix sp.	0	0	4	0	0	0	4	0
Euglenophyta	*Euglena* sp.	0	12	0	0	4	0	0	0
Cyanobacteria	Indeterminado 4	0	0	0	0	0	0	4	0

Fuente: Elaboración propia.

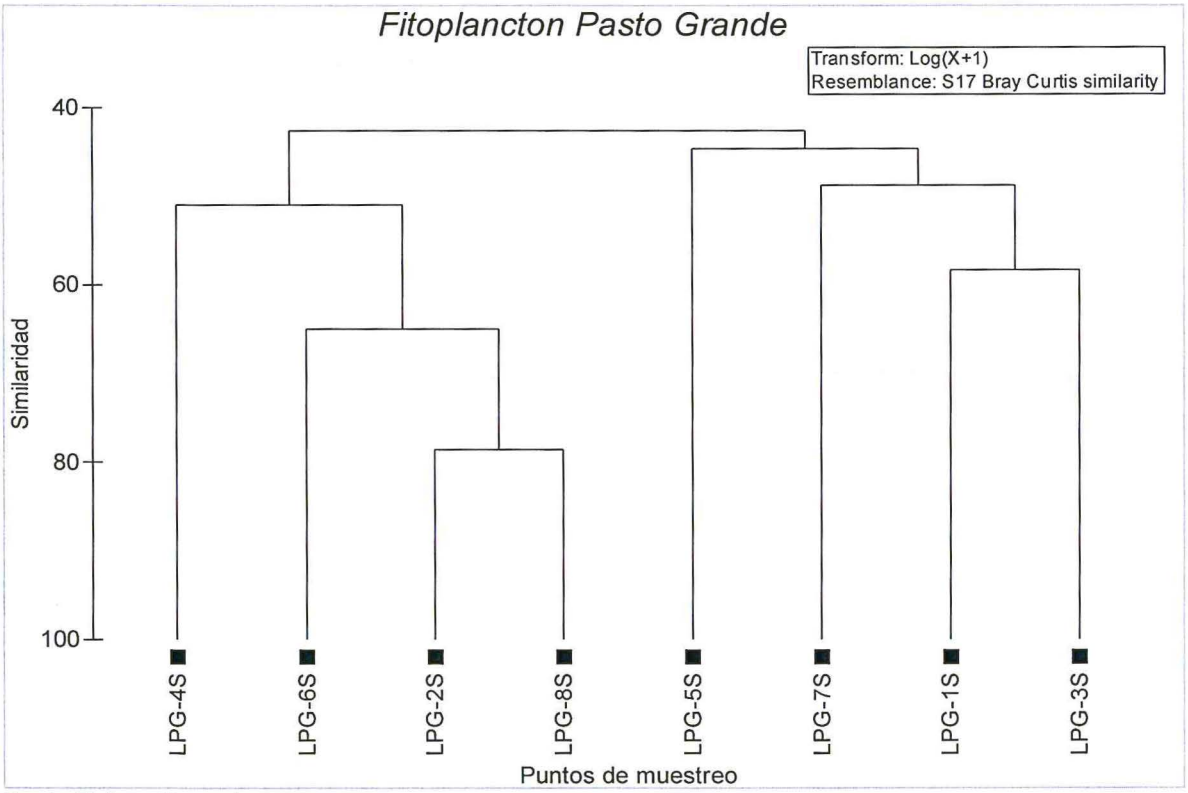
d. Análisis Estadístico:

241. Para evaluar la similaridad entre las estaciones monitoreadas se realizó un análisis de conglomerados (Gráfico 3-57), donde se puede apreciar dos grupos, el primero conformado por las estaciones LPG-2S, LPG-4S, LPG-6S Y LPG-8S con un 50,9% de similaridad, el segundo grupo está conformado por las estaciones LPG-1S, LPG-3S, LPG-5S y LPG-7S con 44,6% de similaridad. Sin embargo se puede apreciar una mayor similaridad entre las estaciones LPG-2S, LPG-6S y LPG-8S las cuales tienen una composición de especies similar.

242. El Gráfico del escalamiento multidimensional no paramétrico (Gráfico 3-58) muestra una distribución en el espacio significativa (Stress<0,1) evidenciando una vez más las congruencias entre las estaciones LPG-2S, LPG-6S y LPG-8S, las que presentaron menor riqueza y una mayor similaridad en distribución y composición de especies; sin embargo, las demás estaciones se encuentran más dispersas.

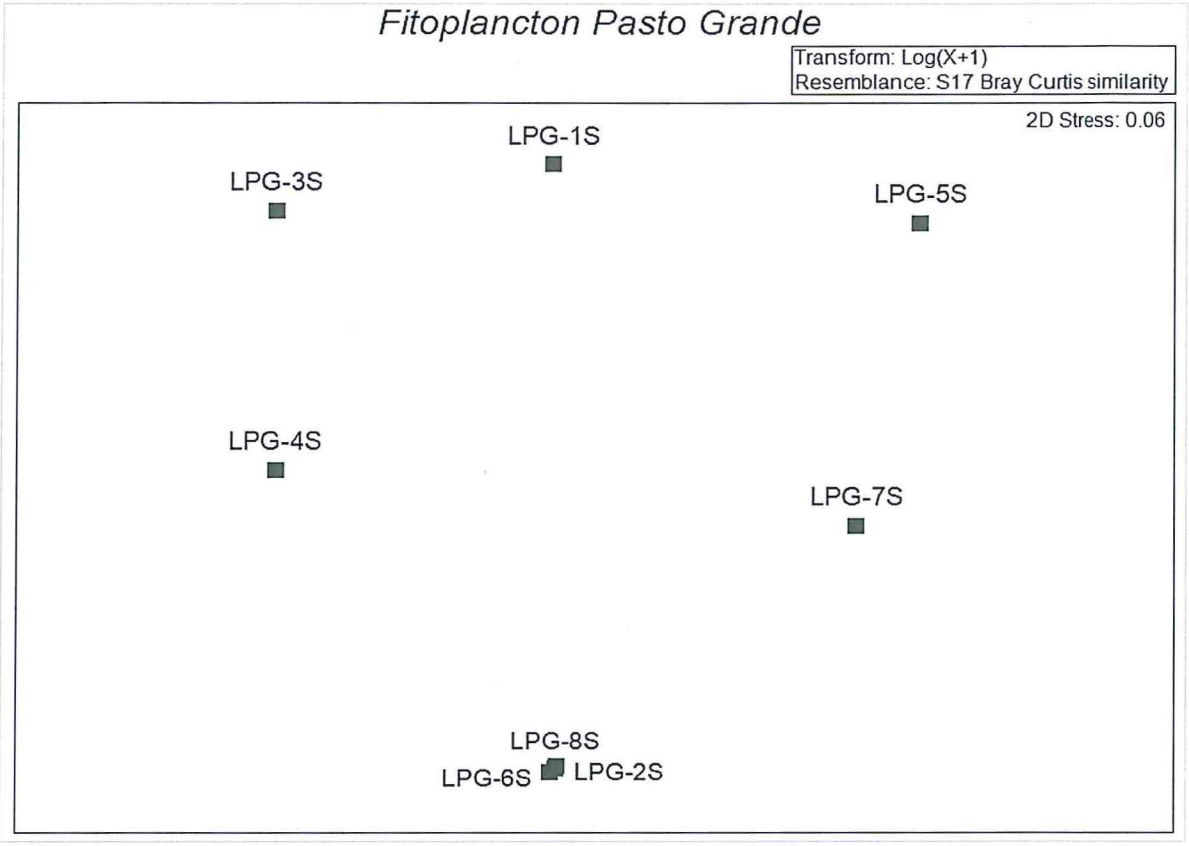
243. Se observó la dominancia de las algas verdes en todas las estaciones con la presencia de *Chlorogonium* sp., *Oedogonium* sp. y *Pediastrum dúplex*, indicadores de aguas mesotróficas a eutróficas, con presencia de materia orgánica (Pinilla, 2000). En el caso de las diatomeas destacaron como las más abundantes *Pinnularia* sp., la cual puede indicar aguas oligotróficas a eutróficas y *Aulacoseira* sp. indicadora de aguas eutróficas, con carga de materia orgánica (Pinilla, 2000).

Gráfico 3- 56: Análisis de conglomerados de las estaciones de muestreo de Fitoplancton del embalse Pasto Grande en agosto de 2015



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3- 57: Análisis de ordenamiento del Fitoplancton del embalse Pasto Grande en agosto de 2015



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.4 Zooplancton

a. Composición y riqueza de especies

244. Se evaluaron un total de 14 especies distribuidas en 11 familias, ocho (8) órdenes, ocho (8) clases y cinco (5) phyla. Se encontró en las estaciones evaluadas; seis (6) especies de rotíferos, cuatro (4) especies de Protozoa, dos (2) especies de Ciliophora, una (1) especie de Arthropoda y una (1) especie de Nematoda (Gráfico 3-59). Las especies más frecuentes fueron el artrópodo Larva calanoida, los rotíferos Indeterminado 1 y *Arcella* sp. y el protozoo *Trinema* sp.

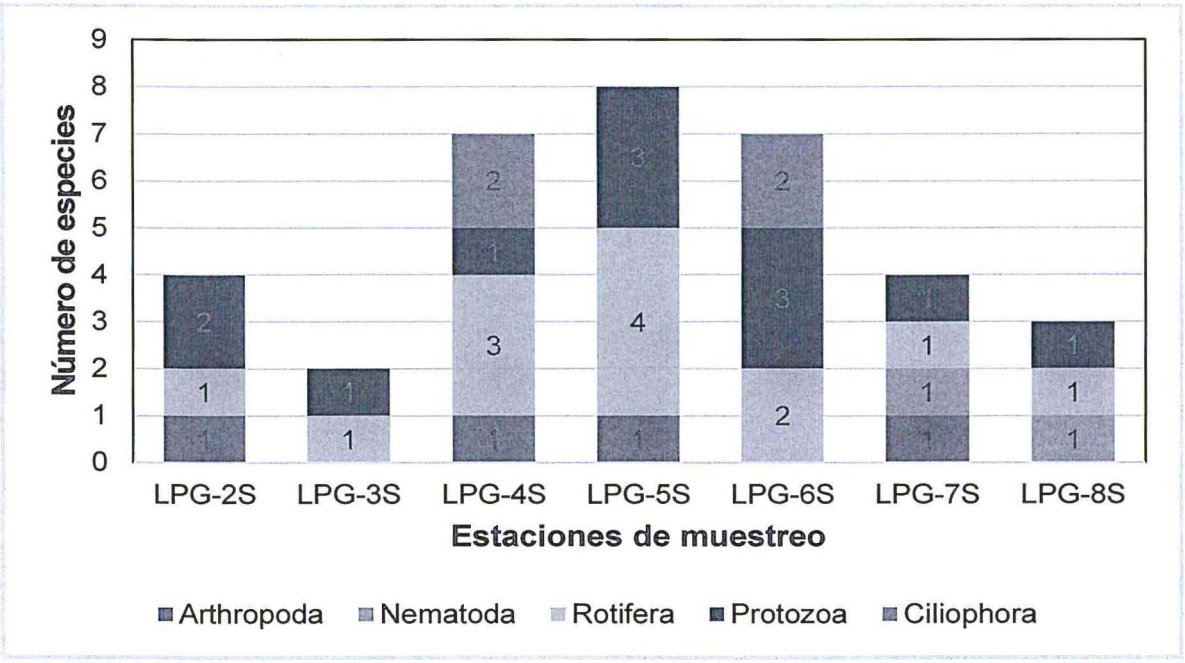
245. En la composición de especies por estación se encontró que la estación con mayor número de especies fue LPG-5S con ocho (8), cuatro (4) especies de Rotíferos, tres (3) especies de Protozoa y una (1) especie Arthropoda.

246. En la estación LPG-4S se encontró siete (7) especies, tres (3) especies de Rotíferos, dos (2) especies de Ciliophora y 1 especie de Protozoa y Arthropoda.

247. En la estación LPG-6S se encontró siete (7) especies, tres (3) especies de Protozoa, dos (2) especies de Rotífera y Ciliophora. En la estación LPG-2S se encontró cuatro (4) especies compuesto por dos (2) especies de Protozoa una (1) especie de Arthropoda y Rotífera.

248. En la estación LPG-8S se encontró tres (3) especies compuesto por una (1) especie de Nematoda, Rotífera y Protozoa. La estación con menor número de especies fue LPG-3S con una (1) especie de Protozoa y Rotífera.

Gráfico 3- 58: Distribución de especies de Zooplancton por phylum en el embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

b. Abundancia (Densidad)

249. Se encontró que el grupo dominante fue Rotifera con 23 Organismos/L, Protozoa con 16 Organismos/L, Ciliophora con 12 Organismos/L, Arthropoda con cinco (5) Organismos/L y Nematoda con dos (2) Organismos/L (Gráfico 3-60).

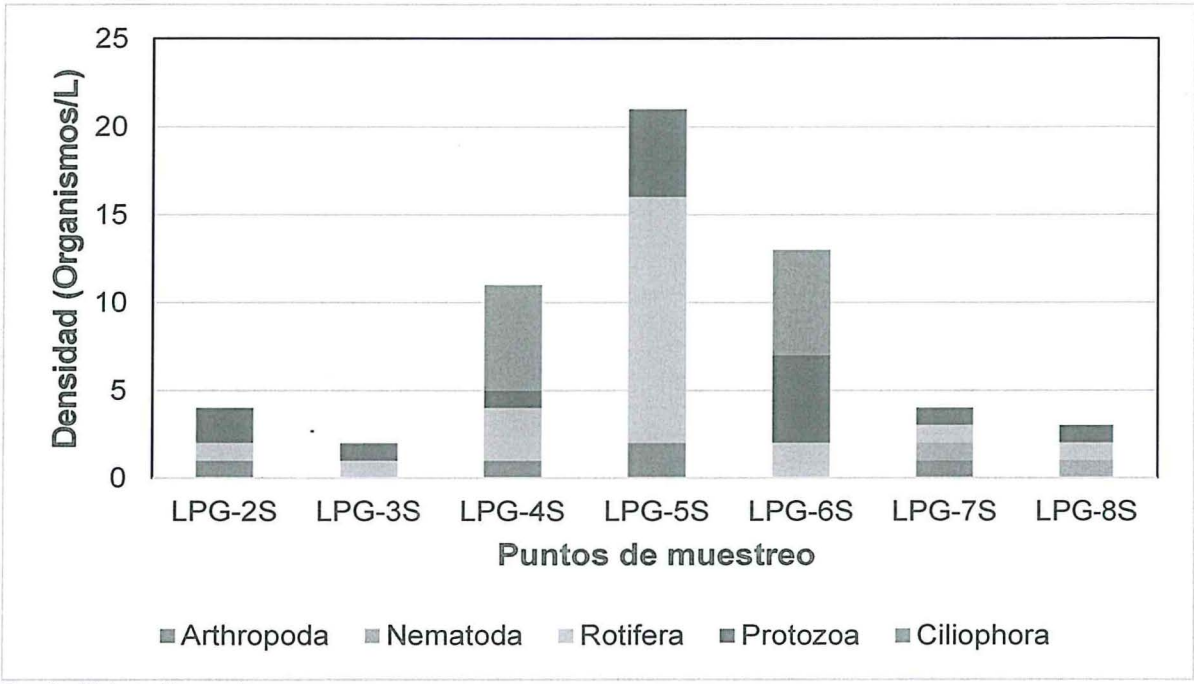
250. La estación LPG-2S fue dominada por el grupo Protozoa (2 Organismos /L) con las especies *Arcella* sp. y *Centropyxis sp.* La estación LPG-3S estuvo dominada por Rotifera y Protozoa con las especies Indeterminado 1 y *Arcella* sp. respectivamente (1 Organismo/L en cada estación).

251. En la estación LPG-4S el grupo Ciliophora dominó con las especies Indeterminado 2 *y Vorticella* sp. (4 y 2 Organismos/L respectivamente).

252. La estación LPG-5S estuvo dominada en un por el grupo Rotifera con las especies Indeterminado 1 y *Colurella* sp. LPG-6S estuvo dominada por el grupo Ciliophora con la especie Indeterminado 2.

253. En la estación LPG-7S estuvieron presentes todos los phyla distribuidos equitativamente con excepción del grupo Ciliophora y en la estación LPG-8S se encontró los phyla Nematoda, Rotifera y Protozoa con 1 Organismo/L en cada caso.

Gráfico 3- 59: Densidad del Zooplancton por Phylum en el embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

c. Índices de diversidad

254. Los índices de diversidad asociados a la comunidad de zooplancton del embalse Pasto Grande se resumen en la Tabla 3-10.

255. El índice de diversidad de Shannon (H') en cada estación resulto con valores de H' entre 1 a 2,63 bits. El valor más alto se presentó en la estación LPG-5S con 2,63 bits seguido de las estaciones LPG-4S con 2,55 bits, lLPG-6S con 2,5 bits, LPG-2S y LPG-7S con 2,0 bits, LPG-8S con 1,59 bits y LPG-3S con 1,00 bits siendo esta última la estación que presento el menor valor de H'.

256. En la Dominancia de Simpson (1-lambda) en cada estación resultó con valores entre 0,50 a 0,80, la mayoría cercano a 1 (baja dominancia). El valor más alto se presentó en la estación LPG-5S con 0,80 seguido de las estaciones LPG-4S con 0,79, lLPG-6S con

0,78, LPG-2S y LPG-7S con 0,75, LPG-8S con 0,67 y LPG-3S con 0,50 siendo esta última la estación que presento el menor valor de dominancia.

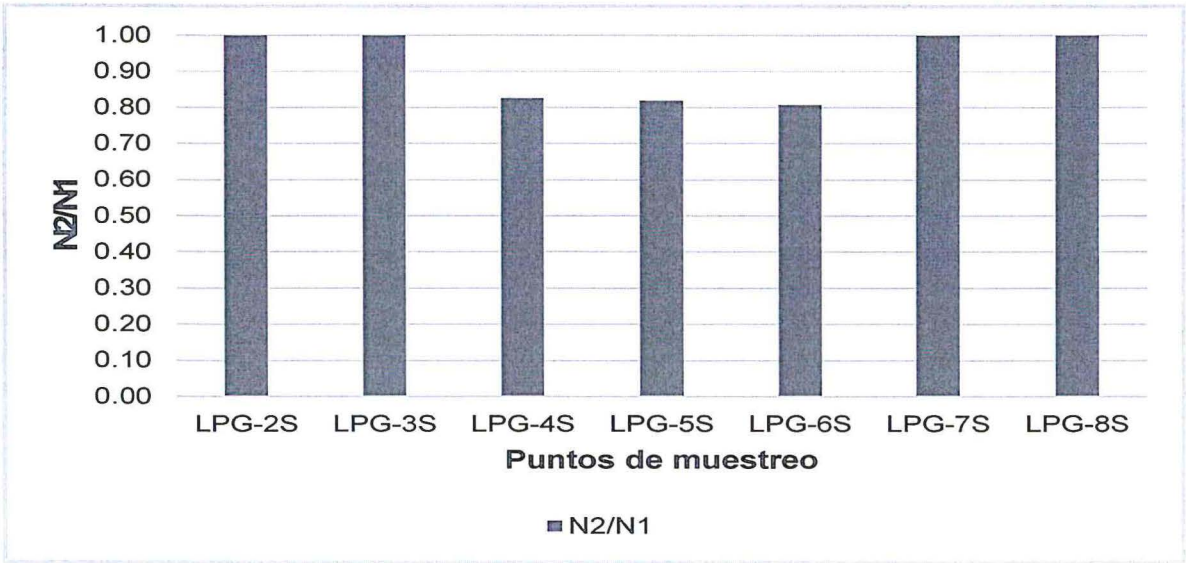
257. En cuanto a los números de diversidad de Hill resultó que N1 relacionado al índice de Shannon presentó el valor de 6,19 en la estación LPG-5S seguido de las estaciones LPG-4S (5,86), lLPG-6S (5.66), LPG-2S y LPG-7S con 4,00, LPG-8S con 3,00 y LPG-3S con 2,00 siendo esta última la estación que presento el menor valor. Así también N2 relacionado con índice de Simpson presentó en la LPG-5S un valor de 5,07 seguido de las estaciones LPG-4S con 4,84, lLPG-6S con 5,66, LPG-2S y LPG-7S con 4,00, LPG-8S con 3,00 y LPG-3S con 2,00 siendo esta última la estación que presento el menor valor. Así también N2/N1 relacionado con índice de equitabilidad presentó valores altos entre 0,82 a 1,00 presentando una distribución homogénea en todas las estaciones (Gráfico 3-61 y Tabla 3-11).

Tabla 3- 10: Índices de diversidad de la comunidad de Zooplancton en Pasto Grande

Código de las estaciones evaluadas	Índices de diversidad				
	H'(log2)	1-Lambda	N1	N2	N2/N1
LPG-2S	2,000	0,750	4,00	4,00	1,00
LPG-3S	1,000	0,500	2,00	2,00	1,00
LPG-4S	2,550	0,793	5,86	4,84	0,83
LPG-5S	2,629	0,803	6,19	5,07	0,82
LPG-6S	2,500	0,781	5,66	4,57	0,81
LPG-7S	2,000	0,750	4,00	4,00	1,00
LPG-8S	1,585	0,667	3,00	3,00	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3- 60: Relación de los Números de Hill para el Zooplancton del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3- 11: Lista de especies del Zooplancton del embalse Pasto Grande

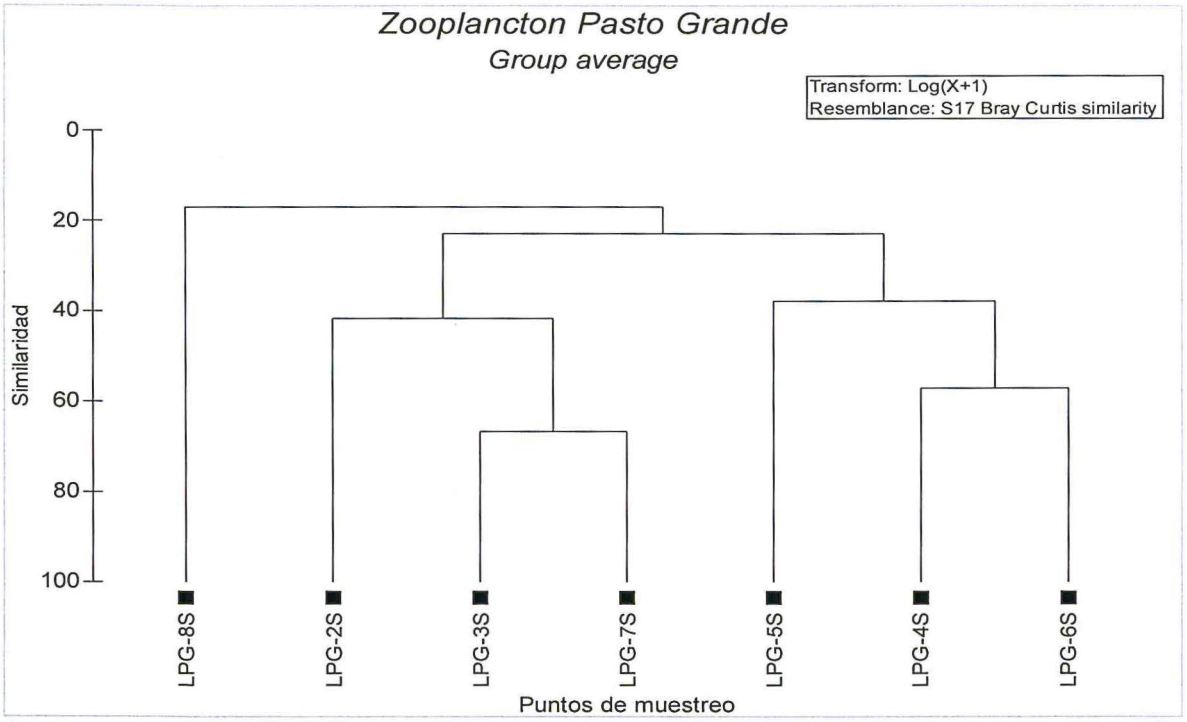
PHYLUM	Especie	LPG-2S	LPG-3S	LPG-4S	LPG-5S	LPG-6S	LPG-7S	LPG-8S
Arthropoda	Larva Calanoida	1	0	1	2	0	1	0
Nematoda	Indeterminado 4	0	0	0	0	0	1	1
Rotifera	*Keratella* sp.	1	0	0	0	0	0	1
	Keratella cochlearis	0	0	1	0	0	0	0
	Cephalodellla sp.	0	0	1	1	0	0	0
	Lecane sp.	0	0	0	1	0	0	0
	Colurella sp.	0	0	0	6	1	0	0
	Indeterminado 1	0	1	1	6	1	1	0
Protozoa	*Arcella* sp.	1	1	0	2	0	1	0
	Centropyxis sp.	1	0	0	1	1	0	0
	Difflugia sp.	0	0	0	0	2	0	0
	Trinema sp.	0	0	1	2	2	0	1
Ciliophora	*Vorticella* sp.	0	0	2	0	1	0	0
	Indeterminado 2	0	0	4	0	5	0	0

Fuente: Elaboración propia.

d. Análisis Estadístico

258. El clúster agrupo a las estaciones en dos grupos definidos con un 40% de similaridad el primer grupo están las estaciones LPG-5S, LPG-4S y LPG-6S y en el segundo grupo encontramos las estaciones LPG-2S, LPG-3S y LPG-7S. La estación LPG-8S muestra menor similaridad alejándose del grupo (similaridad <20%) (Gráfico 3-62).

Gráfico 3- 61: Análisis de similaridad mediante Conglomerados de las estaciones de muestreo de Zooplancton en el embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.5 Macroinvertebrados bentónicos

259. Se consideran como macroinvertebrados a todos los animales invertebrados que tienen un tamaño superior a 500 µ. Constituyen el grupo dominante en los ríos, aunque también se encuentran en la zona litoral y el fondo de lagos, lagunas y embalses (UNMSM-MHN, 2014). La estructura de la comunidad en embalses está muy relacionada a la productividad así como a los parámetros fisicoquímicos que influyen en la sucesión del macrobentos en embalses (Ramson & Dorris, 1972; Peso & Bechara, 1999; Meichtry *et al.*, 2010).

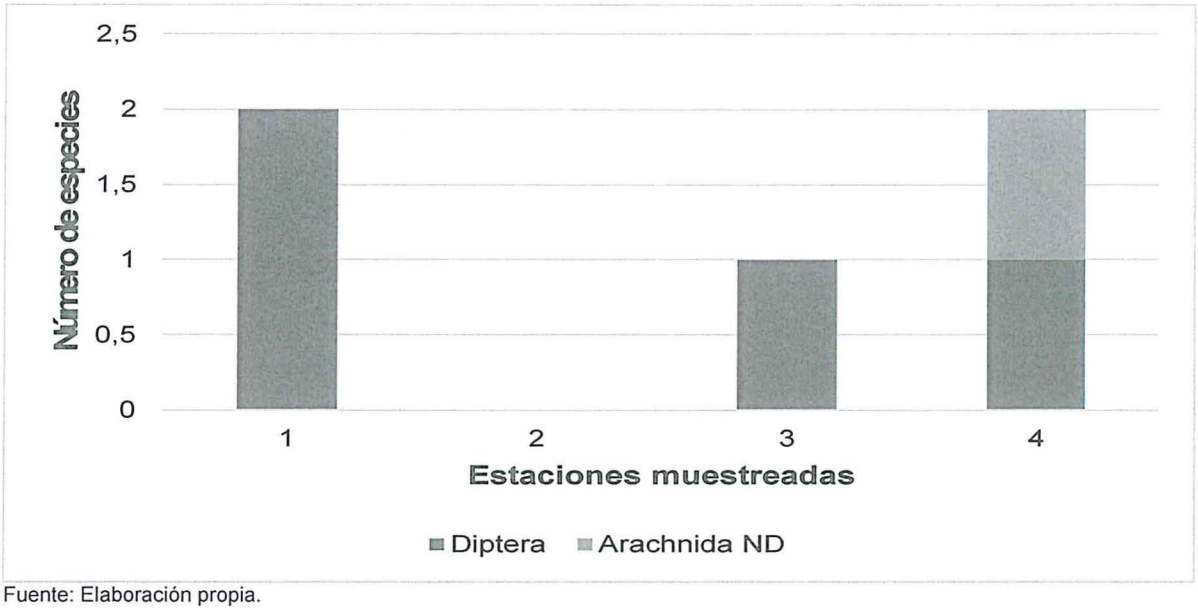
a. Composición y riqueza de especies:

260. Se colectaron muestras en cuatro (4) estaciones en Pasto Grande, y se obtuvieron tres (3) especies del phylum Arthropoda distribuidas en dos (2) familias, dos (2) órdenes y dos (2) clases (Gráfico 3-63). El orden con mayor número de especies fue Chironomida, el cual presentó dos especies indeterminadas en diferente estadio de desarrollo (larva y pupa), el orden Arachnida estuvo representado por una sola especie (*Acari* adulto indeterminado).

- En la estación 1 se observó la presencia de dos (2) táxones, Chironomidae indeterminado (Larva) y Chironomidae indeterminado (Adulto).

- En la estación 2 los análisis revelaron ausencia de macroinvertebrados bentónicos.
- En la estación 3 solo se observó la presencia de Chironomidae indeterminado (larva).
- En la estación 4 la comunidad estuvo conformada por Chironomidae indeterminado (larva) y *Acari* indeterminado (adulto).

Gráfico 3- 62: Distribución de táxones por órdenes de macroinvertebrados bentónicos en el embalse Pasto Grande



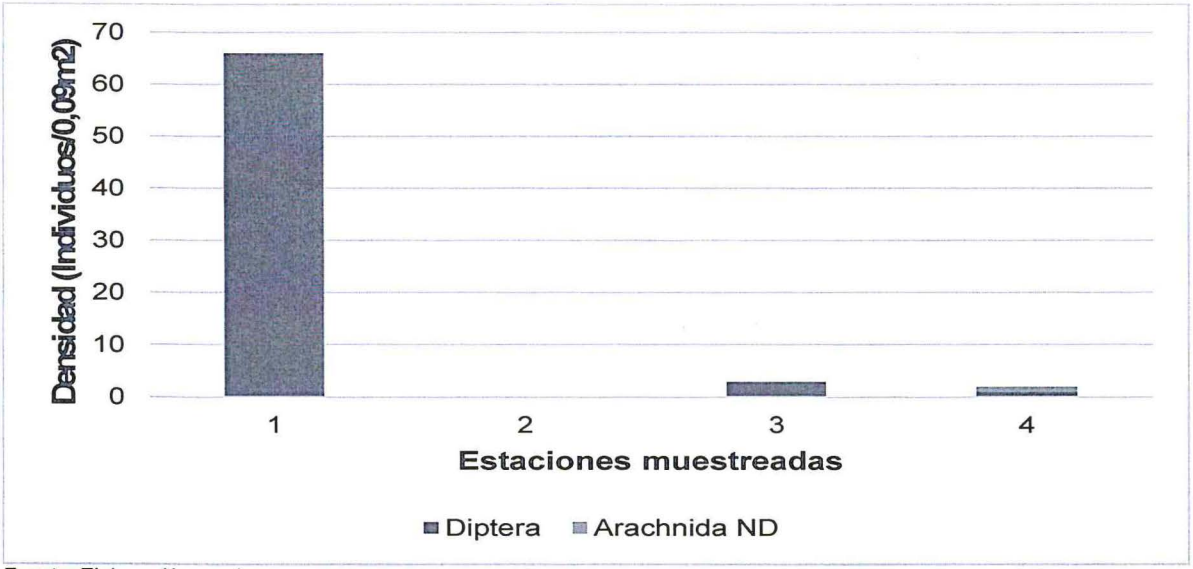
Fuente: Elaboración propia.

b. Abundancia (Densidad):

261. Se registró una densidad total de 71 individuos/0,09m^2 con dominancia del orden Díptera, seguido por el orden Arachnida ND (Gráfico 3-64 y Tabla 3-13).

