

## TABLA DE CONTENIDOS

SECCIÓN 6.6 Hidrología.....	1
6.6 HIDROLOGÍA .....	6.6-2
6.6.1 Calidad de aguas superficiales.....	6.6-2
6.6.2 Aguas subterráneas .....	6.6-52

### TABLAS

Tabla 6.6-1: Área de estudio de agua superficial .....	6.6-3
Tabla 6.6-2: Frecuencia de monitoreo de la red 1 (W) .....	6.6-9
Tabla 6.6-3: Frecuencia de monitoreo de la red 2 (M) .....	6.6-10
Tabla 6.6-4: Frecuencia de monitoreo de la red 3 (SW).....	6.6-12
Tabla 6.6-5: Parámetros analizados en las diferentes redes de muestreo.....	6.6-14
Tabla 6.6-6: Criterios ambientales para el análisis de los resultados.....	6.6-16
Tabla 6.6-7: Ecuaciones y distribución de frecuencia para definir caudales máximos en regiones .....	6.6-40
Tabla 6.6-8: Caudales máximos promedio regionales .....	6.6-40
Tabla 6.6-9: Tablas de factores para definir los caudales máximos para diferentes periodos de retorno .....	6.6-42
Tabla 6.6-10: Tablas de caudales máximos para los diferentes periodos de retorno ... ..	6.6-42
Tabla 6.6-11: Caudales Máximos regionales por estación, (m <sup>3</sup> /s) .....	6.6-43
Tabla 6.6-12: Caudales promedios regionales (m <sup>3</sup> /s) .....	6.6-43
Tabla 6.6-13: Caudales mínimos regionales (m <sup>3</sup> /s) .....	6.6-44
Tabla 6.6-14: Caudales máximos promedio del área del Proyecto .....	6.6-45
Tabla 6.6-15: Caudales promedios para la cuenca alta, media, baja del río Quema y quebrada De Quema.....	6.6-46
Tabla 6.6-16: Caudales promedios máximos y promedios para la cuenca alta, media, baja del río Quema y quebrada De Quema .....	6.6-49
Tabla 6.6-17: Ubicación de piezómetros en quebrada Chontal .....	6.6-54

Tabla 6.6-18:	Niveles piezométricos de pozos geotécnicos (2008 a 2012) .....	6.6-55
Tabla 6.6-19:	Ubicación de pozos hidrogeológicos del estudio de Golder (2014) .....	6.6-56
Tabla 6.6-20:	Datos de permeabilidades y almacenamiento específico de pozos de Golder (2014) utilizados para las mediciones de niveles freáticos	6.6-59
Tabla 6.6-21:	Niveles freáticos en pozos hidrogeológicos del estudio de Golder (2014) utilizados para las mediciones de niveles freáticos .....	6.6-60
Tabla 6.6-22:	Ubicación de manantiales identificados en el Proyecto.....	6.6-65
Tabla 6.6-23:	Ubicación de manantiales más representativos del Proyecto .....	6.6-67
Tabla 6.6-24:	Resultados de pH en los manantiales del Proyecto .....	6.6-70
Tabla 6.6-25:	Resultados de calidad de agua en los manantiales principales ....	6.6-73

## FIGURAS

Figura 6.6-1:	Mapa de la microcuenca del río Quema .....	6.6-4
Figura 6.6-2:	Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial.....	6.6-7
Figura 6.6-3:	División de cuencas en la región del Proyecto.....	6.6-33
Figura 6.6-4:	Red de estaciones hidrológicas .....	6.6-36
Figura 6.6-5:	Red de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca del río Tonosí y delimitación de la cuenca.....	6.6-37
Figura 6.6-6:	Mapa de zonificación hidrológica homogénea de caudales máximos regionales .....	6.6-39
Figura 6.6-7:	Mapa de zonificación hidrológica homogénea de caudales máximos promedio regionales, 1972.....	6.6-41
Figura 6.6-8:	Ubicación de piezómetros instalados dentro el Proyecto.....	6.6-58
Figura 6.6-9:	Mapa de ubicación de manantiales.....	6.6-69

## SECCIÓN 6.6

### Hidrología

## 6.6 HIDROLOGÍA

### 6.6.1 Calidad de aguas superficiales

#### 6.6.1.1 Introducción

En esta sección se presenta una recopilación de los muestreos de calidad de agua superficial realizados en las últimas cuatro décadas dentro del área del Proyecto, con el objetivo de describir las condiciones existentes de calidad de agua superficial y establecer los parámetros sobre la base de los cuales deberán medirse los posibles cambios que puedan generarse.

Las muestras de agua superficial se tomaron con el fin de:

- Caracterizar la calidad del agua superficial, para poder comparar las condiciones existentes con las condiciones futuras pronosticadas;
- Influir las decisiones vinculadas con el diseño de las obras de ingeniería para el manejo de aguas; ayudar a gestionar, limitar y evitar el impacto ambiental mediante el diseño de estrategias para un cierre de mina sostenible.

Los resultados completos de los diferentes muestreos de calidad de agua superficial se encuentran en el Anexo 6.6-4.

#### 6.6.1.2 Área de estudio

##### Redes de muestreo

La presente línea base compila los resultados de calidad de agua de tres redes de monitoreo desarrolladas desde el año 1992 hasta el 2014.

Los lugares de muestreo de calidad de agua superficial fueron seleccionados con la finalidad de poder obtener datos iniciales sobre las áreas donde se proyecta ubicar las instalaciones mineras o sobre áreas más alejadas ubicadas aguas abajo de las instalaciones mineras propuestas, para así poder evaluar los impactos del Proyecto en un área más extensa o a un nivel regional.

La Tabla.6.6-1 presenta los ríos y las cuencas hidrográficas que se encuentran dentro del área del Proyecto. Asimismo, en la Figura 6.6-1, se muestran los nombres de las cuencas microcuencas, ríos y sus principales quebradas que han sido considerados en las tres redes de monitoreo. En la Sección 6.6.1a de caudales, se presenta mayor información y descripción de las cuencas hidrográficas.

**Tabla 6.6-1: Área de estudio de agua superficial**

Cuenca	Microcuenca	Quebradas (1) / estaciones
Río Tonosí	Río Quema (parte alta)	Los Picadores La Hesitosa Norte de Cerro Quema
Río Tonosí	Río Quema (parte media)	La Mesita (puerta roja, flor medina #4) Chontal Wicho
Río Tonosí	Río Quema (parte baja)	NA (2)
Río Tonosí	Río Quema (sección de quebrada De Quema)	Huesital Dolores Maricela Seca
Río Tonosí		50 m aguas arriba de la confluencia del río Quema 50 m aguas debajo de la confluencia del río Quem
Río Tonosí		Aguas abajo del río Güera