- En la estación 1, la larva de Chironomidae fue el taxon más abundante con 65 individuos/0,09m^2, seguido por pupa de Chironomidae con 1 individuo/0,09m^2.
- En la estación 2 no se observaron macroinvertebrados bentónicos.
- La estación 3 presentó solamente el taxon Larva de Chironomidae con 3 individuos/0,09m^2.
- La estación 4 presentó los táxones Larva de Chironomidae (1 individuo/0,09m^2) y Adulto de Acari (1 individuo/0,09m^2).

Gráfico 3 - 63: Densidad de táxones de macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

c. Índices de diversidad:

262. En la Tabla 3-12 se observan los valores de los índices de diversidad asociados a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande.

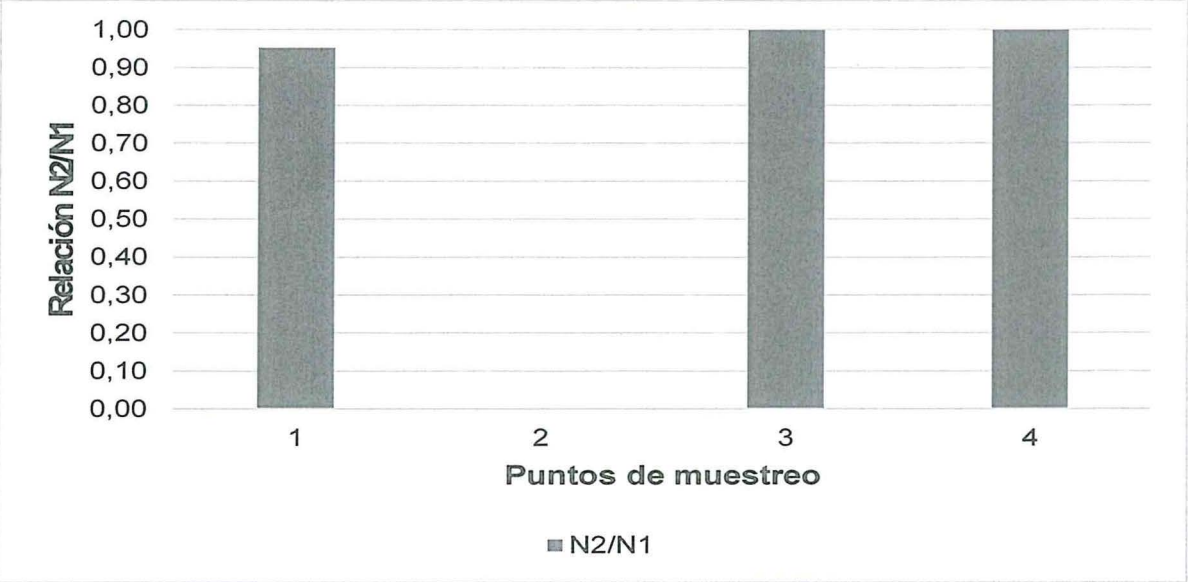
263. La diversidad de Shannon varió desde 0 bits/Individuo en las estaciones 2 y 3 hasta 1 bits/Individuo en la estación 4. El índice de Simpson fue nulo para la estación 2 debido a la ausencia de especies, en la estación 3 fue cero y en la estación 4 alcanzó su mayor valor (0,5). Los números de Hill variaron entre 1,00 y 2,00 para ambos índices (N1 y N2), los cuales se ven afectados por la baja riqueza de especies hallada en todas las estaciones. La relación N2/N1 evidencia una alta dominancia en la mayoría de estaciones (Tabla 3-12 y Gráfico 3-65).

Tabla 3- 12: Índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande

Código de la estación	Índices de diversidad				
	H'(log2)	1-Lambda	N1	N2	N2/N1
1	0,113	0,030	1,08	1,03	0,95
2	0,000	****	1,00	****	****
3	0,000	0,000	1,00	1,00	1,00
4	1,000	0,500	2,00	2,00	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3- 64: Relación de los Números de Hill para los macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3- 13: Lista de especies de macroinvertebrados bentónicos del embalse Pasto Grande

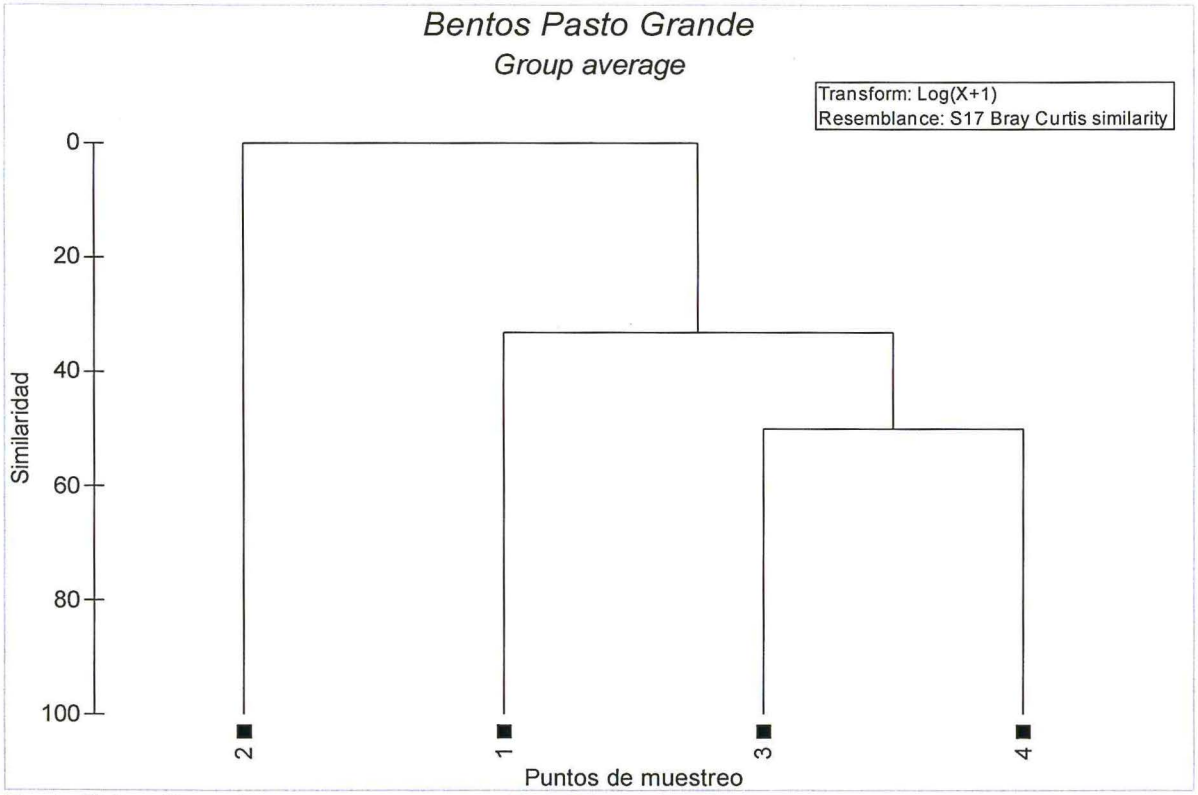
PHYLUM	ESPECIE	PG-1	PG-2	PG-3	PG-4
Arthropoda	Pupa de Chironomidae	1	0	0	0
	Larva de Chironomidae	65	0	3	1
	Adulto de Acari	0	0	0	1

Fuente: Elaboración propia.

d. Análisis Estadístico

264. Se realizó un análisis de conglomerados para evaluar la similaridad entre las estaciones monitoreadas. Se halló que las estaciones 3 y 4 mostraron una similaridad del 50% y este grupo a su vez tiene una similaridad del 33,2% con la estación 1 (Gráfico 3-66).

Gráfico 3- 65: Análisis de similaridad mediante Conglomerados de las estaciones de muestreo de macrobentos en el embalse Pasto Grande



Fuente: Elaboración propia.

e. Indicadores Biológicos (Índices de Calidad):

265. El índice de calidad ABI no se calculó debido a la poca cantidad de datos y especies halladas en los análisis (Ríos *et al.*, 2009; Acosta *et al.*, 2009).

266. La comunidad estuvo representada por insectos del orden Chironómida indicadores de aguas medianamente a muy contaminadas, con carga de materia orgánica; sin embargo, se observó la presencia del grupo Acari indicadores de aguas limpias a ligeramente contaminadas (Dominguez, 2012; Pinilla, 2000).

3.3.2 Fauna silvestre

267. Los recorridos se realizaron entre las 10:00h y 14:00h, caminado a una velocidad de 1,5 km/h en promedio. Para cada avistamiento, se anotó la fecha, hora, lugar, tipo de hábitat, información de la especie, número de individuos (en caso de manadas) y la localización geográfica (UTM). En total se evaluaron 05 transectos de 900 m.

268. Adicionalmente se realizaron avistamientos de la avifauna tanto en la parte central del embalse como en las márgenes de los principales ríos que desembocan en el mismo.

269. En el periodo comprendido entre el 02 y 06 de agosto de 2015, se efectuaron tres días de estudio de campo en el embalse Pasto Grande.

3.3.2.1 Censo de fauna silvestre

270. Se recorrieron un total 4000 m entre los cinco transectos (solo recorrido de ida), logrando registrar tres (3) especies de fauna de silvestre. Los mayores registros ocurrieron en los transectos 01 y 05, en el primero de ellos se contabilizaron al menos 18 individuos de vizcacha, *Lagidium peruanum*. En el transecto 05, registramos una manada silvestre de vicuña, *Vicugna vicugna*. En los transectos 04 y 05 se observaron rastros de alimentación (madriguera de alimentación) de añas, *Conepatus chinga.* Ver Tabla 3-14.

Tabla 3- 14: Especies de mamíferos silvestres registrados en los transectos ubicados al borde del embalse Pasto Grande.

Orden	Familia	Especie	Transectos		
			Transecto 01	Transecto 04	transecto 05
Cetartiodactyla	Camelidae	*Vicugna vicugna*			Od
Rodentia	Chinchillidae	*Lagidium peruanum*	Od		
Carnivora	Mephitidae	*Conepatus chinga*		Hu	Hu

Hu: Huella
Od: Observación directa.
Fuente: Elaboración propia.

271. En relación a la avifauna, se registraron 12 especies de aves que hacen uso de las aguas del embalse, entre las que destacan el pato barcino, *Anas flavirostris*, el pato de la puna, *Anas puna* con 13 individuos y el flamenco chileno *Phoenicopterus chilensis*. Ver Tabla 3-15.

Tabla 3- 15: Especies de aves registradas al borde del embalse Pasto Grande

Orden	Familia	Especie	Transectos				
			Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4	Transecto 5
Anseriformes	Anatidae	*Anas flavirostris*	Od				
Anseriformes	Anatidae	*Anas puna*		Od			
Anseriformes	Anatidae	*Lophonetta specularioides*					Od
Anseriformes	Anatidae	*Chloephaga melanoptera*	Od				
Passeriformes	Furnariidae	*Cinclodes albiventris*	Od				
Passeriformes	Furnariidae	*Asthenes pudibunda*	Od				
Passeriformes	Tyrannidae	*Muscisaxicola griseus*	Od				
Passeriformes	Tyrannidae	*Lessonia oreas*					Od
Phoenicopteriformes	Phoenicopteridae	*Phoenicopterus chilensis*	Od				
Passeriformes	Thraupidae	*Diuca speculifera*	Od				
Falconiformes	Falconidae	*Phalcoboenus megalopterus*				Od	

Orden	Familia	Especie	Transectos				
			Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4	Transecto 5
Charadriiformes	Laridae	*Chroicocephalus serranus*					Od

Fuente: Elaboración propia. Leyenda: Od: Observación directa.

3.3.2.2 Observaciones sobre la fauna silvestre presente en los alrededores del embalse Pasto Grande

272. La poca diversidad de especies de fauna silvestre en la región está en estrecha relación con los pisos altitudinales, a mayor altitud menor diversidad[22]. Sin embargo, la distribución de la fauna en los alrededores del embalse posiblemente esté relacionada con la acidez del agua, así tenemos a la vizcacha, *Lagidium peruanum* cuyas poblaciones son ínfimas en la margen derecha del embalse (dos individuos, inicio del transecto 01), mientras que al final del transecto donde no hay contacto directo de las aguas con la vegetación ribereña, se observó al menos 16 individuos, tres (3) de ellos en estadio juvenil y algunos de ellos alimentándose de pasto *Calamagrostis curvula.*

273. A diferencia a lo observado en la margen derecha, en la margen izquierda del embalse, en la desembocadura del río Millojauira, no se observó actividad de fauna silvestre, esto posiblemente este influenciado por la escasa población vegetal. Lo que si se observó en esta área del embalse es la abundancia de estiércol (producto de ganaderías) con una extensión aproximada de 70 m en ambas márgenes del río.

274. Una actividad diferente de la fauna silvestre se observó en las nacientes del río Millojauira, a 4700 msnm (transecto 04) donde se registró una manada de nueve (9) individuos silvestres de vicuñas, *Vicugna vicugna,* tres (3) de ellos en estadío juvenil, al momento de la observación la manada se encontraba alimentándose de hojas de un pequeño arbusto *Parastrephia lepidophylla* y en todo momento se mostraron intolerantes a la presencia del observador.

275. En el transecto 04 y 05 se observaron al menos tres (3) espacios con madrigueras de alimentación de añas, *Conepatus chinga,* dos (2) de esos espacios estuvieron ubicados en las cabeceras del río Millojauira y uno (1) en la desembocadura rio Patará, en cada espacio se pudo notar al menos ocho (8) madrigueras de alimentación de la especie.

276. En cuanto a la avifauna presente en el embalse Pasto Grande, destacamos los registros de la familia Anatidae con cuatro (4) especies entre ellos el pato barcino, *Anas flavirostris* con 12 individuos, a muchos de ellos se los observó forrajeando en el lecho del embalse, el pato de la puna, *Anas puna* con 13 individuos, la huallata, *Chloephaga melanoptera*, con dos (2) individuos observados al final del transecto 02 y el pato crestón, *Lophonetta specularioides* observado en una pequeña laguna ubicado a 150m del embalse, finalmente destacamos el registro del flamenco chileno, *Phoenicopterus chilensis*, especie que se encuentra comprendida en la categoría casi amenazado de la IUCN

[22] Lynch, J. & Duellman, W. 1980. The Eleutherodactylus of the Amazonian slopes of the Ecuadorian Andes (Anura: Leptodactylidae). Miscellaneous Publication. Museum of Natural History, University of Kansas, 69: 1-86.

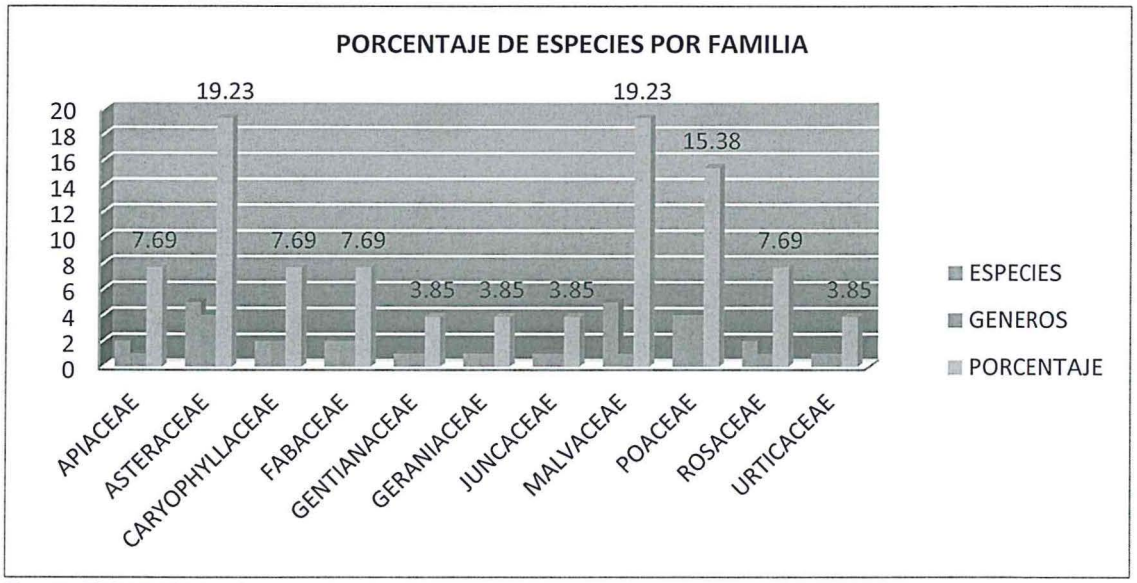
2015[23] y en el estado peruano según el decreto supremo D.S. N°004-2014-MINAGRI[24], se registró al menos cinco (5) individuos, todos ellos forrajeando en el lecho principal del embalse.

277. Una observación interesante ocurrió con la especie *Diuca speculifera,* pequeña ave que en bandada de seis (6) individuos bebían agua de un manantial subterráneo que brotaba muy cerca de la orilla del embalse.

3.3.3 Flora

278. La flora fanerogámica de los alrededores del área de influencia al Embalse de Pasto Grande; está compuesta por 12 familias, 20 géneros y 26 especies, en general la vegetación presente no es diversa, principalmente por haber sido hecha en temporada de secas y por ser una evaluación rápida a comparación con otros lugares, otro de los factores de baja diversidad es por el tipo de suelos, siendo estos muy erosionados y rocosos, que en el mejor de los casos sirve para pastoreo temporal.

Gráfico 3- 66: Especies por familia, presentes en el Embalse de Pasto Grande



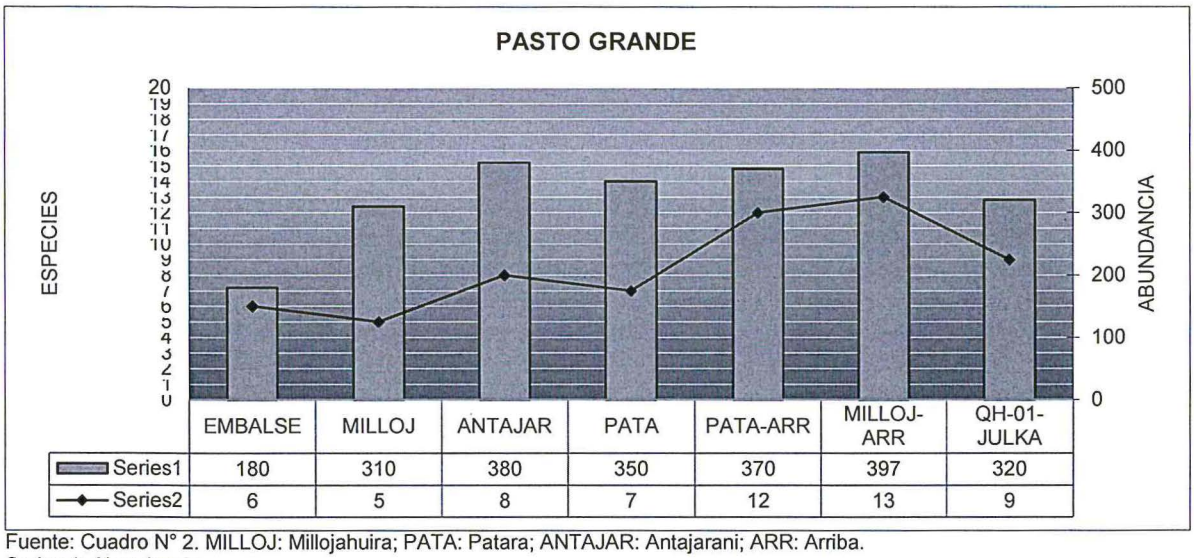
Fuente: Elaboración propia.

279. La vegetación presente es característico de ecosistemas altoandinos, donde las familias Asteraceae y Malvaceae con 19,23% son las que presentan más especies, como: *Senecio spinosus* DC., *Perezia pinnatífida* (Bonpl.) Wedd., *Senecio evacoides* Sch. Bip., *Tagetes multilora* H. B.K. *Werneria nubigena* Kunth. Y *Nototriche mandoniana* (Wedd.) A.W. Hill, *Nototriche longirostris* (Wedd.) A. W. Hill, *Nototriche staffordiae* Burtt & Hill,

23 The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015-3. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 14 September 2015.
24 Ministerio de Agricultura (D. S. 004-2004-MINAGRI) Categorización de especies amenazadas de fauna silvestre. Publicación en el diario oficial el peruano).

Nototriche azorella Hill, seguida de la familia Poaceae con 15,38% con las especies *Oxychloe andina* Phil., *Calamagrostis curvula* (Wedd.) Pilg., *Festuca orthophylla* Pilg., *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth. Seguida de familias que están representados por uno o dos especies, que si bien son las menos abundantes por familias, estas son las dominantes en cada punto de muestro como muestra el Gráfico 3-68.

Gráfico 3- 67: Flora del ámbito que pertenece al embalse de Pasto Grande



	EMBALSE	MILLOJ	ANTAJAR	PATA	PATA-ARR	MILLOJ-ARR	QH-01-JULKA
Series1	180	310	380	350	370	397	320
Series2	6	5	8	7	12	13	9

Fuente: Cuadro N° 2. MILLOJ: Millojahuira; PATA: Patara; ANTAJAR: Antajarani; ARR: Arriba.
Series 1: Abundancia.
Series 2: Especies.

280. Existe una relación marcada entre la cantidad de especies y su abundancia, básicamente dominado por la familia Poaceae, Malvaceae y Asteraceae, familias presentes en los 7 recorridos, siendo los registros más altos tanto en individuos como especies (397 y 13) en la zona denominada MILLOJAHUIRA-ARR (parte alta) y (370 y 12) para la zona de PATARA-ARR (parte alta), básicamente porque tienen una combinación de tres micro hábitat (Pajonal, bofedal y roquedal), la misma tendencia ocurre en los demás sitios evaluados pero con menor cantidad de especies e individuos.

281. La Tabla 3-16 muestra la presencia y ausencia de cada una de las especies registradas en todo los recorridos hechos en el ámbito que corresponde al Embalse de Pasto Grande, en la se muestra los registros de especies de flora, que están dentro de una categoría de amenaza, a nivel nacional según del DS-043-2006-AG.

Tabla 3- 16: Lista de especies en cada recorrido

FAMILIA	ESPECIE	RECORRIDO N°						
		1	2	3	4	5	6	7
APIACEAE	*Azorella compacta* Phil.		X	X	X	X	X	X
APIACEAE	Azorella *diapensioides* A. Gray				X			
ASTERACEAE	*Senecio spinosus* DC.	X		X		X	X	
ASTERACEAE	*Perezia pinnatífida* (Bonpl.) Wedd.	X				X	X	
ASTERACEAE	*Senecio evacoides Sch. Bip.*		X		X			X
ASTERACEAE	*Tagetes multiflora H. B.K.*						X	
ASTERACEAE	*Parastrephia lephidophylla (Wedd).*	X						
CARYOPHYLLACEAE	*Pycnophyllum molle* Remy			X				
CARYOPHYLLACEAE	*Arenaria aphanantha Wedd.*						X	
CARYOPHYLLACEAE	*Pycnophylloposis macrophylla Muschl.*				X			X
FABACEAE	*Lupinus* sp.							X
FABACEAE	*Astragalus* sp. 1					X	X	
GENTIANACEAE	*Gentiana sedifolia* Kunth			X				X
GERANIACEAE	*Geranium* sp.					X	X	
JUNCACEAE	*Distichia muscoides* Nees & Meyen			X		X	X	
MALVACEAE	*Nototriche mandoniana* (Wedd.) A.W. Hill					X	X	
MALVACEAE	*Nototriche longirostris* (Wedd.) A. W. Hill					X	X	
MALVACEAE	*Nototriche staffordiae* Burtt & Hill				X			
MALVACEAE	*Nototriche azorella* Hill							X
POACEAE	*Oxychloe andina* Phil.		X					
POACEAE	*Calamagrostis curvula* (Wedd.) Pilg.	X	X	X	X	X		
POACEAE	*Festuca orthophylla Pilg.*					X	X	
POACEAE	*Stipa ichu (Ruiz & Pav.) Kunth*	X	X	X	X	X	X	X
ROSACEAE	*Alchemilla pinnata* Ruiz & Pav.	X		X			X	X
ROSACEAE	*Alchemilla diplophylla* Diels					X		
URTICACEAE	*Urtica* cf. *Trichantha (Wedd.)* Acevedo & NAVAS							X

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3- 17: Categoría de especies silvestres amenazadas DS-043-2006-AG

FAMILIA	ESPECIE	CATEGORIA	CRITERIO
APIACEAE	*Azorella compacta* Phil.	VU	A
APIACEAE	Azorella *diapensioides* A. Gray	VU	A
ASTERACEAE	*Perezia pinnatífida* (Bonpl.) Wedd.	VU	A
MALVACEAE	*Nototriche staffordiae* Burtt & Hill	CR	B

Fuente: D.S. 043-2006-AG.

282. La legislación peruana considerando el Convenio de Diversidad Biológica (CBD) suscrito por el Perú en 1992, a través de sus entidades competentes ha elaborado un listado de especies amenazadas y les ha otorgado una categoría de conservación la cual se describe en el Decreto Supremo 043- 2006-AG.

283. La Tabla 3-17 muestra a 4 especies que están dentro de la lista de especies amenazadas, de las cuales 3 especies están dentro de la categoría vulnerable (VU), básicamente por el sobrepastoreo y quema en temporada de secas, por tradición las poblaciones suelen quemar los pastizales y vegetación en general para atraer las lluvias, así mismo se tiene una especie de Malvaceae (*Nototriche staffordiae* Burtt & Hill) considerada dentro de la categoría de critico (CR), básicamente por estar dentro de estos bofedales, ya que estos hábitats están seriamente amenazados por presión antrópica.

4.0 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

284. Son estudios y/o actividades que se realizan para profundizar, complementar o dar mayor detalle a la evaluación de calidad ambiental. Estos estudios nos brindan conocimientos o herramientas que dan mayor sustento a la investigación ambiental, para poder diagnosticar la afectación ambiental que podría tener la zona de estudio.

285. En el embalse de Pasto Grande se realizó la evaluación geológica, el análisis estadístico y el análisis de imágenes satelitales.

286. Se tomaron nueve (9) muestras para analizar su mineralogía y petrología medianes estudios microscópicos, y 01 para análisis de celdas húmedas.

287. El análisis estadístico es una importante herramienta que se usa para dar respuestas a las interrogantes que surgen al planificar y ejecutar el estudio de cualquier evaluación ambiental, como por ejemplo la correlación entre muchos datos o elementos metalicos. La estadística proporciona un conjunto de métodos que se utilizan para recolectar, resumir, clasificar, analizar e interpretar el comportamiento de los datos con respecto a una característica, materia de estudio o investigación. Es por ello que fue necesario usar el este análisis para determinar, de manera numérica, asociación de resultados y relacionarlo con las fuentes de origen de las posibles zonas de contaminación. Entre ellos se usaron, el análisis de clúster, el análisis de Componentes Principales (ACP) y el análisis de Correspondencias (AC).

288. El Análisis de imágenes satelitales se realizó en coordinación y apoyo con el área de SIG del OEFA, se realizaron estudios de procesamiento de imágenes satelitales como parte de estos estudios complementarios. Estos representan una alternativa apropiada y accesible para desarrollar los análisis espaciales para diferentes estudios, ya sea un estudio de suelos, de cobertura vegetal, o de la geomorfología. Incluso para conocer la disminución de un nevado a lo largo de los años. En este caso era necesario saber la disminución de la cobertura vegetal y de la capa nival del ámbito del embalse, para poder llegar a acertadas conclusiones. Todo ello se presenta en el informe N° 015-2014-OEFA/DS-SIG, el cual se adjunta en el Anexo B del presente documento. Dicho informe se derivó a la Dirección de Evaluación mediante Memorandum N°2530-2014/OEFA-DS.

4.1 Evaluación geológica

289. Se realizó la recopilación bibliográfica en base a la geología, geomorfología y mineralogía, correspondiente a estudios previos, informes, mapas, etc., sobre el área de influencia del embalse Pasto Grande (Ingeomin, 1978; Ingemmet 2000 y 2008, Consorcio V-5, 2012 y D&MA, 2001).

290. La etapa de pre campo de la evaluación geológica en Pasto Grande, se realizó durante los primeros estudios en el año de 2014, estableciendo las principales características del medio físico donde se emplaza el embalse, desde el punto de vista geológico. Con ello se realizó también la validación en el terreno para poder realizar la correlación campo-gabinete.

291. Bajo ese contexto se generó la información necesaria para tener una correcta base geológica. A continuación hacemos un resumen, de las principales características que el estudio debe comprender, como son la geomorfología, la litología (estratigrafía), la mineralización y la hidrogeología.

4.1.1 Caracterización geomorfológica

292. Geomorfológicamente el área corresponde a valles interandinos y altiplanicies que se encuentran entre los 4200 a 5000 m.s.n.m. A nivel de cuencas, Pasto Grande pertenece a la microcuenca Vizcachas, de la subcuenca Coralaque, correspondiente a la cuenca del río Tambo, el cual desemboca en el Océano Pacífico.

293. El área de estudio presenta 3 unidades geomorfológicas fundamentales:

- Los valles (fluviales y glaciares).
- Las colinas y lomadas.
- Las montañas.

294. Los valles corresponden al lecho actual del río Vizcachas y sus principales tributarios y a las superficies de inundación, los que en su gran mayoría están convertidos en bofedales, debido a su condición hidromórfica. Además, existen valles en forma de "U", originadas por la erosión glacial durante el descenso de los glaciales en la época del Cuaternario. Se localizan en la cabecera de las cuencas o valles aluviales encima de los 4800 m.s.n.m. A estas geoformas se les llama valles glaciares.

295. Las colinas y lomadas, se encuentran generalmente en la parte baja de la microcuenca, y hacia la parte alta se ubican en las laderas de la montaña; su relieve es inclinado y poco accidentado, de pendientes moderadas. Las lomadas corresponden a superficies de poca altura, hasta 30 metros, se observan están geoformas sobresaliendo en las áreas de colmatación y cuyo origen se debe a la constante denudación de las formaciones volcánicas de poca altura.

296. Finalmente la unidad geomorfológica correspondiente a las montañas, están ampliamente distribuidas en las cumbres y estribaciones de antiguos sistemas volcánicos, los que han sido deformados y modelados por la intensa erosión y la influencia de procesos de compresión, distención, vulcanismo y glaciación. Su origen se remonta a una serie de eventos de diferente naturaleza, los mismos que actuaron con mayor o menor intensidad según el lugar y la litología predominante. Sus altitudes oscilan entre los 4500 y 5400 m.s.n.m.

4.1.2 Caracterización litológica

297. Se encuentra formada principalmente por rocas volcánicas, sedimentarias y volcano sedimentarias, comprendidas entre los períodos Terciario y Cuaternario. Las características litológicas y la mineralización de las unidades que se han reconocido pertenecen a distintas formaciones geológicas.