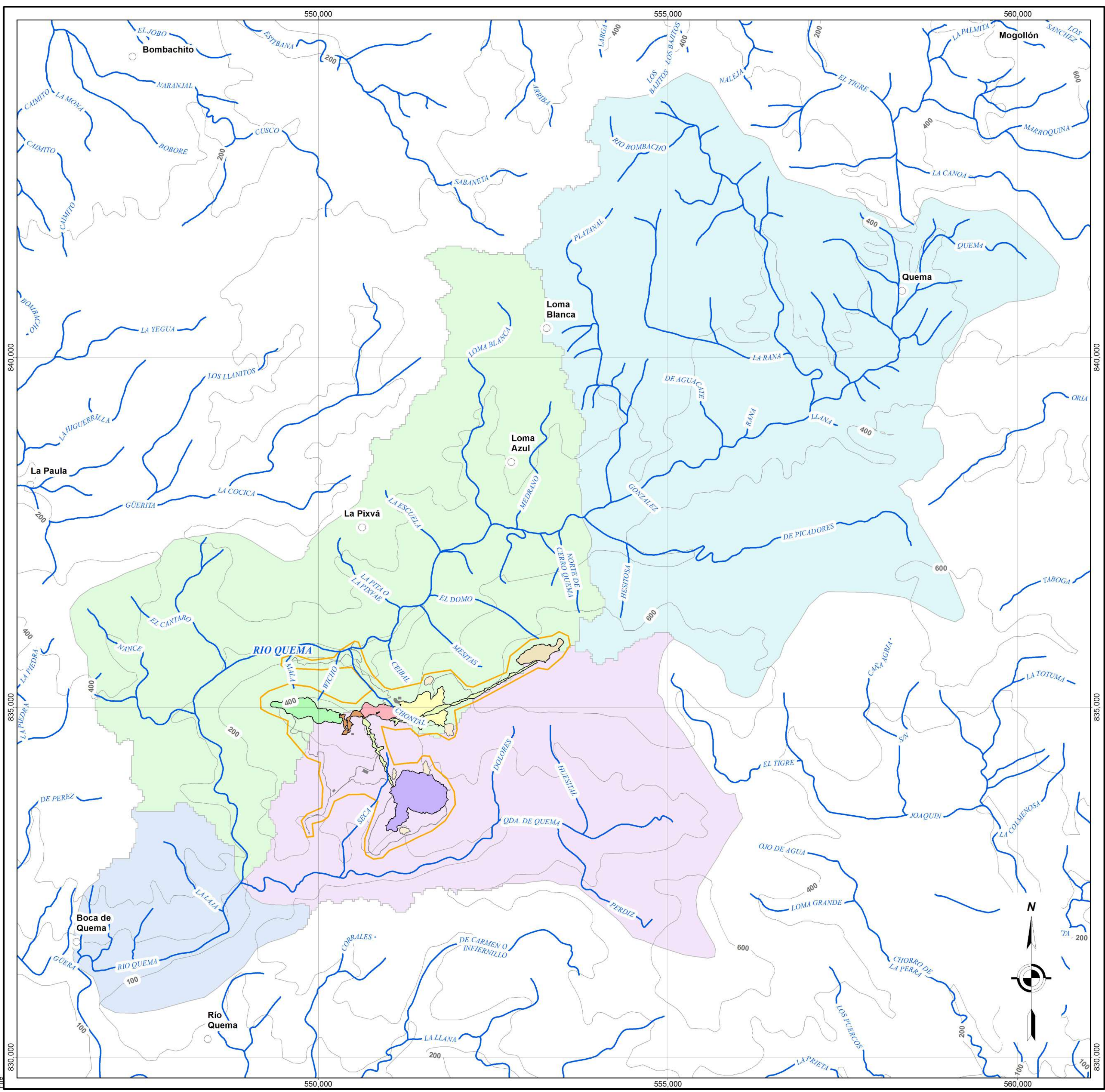
(1) Los nombres de las quebradas son referenciales de acuerdo a lo indicado por el personal de MCQSA y a la revisión de información secundaria.

(2) NA: no aplica.

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

**Figura 6.6-1: Mapa de la microcuenca del río Quema**





## MAPA DE UBICACIÓN



## Leyenda

- Sub micro cuenca Quebrada de Quema
- Sub micro cuenca Río Quema parte baja
- Sub micro cuenca Río Quema parte alta
- Sub micro cuenca Río Quema parte media
- Huella del Proyecto Minero
- Camino de acarreo La Pava
- Depósito de roca estéril Chontal
- Depósito de suelo orgánico
- Facilidades auxiliares
- Facilidades del proceso de lixiviación
- Faja transportadora
- Plataforma de facilidades mineras
- Tajo abierto La Pava
- Tajo abierto Quemita
- Hidrografía
- Topografía cada 200 metros

0 1 2 3 4 Kilómetros  
ESCALA 1:35,000

 "Compromiso Social, Responsabilidad Ambiental"	CLIENTE: <b>Minera Cerro Quema S.A.</b>				
	PROYECTO : <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL PROYECTO MINERO CERRO QUEMA</b>				
TÍTULO : <b>MAPA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO QUEMA</b>					
 SNC • LAYALIN PANAMA, S.A.	CÓDIGO DE PROYECTO : <b>I SLP14_001</b>		REVISIÓN : <b>VF00</b>		
	DIBUJO GIS	<b>J.C.G.</b>	FECHA	<b>NOV 2014</b>	<b>N° : 6.6-1</b>
	RESPONSABLE	<b>C.A.S.</b>	FECHA	<b>NOV 2014</b>	
	APROBACIÓN	<b>E.D.A.</b>	FECHA	<b>NOV 2014</b>	
REFERENCIA: - Cartografía Nacional Escala 1/50,000 - - Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. Fecha de publicación Junio 2002 - Datum WGS84, Zona 17 Norte					



Al seleccionar los lugares para la recolección de muestras, se incluyeron los cursos de agua que podrían verse afectados por la ubicación de las instalaciones mineras propuestas, como son:

- Tajos abiertos de La Pava y Quemita
- Depósito de roca estéril Chontal y depósito de mineral ROM;
- Instalaciones para el procesamiento de lixiviación en la quebrada Maricela;
- Plataforma de campamentos y oficinas;
- Caminos de acceso;
- Estructuras de control de erosión y sedimentos.

Las muestras de agua superficial se obtuvieron principalmente en la microcuenca del Río Quema. A continuación, se describen las características de las tres redes de monitoreo muestreadas.

### **Red de monitoreo 1 (W)**

Consta de 19 estaciones de monitoreo y contiene datos de muestreos realizados entre los años 1992 y 2004. Durante ese período, en el área del Proyecto se desarrollaron una serie de perforaciones exploratorias, en los cerros La Pava, y Quemita.

La serie de datos de los años 1992 a 1995 fueron presentados en el Informe de Viabilidad Ambiental elaborado por la empresa Knight Piesold (Noviembre, 1996). Por otro lado, los datos enero y mayo de 2004, fueron presentados en el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) incluido en el Informe de Auditoría Ambiental realizado en abril de 2004 por auditores ambientales independientes registrados en la ANAM. Los análisis de las muestras de agua obtenidas durante la auditoría ambiental fueron realizados en el laboratorio de la Dirección General de Recursos Minerales (DGRM) del Ministerio de Comercio e Industrias (MICI).



### **Red de monitoreo 2 (M)**

Consta de 14 estaciones de monitoreo y contiene datos de muestreos realizados entre los años 2006 y 2014. Durante estos años, en el área del Proyecto aumentaron la cantidad de perforaciones exploratorias, en los Cerros La Pava, Quema y Quemita.

La serie de datos de los años 2006 a 2014 fueron tomados de los informes de laboratorio de la empresa Laboratorios de Análisis S.A. (LAISA).

### **Red de monitoreo 3 (SW)**

Consta de ocho estaciones de monitoreo y contiene datos de muestreos realizados en mayo de 2014. Durante dicho año, se han venido desarrollando programas de perforaciones fuera a la huella del Proyecto, que es materia del presente EsIA.