298. Sin embargo era necesario hacer un trabajo de campo para validar la información y estudios anteriores, además para obtener muestras relevantes que nos indiquen la composición y mineralogía del terreno.

299. En la primera visita de campo se tomaron 24 puntos de control geológico y en la segunda visita, 08 puntos de control (Tabla 4-1 y 4-2); así mismo, se obtuvieron 08 muestras de roca y 05 de sedimento en total, a fin de realizar el análisis mineralógico y petroGráfico correspondiente.

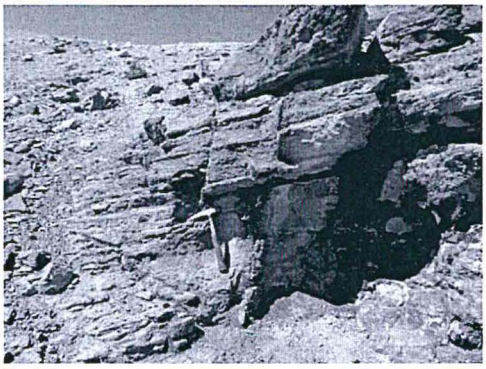
Tabla 4- 1: Puntos de control geológico levantados en la primera salida de campo.

Puntos de Control Geológico	Coordenadas UTM (DATUM WGS84-19K)		Altitud	Lugar	Descripción
	Este (m)	Norte (m)			
PCG-1	367 697	8 156 174	4 561	Qda. Huisacollo	Depósitos fluvioglaciares.
PCG-2	367 775	8 156 174	4 564	Qda. Huisacollo	Depósitos morrénicos.
PCG-3	368 860	8 150 799	4 538	Río Vizcachas	Roca volcánica, andesita afanítica estratificada.
PCG-4	368 987	8 150 766	4 540	Río Vizcachas	Roca volcánica fanerítica gris oscura.
PCG-5	368 948	8 150 796	4 540	Río Vizcachas	Roca volcánica blanquecina, toba.
PCG-6	368 921	8 147 990	4 569	Qda. Incacachi	Banco de conglomerados.
PCG-7	368 962	8 147 942	4 569	Qda. Incacachi	Banco de conglomerados.
PCG-8	369 006	8 148 464	4 549	Qda. Chullumpini	Conlgomerados con clastos volcánicos subangulosos.
PCG-9	368 611	8 151 056	4 592	Río Vizcachas	Cuarcita de coloración blanquecina.
PCG-10	372 247	8 154 311	4 550	Qda. Millajuira	Depósitos fluvioglaciares.
PCG-11	374 037	8 153 610	4 562	Qda. Queñahuari	Depósitos fluvioglaciares.
PCG-12	388 376	8 157 986	4 819	Qda. Vizcachuni	Afloramiento de roca volcánica.
PCG-13	386 210	8 156 607	4 699	Qda. Acosiri	Roca volcánica seudoestratificada.
PCG-14	367 227	8 155 309	4 577	---	Andesita volcánica seudoestratificada en capas de 10-30 cm.
PCG-15	364 837	8 158 805	4 530	---	Volcánico, cristales englobados en matriz afanitica decoloración gris oscura, seudoestratificación 10-30 cm.
PCG-16	374 133	8 152 515	4 561	---	Volcánico, cristales englobados en matriz afanitica de coloración gris oscura, seudoestratificación 10-30 cm.
PCG-17	379 652	8 157 220	4 711	Río Antajarani	Afloramiento de rocas volcánicas.
PCG-18	379655	8157125	4 700	Río Antajarani	Roca volcánica tobacea alterada.
PCG-19	378 174	8 144 636	4 559	---	Roca volcánica matriz afanítica, presenta alteración oxidación y stockworks.
PCG-20	381 498	8 143 270	4 691	---	Roca volcánica blanquecina, toba.
PCG-21	376 452	8 143 800	4 559	---	Roca volcánica, meteorización esferoidal.
PCG-22	374 752	8 144 285	4 551	---	Afloramiento de rocas volcánicas.
PCG-23	370 952	8 143 742	4 563	---	Afloramiento de conglomerados y areniscas, con niveles de tobas.
PCG-24	369 186	8 147 755	4 551	---	Intercalación de areniscas, conglomerados y tobas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4- 2: Puntos de control geológico levantados en la segunda salida de campo

PCG	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84-19S)		LUGAR	DESCRIPCIÓN
	Norte	Norte		
PCG-1	8 157 782	371 375	Rocas volcánicas de composición andesitica, meteorización fuerte de oxidación, fracturamiento moderado.	
PCG-2	8 159 498,3	385 911,8	Afloramientos de rocas volcánicas andesiticas porfiriticas y tobas blanquesinas a la base.	
PCG-3	8 158 162	385 956	Afloramientos de rocas volcánicas sedimentarias, intercalación de microconglomerados con tobas y areniscas silicificadas.	

PCG	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84-19S)		LUGAR	DESCRIPCIÓN
	Norte	Norte		
PCG-4	8 157 888	386 516	Rocas volcano sedimentarias en estratos de 30-20cm, fracturamiento moderado. Prevalece el componente andesitico.	
PCG-5	8 158 249	387 218	Rocas volcanicas tobaceas blanquesinas, alteración de oxidación. La seudoestratificación se presenta en estratos de 15-30 cm. El fracturamiento en leve a moderado.	
PCG-6	8 158 324	387 458	Rocas volcánicas tobáceas blanquesinas, alteración de oxidación.	

PCG	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84-19S)		LUGAR	DESCRIPCIÓN
	Norte	Norte		
PCG-7	8 160 260	380 614	Roca volcánicas de composición andesitica, afanitica, con alteración fuerte de oxidación y fracturamiento moderado	
PCG-8	8 160 244	380 673	Afloramiento de rocas volcánicas andesítica de estructura fanerítica. Alteración de oxidación y fracturamiento moderado.	

Fuente: Elaboración propia.

300. De los resultados del trabajo de campo y de la información geológica recopilada se tiene lo siguiente:

- El Grupo Puno, constituida generalmente por estratos de areniscas conglomerádicas y brechas tufáceas de colores verde violáceos a abigarrados, con intemperismo de tonos claros. Los fragmentos rocosos son mayormente de naturaleza volcánica andesítica en matriz arena tufácea feldespática.

- La Formación Llallahui presenta derrames volcánicos, piroclástos, tufos andesiticos en estratos gruesos de 20 a 30 m de espesor. Regionalmente se le atribuye una potencia total de 1.000 m; en la zona sólo aflora la parte basal, sobreyaciendo a la Formación Puno.

- La Formación Capillune consiste de una secuencia sedimentaria, compuesta por conglomerados, areniscas, piroclásticos, limolitas y arcillas con coloraciones grises, blanco-amarillentas y verdosas. Configuran topográficamente, pequeñas lomadas de cumbres más o menos horizontales.

- Los volcánicos del Barroso ocupan, en el área, las porciones más elevadas o cimas de las cadenas volcánicas que limitan la zona de estudio, aparecen sobreyaciendo a los volcánicos de Llallahui. Están constituidos principalmente por derrames lávicas de andesitas y riolitas grisáceos con algunos horizontes conglomerádicos débilmente disturbados y alterados.

- Rellenando la cuenca y sobreyaciendo estas formaciones, se encuentran los depósitos Fluvio Glaciares y morrenas de edad Cuaternaria. Estos depósitos están formados por rocas de origen glacial y fluvioglacial que ocurren rellenando o tapizando los fondos y laderas bajas de la zona, como consecuencia de las últimas glaciaciones pleistocénicas. Su litología es de naturaleza variada, aunque principalmente es de naturaleza volcánica y volcánico-clástica, con intercalaciones de areniscas, arcillas y otros detritos.

- Además, tenemos los depósitos fluvio- aluviales, que están constituidos por diferentes materiales del Cuaternario reciente, de origen fluvial, que se presentan en pequeñas extensiones en los fondos o lechos de los riachuelos y/o quebradas principales. Están constituidos mayormente de arenas, arcillas, gravas y eventualmente cantos rodados conformando horizontes alargados y estrechos de poco espesor, tipo terrazas aluviales disectadas.

- Podemos considerar dentro de esta descripción a los Bofedales, que se encuentran en las áreas hidromórficas de los fondos de las quebradas o valles glaciales dominantes, formadas por acumulación de materiales no consolidados fango-arcillosos, con alto contenido de materia orgánica vegetal en proceso de turberización en ambientes acuosos e hidrofíticos de alta montaña.

4.1.3 Metalogenia y Mineralización

301. Este apartado es muy importante por la necesidad de conocer la composición mineralógica que presenta el área de Pasto Grande, el tipo de alteración de las rocas, y con ello, poder relacionar que metales se encuentran presenten como mena, ganga, o simplemente como accesorio o trazas, que podría estar generando contaminación.

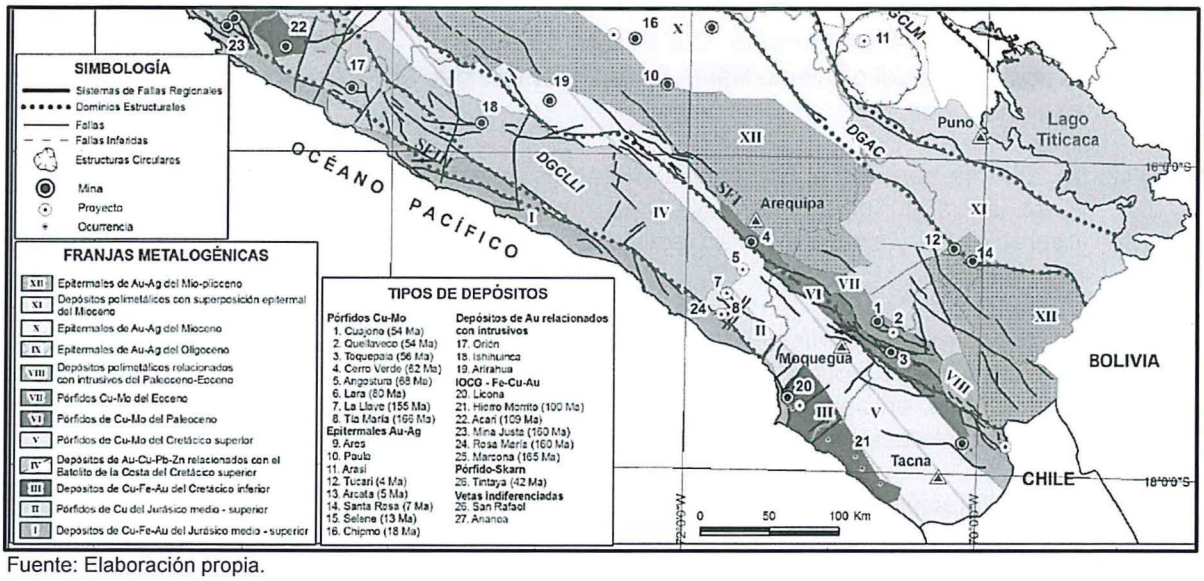
302. La zona de estudio se encuentra dentro de una franja metalogenética que presenta mayormente depósitos de oro y plata, denominada "franja epitermal de Au-Ag del Mio-Plioceno" (Carloto *et al.*, 2008 y Acosta *et al.*, 2011) (ver Gráfico 4-1).

303. Esta franja se distribuye en el dominio volcánico de la Cordillera occidental del centro-sur. La mineralización está relacionada con actividad magmática Mio-Pliocenica, sus controles son fallas NO-SE de los sistemas Chonta, Abancay-Condoroma-Caylloma y Cincha-Lluta; asi como, fallas E-O.

304. La mineralización Au-Ag es epitermal de alta sulfuración, con excepción de Arcata que es Ag-Au de baja sulfuración, y del depósito Pb-Zn-Ag de Recuperada de intermedia sulfuración. Los epitermales Au-Ag de alta sulfuración corresponden a importantes despósitos como Tucari, Santa Rosa, Pucamarca, Pico Machay, Corihuarmi,

Huamanrazo, Baños del Indio, entre otros. De todos ellos, Tucari y Santa Rosa, se encuentran en los alrededores de Pasto Grande, siendo este último la que se encuentra netamente en su cuenca.

Gráfico 4- 1: Mapa metalogenético de la parte sur del Perú (modificado de Acosta et al., 2008), la franja correspondiente al área de estudio pertenece a la zona XII, "depósitos epitermales de Au, Ag del Mio Plioceno.



Fuente: Elaboración propia.

305. La mineralización se encuentra en rocas volcánicas de los Grupos Tacaza y Barroso. Localmente está controlada por fallas E-O (centros efusivos e hidrotermales) que corresponden a yacimientos epitermales de Au de alta sulfuración como Tucari, Santa Rosa, depósitos epitermales de Ag en Cacachara y Pavico.

306. Se evidencia en los procesos de alteración correspondiente a mantos de oxidación superficial de tonos amarillentos a rojizos, con desarrollo de limonitas, hematitas y otros; conjuntamente con el desarrollo de otras formas de alteración hidrotermal (silicificación, argilitización y otros), propios de yacimientos mineralizados comunes a los ambientes de yacimientos hidrotermales de alta sulfuración.

307. Las ocurrencias auríferas en la parte del depósito de Santa Rosa, están relacionada con un domo riolitico y emplazadas dominantemente en rocas tufáceas silicas, tufos de brechas y rocas volcánicas. Los sulfuros en las zonas mineralizadas se encuentran completamente oxidadas en gran parte y aparecen muy localmente como relictos.

4.1.4 Actividad Minera

308. Desde las primeras décadas del siglo XX hubo actividad minera en la parte alta de la microcuenca, en la zona de influencia donde actualmente se encuentra el embalse.

309. La empresa Colquiminas S.A hasta 1984 explotó de forma subterránea el deposito Cacachara, que era básicamente un yacimiento polimetálico (Zn, Pb, Ag, etc.), donde se obtenía concentrados de Plomo (Pb) y Plata (Ag).

310. Entre los años 1990 y 1999, la empresa Minera del Hill S.A (MDH) realizó estudios de exploración, que abarcaron geoquímica, geología y perforación de taladros, en los alrededores del cerro Santa Rosa (parte alta de los ríos Patara y Cacachara).

311. En el año 2000, se forma la Cía Minera Aruntani por accionistas de MDH. Aruntani fue la encargada del proyecto Santa Rosa, mientras que MDH continuaba como empresa de exploraciones.

312. El 2001 se aprueba el EIA para explotación de este proyecto. En marzo del 2002, Santa Rosa inicia su producción de concentrados de Au y Ag. El 2006, se paraliza las operaciones, y sólo se hacen actividades de producción del concentrado del material acumulado.

313. En el yacimiento aurífero Cotañani se realizaron todas las actividades de prospección, exploración y explotación minera con estudios geológico, mineralógico y perforaciones diamantinas, en base a cuyo resultado se elaboraron los estudios de factibilidad minera para la explotación a cielo abierto, así como los estudios de impacto ambiental.

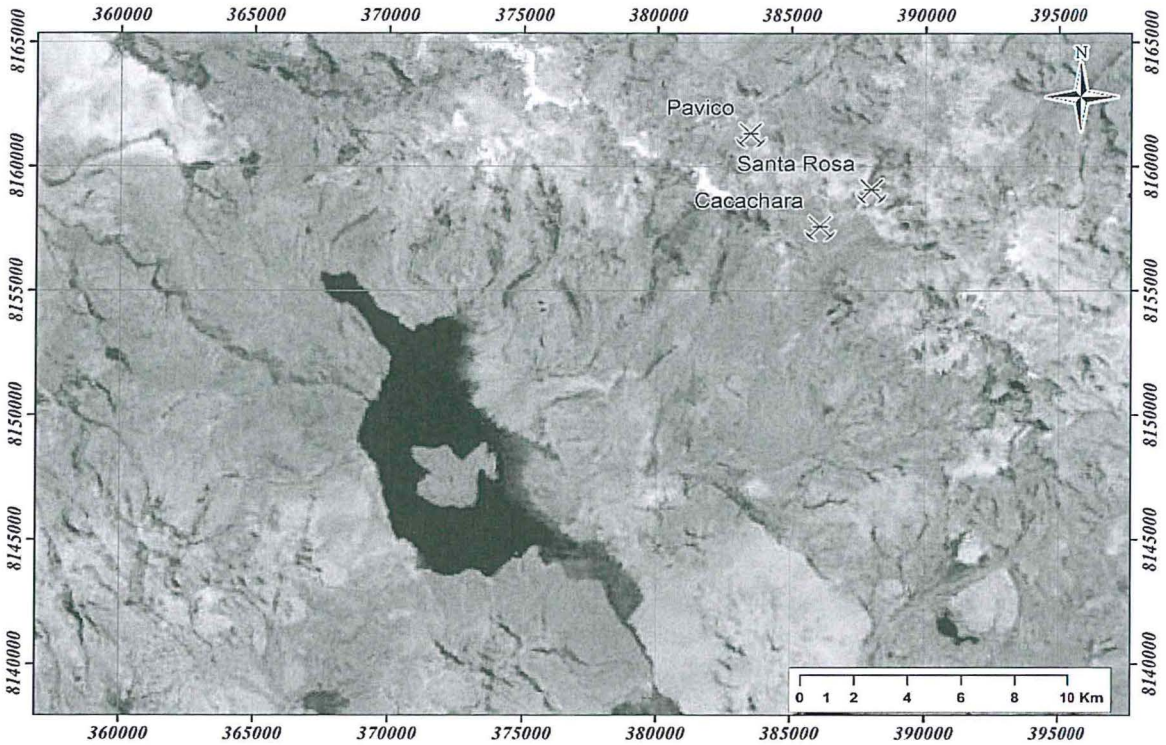
314. La explotación del yacimiento se realizó a través del Tajo Abierto. Los minerales auríferos se encuentran asociados al cuarzo y a la limonita. Compañía Minera Aruntani exploto el mineral por el método de minado a "tajo abierto", el cual era acarreado y transportado hacia el PAD de lixiviación y luego la solución rica era procesada en la Planta de Beneficio que utilizaba el proceso Merrill Crowe, obteniéndose como producto final el doré oro / plata.

315. En la actualidad, Aruntani tiene a su cargo el proyecto de exploración Acumulación Mariela, que se ubica en los distritos de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua; Santa Rosa, perteneciente a la provincia de Santa Rosa, departamento de Puno, Pichacani y Acora, pertenecientes a la provincia y departamento de Puno. El área de proyecto se emplaza en las microcuencas de los ríos Patara, Vizcachas, Cayllahuilque y Blanco.

316. Es importantes señalar, precisamente la existencia de antiguas minas (Gráfico 4-2) que se desarrollaron en las cabeceras de Pasto Grande, y que actualmente ya no se encuentran en operación (Pavico y Cacachara) o se encuentran en proceso de cierre (Santa Rosa).

317. En Ingemmet (2000) y Acosta & Huanacuni (2008) se tiene información de estos depósitos, los cuales se describen a continuación.

Gráfico 4- 2: Actividad minera que hubo en la parte alta de la cuenca del embalse



Fuente: Elaboración propia.

4.1.4.1 Mina Cacachara

318. Este yacimiento corresponde a un depósito hidrotermal con mineralización de Pb y Cu, debido a las soluciones mineralizantes que se emplazaron en las fracturas preexistentes, el rango de su temperatura formación e intermedia a bajo, tratándose por lo tanto de un depósito mesotermal a epitermal filoneano.

319. La mineralización se distribuyó de modo irregular en las vetas, emplazadas en una roca dacitica alterada como resultado del movimiento de los fluidos hidrotermales, en donde probablemente se pueden encontrar zona de "clavos mineralizantes"

320. Las vetas tienen forma lenticular en la zona de bonanza, también el sistema vertical como horizontal, conformando la típica estructura en rosario; se tienen como minerales de mena a la pirargirita, esfalerita, galena y en menor cantidad calcopirita; como minerales ganga se presenta cuarzo lechoso, pirita, calcita, entre otros.

321. Las operaciones se encuentra paralizada y las labores subterráneas inaccesibles. La información sobre la reserva de la mina Cacachara en 1985 reportaron 142 180 TM. El análisis de una muestra en veta, arrojó resultados de 12,4 oz/TM de Ag, 5,3% de Zn, 5,2% de Pb.

4.1.4.2 Mina Pavico

322. Este yacimiento corresponde a un cuerpo de brechas de forma circular y clindrica de 150 m de diámetro reconocido.

323. La mineralización se encuentra diseminada en la matriz de una brecha andesitica, consta de galena, esfalerita, pirargirita, tetraedrita, polibasita y electrum. El electrum es abundante, donde el oro alcanza 0,3 oz/TM.

324. La roca encajonante (andesita y dacitas) pertenece al Grupo Tacaza, cerca se encuentran areniscas y limonitas del Grupo Punto y suprayaciendo a estas formaciones ocurren derrames de andesitas y piroclásticos del Grupo Barroso.

325. El análisis geoquímico de una muestra de referencia arrojó los resultados de 383 ppm de Ag, 0,683 gr/TM Au, 5,3% Zn, 5,2% Pb y 1200ppm Cu. Actualmente la actividad en Pavico se encuentra paralizada.

4.1.4.3 Mina Santa Rosa

326. La mineralización en Santa Rosa está relacionada con el margen de un domo riolítico y emplazada en tobas riolíticas y laminares, lavas riolíticas y riodacíticas, andesitas y traquiandesitas. La mineralización presenta un control litológico y estructural, controlada por la Falla Cotañani de rumbo NO.

4.1.4.4 Análisis de imágenes ASTER

327. Los estudios de imágenes ASTER, para obtener la caracterización espectral y caracterización mineralógica de la zona de estudio, indica que en el ámbito del embalse, existen hasta tres (3) zonas de alteración y asociación mineralógica (Huanacuni et al., 2012).

328. La asociación mineralógica sílice-alunita, la cual se encuentra en la parte central de los depósitos epitermales de alta sulfuración. La firma espectral de una muestra del yacimiento Santa Rosa presenta un rasgo de absorción a 1480 nm., el cual es típico de una alunita potásica.

329. La asociación pirofilita-alunita, está asociada a brechas hidrotermales y freáticas. La firma espectral de esta asociación presenta un rasgo de absorción a 1350 nm. En el yacimiento Santa Rosa presenta esta alteración Sílice-Pirofilita-Alunita está asociada a brechas hidrotermales.

330. La asociación sílice-illita-óxidos de fierro se encuentra ubicada en la periferia de los yacimientos epitermales de alta sulfuración. La alteración sílice-illita en el área de estudio, está restringida en las fallas y en halos de alteración de brechas hidrotermales; este ensamble también se encuentra en los focos de fuentes de aguas termales extintas. La firma espectral se caracteriza por presentar rasgos de absorción entre 1275-1900.

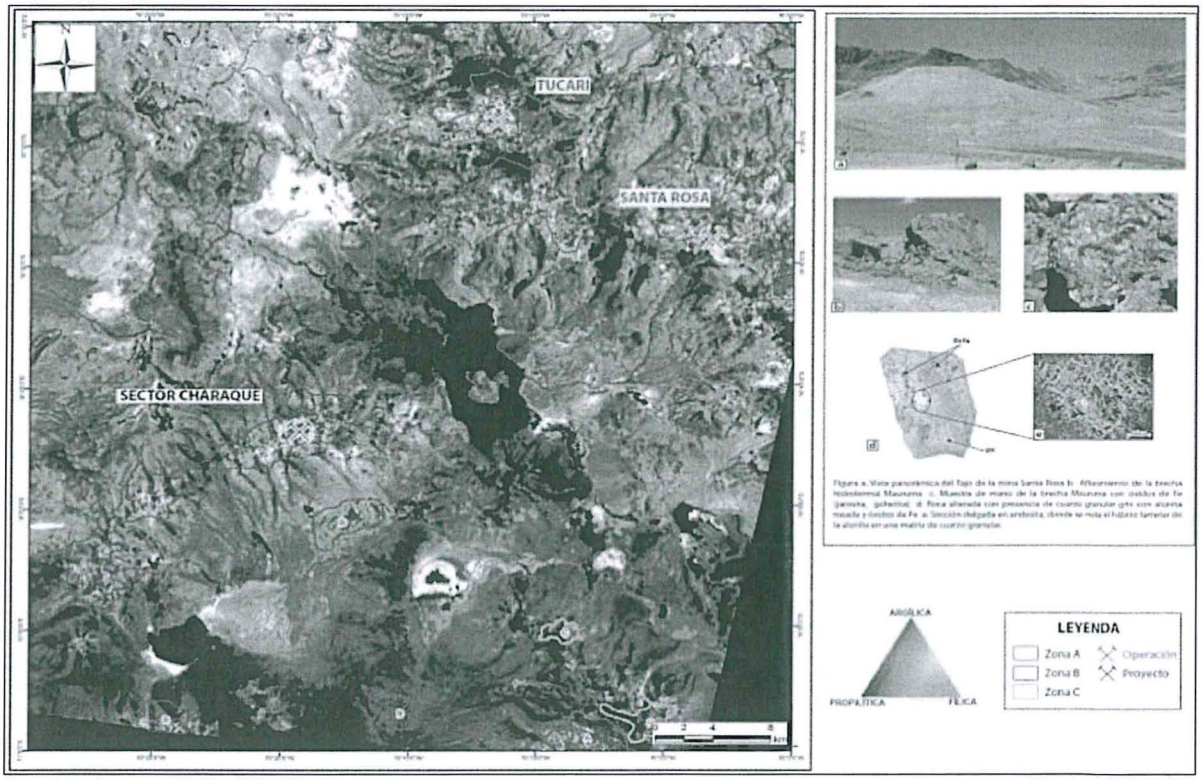
331. Además, se han obtenido tres zonas importantes denominadas A, B y C.

- Zona A: Se ubica al noreste de la imagen y muestra una alteración del tipo argílica avanzada. En esta zona se encuentran los depósitos de Santa Rosa, Tukari y Cacachara. La alteración corresponde al emplazamiento de intrusiones dacíticas en un complejo estrato volcán andesítico y están conformadas por centros de sílice masiva representada por múltiples etapas de brechas hidrotermales. Estas brechas están rodeadas por sílice granular y alteración argílica avanzada.

- Zona B: Se encuentra al sur oeste en el sector de Charaque. En el área existen afloramientos de rocas volcánicas de origen efusivo y explosivo (andesitas, traquitas y tufos) del Grupo Barroso. Las andesitas y tobas volcánicas están alteradas y alojan la mineralización. Charaque tiene alteraciones de tipo argílica a argílica avanzada, cuarzo amorfo y sílice residual cartografiada en campo.

- Zona C: Está al sureste y noroeste de la zona de estudio donde predomina la alteración propilítica. Ver Gráfico 4-3.

Gráfico 4- 3: Mapa de zonas de alteraciones hidrotermales en el entorno del embalse (Tomado de Huanacuni *et al.*, 2012)



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Análisis de la información geológica recopilada

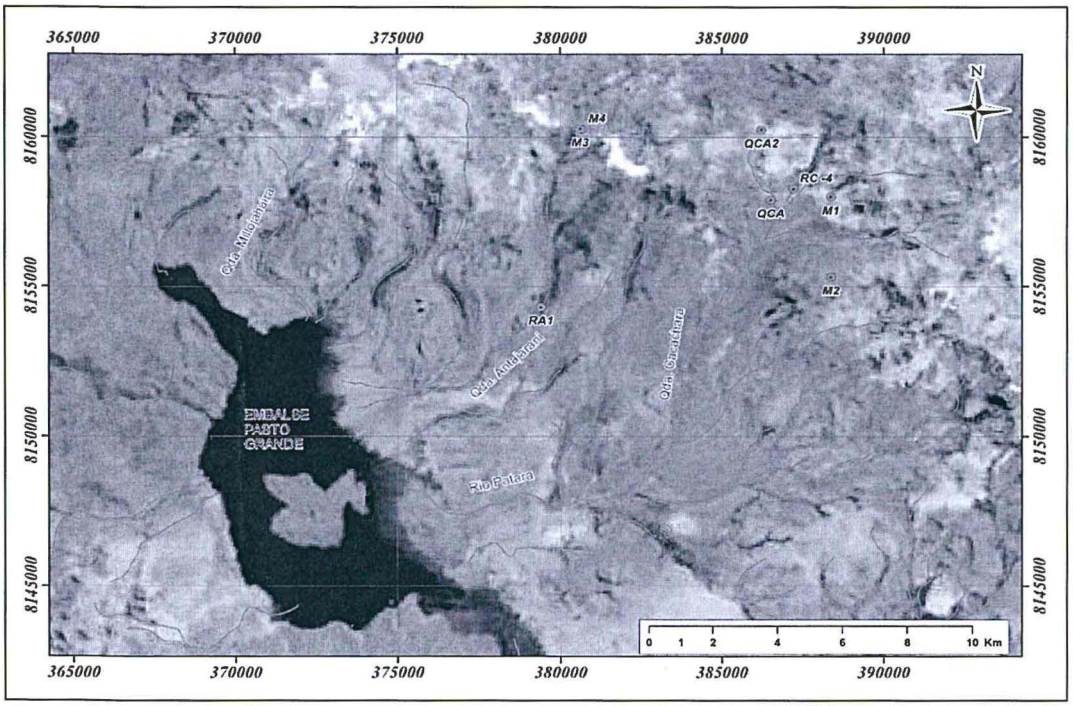
332. Es importante también señalar que según el Planefa 2015, el plan de evaluación integral del embalse Pasto Grande es un estudio para relacionar las actividades mineras y su influencia en la calidad ambiental de la zona.

333. Entonces, si bien se analiza todos los factores que puedan resultar como aporte en el deterioro de la calidad de los componentes ambientales, se toma especial interés en verificar desde el punto de vista geológico minero, si esta es, una posible fuente de afectación en la cuenca. Entonces es de interés saber que componentes presentan las rocas que se encuentran en las cabecera de cuenca, las cuales están generando acidez en el recurso hídrico, que a su vez, se encuentren con metales, lo mismo que los sedimentos (ver capítulo de resultados de la calidad de agua y sedimento).

334. Es así que durante el estudio se recogieron ocho (8) muestras de campo para el análisis mineralógico, petrográfico y difracción de rayos X (DFX). Tanto en las áreas donde hubo actividad minera, como en las áreas que no existe hasta la fecha actividad antrópica (Gráfico 4-4). Además se colecto 01 muestas de roca para el análisis de celgas húmedas (ver apartado de análisis de celdas húmedas).

335. De los resultados se hizo un cuadro resumen (Tabla 4-3) con el objetivo de conocer sobre su composición, mineralización y alteración.

Gráfico 4- 4: Ubicación de las muestras de roca, las cuales se analizaron mineralógicamente y petrográficamente



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4- 3: Resultados de los estudios de mineralogía y petrografía de las muestras de roca

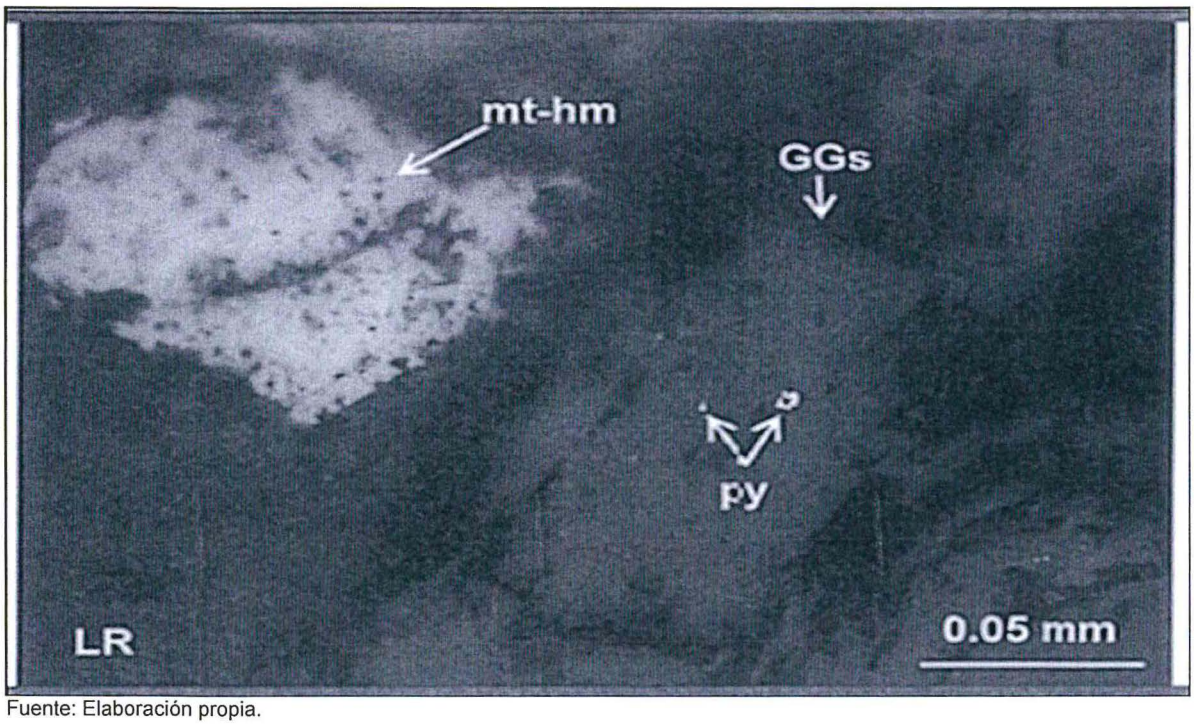
Muestra	Coordenadas UTM WGS84 Z19		Lugar	Tipo de Roca	Mineralogía	Alteración	Difracción rayos x (dfx)
	Este	Norte					
QCA	386 516	8 157 888	Cabecera Cacachara	Toba Litocristalina	Ilmenita (trazas) Magnetita (traz.), Pirita (tras.), Calcopirita (traz.), Hematita (1%), Limonitas (8%)	Carbonatacion Silicificacion moderada; oxidacion, argilizacion, y cloritizacion debiles.	Cuarzo, Mica (Muscovita), Plagioclasa (Albita), Clorita (Clinocloro), Calcita y Hematita
QCA2	386 234	8 160 233	Cabecera Cacachara	Toba de cristales argilizada	Magnetita (Trazas), Pirita (Trazas), Hematita (Trazas), Limonitas (4%)	Argilizacion intensa; silicificacion moderada y oxidacion debil.	Caolinita y Cristobalita
RA1	379 404	8 154 306	Cabecera Antajarani	Andesita porfiritica	Arcillas (7%), Oxidos de hierro (<2%)	Argilizacion, silicificacion, cloritizacion y oxidacion debiles.	Plagioclasa (Andesina), Feldespato - Na (Sanidina), Plagioclasa (Oligoclasa), Cristobalita, Muscovita y Hematita
M4	380 673	8 160 244	Millojauira Cabecera	Andesita porfiritica	Ilmenita (Trazas), Magnetita (1.5%), Pirita (Trazas), Pirrotita (Trazas), Hematita (2%)	Argilizacion, cloritizacion y silicificacion debiles; oxidacion muy debil.	Plagioclasa (Andesina), Feldespato - Na (Sanidina), Cristobalita, Muscovita, Magnetita, Piroxeno
RC -4	387 218	8 158 249	Rio Cacachara	Toba litica	Magnetita (Trazas), Pirita (Trazas), Hematita (Trazas) y Limonitas (3%)	Argilizacion y silicificacion moderadas; sericitizacion y oxidación.	Feldespato - K (Ortoclasa), Cuarzo, Muscovita y Caolinita
M3	380 614	8 160 260	Millojauira Cabecera	Andesita porfiritica	Magnetita (2%), Pirita (Trazas), Pirrotita (Trazas), Calcopirita (Trazas), Hematita (Trazas) y Limonitas (Trazas)	Argilizacion, silicificacion, oxidation y cloritizacion debiles.	Plagioclasa (Andesina), Feldespato - K (Ortoclasa), Piroxeno, Cristobalita, Magnetita y Apatito
M1	388 376	8 157 986	Cabecera Acosiri	Toba de cristales.	Magnetita (trazas), Ilmenita (trazas) y	argilización y oxidación incipiente.	Cuarzo , Feldespato - K (Ortoclasa) y

Muestra	Coordenadas UTM WGS84 Z19		Lugar	Tipo de Roca	Mineralogía	Alteración	Difracción rayos x (dfx)
	Este	Norte					
					Hematita (trazas)		Plagioclasa (Oligoclasa)
M2	388 376	8 155 309	Desembocadura Millojauira (cerca al embalse	Latiandesita porfirítica	Ilmenita (trazas), Hemtatita (trazas), Pirrotita (trazas), Calcopirita (trazas)	argilización, oxidación, epidotización, cloritización y sericitización incipiente.	Plagioclasa (Oligoclasa), Plagioclasa (Andesina), Feldespato - Na (Sanidina), Piroxeno (Ferrosilita), Cuarzo y Mica Muscovita

Fuente: Elaboración propia.

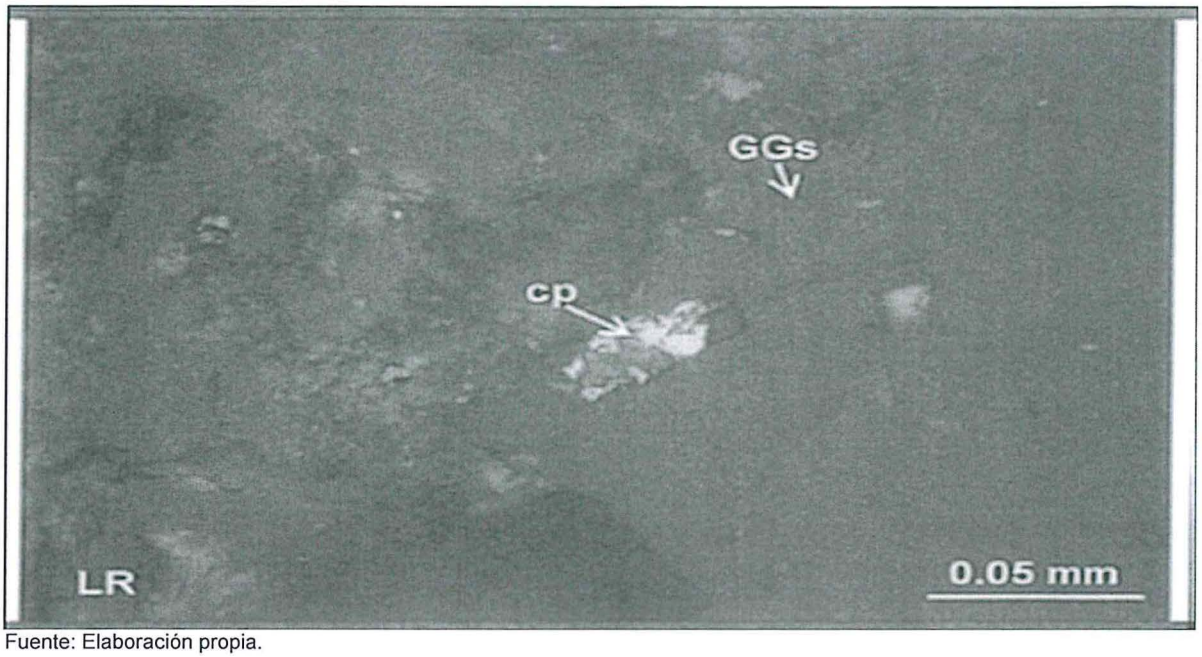
336. Además, del estudio microscópico se obtuvieron algunas fotografías (Gráfico 4-5 y 4-6), que muestran el proceso de alteración mineral que sufren las rocas de la cabecera del río Antajarani (muestras M4 y M3).

Gráfico 4- 5: Microfotografía de cristales de pirita (py) y magnetita (mt) alterada por hematita como inclusiones en gangas (Muestra M4)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4- 6: Microfotografía de cristales de calcopirita (cp) como inclusión en gangas (Muestra M3)



Fuente: Elaboración propia.

337. Asimismo, del estudio de los sedimentos tomados en el ámbito del embalse se puede resumir los resultados en la Tabla 4-4.

Tabla 4- 4: Tabla resumen de los resultados de análisis en las muestras de sedimento

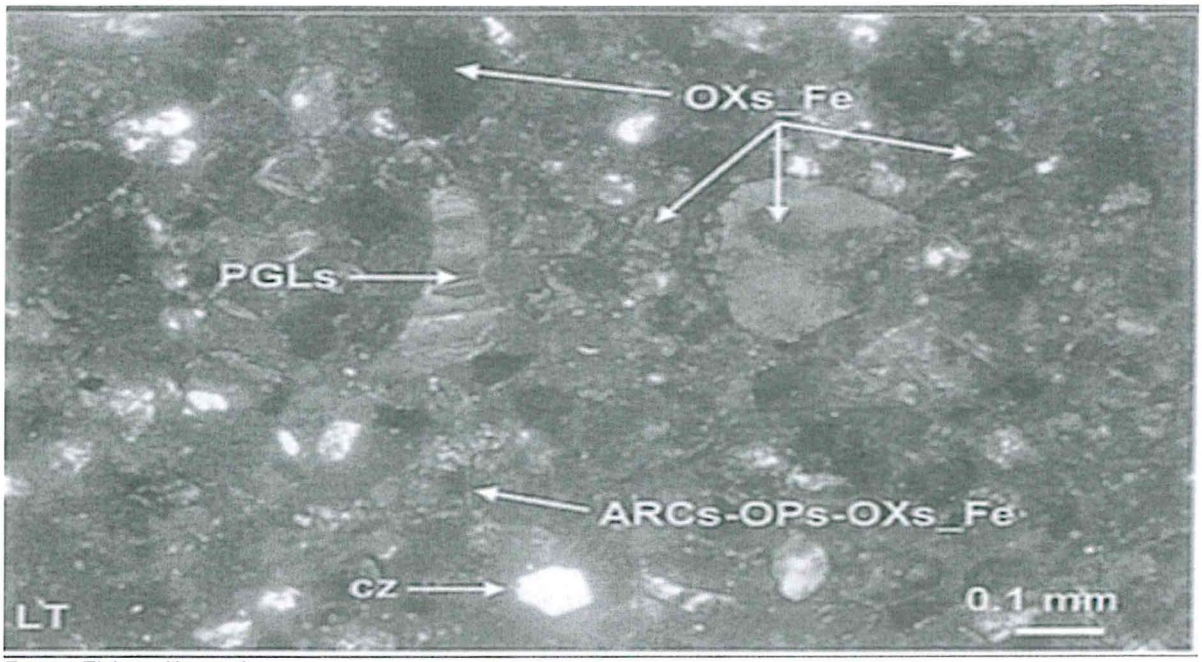
Muestra	Coordenadas UTM WGS84 Z19		Lugar	Mineralogïa	Composiciön Mineralogica Base Mineral	Difracción rayos x (dfx)
	Este	Norte				
QCA	386 516	8 157 888	Cacachara	Oxidos de hierro Cuarzo Plagioclasas Minerales opacos Arcillas Anfíboles Feldespatos potásicos Cloritas Critobalitas Biotita zircon	Magnetita Pirita Hematita Goethita Limonitas	Caolinita Plagioclasa Cuarzo Cristobalita Feldespato Mica Goethita
RP	386 234	8160 233	Patara	Oxidos de hierro Cuarzo Plagioclasas Minerales opacos Arcillas Anfíboles Feldespatos potásicos Cloritas Biotita zircon	Magnetita Pirita Calcopirita Hematita Goethita Limonitas	Plagioclasa Cuarzo Feldespato Mica Caolinita Hematita

Muestra	Coordenadas UTM WGS84 Z19		Lugar	Mineralogïa	Composiciön Mineralogica Base Mineral	Difracción rayos x (dfx)
	Este	Norte				
QM	379 404	8 154 306	Millojahuria	Oxidos de hierro Cuarzo Plagioclasas Minerales opacos Arcillas Anfiboles Feldespatos potásicos Cloritas Biotita zircon	Ilmenita Pirita Hematita Goethita Limonitas Magnetita	Alunita Plagioclasa Cuarzo Cristobalita Feldespato Mica Goethita
QM-1	380 673	8 160 244	Millojahuira	Oxidos de hierro Cuarzo Plagioclasas Minerales opacos Arcillas Anfiboles Cloritas Biotita	Pirita Gangas Goethita Magnetita	Goethita Plagioclasa Cuarzo Amorfo
RA-1	387 218	8 158 249	Antajarani	Oxidos de hierro Cuarzo Plagioclasas Minerales opacos Arcillas Anfiboles Cloritas Biotita Zircon Feldespatos	Gangas Goethita Magnetita Ilmenita Hematita	Plagioclasa Cuarzo Feldespato Mica Goethita

Fuente: Elaboración propia.

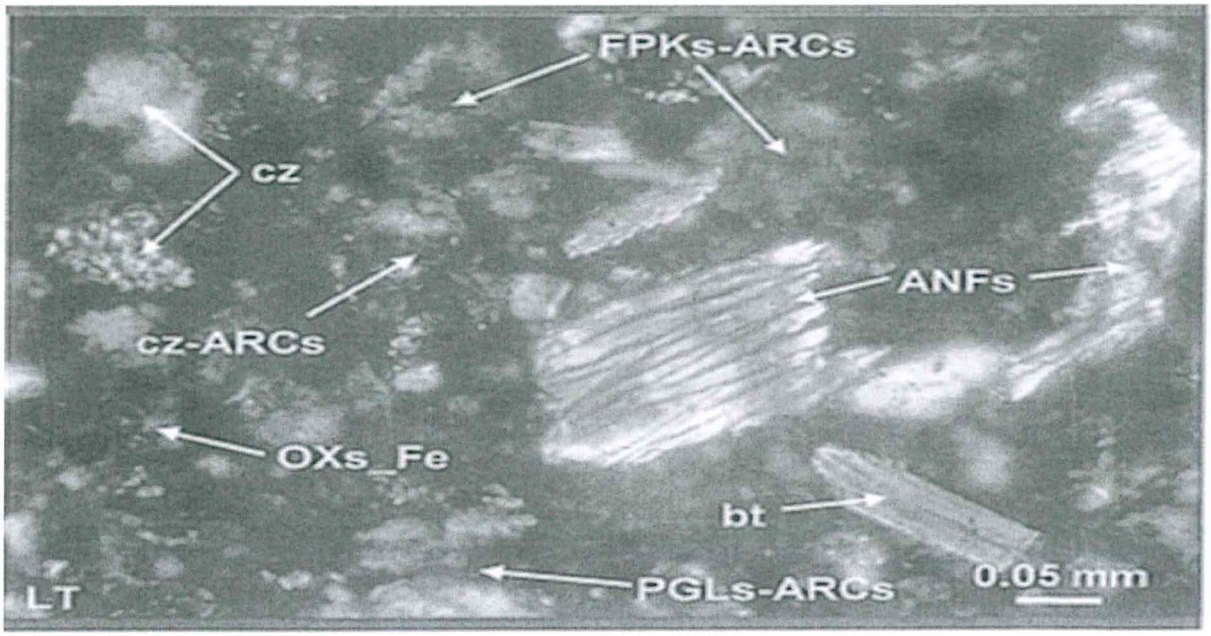
338. De estas muestras se realizaron estudios mineragraficos, resultando algunas fotografías de relevancia, como por ejemplo la alteración argílica y los óxidos de hierro, recurrentes en las cabeceras del embalse Pasto Grande (Gráfico 4-7 y 4-8).

Gráfico 4- 7: Mircofotografia de particulas libres de óxidos de hierro, plagioclasas y cuarzo



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4- 8: Microfotografía de particulas libres de óxidos de hierro, feldespatos alterados a arcillas, plagioclasas y cuarzo



Fuente: Elaboración propia.

339. En base a la caracterización geológica, el resultado de los análisis de las muestras y de la información recopilada se realizó la interpretación de estos resultados, para cada uno de los parámetros y elementos que se encuentran contaminando el entorno ambiental del embalse Pasto Grande.

4.1.5.1 Arsénico (As)

340. El arsénico (As) es un elemento muy común en la atmósfera, en rocas y suelos, en la hidrosfera y la biosfera. Es movilizado al medio ambiente a través de una combinación de procesos que incluyen tanto procesos naturales (meteorización, actividad biológica, emisiones volcánicas), así como procesos antropogénicos (actividad minera, uso de combustibles fósiles, uso de pesticidas, herbicidas, desecantes, conservadores de la madera, y uso como aditivos de piensos).

341. Al arsénico se le podría encontrar en forma natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El principal mineral del arsénico es la arsenopirita que es un sulfuro. (FeAsS).

342. Teniendo en cuenta los resultados mostrados en el anexo A y en las gráficas del capítulo de resultados de agua y sedimento, el As se encuentra en concentraciones que superaron los valores de calidad ambiental (ECA-agua). En lo que respecta al recurso hídrico, se encuentra en el río Patara, mientras que en los sedimentos se encuentran en todas las muestras a excepción del río Tocco.

343. Así mismo, el río Patara presenta boro (B), que si bien no supera los valores establecidos en el ECA, presenta mayores concentraciones de este elemento con respecto a las demás estaciones de muestreo.

344. Con respecto a los análisis realizados en las muestras de sedimento, el arsénico tiene mayores concentraciones en la parte baja de río Patara donde promedia 600 mg/kg esto denota la influencia cercana de aguas termales (este tema se desarrollara más adelante).

345. En la cabecera de este rio, tenemos concentraciones regulares por encima de los 100 mg/kg pero que superaron lo establecido por la norma canadiense. Estos valores se deben a actividades mineras, pues la existencia de arsénico está asociada a minerales de zinc, plomo, y su presencia en muchos sulfuros (como la pirita) es causa de contaminación en el medio ambiente, cerca de los sitios de fundición y tratamiento de minerales (Crecelius *et al.*, 1974; Ragaini *et al.*, 1977).

346. La presencia en los sedimentos es la afinidad del arsénico para ser retenidos en fases sólidas, por eso las concentraciones altas se esperan encontrar cerca de pasivos mineros o minas (Puga *et al.*, 2006).

4.1.5.2 Plomo (Pb)

347. La corteza terrestre contiene plomo en pequeñas cantidades, encontrándose mayormente en depósitos minerales (galena, PbS) y donde se refina este mineral. Al igual que el níquel, el plomo también es indicador de contaminación antropogénica y posee poca movilidad geoquímica (Catalan y Catalan, 1987).

348. Una fuente importante de contaminación de plomo es la emisión de plomo a la atmosfera son las fundiciones de plomo, las actividades de recuperación del metal y la combustión de combustibles fósiles de donde es transportado por la atmósfera y se deposita en los cursos de agua continentales (Nriagu, 1979; Adriano, 1986; Vega 1990).

349. Además, los minerales de silicatos, feldespatos y magnetitas son notables sumideros de plomo en los sedimentos (Adriano, 1986). El plomo es un metal muy poco móvil y que tiende a adsorberse en la zona no saturada de los ríos, por el material arcilloso y la materia orgánica, y con el aumento de pH puede precipitar (Doménech, 1995; Navarro et al., 1998). También se puede deber su presencia por que tiende a aparecer junto a la limonita y otros óxidos de hierro (Hurbult y Klein, 1988).

350. Entonces, de acuerdo a los resultados el Pb se encuentra superando los estandares de calidad en el área del embalse y en sus tributarios. Esto se debe a dos razones:

- La primera, por presentar valores altos en los ríos Patara y Cachara, correspondería a la actividad minera que contempló la subcuenca. Hacia las partes altas en todas las minas que a la fecha se encuentran inactivas había plomo y estaba asociados a los polimetálicos de Zn, Ag y Cu. Es por ello que se hace esta relación.

- La segunda se debe a la presencia de valores anómalos de Pb en el río Antajarani, en el río Tocco y en la quebrada Millohajauira, atribuyendo esto, a la alta presencia de óxidos de fierro, que en muchos casos va asociado con Pb. Concluyendo que su origen sea litogénico.

4.1.5.3 Zinc (Zn)

351. Es un elemento que está profusamente repartido en la corteza terrestre, 24 en orden de abundancia (Taylor, 1964). Se encuentra en la naturaleza libre y como Zn II mayoritariamente. Sus principales minerales son esfalerita o blenda (ZnS) smithsonita ($ZnCO_2$) y calamina (Zn-SiO4.H,O). La blenda contiene también cantidades importantes de hierro, cadmio y manganeso (Burriel *et al.*, 1989 y Catalan, 1981)

352. El Zinc ocurre de forma natural en el agua y suelo, pero las concentraciones cada vez están aumentando por causas no naturales (antropogénicas). La mayoría de este elemento es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de Zinc está todavía creciendo (Wright, J., 2003)

353. Emsley (2001) indica que el agua es contaminada con Zinc, debido a la presencia de grandes cantidades de Zinc en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango contaminado con Zinc en sus orillas. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas.

354. En nuestro estudio se encuentra superando los valores estandar (ECA-agua) debido a que los terrenos de parte alta de los ríos Patara y Cacachara, contienen mineralización de elementos polimetálicos, entre ellos el Zinc. Este elemento presenta poca movilidad geoquímica y tiende a sedimentar (CATALAN y CATALAN, 1987) es por ello que también se presenta en los sedimentos. Su atribución en esta parte de la cuenca se debe a la actividad antrópica que existió aquí.

355. Sin embargo también existe presencia de Zinc en valores que indican contaminación en el río Antajarane, en la quebrada Millohajuira y en el río Tocco, demostrando la presencia de este elemento en la composición natural del terreno geológico. Prueba de ellos es el análisis químico de fluorescencia de rayos X, donde se observa la presencia de Zn en las muestras M3 yM4, en la cabecera de del río Antajarane. Ver anexo D (informes de ensayo).

4.1.5.4 Mercurio (Hg)

356. El mercurio se da de manera natural en el medio ambiente en pequeñas cantidades y existe en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura, se lo conoce como mercurio "elemental" o "metálico". (Wright, J., 2003).

357. Naturalmente el mercurio se encuentra como sulfuro de mercurio (mineral de cinabrio), sin embargo, habitualmente no se encuentra en el medio natural y su presencia significa una contaminación causada por el hombre (Faust y Aly, 1981; Malm et al., 1990). Es considerado como uno de los más tóxicos dentro de los metales pesados y su origen principalmente se debe a la amalgamación del oro, las industrias químicas, la minería e industrial en general (Gonzáles et al., 1990; Lareda y Salomons, 1991; Vink et al, 1999)

358. De los resultados y análisis de la calidad de agua y sedimento (capítulo de los resultados de agua y sedimento), se indica que el mercurio, sólo en el mes de agosto en el punto QH/RA se obtuvo un valor superior al ECA para Agua de la categoría 4, diferenciando este resultado a los obtenidos en otros monitoreos (febrero 2014, julio 2014, marzo 2015). De la misma manera, se encuentran resultados con las mismas características en QAS y QM, pero que no superaron el ECA.

359. En este caso, debido a esta interrogante no se analizará y dará una relación con el medio. Además según los estudios y la comprobación en campo, esta zona donde se encuentra el mercurio no presenta ningún tipo de actividad antrópica, realzando la duda de su origen.

360. Por otro lado existe mercurio en las muestras de agua y sedimento del río Patara y Cacachara, y fácilmente su fuente se podría relacionar a la actividad minera que hubo en la parte alta. Generalmente su exposición al medio ambiente se debe a la actividad minera (Manahan, S) y está relacionada al resultado del proceso de beneficio de una zona con contenido de Au y Ag. En nuestro estudio se indica que las minas de Cacachara y Santa Rosa explotaban estos elementos.

4.1.5.5 Cadmio (Cd)

361. El Cd es un constituyente menor (trazas) en la corteza terrestre, con concentraciones aproximadas entre 0,1 y 0,2 mg/kg. Sus características geoquímicas que indican una asociación con el Zn, explican su presencia habitual en los sulfuros, especialmente en la esfalerita (ZnS), donde puede llegar a 0.8%. El principal mineral de Cd es la grenoquita (CdS), otros como los carbonatos y óxidos son producto de la meteorización de aquellos o de minerales de Zn que contienen Cd (Garcia-Sanchez, A., 1989).

362. Los contenidos en los distintos tipos de rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias varían bastante según su origen, edad o fuente.

363. Como valores referenciales se puede mencionar los valores promedio (Wakita & Smith, 1978): Rocas ígneas (0,12-0,22mg/Kg), rocas metamórficas (0,11-1mg/kg), rocas sedimentarias (0,3mg/k). El cadmio siempre guarda relación con el Zinc. La movilidad del cadmio es bastante regular en medios oxidantes y muy bajas en ambientes reductores. Es muy soluble a pH bajos (Reimann & Caritat, 1998). En sedimentos de ambientes ácidos y bajo condiciones de oxidación el Cd está principalmente en forma de iones intercambiables (Khalid et al., 1981; Adriano, 1986).

364. Existen en mayor cantidad fuentes de contaminación antrópicas, las cuales se pueden dar por, explotaciones mineras (principalmente de esfalerita y otros sulfuros como Cu y Pb, pero es menos común), fundiciones, vertidos de aguas residuales domesticas e industriales, metalúrgicas, industrias textiles, metalúrgicas (galvanizados o aleaciones), centrales térmicas del carbón, usos agrícolas de fertilzantes fosfatados y lodos de depuradoras (Garcia-Sanchez, A.1989)

365. En base a esto y a los resultados de calidad de agua y sedimentos, el Cd se encuentra básicamente en el río Patara y Cacachara, en concentraciones que superaron los niveles permitidos de calidad ambiental (ECA-Agua).

366. En el río Patara se encuentra en la muestra RP-1 y en las muestras aguas debajo de las cabeceras de este mismo río y quebrada cacachara), además se concentra también en los sedimentos.

367. De la caracterización geológica se tiene que las minas como Pavico, Cachara y San Rosa, todas presentan en su composición Zn (ver Anexo F), es decir tienen como mineral asociado a la esfalerita (ZnS), relacionando la presencia de Cd a esta actividad que ocurrió hasta hace unos años atrás en el ámbito de Pasto Grande. Por otra parte, queda

resaltar su larga trayectoria, desde la cabecera hasta la desembocadura en el embalse, debiéndose a la movilidad que tiene este elemento en condiciones ácidas.

4.1.5.6 Cobre (Cu)

368. Se encuentra en el lugar 25 con respecto a la abundancia de los elementos presentes en la corteza terrestre, sobre todo en rocas ígneas, basaltos y esquistos (Taylor, 1964). En la naturaleza se encuentra como cobre nativo. Tiene tendencia a concentrarse en los óxidos de manganeso sedimentarios y en fracciones de minerales de arcilla, ricas en materia orgánica.

369. Los minerales más abundantes de cobre son calcopirita (CuFeS), calcocita (Cu,S), azurita, malaquita, cuprita y tetraedrita (Burriel et al., 1989; Catalan, 1981. Su exposición al medio ambiente se puede dar de forma natural, pero es más común su liberación debido a la industria.

370. Según Nriagu (1979), las emisiones de cobre en el mundo hacia la atmosfera son de unos 18 500 t/año de origen natural (polvos transportados por el viento, partículas de origen volcánico, etc) y 56 300 t/año de origen antropogénicas (metalurgia y minería, combustión de maderas, etc).

371. El 83% de las emisiones de este metal a la atmosfera se depositan posteriormente en las zonas continentales y el resto en los océanos. Desde el aire el Cu puede alcanzar los ambientes acuáticos por precipitación húmeda (lluvia), como seca (polvo)

372. De los análisis de los resultados se encuentra cobre superando los ECA en el recurso hídrico de los tributarios del embalse, mientras que en el análisis de sedimentos las concentraciones de cobre no superaron la guía ambiental canadiense.

373. Las muestras donde se encontraron concentraciones altas de Cu, se localizan aguas abajo de la actividad minera pues las minas inactivas Pavico, Cacachara y Santa Rosa, presentaban este metal como subproducto (ver Anexo F). Podríamos atribuir este comportamiento a la actividad.

374. Sin embargo también hay indicios de valores anómalos de Cu aguas debajo del río Antajarani, lugar donde no existe ni existió actividad minera. Esto principalmente se debe a la meteorización de las rocas que contiene minerales de cobre, y la muestra M3 (Ver anexo D - informes de ensayo) indica que presenta sulfuros de cobre y fierro en trazas.

4.2 Análisis estadístico para la identificación de fuentes

375. Del análisis de metales en agua podemos indicar que existe una clara diferencia del aporte del río Patara – Cacachara con el resto de tributarios, principalmente de los elementos arsénico, cadmio, plomo y zinc.

376. Otros tributarios importantes relacionados al aporte de metales son el río Antajarane y la quebrada Millojahuira (representados por los puntos QH/RA y QM respectivamente) estos cuerpos de agua aportan metales como zinc, níquel y cobre.

377. En la Tabla 4-5 se puede ver los caudales promedio de caudales (expresados en m^3/s) desde el 2011 hasta febrero de 2015, donde el río Patara – Cacachara es el principal afluente del embalse Pasto Grande.

Tabla 4- 5: Caudales de los principales tributarios del embalse Pasto Grande

Ítem	Afluente	Q (m^3/s) PROMEDIO				
		2011	2012	2013	2014	2015*
1	Río Millojahuira	0,481	0,687	0,571	0,328	0,529
2	Río Antajarane y Hualcane	0,664	1,019	0,625	0,237	0,627
3	Río Patara - Cacachara	1,716	3,426	1,561	0,331	1,773
4	Río Tocco	0,410	0,812	0,779	0,327	0,639
Aporte		3,271	5,945	3,536	1,223	3,568

(*) Promedio sólo de los meses de enero y febrero
Fuente: Oficio N° 287-2015-GG-PERPG/GR.MOQ.

378. En la Tabla A-1 del anexo A se muestra la base de datos utilizada para el análisis multivariable de los tributarios; donde se consideró los resultados obtenidos en el 2014 y 2015.