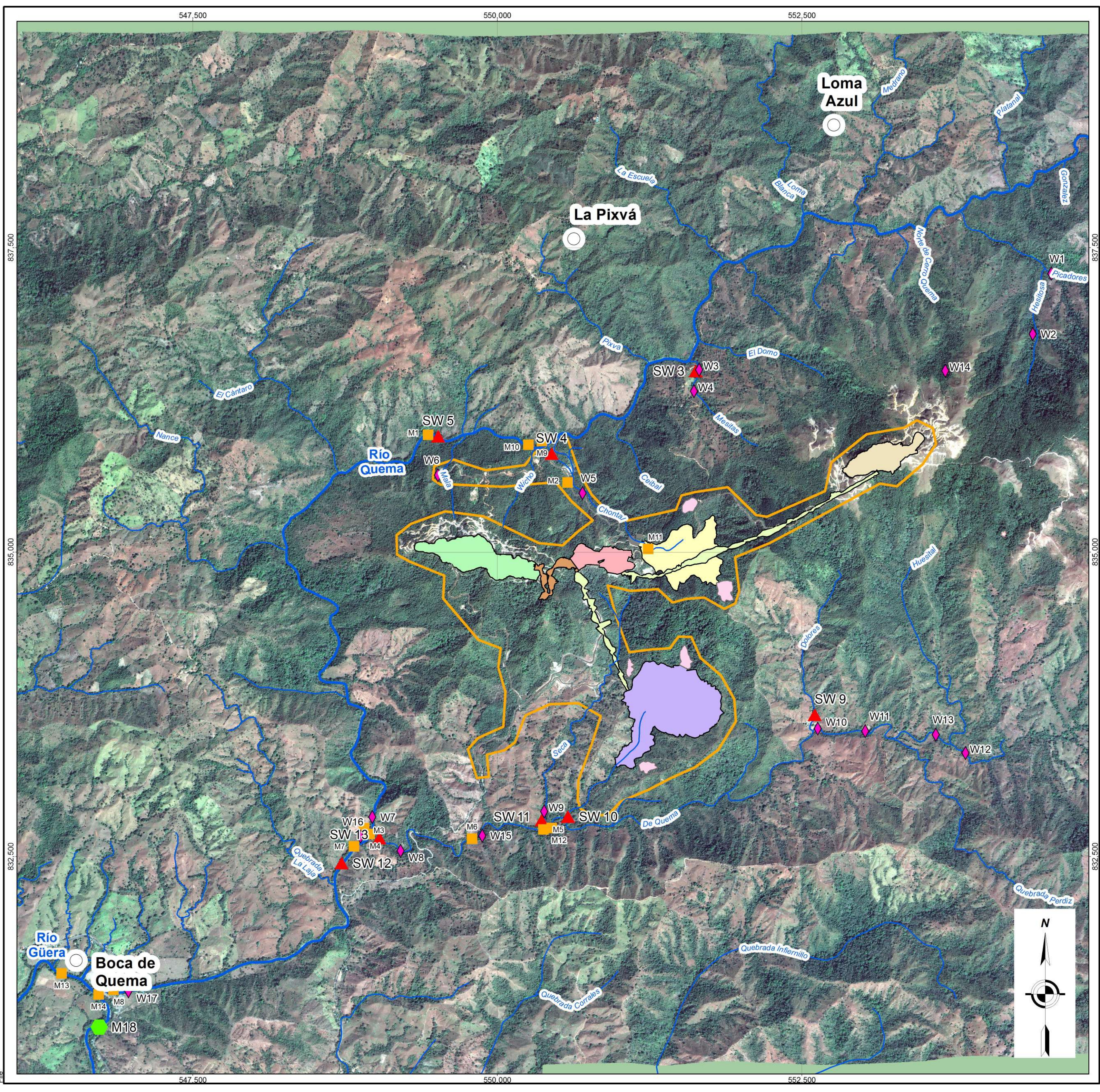
Con la finalidad de contar con información inicial proveniente de un área que no se encuentre bajo la influencia de las actividades de exploración minera, se muestreó un punto de control ubicado fuera del área de influencia del Proyecto (SW3).

SNC-Lavalin Panamá, S.A., fue quien llevó a cabo el muestreo en las ocho estaciones en mayo del 2014 y los análisis de calidad de agua fueron realizados por el Laboratorio Aquatec, debidamente certificado por el Consejo Nacional de Acreditación (CNA) (ver Anexo 6.6-1)

La ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial se muestra en la Figura 6.6-2.

**Figura 6.6-2: Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial**





### MAPA DE UBICACIÓN

### Legenda

- Estaciones de 1992 a 2004 (W)
- Estaciones de 2009 a 2013 (M)
- Estaciones Mayo 2014 (SW)
- Estaciones Enero 2004 (M)
- Quebradas
- Ríos
- Huella del Proyecto Minero
- Camino de acarreo La Pava
- Depósito de roca estéril Chontal
- Depósito de suelo orgánico
- Facilidades auxiliares
- Facilidades del proceso de lixiviación
- Faja transportadora
- Plataforma de facilidades mineras
- Tajo abierto La Pava
- Tajo abierto Quemita

0 500 1,000 1,500 2,000 Meters

ESCALA 1:20,000

	CLIENTE:	<b>Minera Cerro Quema S.A.</b>		
	PROYECTO:	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL PROYECTO MINERO CERRO QUEMA</b>		
TÍTULO:				
<b>MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL (1992 AL 2014)</b>				
CÓDIGO DE PROYECTO:		REVISIÓN:		<b>Nº : 6.6-2</b>
<b>I SLP14 001</b>		<b>VF00</b>		
DIBUJO GIS:	J.C.G.	FECHA:	NOV 2014	
RESPONSABLE:	C.A.S.	FECHA:	NOV 2014	
APROBACIÓN:		E.D.A.	FECHA:	NOV 2014
REFERENCIA: - Cartografía Nacional Escala 1/50,000 - - Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. Fecha de publicación Junio 2002 - Datum WGS84, Zona 17 Norte				



### 6.6.1.3 Metodología

#### 6.6.1.3.1 Frecuencia de muestreo

Las tablas Tabla 6.6-2, Tabla 6.6-3 y Tabla 6.6-4 presentan un resumen de la frecuencia de recolección de muestras de agua superficial en los diferentes programas de monitoreo de calidad de agua del Proyecto.

Para las redes de monitoreo 1 y 2, se cuentan con datos en temporadas lluviosas y secas. Mientras que la red de monitoreo 3, cuenta con una campaña realizada en temporada seca iniciando la lluviosa (mayo de 2014).

**Tabla 6.6-2: Frecuencia de monitoreo de la red 1 (W)**

Estación No	Río	Descripción	Frecuencia de monitoreo						
			Octubre 1992	Marzo 1993	Julio 1993	Agosto 1994	Mayo 1995	Enero 2004	Mayo 2004
W1	Río Quema	Quebrada Los Picadores	x	x	x	x	x	x	x
W2	Río Quema	Quebrada La Hesitosa	x	x	x	x	x	x	x
W3	Río Quema	Quebrada Puerta Roja	x	x	x	x	x	x	x
W4	Río Quema	Quebrada Flore Medina #4	x	x	x	x	x	x	x
W5	Río Quema	Quebrada Chontal	x	x	x	x	x	x	x
W6	Río Quema	Quebrada Mala	x	x	x	x	x	x	x
W7	Río Quema	Río Quema	x	x	x	x	x	x	x
W8	Quebrada De Quema	Quebrada De Quema	x	x	x	x	x	x	x
W9	Quebrada De Quema	Quebrada Seca	x	x	x	x	x	x	x
W10	Quebrada De Quema	Quebrada Dolores	x	x	x	x	x	x	x
W11	Quebrada De Quema	Quebrada Isaías	x	x	x	x	x	x	x
W12	Quebrada De Quema	Quebrada De Quema (aguas arriba de la convergencia con quebrada Huestial)	x	x	x	x	x	x	x
W13	Quebrada De Quema	Quebrada De Quema (aguas debajo de la convergencia con quebrada Huestial)	x	x	x	x	x	x	x
W14	Quebrada De Quema	Quebrada Norte de Cerro Quema	x	x	x	x	x	x	x
W15	Quebrada De Quema	Quebrada Juncal	x	x	x	x	x	x	x
W16	Río Quema	Río Quema (50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada De Quema)	x	x	x	x	x	x	x
W17	Río Quema	Río Quema (aguas debajo de la confluencia con la Quebrada Quema-puente Boca de Quema)						x	x
W18	Río Güera	Río Güera (aguas arriba de la confluencia con el río Quema)						x	
W19	Río Tonosí	Río Tonosí						x	

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

**Tabla 6.6-3: Frecuencia de monitoreo de la red 2 (M)**

N	Río	Descripción	Frecuencia de muestreo															
			Mar 2006	Oct 2006	Feb 2007	Jul 2007	Ene 2008	Ago 2008	Oct 2009	Sep 2009	Marz 2010	Feb 2011	Ago 2011	Feb 2012	Jul 2012	Dic 2012	Jun 2013	Jul 2014
M1	Río Quema	Quebrada Mala	x		X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M2	Río Quema	Quebrada Chontal			X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M3	Río Quema	Río Quema (50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada De Quema)	x		X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M4	Quebrada De Quema	Quebrada De Quema (100 m antes de confluir en el Río Quema)	x		X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M5	Quebrada De Quema	Quebrada Seca	x		X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M6	Quebrada De Quema	Quebrada Juncal	x		X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M7	Río Quema	Río Quema (50 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada De Quema)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M8	Río Quema	Río Quema (antes de la confluencia con el río Güera (abajo puente Boca de Quema)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M9	Río Quema	Río Quema (50m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Chontal)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M10	Río Quema	Río Quema (50 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chontal)						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M11	Río Quema	Quebrada Chontal (parte media)							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x



N	Río	Descripción	Frecuencia de muestreo															
			Mar 2006	Oct 2006	Feb 2007	Jul 2007	Ene 2008	Ago 2008	Oct 2009	Sep 2009	Marz 2010	Feb 2011	Ago 2011	Feb 2012	Jul 2012	Dic 2012	Jun 2013	Jul 2014
M12	Quebrada De Quema	Quebrada De Quema (100 m antes de la confluencia con la quebrada Seca)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M13	Río Güera	Río Güera (50 m aguas arriba de la confluencia con el río Quema)												x	x	x	x	x
M14	Río Güera	Río Güera (50 m aguas abajo de la confluencia con el río Quema)												x	x	x	x	x