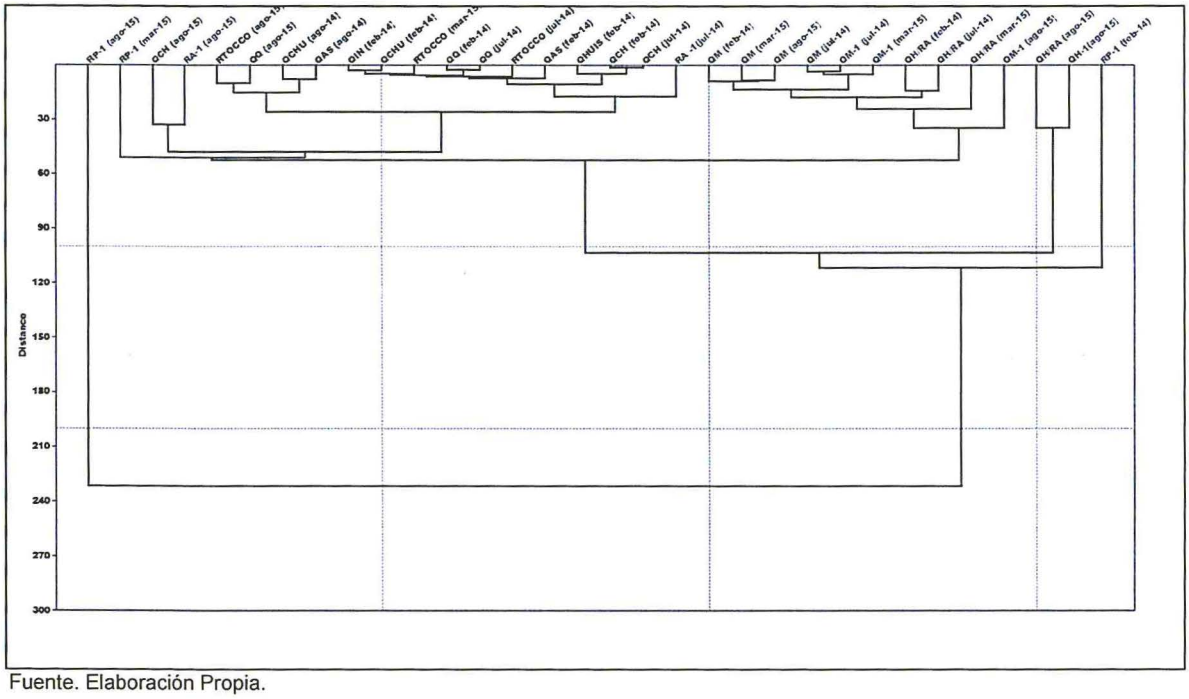
4.2.1 Análisis de clúster

379. Este análisis pemitirá conocer cuan similares (en la concentración de metales totales) son los puntos evaluados en los tributarios del embalse Pasto Grande y del rio Patara – Cacachara.

4.2.1.1 Análisis de clúster en los tributarios del embalse

380. En el Gráfico 4-9 se puede observar el dendograma realizado con los datos de metales totales de la Tabla A-1 del Anexo A. Para una mejor interpretación se hicieron dos cortes: el primero a una distancia de 210 unidades y el segundo a una de 35 unidades. Cabe precisar que a menor distancia mayor similitud entre puntos de muestreo.

Gráfico 4- 9: Análisis de clúster de los tributarios del embalse



Fuente. Elaboración Propia.

a. Primer corte

381. Como se detalla en el Gráfico 4-9 (dendograma) a una distancia de 210 unidades se generan dos grupos o cluster, el primero está formado por el punto de muestreo RP-1 (río Patara-Cacachara) del mes de agosto de 2015 y el segundo grupo o cluster los demás puntos de muestreo.

b. Segundo corte

382. A una distancia de 30 unidades se forman 10 grupos o clúster según su similitud:

- Primer grupo o clúster, formado con los resultados del punto de muestreo aislado RP-1 del mes de febrero de 2014.
- Segundo grupo o clúster, formado con los resultados del punto de muestreo RA de agosto de 2015 y QH-1 de agosto de 2015, ambos ubicados en el río Antajarane.
- El tercer grupo o clúster está formado con los resultados de los puntos QM, QM-1 y QH/RA de los meses de febrero y julio de 2014 y marzo y agosto de 2015.
- Cuarto grupo o clúster, formado con los resultados de los puntos muestreos RA-1 de julio de 2014 y agosto de 2015, QCH de febrero de 2014 y julio de 2015, QHUIS de febrero de 2014, QAS de febrero de 2014 y agosto de 2015, QQ de febrero y julio de 2014 y agosto de 2015, RTocco de julio de 2014 y marzo y agosto de 2015, QCHU de febrero de 2014 y agosto de 2015 y QIN de febrero de 2014.

- Quinto grupo o clúster, está formado con los resultados de los puntos de muestreo QCH y RA-1 ambos de agosto de 2015.
- Sexto grupo o clúster está formado por los resultados del punto RP-1 de marzo de 2015.
- Séptimo grupo o clúster, está formado por el punto RP-1 de agosto de 2015.

383. Este análisis nos permite identificar grupos de puntos de muestreo según sus características analizadas, siendo en este caso el análisis de metales totales.

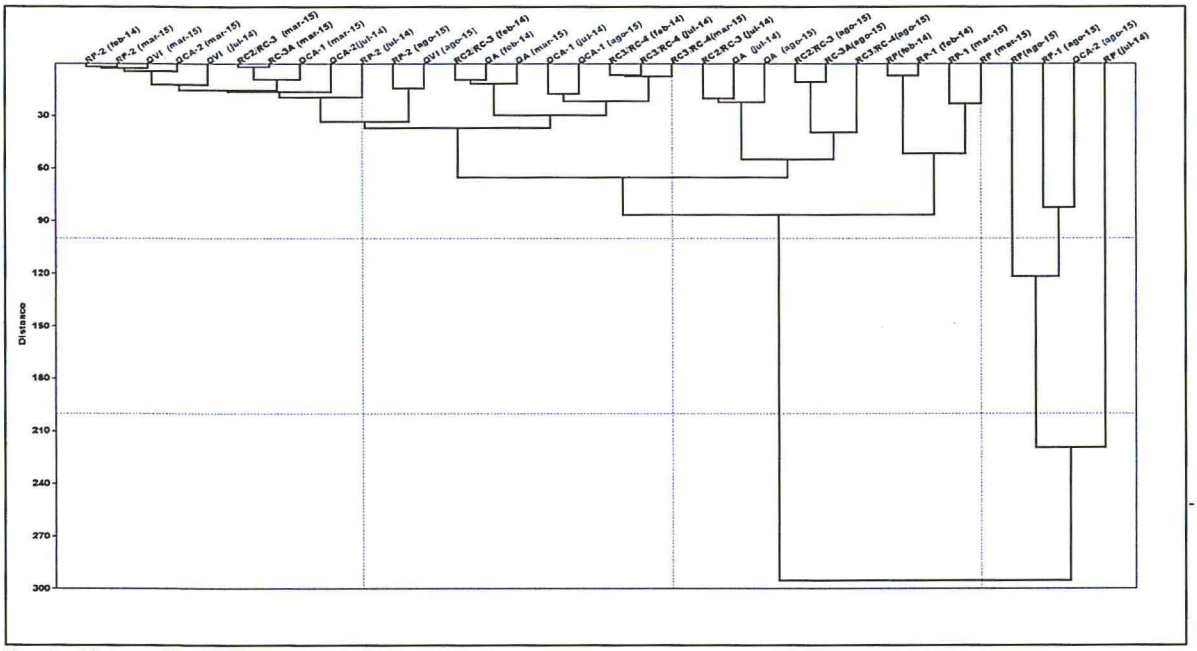
384. En resumen, y comparados con los resultados de metales en agua este análisis nos puede indicar lo siguiente:

- El punto de muestreo RP-1 aporta características distintas a la de los demás puntos ubicados en los tributarios del embalse. Esto debido a que a una distancia de 35 unidades no estuvo agrupado con otros puntos de muestreo, lo que sí estuvieron la gran mayoría de los puntos.
- El segundo y tercer grupo muestra al conjunto de los ríos asociados a los metales con las mayores concentraciones de hierro, zinc, níquel y plomo (río Antajarane), ubicadas al norte y noreste del embalse.
- El cuarto y quinto grupo está formado por los tributarios característicos por no presentar altas concentraciones de metales.

4.2.1.2 Análisis de clúster en el río Patara – Cacachara

385. En el Gráfico 4-10 se puede observar el dendograma realizado con los datos del Anexo A. Para este caso se estarían realizando dos cortes: el primero a una distancia de 240 unidades y el segundo a una distancia de 60 unidades.

Gráfico 4- 10: Análisis de clúster de los puntos de muestreo ubicados en el río Patara - Cacachara



Fuente: Elaboración propia.

a. Primer corte

386. Como se puede observar en el Gráfico 4-10, el corte realizado a 240 unidades muestra como los puntos RP-1, RP, y QCA-2, todos de agosto de 2015 y RP de julio de 2014, se diferencian del resto de puntos.

b. Segundo corte

387. A una distancia de 75 unidades podemos observar la formación de 7 grupos o clúster según su similitud:

- Primer grupo o clúster, está formado con los resultados obtenidos del punto de muestreo RP de julio de 2014
- Segundo grupo o clúster, está formado con los resultados del punto de muestreo QCA-2 de agosto de 2015
- Tercer grupo o clúster, está formado con los resultados del punto de muestreo RP-1 de agosto de 2015
- Cuarto grupo o clúster, está formado con los resultados del punto de muestreo RP de agosto de 2015
- Quinto grupo o clúster, está formado con los resultados de los puntos RP y RP-1 de febrero de 2014 y marzo de 2015
- Sexto grupo o clúster, está formado con los resultados de los puntos:

- QA en los meses de febrero de 2014, julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015.
- QCA-1 en los meses de julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015, QCA-2 en los meses de julio de 2014 y marzo de 2015.
- QVI en julio de 2014, marzo de 2015 y agosto de 2015.
- RC2/RC-3 en febrero y julio de 2014 y marzo y agosto de 2015.
- RC3/RC-4 en febrero y julio de 2014 y marzo de 2015 y agosto de 2015.
- RC-3A en marzo y agosto de 2015.
- RP-2 en febrero y julio de 2014 y marzo y agosto de 2015.

388. Es así, que del análisis de clúster realizado para el río Patara – Cacachara, se puede indicar lo siguiente:

- Existen características similares entre los puntos de muestreo RP-1 y RP ubicados antes de la confluencia con el embalse Pasto Grande, que se diferencian de los demás puntos de muestreo.
- Como también características similares entre los puntos ubicados en la parte alta del río Patara – Cacachara.

4.2.2 Análisis de Componentes Principales (ACP)

389. En complemento al análisis de clúster se realizó el Análisis de Componentes Principales con la finalidad de obtener información de los elementos que hacen posible la similitud entre los puntos de muestreo, determinándose asi los metales que contribuyen de manera significativa a la similitud entre los puntos evaluados. Cabe resaltar que si un metal (variable) presenta concentraciones parecidas entre los puntos evaluados, este contribuye a que dichos puntos sean similares.

4.2.2.1 Análisis de Componentes Principales en los tributarios del embalse

390. Al igual que para el análisis de clúster, se utilizó los valores de la Tabla A-1 del Anexo A para el desarrollo del ACP.

391. Posterior al ingreso de los datos en el software PAST 3.10, la Tabla 4-6 es generada en el programa, la cual muestra que para el componente principal 1 se utiliza el 93,701 % de la varianza y para el segundo componente se utiliza el 5,5612 %; por lo que, utilizando sólo los dos (2) primeros componentes para la interpretación de los resultados del ACP, se estaría explicando el 94,24 % de varianza total.

Tabla 4- 6: Porcentaje de varianza según componente principal

Componente Principal	% Variancia
1	93,701
2	5,5612
3	0,7018
4	0,019 14
5	0,016 156

Componente Principal	% Variancia
6	0,000 436 77
7	0,000 124 74
8	0,000 102 85
9	6,1584E-05
10	4,2625E-05

Fuente: Past 3.10

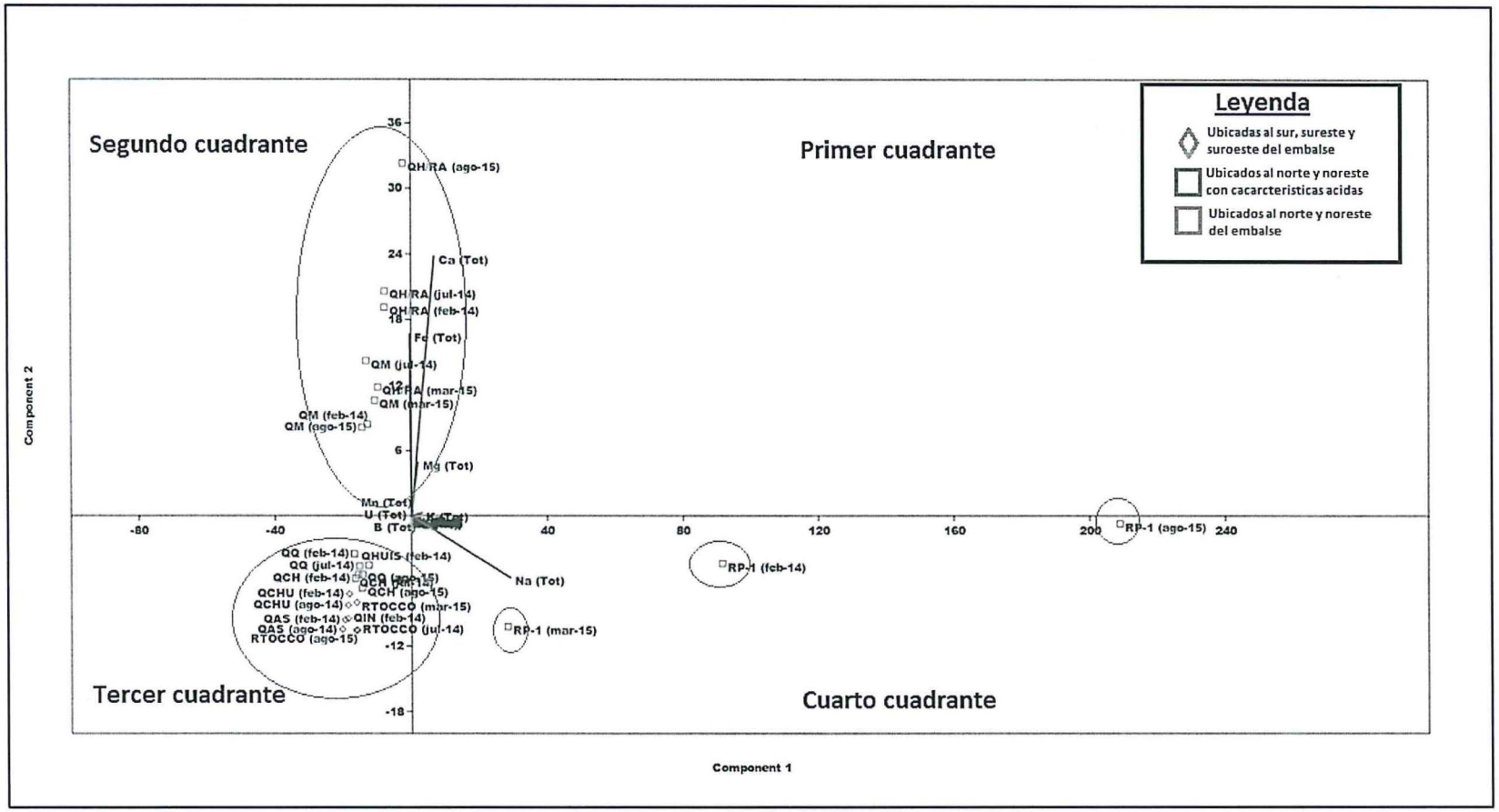
392. El Gráfico 4-11 presenta el conjunto de estaciones correlacionadas a estos componentes, resaltando:

- **Primer cuadrante (valores positivos para el componente 1 y componente 2)**: Ninguno de los puntos de muestreo se correlaciona con ambos componentes.
- **Segundo cuadrante (valores negativos para el componente 1 y positivos para el componente 2)**: En este cuadrante se presentan los valores correlacionados al componente 2 y con ninguna correlación al componente 1, en este cuadrante se ubican los puntos de muestreo QH/RA y QM de los meses de febrero y julio de 2014 y marzo y agosto de 2015.
- **Tercer cuadrante (valores negativos para el componente 1 y componente 2)**: En este cuadrante se presentan todos los resultados que no están correlacionados con ninguno de los componentes. En este cuadrante se ubican los resultados de los puntos QQ, QHUIS, QCH, QCHU, QAS, QIN y RTocco, en las distintas fechas donde se tomaron muestras.
- **Cuarto cuadrante (valores positivos para el componente 1 y negativos para el componente 2)**: Los códigos ubicados en este cuadrante son los que están correlacionados al componente 1, como se puede observar en el Gráfico 4-11 el punto de muestreo RP-1 en las diferentes fechas que se muestrearon (febrero de 2014 y marzo y agosto de 2015) se sitúa en este cuadrante. El resultado de mayor correlación con el componente 1 fue el punto de muestreo tomado en el mes de agosto de 2015.

393. Cabe resaltar los resultados de Berilio en el CP1 (0,672 63), Cobalto en el CP1 (0,331 12), níquel en el CP1 (0,333 33), cobre en el CP1 (0,431 38) y mercurio en el CP2 (0,478 11). A pesar que no son representativos (mayor valor entre componentes), indican una correlación con el componente contrario; en este caso de los resultados ubicados en el cuarto cuadrante estos también estarían correlacionados en un nivel más bajo con berilio, cobalto, níquel y cobre.

394. Otro punto importante es el componente principal 13, el cual recoge la afinidad con el elemento plomo; que de acuerdo, a la comparación realizada con los ECA para agua, está presente en los puntos de muestreo QM, QH/RA, RP-1 y Rtocco.

Gráfico 4- 11: Gráfico de dispersión del ACP para los puntos tributarios del embalse



Fuente: Elaboración propia.

395. Con el fin de identificar los puntos de muestreo y una mejor comprensión, en el Gráfico 4-11 los puntos de muestreo se dividieron según su origen y características visuales más relevantes. Ver Anexo C (Registro FotoGráfico).

- Las muestras que se tomaron al sur, sureste y suroeste, se identifican con un rombo de color azul.
- Las muestras ubicadas al norte y noreste del embalse con sedimentos rojizos se identifican con un cuadro rojo.
- Y las muestras ubicadas a norte y noreste del embalse sin el característico sedimento rojizo, se identifican con un cuadrado verde.

396. El orden como se acomodan en el Gráfico 4-11 del ACP nos detallan que las muestras de agua tomadas en los ríos que tienen un sedimento rojizo salvo las muestra tomada en el río Patara (RP-1), están relacionadas a los elementos cromo, cobalto, níquel, cobre, molibdeno y hierro; además, la propiedad *BIPLOT* del programa PAST 3.10 nos permite relacionar el resultado a los elementos que más influyen por cuadrante.

397. Como se puede observar en el Gráfico 4-12, el resultado que más influye en el segundo cuadrante es el hierro.

398. En el caso del cuarto cuadrante relacionado a litio, boro, manganeso, zinc, arsénico, estroncio, cadmio, bario, sodio, magnesio, potasio y calcio, sólo el punto de muestreo RP-1 se correlaciona con este componente, repasando los resultados de metales comparados con los ECA para agua, en este punto de muestreo se puede indicar que arsénico, cadmio y zinc eran elementos que superaban el ECA para Agua de la categoría 4 y se encontraban en mayor concentración en este punto de muestreo.

EVALUACIONES AMBIENTALES - DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

Tabla 4- 7: Porcentaje de varianza por componente

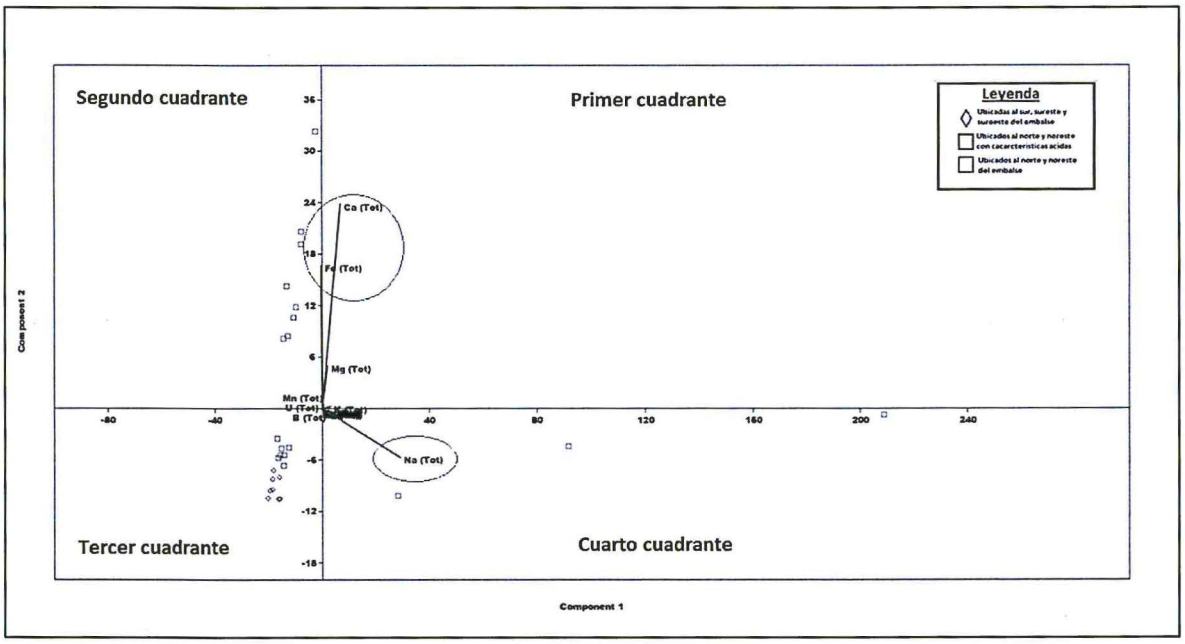
Componente Principal	% Variancia
1	97,002
2	2,3863
3	0,468 24
4	0,074 19
5	0,062 216
6	0,004 984 7
7	0,001 261 8
8	0,000 411 48
9	0,000 114 18
10	4,305E-05

Fuente: Elaboración propia.

403. El Gráfico 4-13 presenta el conjunto de estaciones relacionadas a los componentes, resaltando:

- **Primer cuadrante (valores positivos para el componente 1 y componente 2)**: Este cuadrante se correlaciona con el componente 1 y componente 2; es así que, los puntos de muestreo que se ubiquen en este cuadrante estarían correlacionados los metales listados para ambos componentes. En este cuadrante se ubicaron los puntos de muestreo RP-1 (febrero de 2014 y agosto de 2015) y RP (febrero de 2014 y agosto de 2015).
- **Segundo cuadrante (valores negativos para el componente 1 y positivos para el componente 2)**: Este cuadrante se encuentra correlacionado con el componente 2, aquí se ubicaron los puntos de muestreo RC2/RC-3 (febrero y julio de 2014 y agosto de 2015), RC-3A (agosto de 2015), QCA-1(julio de 2014 y agosto de 2015), QA (febrero y julio de 2014 y marzo y agosto de 2015) y RC3/RC-4 (febrero y julio de 2014 y marzo y agosto de 2015).
- **Tercer cuadrante (valores negativos para el componente 1 y componente 2)**: En este cuadrante se presentan todos los resultados que no están correlacionados con ninguno de los componentes. En este cuadrante se encuentra los resultados de los puntos RP-1 (marzo de 2015), RP-2 (febrero y julio de 2014 y marzo y agosto de 2015), RC2/RC-3 (marzo de 2015), RC-3A (marzo de 2015), QVI (julio de 2014 y marzo y agosto de 2015), QCA-1 (marzo de 2015), QCA-2 (julio de 2014 y marzo de 2015).
- **Cuarto cuadrante (valores positivos para el componente 1 y negativos para el componente 2)**: En este cuadrante se ubican los resultados que están correlacionados al componente 1. Los puntos ubicados en este cuadrante son RP (julio de 2014 y marzo de 2015) y QCA-2 (agosto de 2015).

Gráfico 4- 12: Gráfico de dispersión del ACP para los puntos tributarios del embalse (propiedad BIPLOT)



Fuente: Elaboración propia.

399. Este análisis permite identificar que los principales aportantes de metales y metaloides son la quebrada Millojahuira y los ríos Antajarane y Patara. Cabe recordar que son los de mayor caudal.

400. Además nos indica que el río Patara, como afluente del embalse, esta correlacionado con mayor cantidad de metales y metaloides que los demás tributarios.

4.2.2.2 Análisis de Componentes Principales en el río Patara - Cacachara

401. Para el Análisis de Componentes Principales de los resultados obtenidos en el río Patara - Cacachara se utilizaría los datos que se encuentran en la Tabla A-2 del anexo A.

402. Con el software PAST 3.10, se genera la Tabla 4-7, la cual muestra que para el componente principal 1 se utiliza el 97,002 % de la varianza y para el segundo componente se utiliza el 2,3863 %; por lo que, utilizando sólo los 2 primeros componentes para la interpretación de los resultados del ACP, se estarían contando con el 99,3883% de varianza total.

404. Salvo el resultado obtenido en QCA-2 (agosto de 2015), este análisis nos detalla que los puntos de muestreo RP y RP-1 están repetitivamente correlacionados con los metales listados en el componente principal 1 (litio, boro, arsénico, selenio, estroncio, sodio y potasio) y sólo los resultados de febrero y agosto están correlacionados con el componente 2.

405. Para una mejor comprensión del Gráfico se simbolizó con una aspa roja los tributarios del cuerpo principal río Patara – Cacachara y con un triángulo azul a los puntos de muestreo ubicados en el cauce del río Patara y Cacachara.

406. Con la opción de *BIPLOT* del software se puede visualizar que para este caso que el primer cuadrante está influenciado por el calcio y el magnesio; el segundo cuadrante por el hierro; y el cuarto por el sodio.

407. El grupo ubicado en el segundo cuadrante contiene los puntos de muestreo ubicados aguas abajo de la influencia del Pasivo Cacachara (QCA-1, salvo el resultado de marzo de 2015), de la antigua desmontera (punto de muestreo RC3/RC-4) y del antiguo Pad de Lixiviación (punto de muestreo QA) de la Unidad Minera Santa Rosa de la Cía. Minera Aruntani S.A.C.. Como también contienen los puntos aguas debajo de los puntos de muestreo mencionados y de la influencia de los componentes mineros indicados. Ver grafica 4-22.

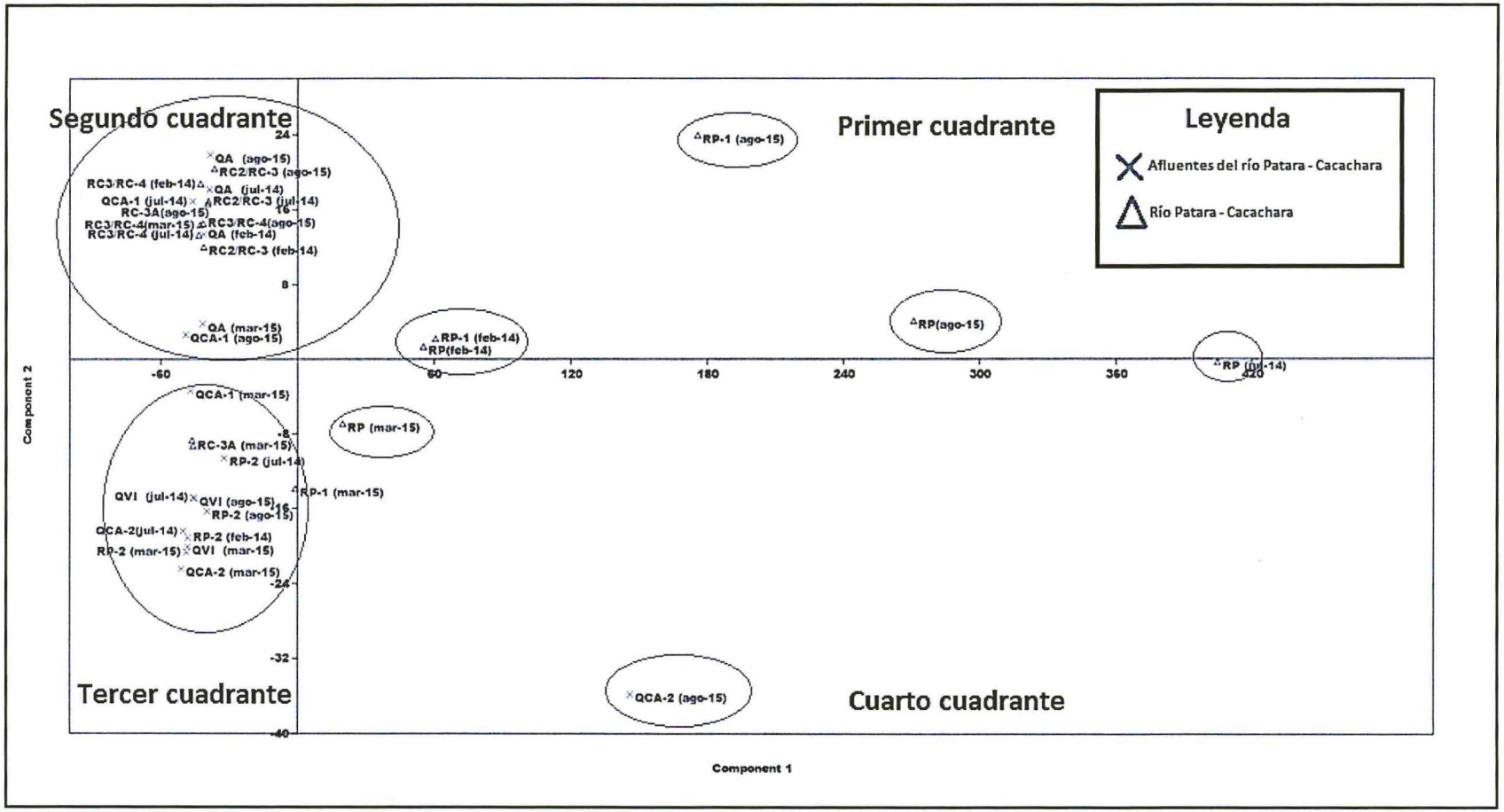
408. Este resultado muestra la influencia de la actividad minera desde la cabecera hasta antes de la confluencia del río Cacachara con el río Patara.

409. Así mismo, el grupo ubicado en el tercer cuadrante contiene los puntos de muestreo que no se correlacionan con algún metal o metaloide, estos puntos son:

- QCA-2, ubicado aguas arriba del Pasivo Cacachara
- QVI, ubicado en la quebrada Vizcacha la cual no contiene en su cauce algún componente de la actividad minera que existió en la zona.
- RP-2, ubicado antes de la confluencia del río Patara con el río Cacachara, aguas arriba no se tiene información de actividad minera.