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

**Tabla 6.6-4: Frecuencia de monitoreo de la red 3 (SW)**

Estación N°	Río	Descripción	Frecuencia de monitoreo
			Mayo 2014
SW3	Río Quema	Quebrada La Mesita (aguas arriba de la confluencia con el río Quema)	x
SW4	Río Quema	Quebrada Chontal (aguas abajo de la poza de control de sedimentos)	x
SW5	Río Quema	Río Quema (aguas abajo de la confluencia con la quebrada Mala)	x
SW9	Quebrada De Quema	Quebrada Dolores (aguas arriba de la confluencia con la quebrada De Quema)	x
SW10	Quebrada De Quema	Quebrada Maricela (aguas arriba de la confluencia con la quebrada De Quema)	x
SW11	Quebrada De Quema	Quebrada Seca (antes de la confluencia con la quebrada De Quema)	x
SW12	Quebrada De Quema	Quebrada De Quema (aguas arriba de la confluencia con el río Quema)	x
SW13	Río Quema	Río Quema (aguas abajo de la confluencia con la quebrada De Quema)	x

#### 6.6.1.3.2 Recolección de muestras

Las muestras de agua se recolectaron utilizando protocolos compatibles con métodos estandarizados. Los métodos de muestreo de aguas superficiales concuerdan con los recomendados por la legislación nacional: Anteproyecto de Ley (2007) y el Reglamento Técnico (1999). Sobre esta base, de la normativa antes indicada se siguieron los protocolos para la recolección de muestras.

Las cadenas custodias del muestreo de la red de monitoreo 3, llevado a cabo por SLP para el presente EslA en mayo de 2014, se adjuntan en el Anexo 6.6-2.

#### 6.6.1.3.3 Análisis de las muestras

Dependiendo del tipo de red de monitoreo y al alcance del programa de monitoreo seguido, las muestras de calidad de agua fueron sometidas al análisis de alguno de los siguientes parámetros:

- Parámetros de campo: pH, T °C, CE, turbidez y OD.
- Química general: alcalinidad total, dureza, demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), sólidos totales suspendidos (STS) y pH;
- Iones mayores: calcio, magnesio, potasio, sodio, cloruro, flúor, sulfato, bicarbonato, carbonato e hidróxido.
- Especies nitrogenadas: Nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos.
- Metales totales y disueltos, que incluyen: aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, boro, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, fósforo, selenio, plata, estroncio, talio, estaño, uranio y zinc.
- Microbiología: coliformes totales y fecales.
- Cianuro: total y ácido débil disociable (WAD por sus siglas en inglés).

En la Tabla 6.6-5 se presentan los parámetros considerados en cada una de las redes de monitoreo.



Los reportes completos del laboratorio Aquatec, así como los certificados de acreditación del laboratorio utilizados para el análisis de las muestras de la red de monitoreo 3, llevado a cabo en mayo de 2014 por SLP para el presente EsIA, se adjuntan en los Anexos 6.6-3 y Anexo 6.6-1 respectivamente.

**Tabla 6.6-5: Parámetros analizados en las diferentes redes de muestreo**

Parámetro	Símbolo	Unidades	Red 1 (W)	Red 2 (M)	Red 3 (SW)
Temperatura	t	°c	x	NA	x
Potencial de hidrógeno	pH		x	x	x
Conductividad eléctrica	ce	µs/cm	x	x	x
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	NA	NA	x
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/l	NA	NA	x
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	NA	NA	x
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	x	NA	x
Sólidos suspendidos totales	SST	m/l	x	x	x
Sólidos totales	ST	mg/l	x	NA	NA
Turbidez	NTU	NTU	x	NA	x
Dureza total	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	x	NA	x
Alcalinidad	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	x	x	x
Hidróxidos	oh -	mg/l	NA	NA	x
Cloruros	(cl) -	mg/l	x	x	x
Cianuro libre	CN WAD	mg/l	x	NA	x
Cianuro total	CN	mg/l	x	x	x
Nitratos	(NO <sub>3</sub> ) -	mg/l	x	x	NA
Nitritos	(NO <sub>2</sub> ) -	mg/l	x	x	NA
Nitrógeno amoniacal	n-amoniaca	mg/l	x	x	NA
Sulfuros		mg/l	x	NA	NA
Sulfatos	(SO <sub>2</sub> ) 4-	mg/l	x	x	x
Calcio	Ca	mg/l	x	x	x
Magnesio	Mg	mg/l	x	x	x
Sodio	Na	mg/l	x	x	x
Potasio	K	mg/l	x	x	x
Bicarbonatos	(HCO <sub>3</sub> ) -	mg/l	NA	NA	x
Carbonatos	(CO <sub>3</sub> ) 2-	mg/l	NA	x	x
Fluoruros		mg/l	x	x	NA
Aluminio (1)	Al	mg/l	NA	NA	x
Arsénico (1)	As	mg/l	x	x	x
Antimonio	Sb	mg/l	x	x	NA
Bario (1)	Ba	mg/l	x	x	x
Berilio	Be	mg/l	NA	NA	x
Cadmio (1)	Cd	mg/l	x	x	x
Cromo (1)	Cr	mg/l	x	x	x
Cobalto (1)	Co	mg/l	NA	NA	x
Cobre (1)	Cu	mg/l	x	x	x
Estroncio (1)	Sr	mg/l	NA	NA	x
Estaño (1)	Sn	mg/l	NA	NA	x
Hierro (1)	Fe	mg/l	x	x	x
Manganeso (1)	Mn	mg/l	x	x	x
Mercurio (1)	Hg	mg/l	x	x	x
Molibdeno (1)	Mo	mg/l	x	x	x
Níquel (1)	Ni	mg/l	x	x	x
Plata (1)	Ag	mg/l	x	x	x
Selenio (1)	Se	mg/l	x	x	x
Plomo (1)	Pb	mg/l	x	x	x
Talio (1)	Tl	mg/l	NA	NA	x
Uranio (1)	U	mg/l	NA	NA	x
Vanadio (1)	V	mg/l	NA	NA	x
Zinc (1)	Zn	mg/l	x	x	x

Parámetro	Símbolo	Unidades	Red 1 (W)	Red 2 (M)	Red 3 (SW)
Coliformes totales	ct	UFC/100ml	NA	NA	x
Coliformes fecales	cf	NMP/100ml	NA	NA	x
<b>Total de parámetros</b>			<b>37</b>	<b>31</b>	<b>46</b>

X: parámetro fue muestreado

NA: no aplica / parámetro no fue analizado

(1) Metales totales y metales disueltos

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

#### 6.6.1.4 Resultados y análisis

Los resultados han sido analizados de acuerdo a la cuenca donde se ubican las estaciones muestreadas. Por lo tanto, los resultados serán presentados por red de monitoreo.

Los resultados de todas las redes de monitoreo se presentan en el Anexo 6.6-4.

Los criterios ambientales utilizados para realizar el análisis de datos de línea de base de la calidad de agua superficial se desarrollaron tomando en consideración las normas panameñas para calidad de agua de cuerpos receptores. En la Tabla 6.6-6 se presenta un análisis completo de estos criterios.

**Tabla 6.6-6: Criterios ambientales para el análisis de los resultados**

Parámetro	Unidades	Criterio ambiental seleccionado	D.E. N° 75 (4 junio 2008)		Anteproyecto ley aguas naturales 2007		
			Contacto directo	Sin contacto directo	Clase 1-c	Clase 2-c	Clase 3-c
Físico – Químicos							
temperatura	delta t (°c)	<2°c	3	3	<2°c	<3°c	<3°c
potencial de hidrógeno	na	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 9.0	6.5 - 9.0
sólidos disueltos totales	mg/l	<500	<500	<500	500	<500	
sólidos suspendidos totales	m/l	<50	<50	<50	na	na	na
turbidez	ntu	50 (estación seca)	<50	50-100	50 (estación seca), 100 (estación húmeda)	100 (estación seca)	100 (estación seca)
cloruro	mg/l	250	na	na	250	250	na
cianuro total	mg/l	0.005	<0.01	<0.01	0.005	0.005	0.2
nitratos	mg/l	10	na	na	10	10	10
nitritos	mg/l	1	na	na	1	1	1
sulfuros	mg/l	< 0.005	na	na	na	na	<0.005
sulfatos	mg/l	250	na	na	250	250	500
fluoruro	mg/l	0.75	na	na	0.75	0.75	0.75
Metales							
arsénico	mg/l	0.005	<0.1	<0.1	0.005	0.005	0.01
cadmio	mg/l	0.000017	<0.03	<0.03	0.001	0.001	0.005
cromo	mg/l	0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.05	0.05
cobre	mg/l	0.01	na	na	0.01	0.01	0.02
mercurio	mg/l	0.0001	<0.01	<0.01	0.0002	0.0002	0.001
níquel	mg/l	0.025	na	na	0.025	0.025	0.025
plomo	mg/l	0.005	<0.05	0.05-0.2	0.005	0.005	0.003
selenio	mg/l	0.005	na	na	0.005	0.01	0.01
zinc	mg/l	0.18	na	na	0.18	0.18	0.3
Microbiológicos							
coliformes fecales	ufc/100ml	< 250	< 250 coliformes fecales/100 ml (o 200 estreptococo fecales /100ml)	251-450 coliformes fecales (o 201 500 estreptococo fecales /100ml)	250	1,000	2,000

NA: no aplica

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014



A continuación se presenta un análisis de los principales parámetros de calidad de agua superficial para las tres redes de monitoreo.

### **Red de monitoreo 1 (W)**

Sólo en la campaña de enero de 2004, se muestreó la temperatura de las aguas superficiales, observándose que los valores en todas las estaciones de muestreo están dentro del rango normal para este tipo de aguas.

El pH fue muestreado durante todas las campañas y en todas las estaciones de la red, presentando valores dentro del rango normal de 6.5 a 8.5, con excepción de la estación W6 en la quebrada Mala (valores entre 2.4 a 3.5) y la estación W14 en la parte Norte de cerro Quema (valores entre 3.9 a 5.8) que presentaron valores de características ácidas. Por otro lado, la estación W3 presentó un valor de 10.7 solamente en el muestreo de mayo 2004.

Respecto a la conductividad eléctrica, los valores en todas las campañas y en todas las estaciones dentro de la cuenca del río Quema fluctúan entre 100 y 280  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ . En enero de 2004, se tomaron muestras en el río Güera y río Tonosí dando como resultados de 130  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  y 261  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  respectivamente. Con lo que, se puede comentar que el contenido de iones metálicos conductores de electricidad en el agua superficial es característico en todas las cuencas de la región. Solamente en la estación en quebrada Mala (W6) los valores resultaron elevados por encima de 300  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  hasta 500  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ , esto guarda relación con el bajo nivel de pH de las aguas de esta quebrada.

Los sólidos disueltos totales fueron muestreados en toda la red sólo en enero de 2004. Los valores en las estaciones dentro de la cuenca del río Quema fluctúan entre 63 mg/L a 270 mg/L, estando estos valores dentro del criterio ambiental de < 500 mg/L. Las muestras tomadas en el río Güera y río Tonosí dieron como resultado 90 y 134 mg/L respectivamente.

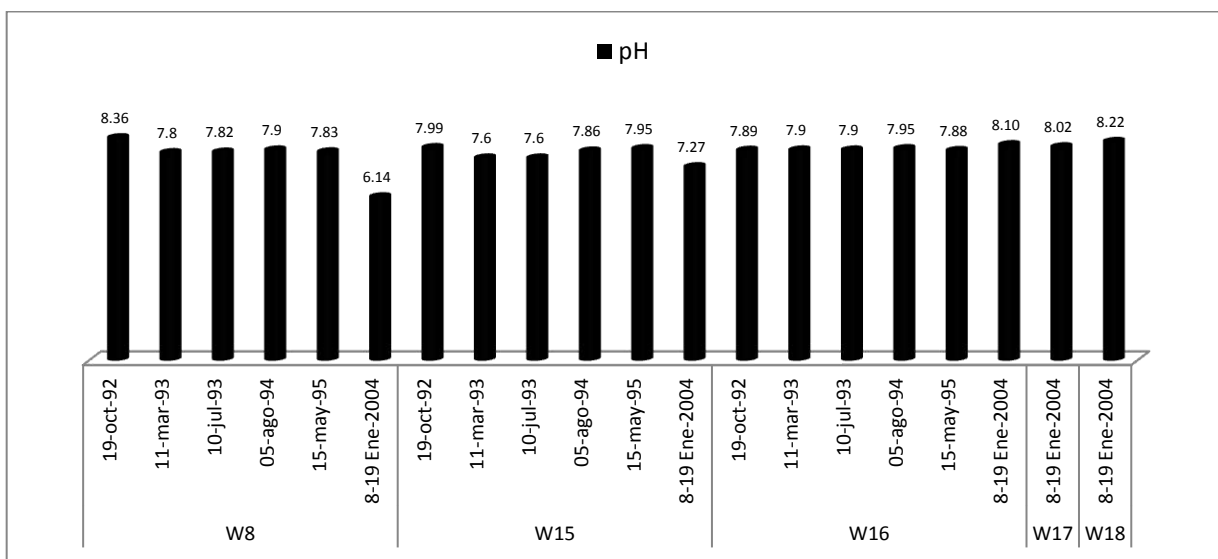
Por otro lado, los sólidos suspendidos totales fueron muestreados en diferentes campañas resultando la estación W6 de la quebrada Mala la del valor más alto (740 mg/L), presentado en julio de 1993 durante temporada lluviosa. El resto de estaciones, para ésta misma campaña de julio de 1993, presentaron igualmente valores por arriba del criterio ambiental de 50 mg/L.

El Cianuro Total fue un parámetro que resultó por encima del criterio ambiental (0.005 mg/L) en casi todas las estaciones dentro de la red de monitoreo. Los valores alcanzados fueron de hasta 0.007 mg/L inclusive en las estaciones del río Güera.

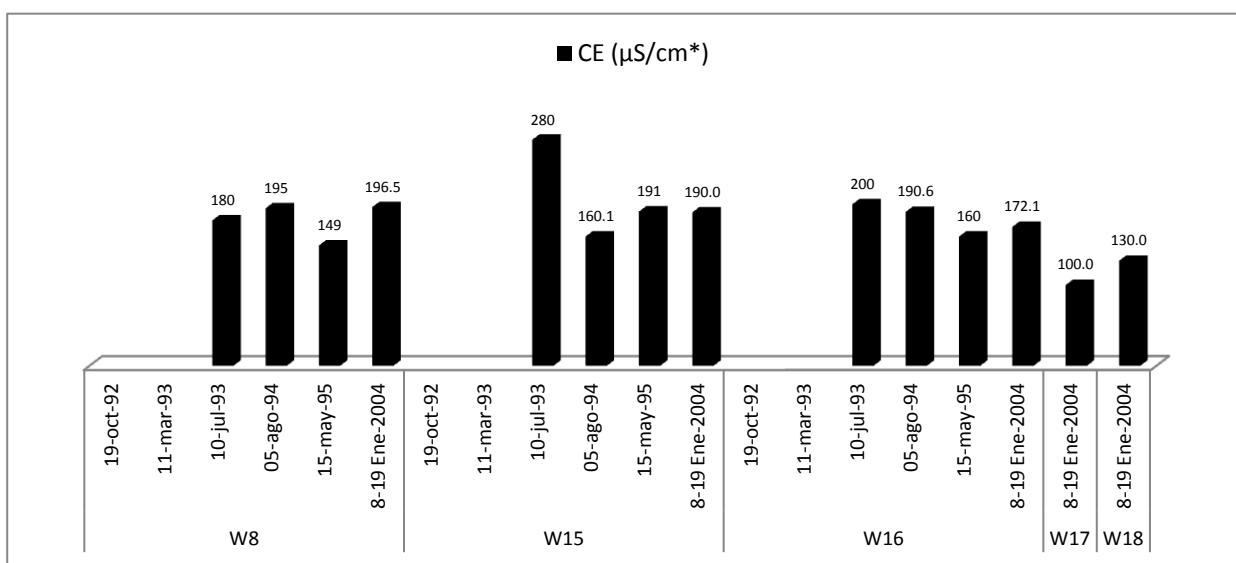
El cromo fue un parámetro muestreado en todas las campañas. Sus valores estuvieron siempre por debajo del criterio ambiental seleccionado que es 0.005 mg/L.