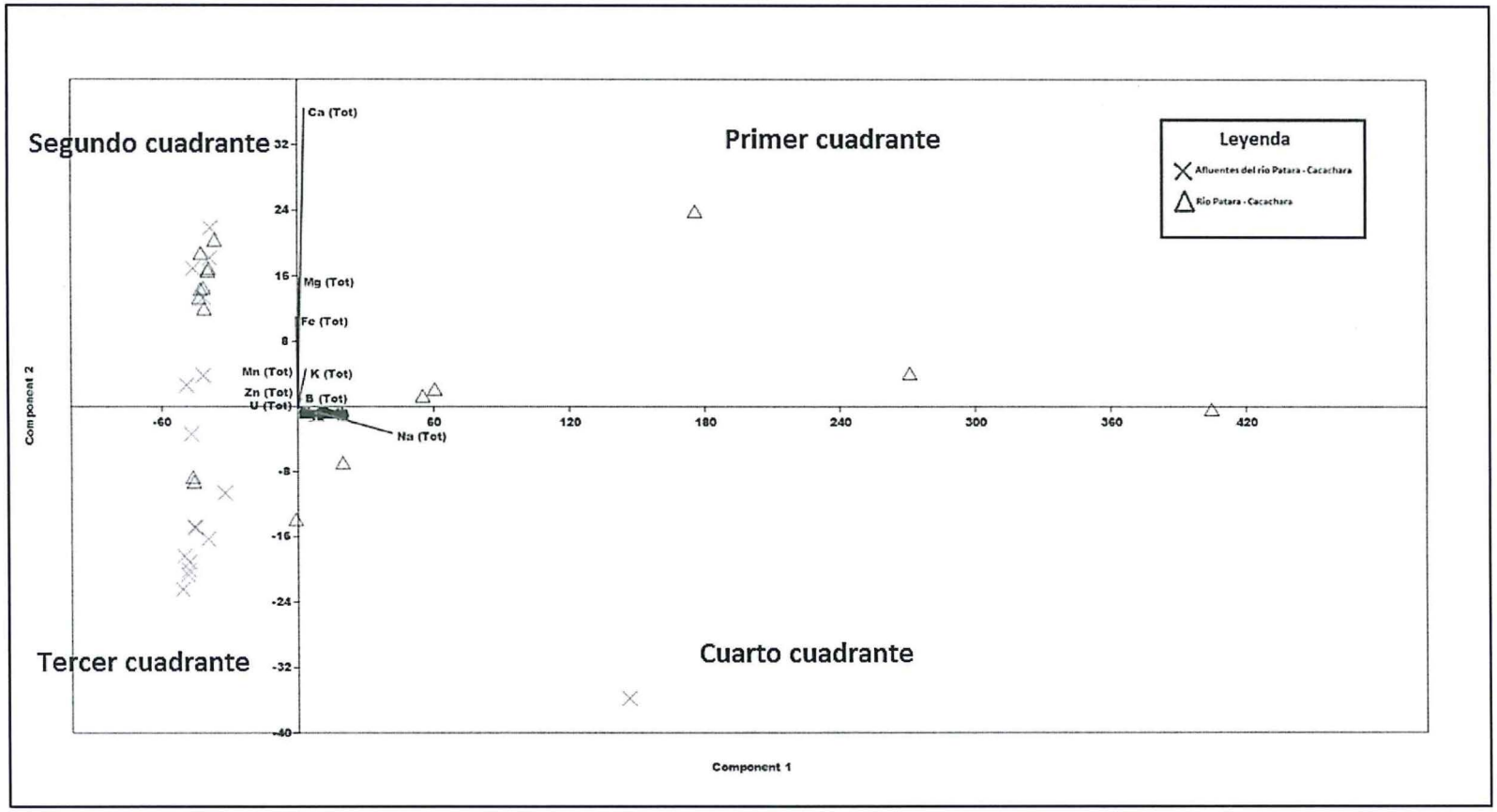
410. A este grupo se le agregan los resultados de los puntos de muestreo QCA-1 y RC-3A ambos del mes de marzo de 2015. Cabe recordar que el muestreo realizado en marzo de 2015, estuvo influenciado por fuertes lluvias, por lo que pudo influir en los resultados de estos meses.

Gráfico 4- 13: Gráfico de dispersión del ACP para los puntos ubicados en el cauce del río Patara – Cacachara



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4- 14: Gráfico de dispersión del ACP para los puntos ubicados en el cauce del río Patara – Cacachara (propiedad BIPLOT)



Fuente: Elaboración propia.

411. Cabe recalcar que a pesar que los datos del punto de muestreo RP-1 en el ACP de tributarios y el ACP para el río Patara-Cacachara es el mismo, los resultados no son iguales debido a la mayor correlacion que tienen los puntos ubicados en la cabecera con los metales (mayor concentración de metales).

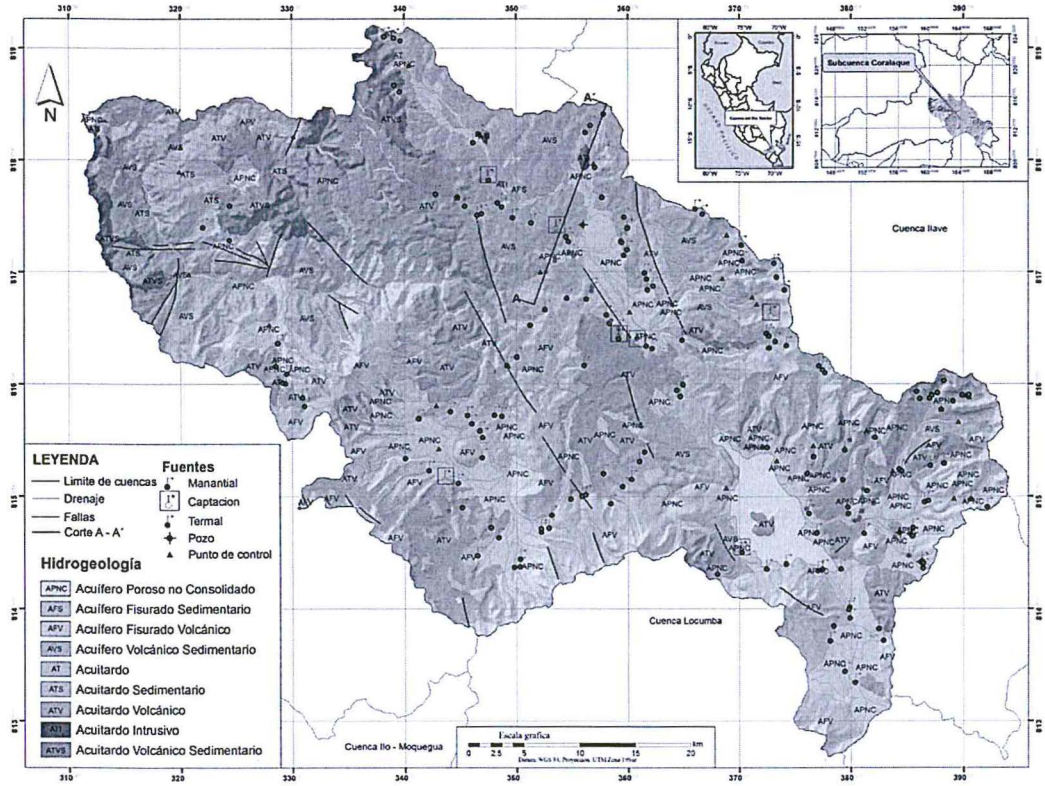
412. Cabe indicar que los resultados de RP-1 y RP están influenciados con por la confluencia del río Patara con el Cacachara; además, de acuerdo a lo observado en campo y a información recopilada, existen fuentes de aguas termales que pueden estar influyendo en los resultados del punto RP-1 y RP. Ver Anexo C (registro fotográfico).

4.2.3 Otras fuentes de metales y metaloides

413. Según un estudio publicado por Ingemmet (2007) sobre la Hidrogeología del sur del Perú (subcuenca Coralaque), además del estudio sobre Hidrotermalismo en el Perú (Steinmuller, K. & Zavala, B. (1997), se encuentran manifestaciones geotermales o aguas termales en el sur del Perú.

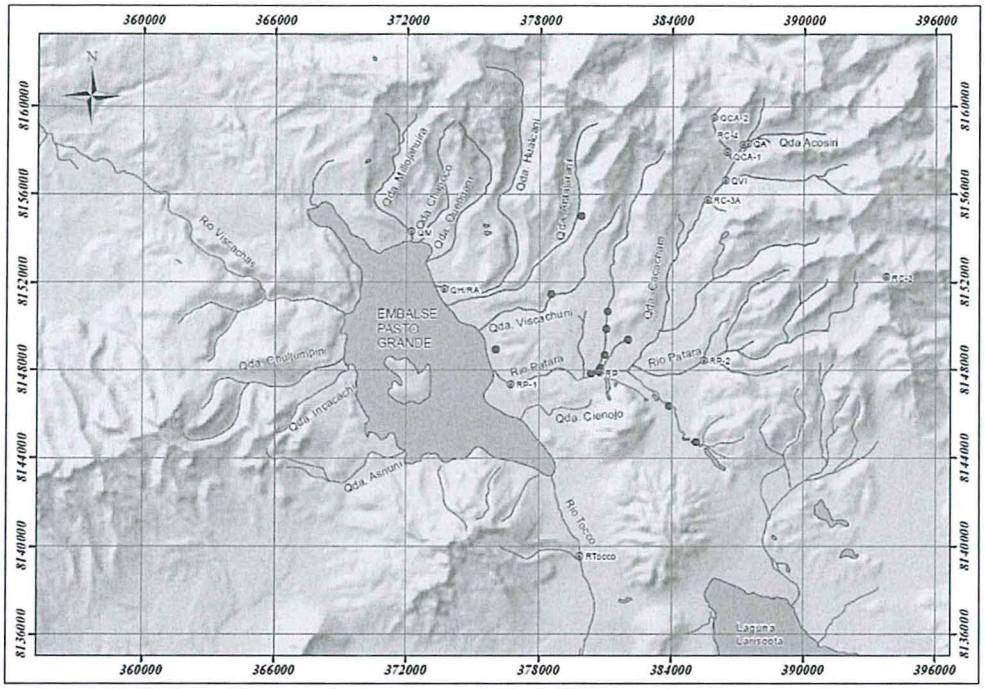
414. En la subcuenca Coralaque, lugar donde se emplaza el embalse Pasto Grande, se han encontrado manifestaciones al norte y este del mismo (Gráfico 4-15).

Gráfico 4- 15: Mapa hidrogeológico de la subcuenca Coralaque, donde se observan las fuentes termales alrededor del embalse Pasto Grande. (Tomado de Ingemmet, 2007)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4- 17: Localización de las surgencias termales en el área de influencia del embalse. En rojo las fuentes termales identificadas (Ingemmet, 2007) y en verde las estaciones de muestreo.



Fuente: Elaboración propia.

420. Con el fin de facilitar su interpretación y análisis se establecieron códigos en remplazo de los establecidos por el Ingemmet (Ver Tabla 4-10). Las fuentes codificadas con D, E, G, H, I, J, K y L influyen sobre el cauce del río Patara – Cacachara.

Tabla 4- 8: Ubicación y descripción de las fuentes de aguas termales

Código para el informe	Código de identificación de la fuente	Nombre de la fuente	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altitud (m.s.n.m.)	Sistema de proyección de coordenadas	Zona
A	131808-130	Manantial Santacrane	379887	8155029	4682	WGS 84	19S
B	131808-154	Manantial Viscachuni Tiji	378533	8151465	4622	WGS 84	19S
C	131808-158	Fuente termal Pojtiri	381098	8150676	4647	WGS 84	19S
D	131808-162	Fuente termal Pataccollpa	381040	8149900	4631	WGS 84	19S
E	131808-168	Fuente Putina Chila	382031	8149367	4618	WGS 84	19S
F	131808-173	Manantial Occoruni 1	376037	8148925	4563	WGS 84	19S
G	131808-175	Fuente termales de Hancco Putina Pampa	380988	8148677	4610	WGS 84	19S
H	131808-179	Fuente termal huacamaña (trasero de vaca)	380769	8148106	4595	WGS 84	19S
I	131808-180	Fuente termales señocco 1	380688	8147933	4601	WGS 84	19S
J	131808-181	Fuente Termales Señocco 2	380360	8147839	4596	WGS 84	19S
K	131808-192	Fuente termal vizcachuni	383902	8146381	4640	WGS 84	19S
L	131808-196	Manantial Puente Pajra	385128	8144737	4654	WGS 84	19S

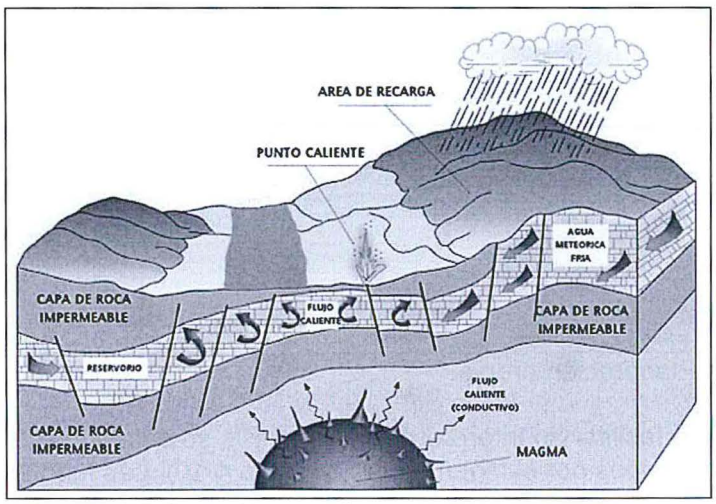
Fuente: Ingemmet, 2007.

415. Las aguas termales son aguas minerales que salen del suelo con más de 5°C que la temperatura superficial. En general, son afloramientos de las aguas subterráneas.

416. Estas aguas proceden de capas subterráneas de la Tierra que se encuentran a mayor temperatura, las cuales son ricas en diferentes componentes minerales.

417. Por lo general se encuentran a lo largo de líneas de fallas ya que a lo largo del plano de falla pueden introducirse las aguas subterráneas que se calientan al llegar a cierta profundidad y suben después en forma de vapor (que puede condensarse al llegar a la superficie, formando un géiser o de agua caliente (Gráfico 4-16).

Gráfico 4- 16: Diagrama esquemático sobre el origen de las aguas termales



Fuente: Elaboración propia.

418. Estudios reportan aguas termales cuyas concentraciones metálicas descargan a las aguas del río Patara. Este río y sus tributarios, están influenciados por estos afloramientos de agua y muestran signos de contaminación.

419. En la Tabla 4-10 se indican las fuentes de aguas termales ubicadas en el entorno del embalse Pasto Grande. En el Gráfico 4-17 se puede ver donde se encuentran estas fuentes de agua termales y su relación con los puntos de muestreo, donde el punto RP-1 es el más influenciado.

421. En la Tabla 4-9 se detallan los resultados obtenidos por el Ingemmet de metales y metaloides disueltos. De igual modo se puede apreciar que los resultados de cobre y cadmio (metales presentes en el río Patara, que superaron el ECA para Agua de la categoría 4) se encuentran menores al límite de detección, esto quiere decir que estos elementos (cobre y cadmio) no son producto de estas fuentes.

422. Así mismo, con la finalidad de observar la influencia de otros elementos de estas fuentes (como el arsénico, plomo y zinc), se realiza el Análisis de Componentes Principales (ACP), con el fin de identificar las características de cada fuente e identificar si influyen sobre los resultados obtenidos en el río Patara antes de su desembocadura en el embalse.

Tabla 4- 9: Metales disueltos caracteristicos de las aguas termales ubicadas en el entorno del embalse Pasto Grande

Parámetros	Río Antajarane	B	C	Río Patara - Cacachara		F	Río Patara - Cacachara					
	A			D	E		G	H	I	J	K	L
	131808-130	131808-154	131808-158	131808-162	131808-168	131808-173	131808-175	131808-179	131808-180	131808-181	131808-192	131808-196
As (dis)	0,05	0,05	7,95	4,85	8,39	0,06	16,40	13,74	5,82	7,84	7,96	9,25
Ba (dis)	≤ 0,003	0,011	0,432	0,251	0,363	0,013	0,799	0,764	0,574	0,795	0,683	0,195
Bi (dis)	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Ca (dis)	0,7	2,9	108,5	122,1	48,9	1,9	104,9	98,4	97,3	125,4	66,3	48,5
Cd (dis)	≤ 0,001	≤0,001	≤ 0,001	≤0,001	≤0,001	≤ 0,001	≤0,001	≤0,001	≤0,001	0,002	≤0,001	≤0,001
Co (dis)	0,007	0,004	0,003	≤0,001	0,004	≤ 0,001	≤0,001	0,003	0,003	0,007	0,002	0,003
Cr (dis)	≤ 0,02	≤0,02	≤ 0,02	≤0,02	≤0,02	≤ 0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02
Cu (dis)	≤ 0,003	≤0,003	≤ 0,003	≤0,003	≤0,003	≤ 0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003
F (dis)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fe (dis)	0,16	≤0,01	1,60	15,40	0,09	≤ 0,01	1,74	4,98	1,18	0,10	8,75	5,56
K (dis)	2,1	4,1	223,7	142,8	94,5	3,1	316,3	263,5	181,3	134,6	135,2	127,4
Li (dis)	≤ 0,02	≤ 0,02	11,62	7,15	10,87	0,03	27,42	20,13	14,51	12,42	12,18	10,50
Mg (dis)	≤ 0,1	0,5	18,4	21,2	13,7	0,5	20,5	17,1	16,5	17,9	5,1	6,5
Mn (dis)	0,006	≤0,001	0,301	0,619	0,918	≤ 0,001	1,426	0,858	0,560	0,624	4,268	1,200
Mo (dis)	0,013	0,012	0,015	0,021	0,017	≤ 0,005	0,036	0,008	0,010	0,019	0,009	0,015
Na (dis)	19,2	10,0	999,4	675	1047	12,6	2089	1664	1311	1169	1002	706,3
Ni (dis)	≤ 0,005	≤0,005	≤ 0,005	0,008	0,011	≤ 0,005	0,011	≤0,005	≤0,005	0,006	0,006	≤0,005
Pb (dis)	0,02	0,02	≤ 0,01	0,02	≤0,01	≤ 0,01	0,02	0,02	≤0,01	≤0,01	≤0,01	≤0,01
Sb (dis)	≤ 0,006	≤0,006	0,758	0,008	0,025	0,013	0,576	0,164	0,034	0,026	≤0,006	≤0,006
Se (dis)	≤ 0,05	≤0,05	≤ 0,05	0,07	≤0,05	≤ 0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05
Sn (dis)	0,025	0,053	0,017	0,023	0,037	0,097	0,015	0,039	≤0,005	0,075	0,014	0,018
Sr (dis)	≤ 0,02	0,03	2,24	2,24	1,58	0,03	4,93	3,30	2,69	2,85	2,21	1,49
Ti (dis)	≤ 0,003	≤0,003	≤ 0,003	≤0,003	≤0,003	≤ 0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003
Tl (dis)	≤ 0,02	≤0,02	≤ 0,02	0,04	≤0,02	≤ 0,02	0,07	0,04	0,03	≤0,02	0,09	≤0,02
V (dis)	≤ 0,02	≤0,02	≤ 0,02	≤0,02	≤0,02	≤ 0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02
Zn (dis)	≤ 0,003	≤0,003	0,005	0,005	0,005	≤ 0,003	0,008	0,004	≤0,003	≤0,003	0,019	0,005

Fuente: Elaboración propia.

EVALUACIONES AMBIENTALES - DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN - V°B°

423. Los resultados obtenidos muestran que para el ACP se estaría contando con el 99,85 % de la variancia total de los datos. Es así que, no habría limitaciones en interpretar el resultado con 2 componentes.

Tabla 4- 10: Componentes principales

Componente Principal	% variancia
1	99,504
2	0,34768
3	0,14276
4	0,0038266
5	0,0015508
6	0,00050147
7	9,8583E-05
8	4,6424E-05
9	4,1647E-06
10	9,0309E-08
11	1,7317E-08

Fuente: Elaboración propia.

424. Una vez aprobada la magnitud de la variancia con la que se va realizar el análisis se describen los componentes principales:

- Componente principal 1 (CP1), arsénico, bario, calcio, potasio, litio, magnesio, molibdeno, sodio, estroncio y talio.
- Componente principal 2 (CP2), esta correlacionado con los metales selenio y hierro.

Tabla 4- 11: Descripción de componentes principales

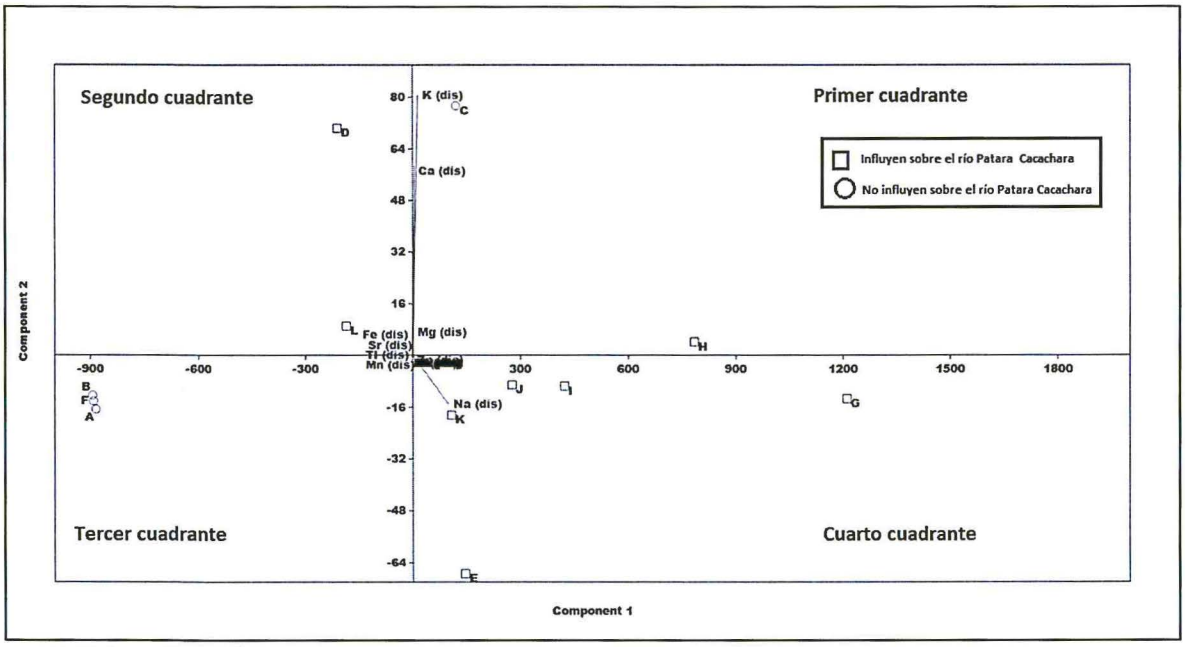
Parámetro	CP 1	CP 2
As (dis)	**0,9389**	0,016 619
Ba (dis)	**0,914 86**	-0,034 904
Ca (dis)	**0,771 32**	0,476 59
Co (dis)	-0,208 86	-0,286 28
Fe (dis)	0,094 799	**0,526 23**
K (dis)	**0,940 49**	0,307 16
Li (dis)	**0,988 93**	0,001 767 1
Mg (dis)	**0,794 51**	0,395 22
Mn (dis)	0,364 63	-0,179 24
Mo (dis)	**0,550 41**	0,101 12
Na (dis)	**0,999 96**	-0,008 924
Ni (dis)	0,465 16	-0,248 48
Pb (dis)	0,000 924 29	0,144 99
Sb (dis)	0,4974	0,450 64
Se (dis)	-0,099 892	**0,565 37**
Sn (dis)	-0,418 01	-0,2325
Sr (dis)	**0,970 22**	0,146 19
Tl (dis)	**0,563 12**	0,007 401 1
Zn (dis)	0,359 26	0,002 562 3

Fuente: Elaboración propia.

425. El Gráfico 4-18 presenta el conjunto de estaciones correlacionadas a estos componentes, resaltando:

- **Primer cuadrante (valores positivos para el componente 1 y componente 2)**: La fuente H se correlaciona con ambos componentes.
- **Segundo cuadrante (valores negativos para el componente 1 y positivos para el componente 2)**: Las fuentes de aguas termales L y D se encuentran correlacionadas solamente con el componente 2.
- **Tercer cuadrante (valores negativos para el componente 1 y componente 2)**: Las fuentes de aguas termales B, F y A no se correlaciona con ninguno de los componentes.
- **Cuarto cuadrante (valores positivos para el componente 1 y negativos para el componente 2)**: Las fuentes de aguas termales G, I, J, K y E se encuentran correlacionadas con el componente 1.

Gráfico 4- 18: Gráfico de dispersión de las fuentes de aguas termales (ACP)



Fuente: Elaboración propia.

426. Del análisis se puede indicar que de las ocho fuentes que influyen en los resultados de RP-1 y RP, seis están correlacionados al componente 1 (arsénico, bario, calcio, potasio, litio, magnesio, molibdeno, sodio, estroncio y talio).

427. Si comparamos estos resultados con los obtenidos del ACP del río Patara – Cacachara (Gráfico 4-19) coincide que los elementos arsénico, estroncio, potasio, litio y sodio son particulares de seis fuentes y del punto RP-1 y RP.

428. Con el fin de darle mayor sustento a esta afirmación se realizó el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (ver Tabla 4-12), donde los resultados de metales y metaloides (totales y disueltos) del punto de muestreo RP-1 con los resultados de metales y metaloides disueltos de las fuentes termales (codificadas con las letras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K y L) se encuentran altamente correlacionados (coeficiente de correlación de Pearson mayor de 0,90). Cabe indicar que los metales escogidos fueron los establecidos en los resultados del Ingemmet.

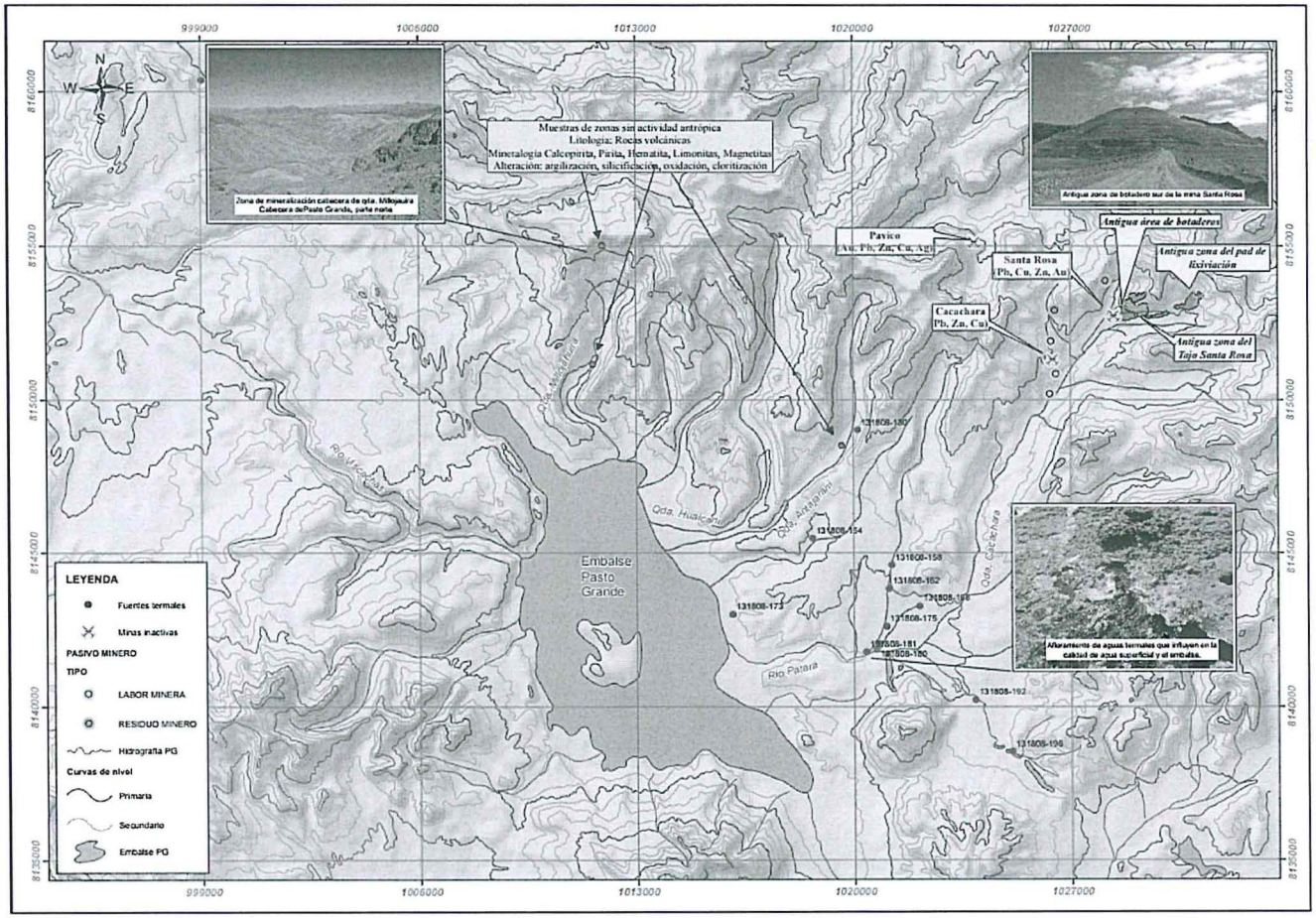
Tabla 4- 12: Coeficientes de correlación de Pearson entre los principales tributarios del embalse Pasto Grande y las fuentes de aguas termales

Puntos de Muestreo	RP-1 (Tot)	RP-1 (Dis)	QM (Tot)	QM (Dis)	QH/RA (Tot)	QH/RA (Dis)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
RP-1 (Tot)		0,998 41	0,396 34	0,489 01	0,418 38	0,42511	**0,9694**	**0,960 49**	**0,977 45**	**0,9889**	**0,97243**	**0,981 82**	**0,971 66**	**0,973 26**	**0,977 54**	**0,984 27**	**0,975 45**	**0,97354**
RP-1 (Dis)	0,998 41		0,362 81	0,452 88	0,369 86	0,381 24	**0,981 04**	**0,9596**	**0,985 57**	**0,992 99**	**0,9835**	**0,987 71**	**0,982 76**	**0,983 88**	**0,987 27**	**0,992 08**	**0,985 61**	**0,98372**
QM (Tot)	0,396 34	0,362 81		0,9663	**0,885 45**	0,951 56	0,244 57	0,369 96	0,2816	0,3406	0,247 07	0,308 35	0,247 29	0,254 13	0,263 37	0,283 52	0,261 59	0,261 39
QM (Dis)	0,489 01	0,452 88	0,9663		**0,929 94**	0,976 69	0,324 01	0,5133	0,387 04	0,4452	0,324 19	0,419 66	0,3361	0,344 56	0,351 46	0,3697	0,3477	0,355 86
QH/RA (Tot)	0,418 38	0,369 86	**0,885 45**	**0,929 94**		0,983 59	0,2049	0,406 08	0,266 52	0,3368	0,211 49	0,304 01	0,214 59	0,223 35	0,236 86	0,266 04	0,230 75	0,232 45
QH/RA (Dis)	0,425 11	0,381 24	**0,951 56**	**0,976 69**	0,983 59		0,2313	0,4199	0,289 76	0,356 69	0,235 33	0,324 63	0,240 24	0,2488	0,260 06	0,2854	0,255 46	0,258 42
A	**0,9694**	**0,981 04**	0,244 57	0,324 01	0,2049	0,2313		0,934 79	0,991 39	0,985 47	0,999 56	0,984 98	0,998 93	0,998 52	0,9988	0,997 35	0,999 23	0,997 06
B	**0,960 49**	**0,9596**	0,369 96	0,5133	0,406 08	0,4199	0,934 79		0,972 51	0,978 89	0,931 76	0,981 75	0,947 91	0,951 28	0,949 82	0,949 64	0,946 92	0,957 36
C	**0,977 45**	**0,985 57**	0,2816	0,387 04	0,266 52	0,289 76	0,991 39	0,972 51		0,997 14	0,989 82	0,9987	0,995 99	0,996 88	0,996 04	0,994 26	0,995 34	0,998 29
D	**0,9889**	**0,992 99**	0,3406	0,4452	0,3368	0,356 69	0,985 47	0,978 89	0,997 14		0,984 83	0,998 58	0,990 17	0,991 62	0,992 19	0,993 13	0,991 01	0,993 36
E	**0,972 43**	**0,9835**	0,247 07	0,324 19	0,211 49	0,235 33	0,999 56	0,931 76	0,989 82	0,984 83		0,983 55	0,998 13	0,997 65	0,998 52	0,997 93	0,998 79	0,995 84
F	**0,981 82**	**0,987 71**	0,308 35	0,419 66	0,304 01	0,324 63	0,984 98	0,981 75	0,9987	0,998 58	0,983 55		0,9909	0,992 27	0,991 76	0,9909	0,990 44	0,994 35
G	**0,971 66**	**0,982 76**	0,247 29	0,3361	0,214 59	0,240 24	0,998 93	0,947 91	0,995 99	0,990 17	0,998 13	0,9909		0,999 94	0,9996	0,9976	0,999 68	0,999 43
H	**0,973 26**	**0,983 88**	0,254 13	0,344 56	0,223 35	0,2488	0,998 52	0,951 28	0,996 88	0,991 62	0,997 65	0,992 27	0,999 94		0,999 66	0,997 79	0,999 65	0,999 72
I	**0,977 54**	**0,987 27**	0,263 37	0,351 46	0,236 86	0,260 06	0,9988	0,949 82	0,996 04	0,992 19	0,998 52	0,991 76	0,9996	0,999 66		0,999 14	0,999 88	0,999 06
J	**0,984 27**	**0,992 08**	0,283 52	0,3697	0,266 04	0,2854	0,997 35	0,949 64	0,994 26	0,993 13	0,997 93	0,9909	0,9976	0,997 79	0,999 14		0,998 81	0,996 96
K	**0,975 45**	**0,985 61**	0,261 59	0,3477	0,230 75	0,255 46	0,999 23	0,946 92	0,995 34	0,991 01	0,998 79	0,990 44	0,999 68	0,999 65	0,999 88	0,998 81		0,998 97
L	**0,973 54**	**0,983 72**	0,261 39	0,355 86	0,232 45	0,258 42	0,997 06	0,957 36	0,998 29	0,993 36	0,995 84	0,994 35	0,999 43	0,999 72	0,999 06	0,996 96	0,998 97	

Fuente: Past 3.10

EVALUACIONES AMBIENTALES - DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

Gráfico 4- 19: Ubicación de fuentes de aguas termales, antiguos componentes de la actividad minera y pasivos mineros; además se observan las características geológicas de la quebrada Millojahuira y del río Patara



Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Fuentes de acidez del embalse Pasto Grande

429. Los resultados de las mediciones en campo indican que los rangos de pH en la mayoría de los puntos de muestreo se encuentran en niveles menores al rango mínimo establecido por los ECA para Agua de la categoría 4. Aunque, hay algunos que presentan tendencia a la alcalinidad.

430. Del Gráfico 3-2, se puede observar que las aguas de las quebradas Millojahuira, Cacachara y los ríos Antajarani y río Patara, son de características ácidas.

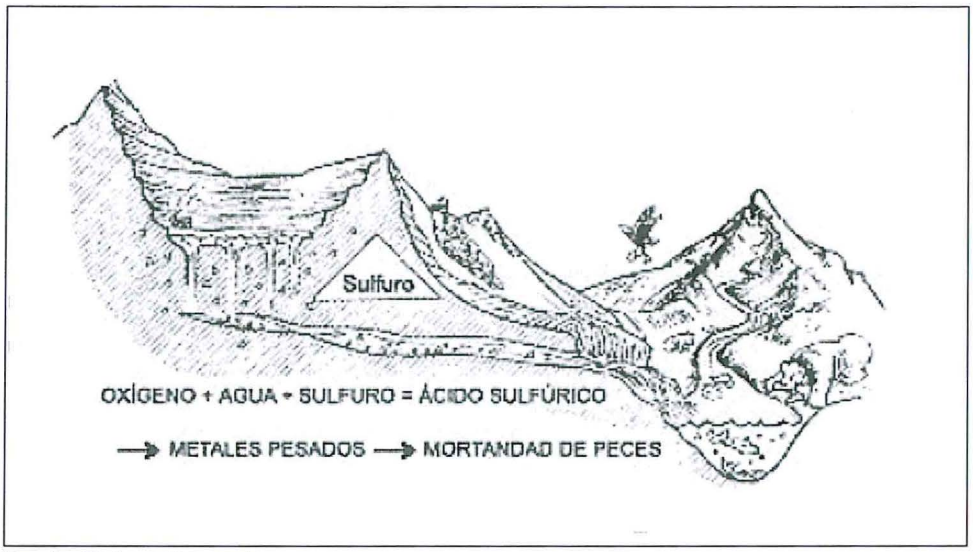
431. Las cabeceras de las quebradas Millojahuira y del río Antajarane, corresponden a rocas volcánicas con mineralización de sulfuros y alteración fuerte de oxidación, como se mencionó en la descripción geológica; además, presentan fracturamiento moderado. Son rocas volcánicas andesíticas asociadas a mineralización de sulfuración secundaria.

432. La composición mineralógica, la poca cobertura vegetal, la casi nula capa nival, así como la erosión, son grandes factores que hacen que la lixiviación e intemperismo se dé en un mayor grado. Este proceso se da de manera natural y se denomina drenaje de roca acida (DRA).

433. Según el INAP (Internacional Network for Acid Prevention, 2009), el drenaje de roca ácida (DRA) es un proceso natural a través del cual el ácido sulfúrico se produce cuando los sulfuros de las rocas son expuestos al aire libre o al agua. Es así que cuando la roca que contienen minerales sulfurosos, reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico.

434. El ácido lixiviara la roca mientras que la roca fuente este expuesta al aire y al agua. Este proceso continuara hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; este es un proceso que puede durar cientos, o quizás miles de años. El ácido es transportado por las lluvias o por corrientes superficiales, y posteriormente depositado en los estanques de agua (embalse Pasto Grande por ejemplo), arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos (Gráfico 4-20).

Gráfico 4- 20: Diagrama esquemático de como la cabecera de cuencas que presentan actividad minera (izquierda) y mineralización natural de montañas (derecha) pueden generan aguas acidas



Fuente: Elaboración propia.

435. Para ser más específicos, la oxidación de las rocas en una zona mineralizada puede traducirse en la exposición de sulfuros al aire libre para la generación de sulfatos por oxidación y dependiendo del tipo de transformación, puede generar acidez.[25]

436. Las siguientes fórmulas tratan de explicar la formación de la acidez por la oxidación del sulfuro:

1) $FeS_2 + 7/2O_2 + H_2O \longrightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + \mathbf{2H^+}$
2) $Fe^{2+} + 1/4O_2 + H^+ \longrightarrow Fe^{3+} + 1/2H_2O$
3) $Fe^{3+} + 3H_2O \longrightarrow Fe(OH)_3 + \mathbf{3H^+}$
4) $FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O \longrightarrow 15Fe^{2+} + \mathbf{16H^+} + 2SO_4^{2-}$

Ecuaciones del proceso de oxidación de la pirita

437. Primero, de acuerdo a la **ecuación 1**, el sulfuro con el oxígeno y el agua, forman: sulfato ($2SO_4^{2-}$), ion ferroso (Fe^{2+}) y los iones de hidrógeno (H^+).

438. Posteriormente, en la **ecuación 2** el hierro ferroso reacciona con el oxígeno para formar hierro férrico (Fe^{3+}), el que puede precipitar con un color rojo característico dependiendo de la variación del pH (generalmente a pH > 3,5), el cual se observa claramente en todo el transcurso del río Millojahuira y en la desembocadura (Ver Anexo fotoGráfico).

439. Si se considera que los iones de hidrogeno (H^+) simbolizan la generación de acidez, se puede suponer por las **ecuaciones 3 y 4**, que el ión férrico produce mayor cantidad de iones de hidrógenos que el ión ferroso. Cabe resaltar que con un pH menor de 4,5 la oxidación por el ión férrico (**ecuación 4**) se convierte en el proceso de oxidación dominante.

25 Gobierno de Chile, Ministerio de Minería, Subsecretaría de Minería. (2002). "Guía Metodológica sobre drenaje ácido en la industria minera".

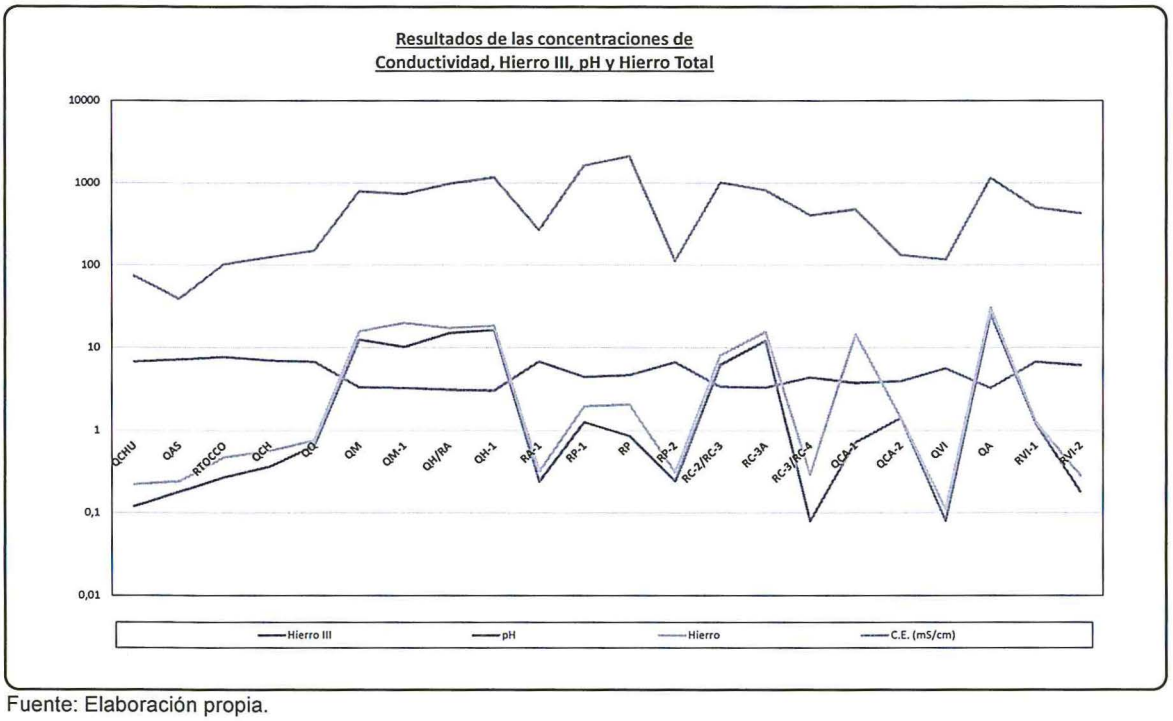
440. Realizando una prueba con los resultados de sedimentos de los tributarios del embalse Pasto Grande se cumple con lo indicado. Como se puede ver en la Tabla 4-13, la correlación entre los resultados de hierro III y el pH obtenidos en el entorno del embalse, muestran que la concentración de hierro III tiene un coeficiente de correlación de Pearson de -0,70496 (correlación negativa) con los registros de pH; esto quiere decir que a mayor concentración de hierro III menor son los registros de pH.

Tabla 4- 13: Coeficiente de correlación de Pearson entre Hierro III y potencial de hidrógeno

Tabla de correlación				
	Hierro III	**pH**	**C.E.**	**Hierro**
Hierro III		-0,704 96	0,448 28	**0,932 32**
pH	-0,704 96		-0,613 39	-0,771 85
C.E.	0,448 28	-0,613 39		0,435 15
Hierro	**0,932 32**	-0,771 85	0,435 15	

Fuente: Past 3.10

Gráfico 4- 21: Resultados de pH, hierro III, hierro total y conductividad eléctrica



Fuente: Elaboración propia.

441. Del mismo modo, en el informe de ensayo N° IL-003ES0014LB-000-50-0150 se detallan los resultados del análisis mineralógico de las muestras tomadas en las cabeceras de la quebrada Millojahuira y del río Antajarane, donde el principal componente mineralógico son los óxidos con altos contenidos de hierro, provenientes del sulfuro de hierro o pirita (FeS_2); esto explicaría la acidez de los cuerpos de agua, ya que al reaccionar estos sulfuros con el oxígeno y el agua van generando acidez[26].

26 Ministerio de Energía y Minas, "Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas", http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50

4.2.4.1 Resultados del análisis ABA

442. Con el fin sustentar lo anteriormente indicado se realizó el análisis ABA, el cual indica la posibilidad de la generación de acidez en los sedimentos.

443. En los puntos de muestreo QM, QCH, QH/RA, RP1, QCA-1 RC3/RC-4, QA, RC2/RC-3 y RP, se obtuvieron resultados del Potencial Neto de Neutralización (PNN) en el rango de incertidumbre, con valores de pH en pasta menores a 5 unidades; no pudiéndose asegurar que en estos puntos se genere drenaje ácido (ver Tabla 4.16).

444. Sólo el resultado de PNN (-24,05) obtenido en el punto QM-1 confirmaría la generación de drenaje ácido ya que cumple con las condiciones establecidas en la Tabla 3-11. En este punto el valor de pH en pasta es de 3,60 unidades, lo cual confirma la característica ácida del sedimento.

445. La muestra con mayor porcentaje de azufre (sulfatos y sulfuros), es la muestra QM-1 con 1,80%, le sigue el valor obtenido en el punto QM con 1,02 %, ambos ubicados en la quebrada Millojahuira.

446. Los resultados de PNN en los puntos de muestreo QM-1 y QM son los más bajos; ya que, en el mes de febrero se obtuvo un valor de -5,94 en el punto QM, por otro lado en el mes de julio se registró un valor de -24,05 en el punto QM-1 y -13,93 en el punto QM. Siendo los más representativos en lo que respecta a generación de acidez.

447. También es importante los resultados del punto QH/RA, ya que obtuvo un valor de 0,69% de azufre en el mes de febrero y 0,64 % en el mes de julio, con valores de PNN de -2,65 y -4,26 respectivamente en los meses señalados. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4-14.

448. Los valores obtenidos del análisis del PNN realizado a los sedimentos indican una alta probabilidad de generación de drenaje ácido, principalmente en los tributarios del embalse (y el río Antajarane y la quebrada Millojahuira). Ver Tabla 4-16.

Tabla 4- 14: Resultados obtenidos del Embalse Pasto Grande (febrero 2014)

Muestra	Potencial de Acidez (PA)		Potencial de Neutralización (PN)		Potencial Neto de Neutralización (PNN)		pH en Pasta		Azufre %					
									total %		Como SO_4		Como S^{-2} %	
	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb
1. Tributarios del embalse Pasto Grande														
QM-1	18,13	--	-5,92	--	-24,05	--	3,60	--	1,80	--	1,21	--	0,58	--
QM	9,38	8,75	-4,56	2,81	-13,93	-5,94	3,30	2,69	1,02	1,33	2,15	1,05	0,30	0,28
QCH	0,00	0,63	-0,82	7,53	-0,82	6,9	4,70	7,53	0,09	0,11	0,25	0,1	0,00	0,02
QQ	0,00	0,00	0,17	0,00	0,17	0,00	6,60	0,00	0,26	0,00	0,75	0,00	0,00	0,11
QHUIS	--	0,31	--	4,36	--	4,05	--	7,27	--	0,12	--	0,11	--	0,01
RA-1	0,00	--	1,67	--	1,67	--	4,50	--	0,11	--	0,31	--	0,00	--
QH/RA	3,44	3,75	-0,82	1,1	-4,26	-2,65	3,50	2,93	0,64	0,69	1,58	0,57	0,11	0,12
QAS	--	0,00	--	0,35	--	0,35	-	7,04	--	0,03	--	0,03	--	0
QIN	--	0,00	--	4,85	--	4,85	-	7,96	--	0,03	--	0,03	--	0
QCHU	--	0,00	--	5,8	--	5,8	-	7,94	--	0,03	--	0,03	--	0

Muestra	Potencial de Acidez (PA)		Potencial de Neutralización (PN)		Potencial Neto de Neutralización (PNN)		pH en Pasta		Azufre %					
									total %		Como SO_4		Como S^{-2} %	
	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb	Jul	Feb
RP-1	0,00	0,63	1,17	0,35	1,17	-0,27	4,10	4,49	0,22	0,32	0,62	0,31	0,00	0,02
QCA-2	0,94	--	1,10	--	0,16	--	3,90	--	0,22	--	0,56	--	0,03	--
QCA-1	4,38	--	-1,32	--	-5,70	--	3,90	--	0,55	--	1,23	--	0,14	--
RC3/RC-4	0,94	0,63	-5,05	8,12	-5,99	7,49	4,10	4,55	0,66	0,36	1,90	0,34	0,03	0,02
QA	0,00	0,31	-0,57	--	-0,57	5,55	3,80	4,27	0,48	0,13	1,43	0,12	0,00	0,01
QVI	0,00	--	5,15	--	5,15	--	4,30		0,02	--	0,07	--	0,00	--
RC2/RC-3	3,44	1,25	-2,56	3,11	-6,00	1,86	3,70	4,16	0,43	0,37	0,97	0,33	0,11	0,04
RP-2	0,00	0,00	2,66	5,11	2,66	5,11	5,30	6,87	0,06	0,05	0,16	0,05	0,00	0
RP	0,00	0,00	-0,57	3,36	-0,57	3,36	4,30	6,49	0,24	0,17	0,69	0,17	0,00	0
RVI-1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
RVI-2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Río Tocco	0,00	--	1,17		1,17	--	4,90	--	0,03	--	0,07	--	0,00	--
2. Dentro del embalse Pasto Grande														
LPG-1	**--**	**5**	**--**	**0,35**	**--**	**-4,65**	**--**	**4,9**	**--**	**0,52**	**--**	**0,36**	**--**	**0,16**
LPG-2	**--**	**0,00**	**--**	**7,87**	**--**	**7,87**	**--**	**6,2**	**--**	**0,15**	**--**	**0,15**	**--**	**0**
Condiciones[27]: PNN > +20 Kg CaCO3/TM: No se producirá drenaje ácido. PN/PA >3.0: : No se producirá drenaje ácido Si -20 < PNN < +20: Rango de incertidumbre PNN < -20 Kg CaCO3/TM: Si se producirá drenaje ácido														

Fuente: Elaboración propia.
Resultados de las muestras de Julio: Informes de Ensayo N° 75449L/14-MA, 75556L/14-MA, N°75557L/14-MA y N° 75176L/14-MA
Resultados *de las muestras de Febrero: Informes de Ensayo N° 20990L/14-MA y N° 20980L/14-MA*

4.2.4.2 Prueba de Celdas Húmedas

449. Millojahuira es una quebrada afluente del embalse Pasto Grande, ubicado al norte del mismo. Sus aguas nacen en los cerros Quenamanchini, presentando un pendiente desde fuerte a moderada hasta llegar al valle donde la pendiente disminuye notablemente hasta convertirse en baja.

450. Está quebrada es importante para nuestro estudio por su relación con el drenaje acido de roca (DAR) que podría estar ocurriendo del material por donde discurre sus aguas. Más aún si se conoce de la problemática de la evaluación ambiental del embalse y que a lo largo de su recorrido, no existe, ni existió actividad antrópica alguna.

451. La razón por el cual se realizó esta prueba es por las características que los componentes de agua y sedimento presentan. Evidenciando sin duda alguna acidez y potencial generador de acidez. La muestras M1, colectada en la parte media de su

[27] Ministerio de Energía y Minas, "Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas", http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50.

curso, y tan sólo 50 m aguas debajo de las rocas de donde se colecto la muestra para análisis de THC (Millo1), tiene el valor de pH casi más bajo del ámbito del embalse llegando casi a 2.9. Además que sus sedimentos presentan metales pesados que superaron la normativa ambiental, sobre todo el Fe.

452. En la Tabla 4-15 se observa los análisis de ABA que se realizaron sobre los sedimentos en M1 demostrando que ellos son potencial generador de acidez, por su valor menor a – 20 de PNN y el valore de PN/PA, tal como indica esta prueba (para mayor detalle ver apartado de análisis de pruebas estáticas o ABA).

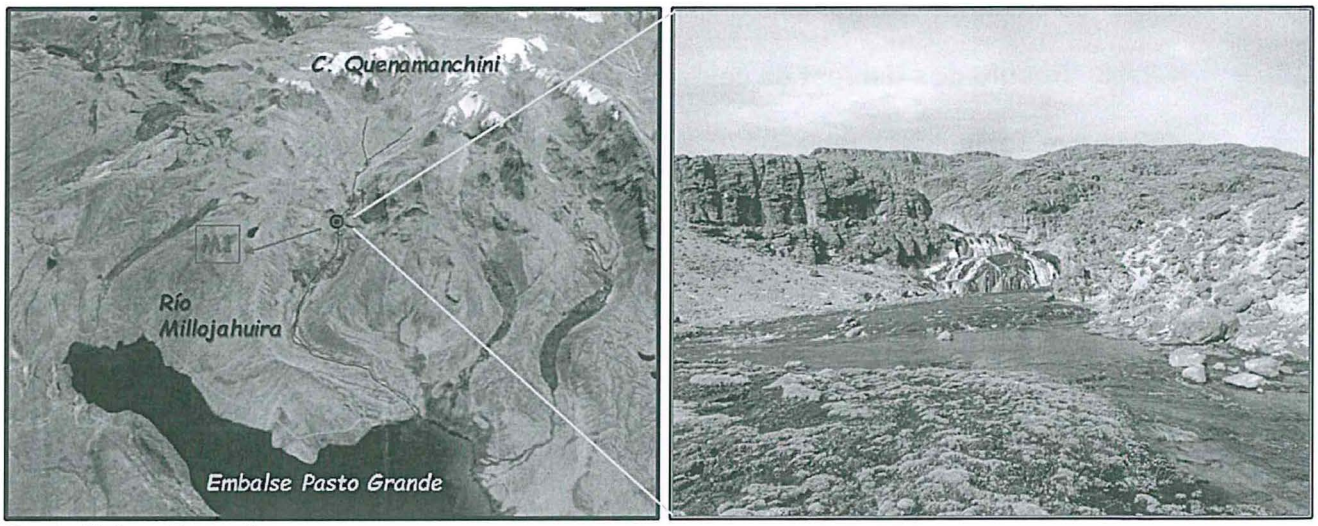
Tabla 4- 15: Cuadro resumen del análisis ABA de muestra en Millojahuira.

Muestra	Potencial de Acidez (PA)	Potencial de Neutralización (PN)	Potencial Neto de Neutralización (PNN)	Relación PN/PA	pH en Pasta	Azufre %		
						total %	Como SO_4	Como S^{-2} %
QM-1	18,13	-5,92	-24,05	-0,33	3,60	1,80	1,21	0,58

Fuente: Elaboración propia.

453. Además, de la evaluación geológica (ver evaluación geológica), las rocas donde se emplaza la quebrada son de naturaleza volcánica de composición andesitica, con mineralización de sulfuros de fierro, además presentan alteraciones de oxidación con minerales principales de limonitas, hematitas y goethitas (óxidos de hierro). A simple vista en el campo, se observa el grado de meteorización que presenta el terreno, por su coloración rojiza y grado de fracturación (Gráfico 4-22).

Gráfico 4- 22: Localización de la muestra M1 y su ámbito geoGráfico



Fuente: Elaboración propia.

454. La prueba de Celdas Húmedas, también llamado Test de Celda Húmeda (THC por sus siglas en inglés) es un test cinético para el estudio de la degradación de una muestra de roca potencialmente generadora de ácido (Dold, 2003) y, en consecuencia, de la posible movilización de determinados metales al medio ambiente.

455. La base del concepto de predicción es tratar de utilizar la información recopilada en la actualidad para predecir lo que ocurrirá en el futuro, incluyendo los próximos cien

años. La identificación prematura de los materiales potencialmente generadores de ácido, mediante métodos confiables y exactos, puede reducir considerablemente los problemas ambientales de largo plazo y los costos de las medidas correctivas. (García, 2013)

456. Los test analíticos usados para determinar el Potencial de Generación de Aguas Ácidas se clasifican en estáticos y cinéticos. Los test estáticos (Fey, 2003; Aduvire, 2006) determinan el potencial de generar acidez (PA) y el potencial de generar neutralización (PN). La capacidad de una muestra de generar drenaje ácido se calcula como la diferencia de los valores o como el cociente de los valores. Estas pruebas, solamente, indican si el material tiene o no potencial de generar ácido.

457. Los THC (Brodie *et al.*, 1994; Shaw *et al.*, 1998) a diferencia de los test estáticos simulan las reacciones naturales de oxidación ajustándose a la realidad del terreno y requieren de un mayor volumen de muestra y de mucho más tiempo de ejecución. Proveen información respecto al índice de oxidación de sulfuros y, por lo tanto, de la producción de ácido del mineral, así como de la calidad del agua de drenaje.

458. La metodología consiste en someter las muestras a la intemperie bajo condiciones controladas en los laboratorios o en las mismas zonas de disposición del mineral bajo condiciones similares, con el objetivo de determinar las velocidades de generación de acidez, las tasas de agotamiento de metales y las concentraciones en un período de tiempo prolongado.

459. Es importante porque basándose en esta información, se pueden tomar decisiones con respecto a las prácticas de mitigación en lugares naturales como es el caso de Pasto Grande, o durante la etapa de desarrollo de la mina o durante el cierre.

4.2.4.3 Resultados del test de celdas húmedas

460. En la Tabla 4-16 y tabla 4-17 se muestran los resultados obtenidos para la muestra Millo1, en las celdas del 1 al 10 (01 a 10 semanas) y del 11 al 20 (11 a 20 semanas), respectivamente.

Tabla 4- 16: Resultado del test de celdas húmedas de la muestra Millo1 en la semana 1 a 10

Parámetro	Celda 0	Celda 1	Celda 2	Celda 3	Celda 4	Celda 5	Celda 6	Celda 7	Celda 8	Celda 9	Celda 10
Conductividad eléctrica	222	152	101	63,5	46	36,1	29,8	25,7	21,6	21	18,6
pH	5,23	4,97	5,07	5,2	5,21	5,19	5,18	5,19	5,18	5,17	5,17
Alcalinidad	<5,00	<5,00	<5,0	<5,00	<5	<5,	<5,00	<5,0	<5,00	<5,0	<5,00
Azufre disuelto	11,5	12,4	11,07	6,94	4,82	4,39	<3,50	<3,50	<3,50	<3,50	<3,50
Potencial Redox	244	246	257	256	247	252	252	272	302	265	291
Carbonatos	<5,01	<5,00	<5,0	<5,00	<5,0	<5,0	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
Cloruros	5,54	1,1	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Sulfatos	52,2	40,7	26,6	17,8	11,2	15	13,3	11,5	11	10,5	6
Aluminio Disuelto	0,062	0,11	<0,032	<0,032	<0,032	<0,0032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032
Antimonio Disuelto	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Arsénico Disuelto	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Bismuto Disuelto	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Boro Disuelto	0,08	0,09	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cadmio Disuelto	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024
Calcio Disuelto	8,298	9,139	6,994	4,273	2,573	2,506	2,29	2,034	1,926	1,864	1,396
Cobre Disuelto	0,0055	0,004	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036
Cromo Disuelto	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028
Fósforo Disuelto	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60
Hierro Disuelto	0,38	0,37	0,21	0,17	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05
Litio Disuelto	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014
Magnesio Disuelto	1,26	1,19	0,76	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31
Manganeso Disuelto	0,324	0,617	0,515	0,323	0,211	0,195	0,141	0,124	0,12	0,12	0,091
Mercurio Disuelto	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008
Molibdeno Disuelto	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Níquel Disuelto	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063
Plata Disuelta	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039
Potasio Disuelto	3,55	3,04	2,5	1,57	1,08	1,05	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85
Silicio Disuelto	8,74	17,4	19,6	15,8	14,9	13,6	13,3	11	10,9	10,3	5,93
Sodio Disuelto	9,841	6,486	4,624	2,175	1,42	1,303	0,94	0,585	0,293	0,272	0,277
Zinc Disuelto	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4- 17: Resultado del test de celdas húmedas de la muestra Millo1 en la semana 11 a 20

Parámetro	Celda 11	Celda 12	Celda 13	Celda 14	Celda 15	Celda 16	Celda 17	Celda 18	Celda 19	Celda 20
Conductividad Eléctrica	17,6	17,7	16,7	13,6	12,6	12,1	11,4	11,1	10,5	11
pH	5,16	5,14	5,13	5,14	5,12	5,11	5,12	5,11	5,11	5,13
Alcalinidad	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
Azufre disuelto	<3,50	<3,50	<3,50	<3,50	<3,50	<3,50	<3,5	<3,50	<3,50	<3,50
Potencial Redox	291	321	329	324	329	334	338	495	307	363
Carbonatos	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
Cloruros	0,93	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Sulfatos	5,58	<5,00	<5,00	<5,00	7,16	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
Aluminio Disuelto	<0,0032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032
Antimonio Disuelto	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Arsénico Disuelto	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Bismuto Disuelto	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Boro Disuelto	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cadmio Disuelto	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024	<0,0024
Calcio Disuelto	1,266	1,29	0,828	0,782	0,617	0,529	0,327	<0,325	<0,325	<0,325
Cobre Disuelto	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036	<0,0036
Cromo Disuelto	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028	<0,0028
Fósforo Disuelto	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60	<1,60
Hierro Disuelto	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Litio Disuelto	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014
Magnesio Disuelto	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	0,57	<0,31	<0,31
Manganeso Disuelto	0,07	0,066	0,046	0,043	0,028	0,026	0,024	0,025	0,023	0,023
Mercurio Disuelto	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008
Molibdeno Disuelto	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Níquel Disuelto	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063
Plata Disuelta	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039	<0,0039
Potasio Disuelto	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85
Silicio Disuelto	5,04	5	4,43	4,11	3,74	3,73	3,71	3,68	3,6	3,58
Sodio Disuelto	<0,265	<0,265	<0,265	<0,265	<0,265	<0,265	<0,265	<0,265	<0,265	<0,265
Zinc Disuelto	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14

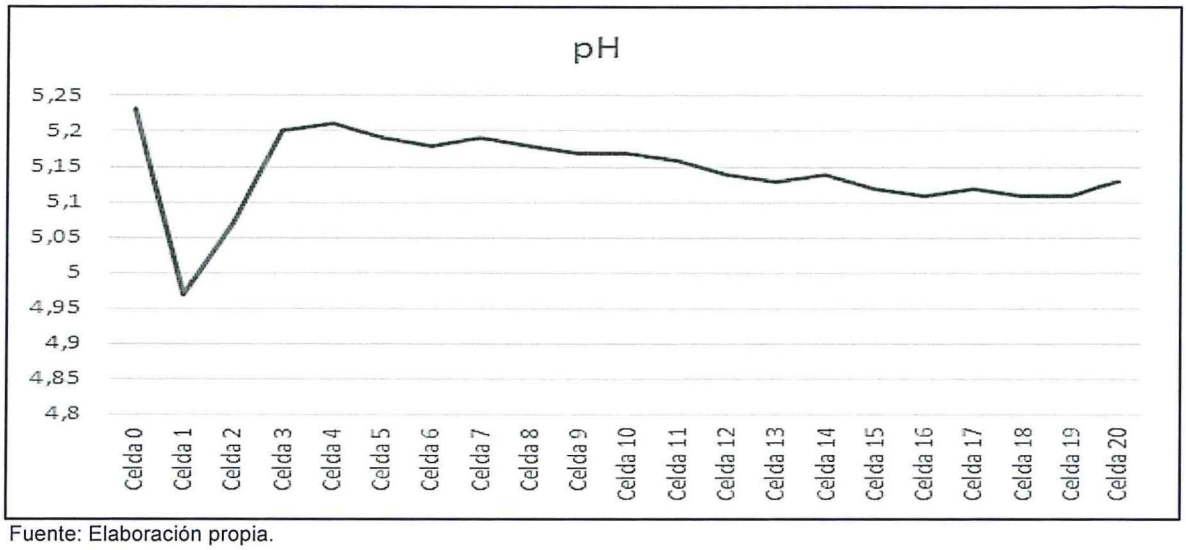
Fuente: Elaboración propia.