En las estaciones de muestreo cercanas a los sitios de futuros tajos, se presentaron niveles de cobre de hasta 2.92 mg/L, esto se explica debido a la presencia del mineral en el yacimiento aurífero. Por otro lado, los niveles de cobre en el río Güera y río Tonosí (< 0.01 mg/L) están dentro de los criterios ambientales (0.01 mg/L).

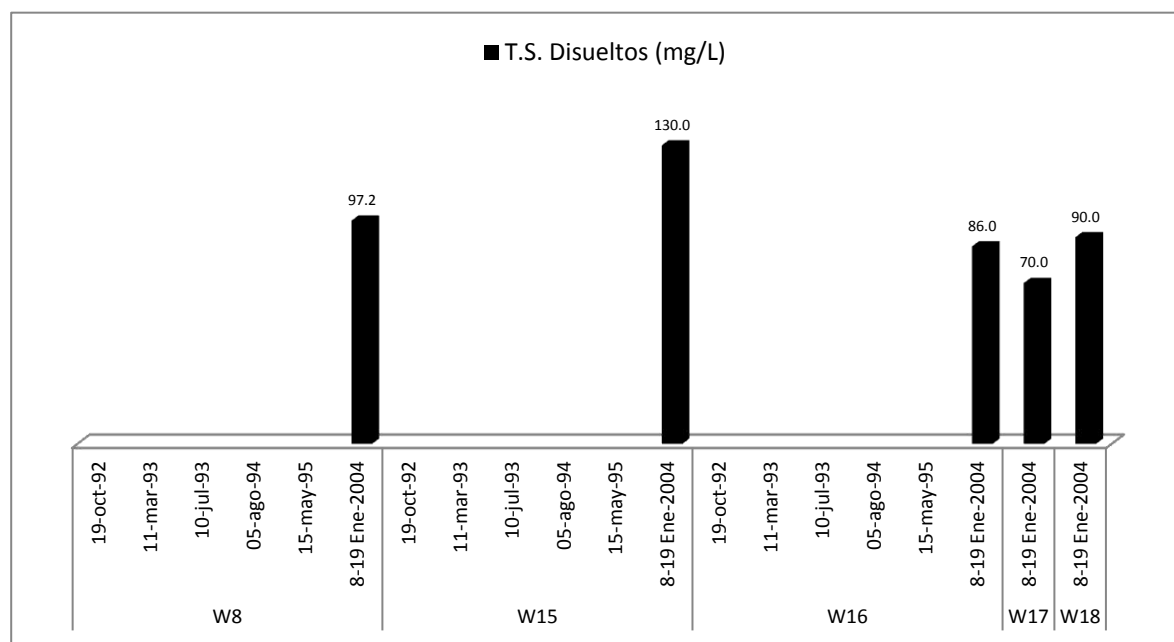
Con la finalidad de observar la influencia de la calidad de las aguas del río Quema sobre el río Güera (estación W18), a continuación se presentan unas gráficas de los parámetros de potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, cianuro total, cobre y plomo, para las estaciones de la parte baja de la cuenca del río Quema, donde han descargado las quebradas Mala, Chontal, Picadores por el lado Norte y las quebradas Seca, Maricela y Dolores por el lado Sur de la cuenca en la quebrada De Quema.



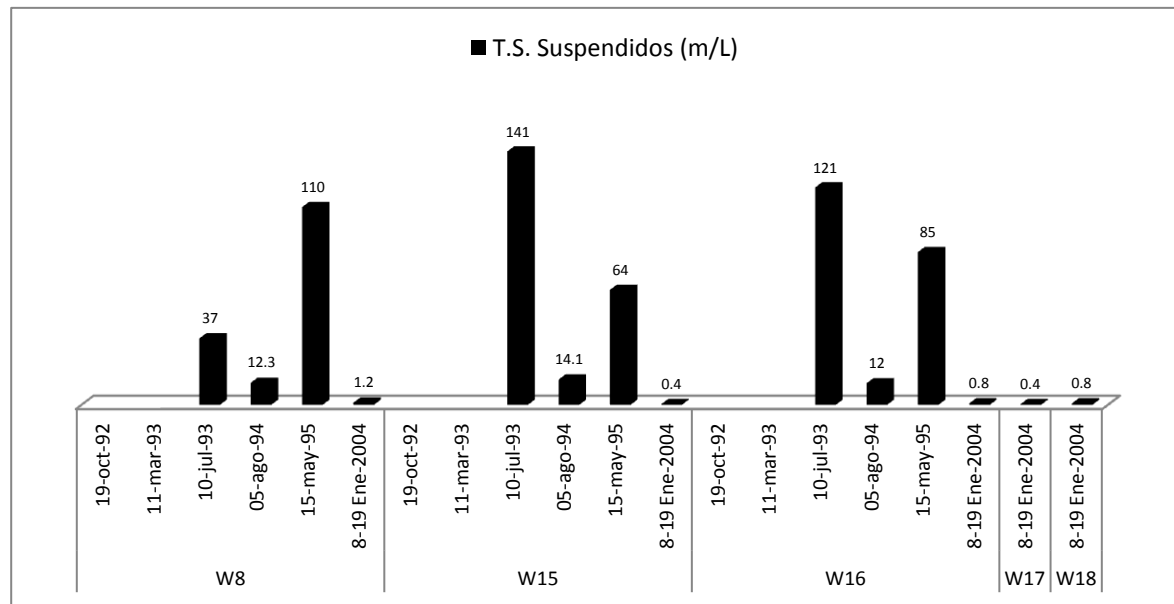
**Gráfico 6.6-1: Resultados de pH en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



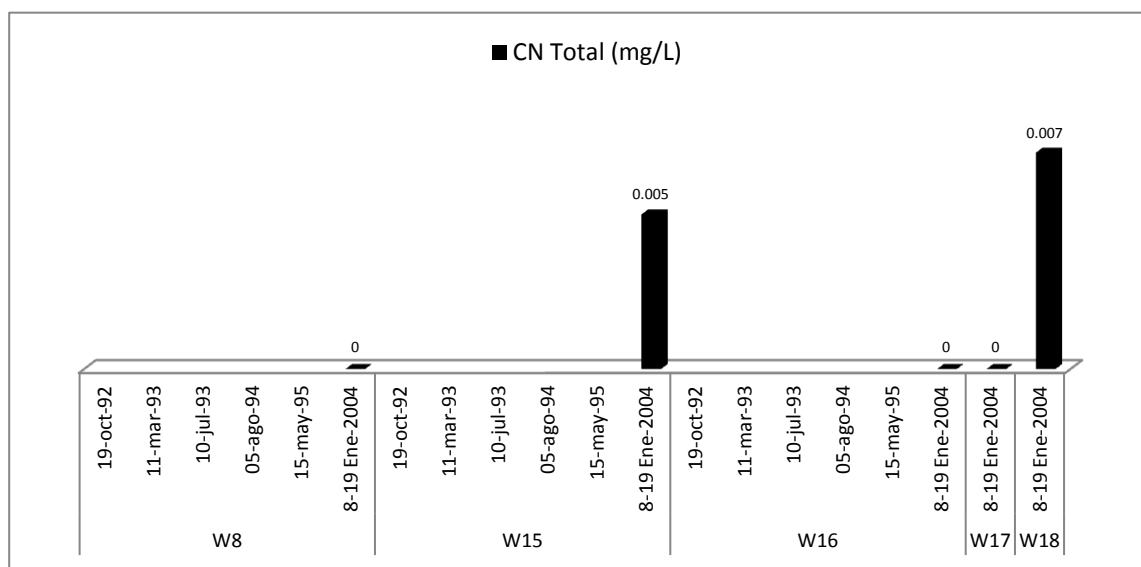
**Gráfico 6.6-2: Resultados de CE en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