EVALUACIONES AMBIENTALES · DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

461. Estos resultados permitirán estimar como van evolucionando las concentraciones de los elementos en cada ciclo, así como el pH, y alcalinidad. La evolución del pH será determinante, pues este resultado será el parámetro guía con el que se compararán los resultados del modelo.

462. La muestra fue sometida a un test de 20 semanas, con lo cual se observa que el pH representa una tendencia a valores bajos o acidez, comprobando su generación de acidez a lo largo del tiempo (Gráfico 4-23)

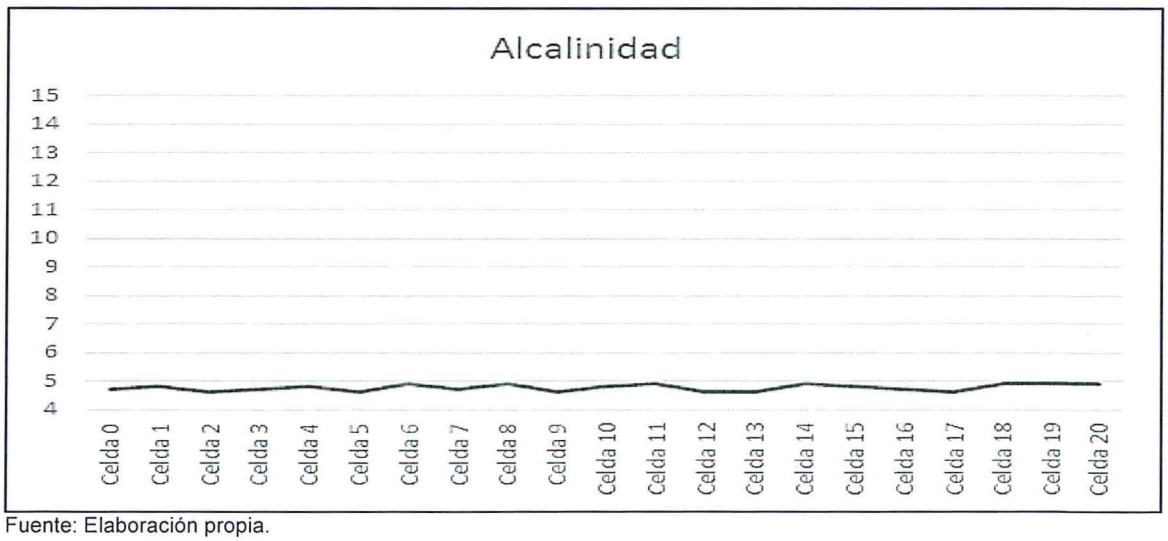
Gráfico 4- 23: Tendencia del pH en un ciclo de 20 de semanas del THC



Fuente: Elaboración propia.

463. La alcalinidad son menores a 5 mg/L $CaCO_3$ (Gráfico 4-24) representando homogeneidad en todas las semanas de análisis, además es tan baja que no fue detectado por el laboratorio cuyo límite de determinación es precisamente 5.

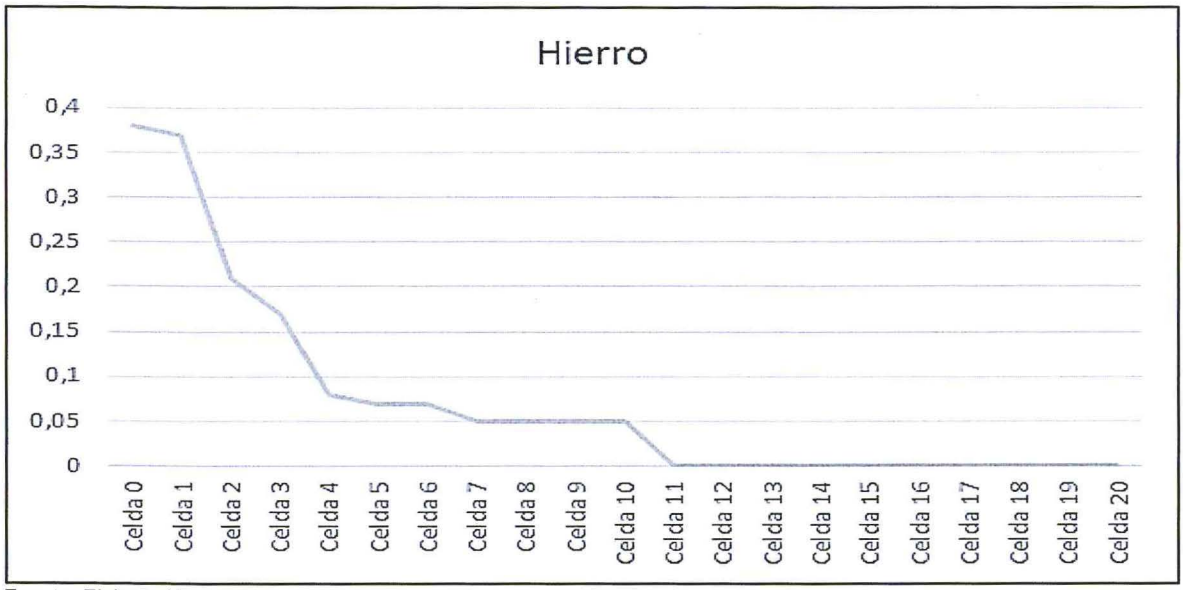
Gráfico 4- 24: Tendencia de la alcalinidad en un ciclo de 20 semanas del THC



Fuente: Elaboración propia.

464. El hierro presenta una tendencia a la baja en el análisis, mostrando valores iniciales de 0,38 mg/L hasta decaer constantemente durante las semanas de prueba (Gráfico 4-25)

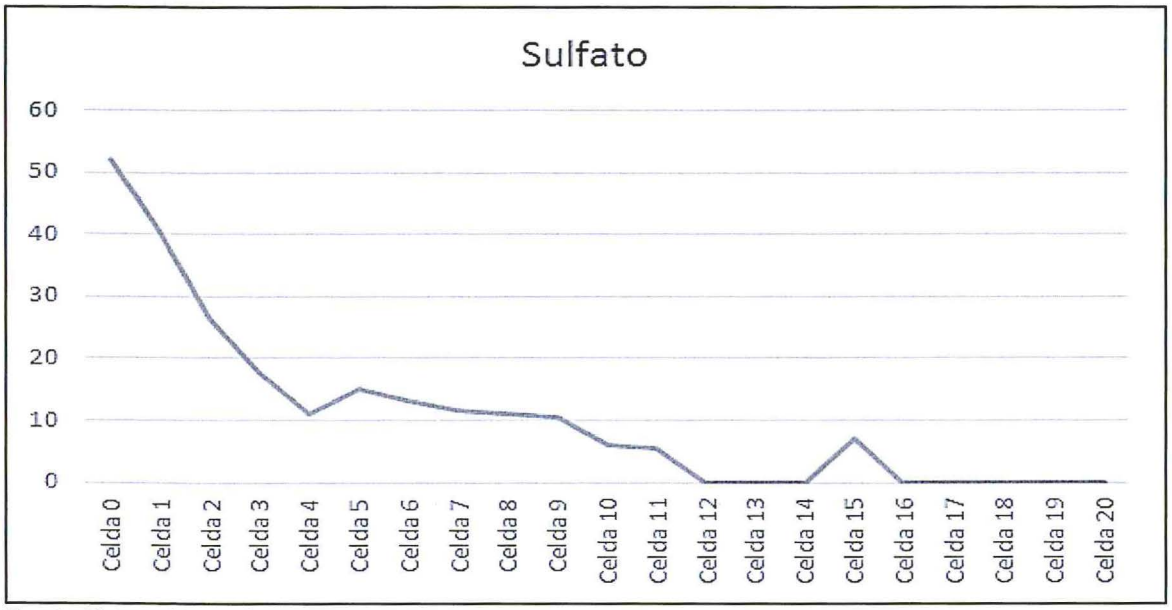
Gráfico 4- 25: Tendencia del hierro en un ciclo de 20 semanas del THC



Fuente: Elaboración propia.

465. El sulfato es un subproducto directo de la oxidación completa del sulfuro y puede ser indicativo de la velocidad de oxidación de sulfuros y generación de ácido, tal como lo demuestran los valores de pH en la prueba. En las semanas del test, se mostró una tendencia al descenso de las concentraciones del ion, empezando en valores de 52 mg/L hasta decaer al rango de menos a 5 (Gráfico 4-26)

Gráfico 4- 26: Tendencia de los Sulfatos en un ciclo de 20 semanas del THC



Fuente: Elaboración propia.

466. En la muestra Millo1 sometida a test de celdas húmedas, se puede observar un riesgo en la generación de acidez. Este riesgo potencial es evidenciado por el resultado en ensayo para el pH donde luego de 20 semanas el pH final es cercano a 5.10.

467. El hecho de que la alcalinidad tenga esa homogeneidad en todo el ciclo del análisis, nos indica, por sus valores muy bajos, que la muestra no presenta componentes carbonatados en su estructura, y tampoco habrá formación de ellos. Además, esto se comprueba por la concentración de carbonatos en los resultados, que es menor a límite de detección incluso. Esto quiere decir la capacidad de amortiguación de la muestra, por su alcalinidad, no es lo suficiente para frenar la generación de acidez en el ciclo.

468. El contenido de hierro al iniciar la prueba para que luego disminuya indica que la muestra no estaba fresca al momento de su extracción, teniendo como alteración supérgena a los minerales de oxidación de fierro, en otras palabras, era una muestra oxidada. Esto se refleja en el Gráfico, donde el hierro disponible va disminuyendo pues ya se encontraba en su fase de oxidación.

469. La concentración de sulfato presentó un alto valor en el inicio del test para luego presentar una disminución casi constante. Esto indicaría una mayor acumulación de sulfatos al inicio de las pruebas como consecuencia de la oxidación de los minerales aportando acidez al medio. Así se refleja la alteración de los sulfuros hacia los óxidos, disminuyendo los sulfatos a lo largo del ciclo, por ende, la presencia de sulfuros (pirita) y dando paso a la formación de óxidos (hematita, goethita).

4.3 Análisis de imágenes satelitales en el ámbito del Embalse Pasto Grande

470. Como complemento a los estudios realizados, se realizó el análisis y procesamiento de imágenes satelitales a cargo del Ing. Ulises Francisco Giraldo Malca de la coordinación del área de SIG del OEFA, quien presentó el informe N° 015-2014-OEFA/DS-SIG, el cual se adjunta en el Anexo B del presente documento. Dicho informe se derivó a la Dirección de Evaluación mediante Memorandum N°2530-2014/OEFA-DS.

471. Este documento se realizó utilizando imágenes del satélite Landsat con el sistema de Análisis de Landsat de Carnegie – Version Lite (CLASlite). El análisis de imágenes de satélites se centró en ver cambios en la cobertura vegetal, glaciares y cuerpos de agua, abarcando un espacio de tiempo de aproximadamente 28 años.

472. En lo que respecta a cobertura vegetal, el informe indica que el paisaje del área estudiada ha sufrido proceso de sucesión ecológica sujetas a la disponibilidad y regularidad en la provisión de agua para estos ecosistemas, descartando que los cambios se deban a cambios en el uso de suelo.

473. Por otro lado, los resultados obtenidos de presencia de nevados indican que en el periodo de análisis (de los años 80 hasta el 2014) no se identificó la existencia de glaciares; pero si una disminución en la ocurrencia de meses con cobertura nival en el último decenio, lo que explicaría el estrés hídrico de la zona.

474. Una importante conclusión de este informe es la que señala que al haber disminuido la cobertura de nevados, las cimas de las montañas se encuentran expuestas a un

mayor periodo de tiempo; que se traduce en mayor meteorización sobre las rocas expuestas.

475. Conforme a lo indicado en la evaluación geológica la exposición a la atmosfera de las rocas ubicadas en las cabeceras de los cuerpos de agua ubicados al norte y noreste del embalse, generaría liberación de algunos metales y a su vez serían fuente de acidez.

476. Otro punto importante que indica el informe es la coincidencia de los periodos de mayores cambios en la cobertura vegetal con la construcción del embalse (1986-1995); indicando la posibilidad de que el embalse pueda haber influido en la variación del microclima de la microcuenca.

5.0 CONCLUSIONES

Conclusiones generales

(i) El proceso de acidificación de los ríos y quebradas tributarias del embalse Pasto Grande, principalmente de las ubicadas al norte y noreste del mismo, es resultado de la exposición directa al intemperismo de la capa rocosa de las zonas mineralizadas con altas concentraciones de sulfuros metálicos.

(ii) La causa de la referida acidificación estaría relacionada con una mayor exposición de las cumbres montañosas a partir del año 2010, lo que estaría favoreciendo los procesos de erosión y lixiviación de las rocas expuestas. Aparentemente, esta mayor exposición de las rocas en estas cumbres estaría relacionada con cambios en las condiciones climáticas y el retroceso glaciar; sin embargo, el presente informe no contempló un estudio específico que pueda corroborar dicha inferencia.

(iii) El río Patara, afluente del embalse Pasto Grande, constituye el principal aportante de concentraciones metálicas tanto de origen natural (propia de la geología local) como antrópico (por la actividad minera desarrollada en la cabecera del río Cacachara, este último aportante del río Patara). Además, es importante resaltar que las concentraciones determinadas en los puntos de muestreo ubicados aguas abajo del pasivo ambiental "Cacachara" (R.M. N° 102-2015-MEM/DM) y del ex pad de lixiviación de la antigua minera Santa Rosa constituyeron importantes aportantes de cadmio y zinc al río Patara durante la evaluación.

(iv) La coloración rojiza observada en el fondo del embalse Pasto Grande y de sus tributarios al norte y noreste del mismo, se debe a la precipitación del hierro férrico (Fe3+), ello originado por variaciones temporales del potencial de hidrógeno.

Calidad de agua

(v) La quebrada Millojahuira y los ríos Antajarane y Patara fueron los principales aportantes de aguas ácidas al embalse Pasto Grande durante la evaluación.

(vi) Los elementos hierro, torio, níquel, cobalto y cromo fueron metales que se encontraron en los resultados de las muestras de la quebrada Millojahuira y del río Antajarane. Sin embargo, los parámetros metálicos que excedieron los ECA para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM) en los referidos cuerpos de agua fueron níquel y zinc en Millojahuira; mientras que cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc en el río Antajarane. Salvo mercurio, las elevadas concentraciones de los demás elementos metálicos referidos fueron atribuídas a la naturaleza geológica propia del área de estudio, de acuerdo al estudio geológico.

(vii) Los elementos metálicos que se encontraron en el río Patara fueron arsénico, boro, litio y cadmio. Sin embargo, los elementos que exceden el ECA para Agua fueron arsénico, cobre, cadmio, níquel, plomo y zinc. En caso del arsénico, su presencia se atribuye a la naturaleza geológica, propia del área de estudio. Sin embargo, en cuanto a los elementos cadmio, níquel, plomo y zinc no fue posible establecer la misma atribución y/o relacionarlo directamente a actividades mineras, toda vez que el área de estudio fue intervenida para la ejecución de distintos trabajos (corte y relleno para

accesos, movimiento de tierras, etc.); el elemento cadmio, a diferencia de los otros metales, tendría mayor probabilidad de ser atribuido a actividades mineras, toda vez que fue determinado únicamente en el río Patara.

Calidad de sedimentos

(viii) Los sedimentos de la quebrada Millojahuira y del río Antajarani se caracterizan por presentar elementos metálicos tales como hierro, molibdeno y bismuto, que exceden las normativa de referencia.

(ix) En el río Cacachara, antes de su confluencia con el río Patara, los sedimentos se caracterizaron por presentar elementos metálicos tales como plomo, zinc, antimonio, arsénico, mercurio y cadmio, que en el análisis exceden la normativa ambiental de referencia.

(x) Los puntos de muestreo ubicados en los ríos Patara y Cacachara presentaron sedimentos con concentraciones que excedieron referencialmente los valores PEL y ISQG de la normativa canadiense con respecto a los elementos metálicos zinc, arsénico, cadmio, mercurio y plomo. Esto último tendría relación con los elementos metálicos que excedieron el ECA para Agua en los referidos ríos, lo que indicaría que parte de los metales contenidos en las aguas superficiales se estarían depositando en los sedimentos.

Características biológicas

Hidrobiología

(xi) La comunidad de fitoplancton tuvo una fuerte dominancia del género *Chlorogonium*; así como, otras algas verdes y diatomeas indicadoras de aguas mesotróficas (productividad media) y eutróficas relacionada con presencia de materia orgánica.

(xii) La comunidad de zooplancton estuvo dominada por rotíferos considerados como indicadores de aguas eutróficas, así como por protozoarios. Las estaciones LPG-4S, LPG-5S Y LPG-6S mostraron mayores valores de índices de diversidad.

(xiii) La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo conformada por un número reducido de especies, mostrando índices de diversidad bajos en todas las estaciones.

Flora

(xiv) Se identificaron tres (3) tipos de vegetación: altoandina, bofedal y de roquedales, esto corroborado por el tipo de vegetación registrado en todos los recorridos.

(xv) Se registraron cuatro (4) especies que tienen la categoría de amenazada, tres (3) vulnerables y una (1) crítica, de los cuatro (4) casos, tres (3) están muy asociados a pajonal altoandino y bofedales, y una (1) netamente a bofedal (*Nototriche staffordiae*).

(xvi) De todos los recorridos evaluados, la que presenta mayor riqueza y abundancia de especies es la asociada a los bofedales, de ahí la importancia de conservarlos y no perturbarlos.

(xvii) En relación a la problemática del embalse de Pasto Grande, la vegetación correspondiente a pajonal altoandino y de roquedal, no han tenido un impacto ambiental negativo; en cambio la vegetación de bofedal, podría estar siendo impactada, puesto que al construir el embalse, no discurren de forma normal los sedimentos "ácidos", y podrían estar acumulándose, lo que ayudaría a que las aguas se acidifiquen en mayor grado y por ende, esté desapareciendo gran parte del bofedal.

Fauna silvestre

(xviii) Producto de los censos se registraron tres (3) especies de mamíferos y doce (12) especies de aves.

(xix) Se observa mayor actividad de la fauna silvestre en el margen izquierdo del embalse.

(xx) Respecto a los mamíferos reportados, la especie *Lagidium peruanum* (vizcacha del norte) se registró en mayor número.

(xxi) En cuanto a las aves, la familia Anatidae fue la más diversa, con cuatro (4) especies. La especie *Phoenicopterus chilensis* (flamenco chileno), se encuentra dentro de la categoría casi amenazado según la IUCN y el D.S. N°004-2014-MINAGRI.

Caracteristicas geológicas

(xxii) El embalse presenta rocas volcánicas, sedimentarias y volcano sedimentarias, entre las que se encuentran las andesitas, tufos, areniscas, etc.

(xxiii) Presenta mineralización de óxidos y sulfuros, primarios y secundarios, debido a las alteraciones hidrotermales que sufrieron en el pasado geológico. En la actualidad los cambios en su composición se debe principalmente a la meteorización propia de la zona de estudio.

(xxiv) Estos cambios hacen que las rocas compuestas por esta mineralización (sulfuros) se conviertan en óxidos y liberen elementos que traen consigo el incremento de acidez en las aguas que discurren en las partes altas del emblase y desemboquen en él.

(xxv) El ámbito de estudio corresponde a una zona o franja metalogenética que presenta mayormente depósitos de oro y plata, denominada "franja epitermal de Au-Ag del Mio-Plioceno", por ende es una zona que naturalmente presenta esta riqueza mineral y todos los minerales asociados a esta franja, como son los elementos polimetálicos vistos en el estudio.

6.0 RECOMENDACIONES

(xxvi) El presente informe constituye un primer estudio del embalse Pasto Grande y su entorno, siendo recomendable efectuar estudios complementarios, a fin de determinar los componentes relacionados con actividades, cuya fiscalización se encuentra a cargo de diversas entidades de fiscalización ambiental.

(xxvii) Remitir el presente informe a la Dirección de Supervisión del OEFA, al Ministerio del Ambiente, a la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, al Gobierno

Regional de Moquegua y a la Municipalidad Distrital de Carumas, para su conocimiento y fines correspondientes.

7.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMITAGE, P.; MOSS, D.; WRIGHT, F. Y FURSE, M. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. Water Research, 17: 333-347

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA). 2012A. Monitoreo de la calidad de agua superficial en el embalse Pasto Grande. Lima, Perú.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA). 2012B. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de http://www.ana.gob.pe/sala-de-prensa/noticias/noticias-2012/ana-informa-que-r%C3%ADos-de-puno-est%C3%A1n-contaminados-por-actividad-poblacional-y-factores-naturales.aspx

AVES DE CHILE. 2015. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de http://www.avesdechile.cl/.

BATHURST, R.; ZORI, D. Y BYOCK, J. 2010. Diatoms as bioindicators of site use: locating turf structures from the Viking Age. Journal of Archaeological Science, 1(37), 2920-2928.
BELLINGER, E. Y SIGEE, D. 2010. Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators (Vol. 1). Wiley-Blackwell. Hoboken, USA.

BIBBY, C. Y CHARLTON, T. 1991. Observation on the San Miguel Bullfinch. Acoreana 7: 297-304

BIBBY, C.; PHILLIPS, B. Y SEDDON, A. 1985. Birds of restoked conifer plantations in Wales. Journal of Applied Ecology. 22: 619-633

BURRIEL, F.; LUCENA, E.; ARRIBAS, S.; HERNANDEZ, J (1989). Química analítica cualitativa», 1era. Ed. Paraninfo, Madrid.

CABRERA, A. 1957. La vegetación de la Puna Argentina. INTA, Rev. Invest. Agric. 11(4): 317-412.

CATALAN LAFUENTE, J; CATALAN ALONSO, J.M., (1987). Ríos, caracterización y calidad de sus aguas", Ed. Dihidrox, Madrid.

CONSORCIO V-5, 2012.- Informe final del estudio: "Mejoramiento de la calidad de aguas de embalse Pasto Grande del distrito Carumas, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua". Elaborado para el Gobierno Regional de Moquegua en el 2012.

CRECELIUS, E.A.; JOHNSON, C.J. y HOFER, G.C. 1974. Contamination of soils near a copper smelter by arsenic, antimony and lead". Water Air Soil Pollut. 3. 337-42.

D&MA, 2001. Estudio de Impacto Ambiental para la Etapa de Explotación del Proyecto Minero Santa Rosa. Desarrollado por la empresa "Profesionales para el Desarrollo y Medio Ambiente S.A." por encargo de la empresa Cia. Minera Aruntani.

D.S. Nº 002-2008-MINAM. 2008. Aprueban los estandares nacionales de calidad ambiental para agua

DIARIO LA REPÚBLICA. 2012. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de http://archivo.larepublica.pe/19-10-2012/detectan-contaminacion-en-rios-que-van-pasto-grande

DIARIO LA REPÚBLICA. 2015. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de http://archivo.larepublica.pe/15-04-2015/aguas-de-la-represa-de-pasto-grande-siguen-contaminadas.

FLORES Y OCOLA. 2007. Contaminación del lago Titicaca. Puno-ALT. Puno, Perú.

GÓMEZ, J. 1966. Notas sobre vegetación del valle de Marca. Biota 6(47): 93-123.

HURLBUT, C.S.Jr.; KLEIN, C., (1988), "Manual de mineralogía de dana", 3ra., Ed. Reverté, S.A., Barcelona.

INGEOMIN, 1978.- Geología de los cuadrángulos de Puquina, Omate, Huaitire, Mazocruz y Pizacoma. Boletín N° 29, Instituto de Geología y Minería. Lima, Perú.

INGEMMET, 2000. Estudio de recursos minerales de Perú, Franja N°1, Boletín 8, Serie B, Geología Económica. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, Perú.

INGEMMET, 2008.- Informe sobre la relación del volcanismo mio-plioceno con la franja de depósitos epitermales de au-ag en la cordillera occidental del sur del Perú. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos, Programa de Metalogenia, Proyecto GR-13. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, Perú.

KRAUSKOPF, K.B. & BIRD, D.K. 1995. Introduction to Geochemistry. MacGraw-Hill, NY. 647 pg.

KELLY, M.; BENNION, H.; COX, E.; GOLDSMITH, B.; JAMIESON, J.; JUGGINS, S. Y TELFORD, R. 2005. Common freshwater diatoms of Britain and Ireland: an interactive key. Ireland.

LUTEYN, J. 1996. Fitodiversidad y conservación del páramo. En: Anales del Simposio Estrategias para Bioconservación en el Norte del Perú. Arnaldoa Ed. Esp. 4(2): 15-24.

MAGURRAN, A. 1988. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedra. 198 pp.

MARGALEF, R. 1983. Limnología. Eds Omega, Barcelona. 1010 pp.

MEDINA, C.; HORA, M.; ASENCIO, I.; PEREDA, W. Y GABRIEL, R. 2008. El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú. 2008.

MORENO, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA, vol 1. 80 pp.

MUÑOZ, E.; MENDOZA, G. Y VALDOVINOS, C. 2001. Evaluación rápida de la biodiversidad en cinco sistemas lenticos de chile central: macroinvertebrados bentónicos. Gayana (Concepc.), 65 (2), pp. 173-180.

NIYOGI, D.; LEWIS, W. Y MCKNIGHT, D. 2002. Effects of stress from mine drainage on diversity, biomass, and function of primary producers in mountain streams. Ecosystems 5, 554–567

OEFA 2014, Informe de campo de la evaluación ambiental del Embalse Pasto Grande. Llevada a cabo del 16 al 22 de febrero del 2014, en el distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Elaborado por la Dirección de Evaluación Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL (OEFA). 2012. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de http://www.oefa.gob.pe/noticias-institucionales/oefa-asiste-al-segundo-monitoreo-participativo-de-calidad-de-agua-en-puno.

PUGA S., SOSA M., LEBGUE T., QUINTANA C., CAMPOS A., 2006. Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. Ecología Aplicada 5,149-155. Deposita (Berl.), 132, 27-49.

PAREDES, C.; IANNACONE, J. Y ALVARIÑO, L. 2004. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas, Perú. Revista Peruana de Entomología, 44:107-118.

PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PASTO GRANDE (PERPG). 2013. Estudio de Impacto Ambiental, Proyecto "Ampliación de la Frontera Agricola Lomas de Ilo - Moquegua del Proyecto Especial Regional Pasto Grande". RDG N° 078-14

RAGAINI, R.C.; RALSTON, H.R. y ROBERTS, N. 1977. Environmental trace metal contamination in Kellogg, Idaho, near a lead smelting complex. Environ. Sci. Technol. 11: 773-81.

REYNOLDS, C. 2006. The Ecology of Phytoplankton (Vol. 2). Cambridge University Press. Cambridge, UK.

REYNOLDS, R.; SCOTT, J. Y NUSSBAUM, R. 1980. A variable circular-plot method for estimating bird numbers. Condor 82:309-313.

ROLDÁN, G. 1999. Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad de agua. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. 23(88) 375-387.

SÁNCHEZ, I. 1996. Aspectos florísticos de la jalca y alternativas de manejo sustentable. En: Anales del Simposio Estrategias para Bioconservación en el Norte del Perú. Arnaldoa Ed. Esp. 4(2): 25-62.

SERVICIOS EN COMUNICACIÓN INTERCULTURAL (SERVINDI). 2012. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de http://servindi.org/actualidad/59568

SMITH, D. 1988. Flora and Vegetation of the Huascaran National Park, Ancash, Peru, with Preliminary Taxonomic Studies for a Manual of the Flora. Unpublished Ph.D. dissertation, Iowa State Univ., Ames, IA.

STAUB, R.; APPLING, J.; HOFSTETTER, A. Y HASS, J. 1970. The effects of industrial wastes of Memphis and Shelby County on primary planktonic producers. Bioscience 20: 905-912.

STOERMER, E. Y SMOL, J. 2004. The Diatoms Applications for the Environmental and Earth Sciences. Cambridge University Press. United Kingdom. 482pp

STOTZ, D.; FITZPATRICK, J.; PARKER, T. Y MOSKOVITS, D. 1996. Neotropical Birds: Ecology and Conservation. Chicago: University of Chicago Press. 478p.

TAPIA M. Y FLORES J. 1984. Pastoreo y Pastizales de los Andes del Sur del Perú. INIPA. Lima-Perú.

TAKASHIMA, FUMIO & T. HIBIYA. 1995. An Atlas of Fish Histology. Edit. Kodansha - USA Fergusos, H. W. 1989. Systemic Pathology of Fish. Edit. Iowa State Univ. Press/Ames.

TERNEUS, E. 2013. Efectos del derrame de petróleo sobre la comunidad fitoplanctónica de la laguna de Papallacta y sus principales tributarios. Tesina de grado para la obtención del título de biólogo ambiental.

TOVAR, O. 1973. Comunidades vegetales de la Reserva Nacional de Vicuñas de Pampa Galeras, Ayacucho, Perú. Publ. Mus. Hist. Nat. Javier Prado, Serie B, Bot. 27: 1-32

TOVAR, O. 1990. Tipos de Vegetación, Diversidad Florística y Estado de Conservación de la Cuenca del Mantaro. Centro de Datos para la Conservación. Univ. Nac. Agr. La Molina. Lima, Perú.

VINEBROOKE R.; SCHINDLER D.; FINDLAY D., TURNER M.; PATERSON M. AND MILLS K. 2003. Trophic dependence of ecosystem resistance and species compensation in experimentally acidified Lake 302S (Canada). Ecosystems 6: 101-113.

WEBERBAUER, A. 1945. El Mundo Vegetal de los Andes Peruanos. Estac. Exper. Agric. La Molina. Edit. Lumen. Lima, Perú.

WILHM, J. Y DORRIS, T. 1968. Biological parameters of water quality. Bioscience 18: 447- 481.

YOUNG, K. R. Y A. CANO. 1994. Aporte florístico de la puna del Parque Nacional del Manu, Perú. Bol. Lima 16: 381-393.

YOUNG, K. Y LEÓN, B. 1990. Catálogo de las plantas de la zona alta del Parque Nacional Río Abiseo, Perú. Publ. Mus. Hist. Nat. UNMSM (B) 34: 1-37

EVALUADORES AMBIENTALES V°B° DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN

8.0 ANEXOS

ANEXO A : Tablas de resultados
ANEXO B : Informe N° 015-2014-OEFA/DS-SIG
ANEXO C : Registro fotoGráfico
ANEXO D : Informes de ensayo
ANEXO E : Certificados de calibración de equipos de campo
ANEXO F : Mapas temáticos
ANEXO G : Certificado de acreditación del laboratorio
ANEXO H : Cadena de custodia
ANEXO I : Ficha de campo

EVALUACIONES AMBIENTALES - DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN V°B°