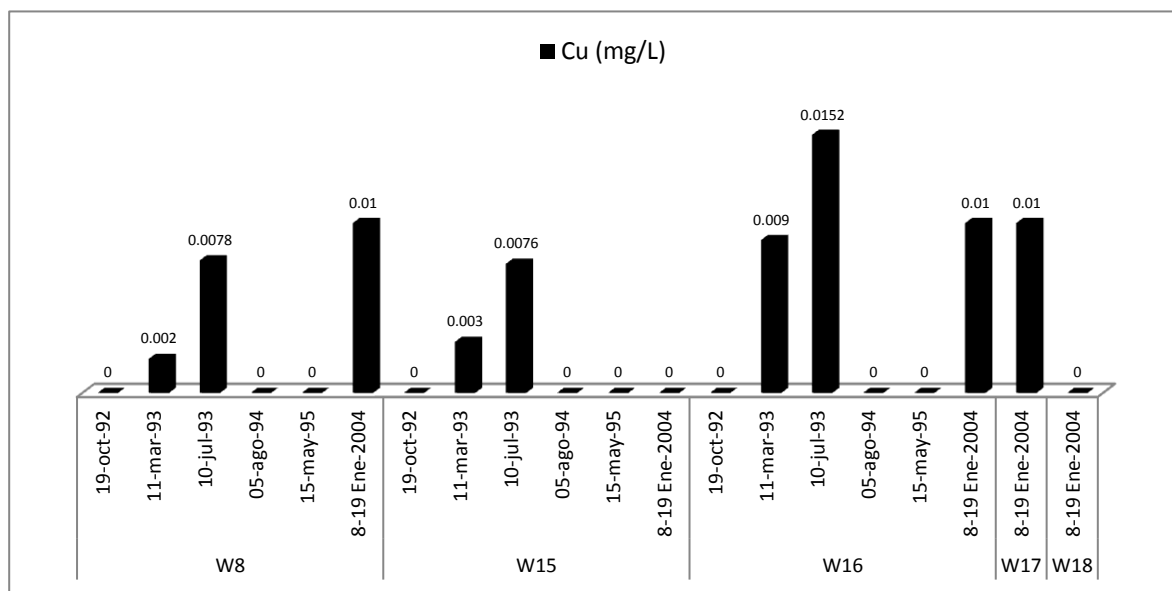
**Gráfico 6.6-3: Resultados de SDT en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



**Gráfico 6.6-4: Resultados de SST en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**

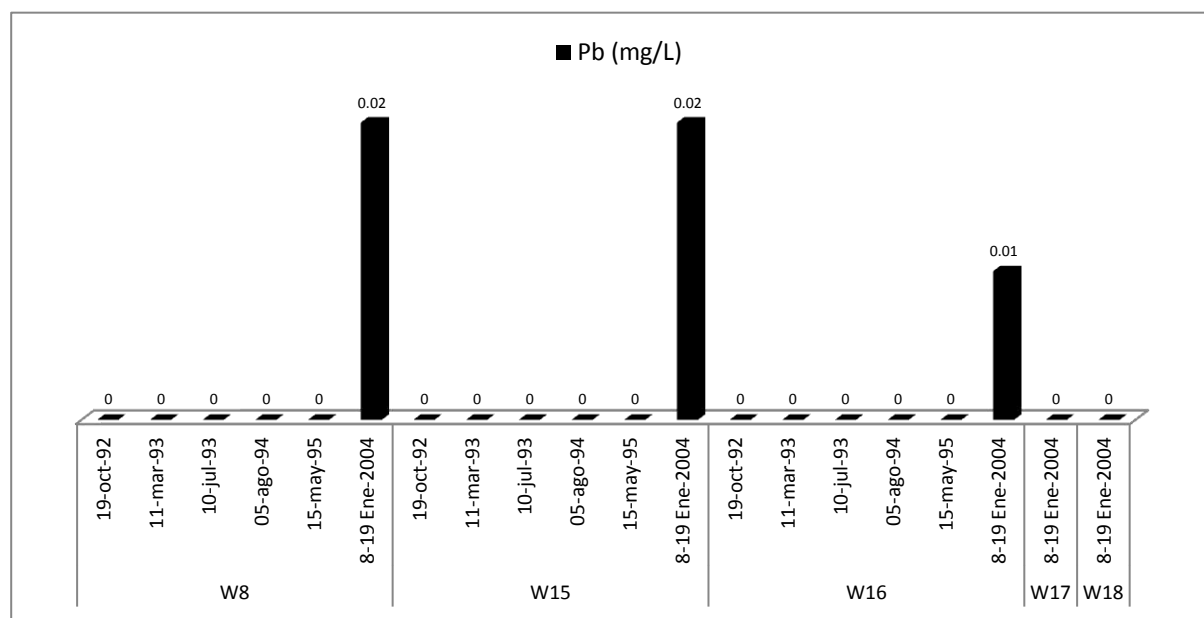


**Gráfico 6.6-5: Resultados de cianuro total en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



**Gráfico 6.6-6: Resultados de Cu en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**





**Gráfico 6.6-7: Resultados de Pb en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**

## Red de muestreo 2 (M)

El pH fue muestreado durante todas las campañas y en todas las estaciones de la red de monitoreo, presentando valores dentro del rango normal de 6.5 a 8.5 con excepción de la estación M1 en la quebrada Mala (valores entre 2.3 a 3.7).

Respecto a la conductividad eléctrica, los valores en todas las campañas y en todas las estaciones dentro de la cuenca del río Quema fluctúan entre 122 y 498  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ . En los años 2012, 2013 y 2014 se tomaron muestras en el río Güera, 50 m aguas arriba y 50 m aguas debajo de la confluencia del río Quema. Los resultados se mantienen en ambas estaciones entre 157 y 260  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ , con lo que se concluye que los aportes del río Quema no son significativos en iones metálicos disueltos en el agua superficial.

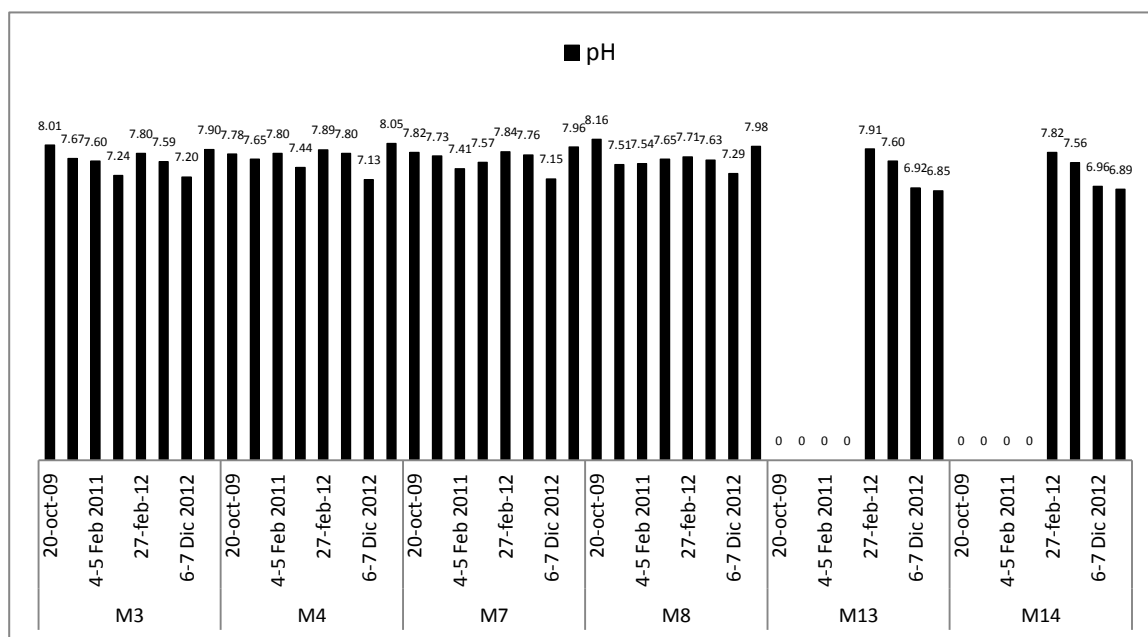
Los sólidos suspendidos totales arrojaron valores por encima del criterio ambiental ( $< 50 \text{ mg/L}$ ) en casi todas las campañas de muestreo, inclusive en las estaciones en el río Güera (aguas arriba de la confluencia con el río Quema) los valores llegaron a alcanzar hasta 256 mg/L (junio 2013).

Respecto al cromo, todos los valores en las diferentes campañas estuvieron dentro del criterio ambiental (0.05 mg/L), con excepción de las estaciones en quebrada Mala y Chontal con valores por encima de 0.05 mg/L.

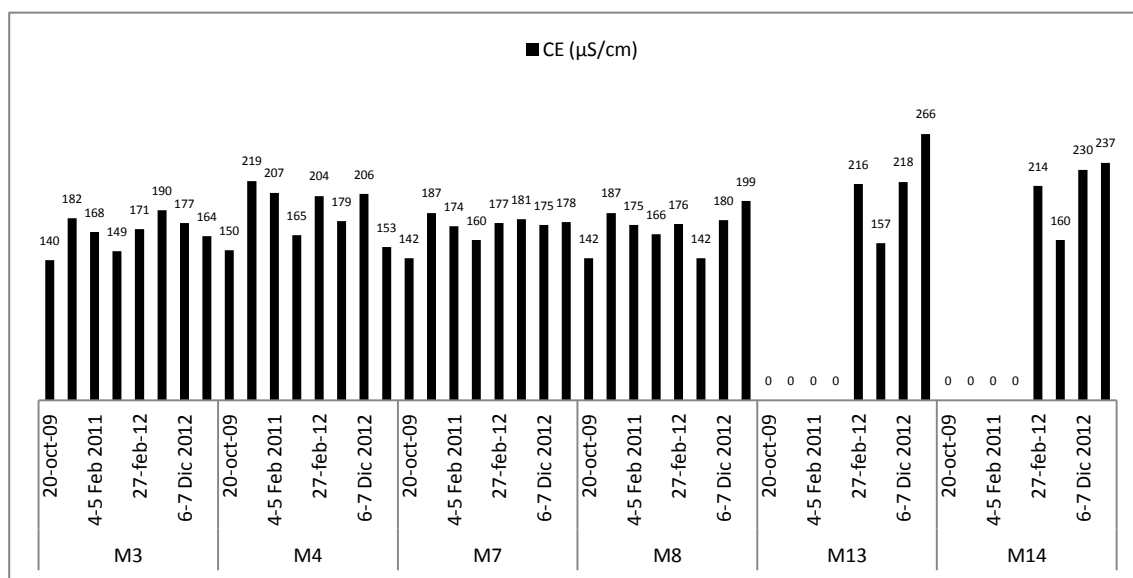
Por otro lado, los valores para el cobre resultaron elevados (por arriba del criterio ambiental de 0.01 mg/L) sólo en la estación M1 de la quebrada Mala (alcanzando un valor máximo de 4.32 mg/L en julio 2014 y 3.5 mg/L en agosto 2008). En el resto de estaciones los valores se mantuvieron debajo del criterio ambiental mencionado.

Con la finalidad de observar la influencia de la calidad de las aguas del río Quema sobre el río Güera (estaciones aguas arriba M13 y aguas abajo M14), a continuación se presentan unas gráficas de los parámetros de potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos

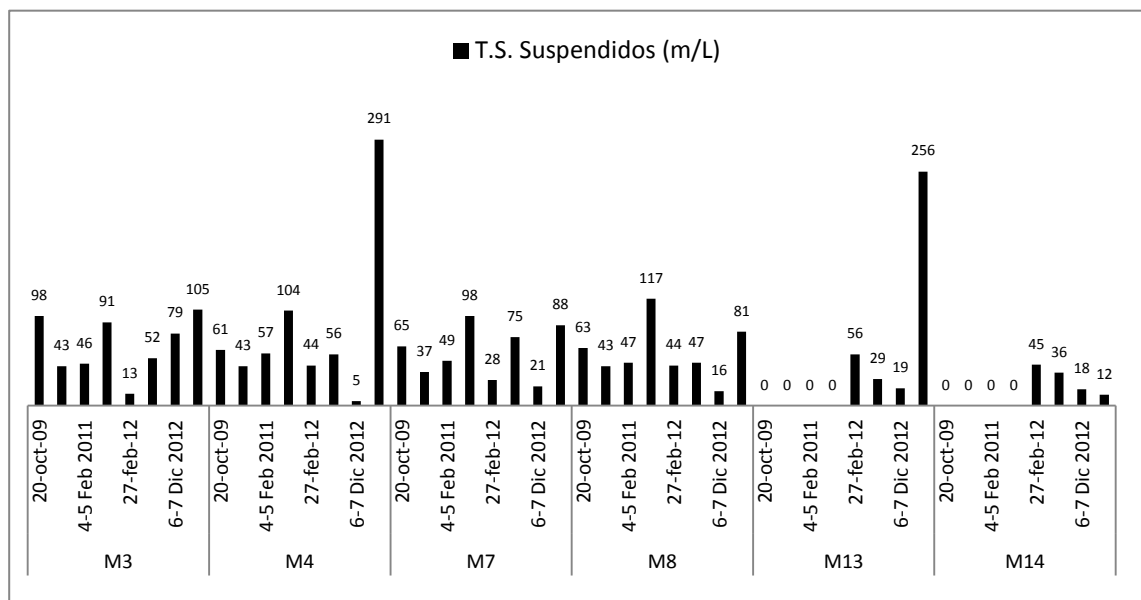
totales, cianuro total, cobre y plomo, para las estaciones de la parte baja de la cuenca del río Quema, donde han descargado las quebradas Mala, Chontal, Picadores por el lado Norte y las quebradas Seca, Maricela y Dolores por el lado Sur de la cuenca en la quebrada De Quema.



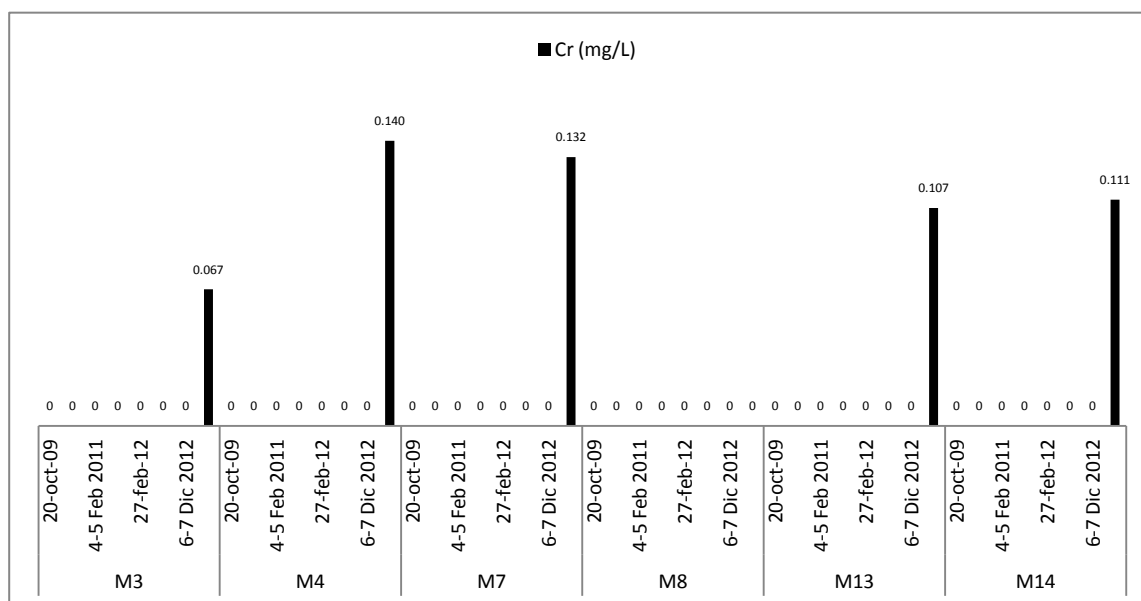
**Gráfico 6.6-8: Resultados de pH en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



**Gráfico 6.6-9: Resultados de CE en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



**Gráfico 6.6-10: Resultados de SST en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



**Gráfico 6.6-11: Resultados de Cr en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**

### Red de muestreo 3 (SW)

La red de monitoreo 3 contempla sólo una campaña realizada en mayo de 2014, sin embargo se consideraron más parámetros respecto a las otras redes, además de la medición de aforos dando como resultado una variación en el caudal entre 1.9 y 20.3 m<sup>3</sup>/h. Asimismo, se muestreó la temperatura en todas las estaciones dando valores de 24 a 27 °C. Por otro lado, la conductividad eléctrica se mantuvo entre 212 a 352 µS/m<sup>2</sup>.

Durante esta campaña se tomaron muestras de turbidez, arrojando para todas las estaciones valores por debajo del criterio ambiental (50 NTU en época seca).

El pH en todas las estaciones muestreadas presentó valores dentro del criterio ambiental (6.5 a 8.5). Cabe mencionar que en esta red no se consideró el muestreo de la quebrada Mala que presenta características naturales de acidez.

Respecto a los sólidos disueltos totales y los sólidos suspendidos totales ambos parámetros se mantuvieron por debajo del criterio ambiental (< 500 mg/L y < 50



mg/L respectivamente).

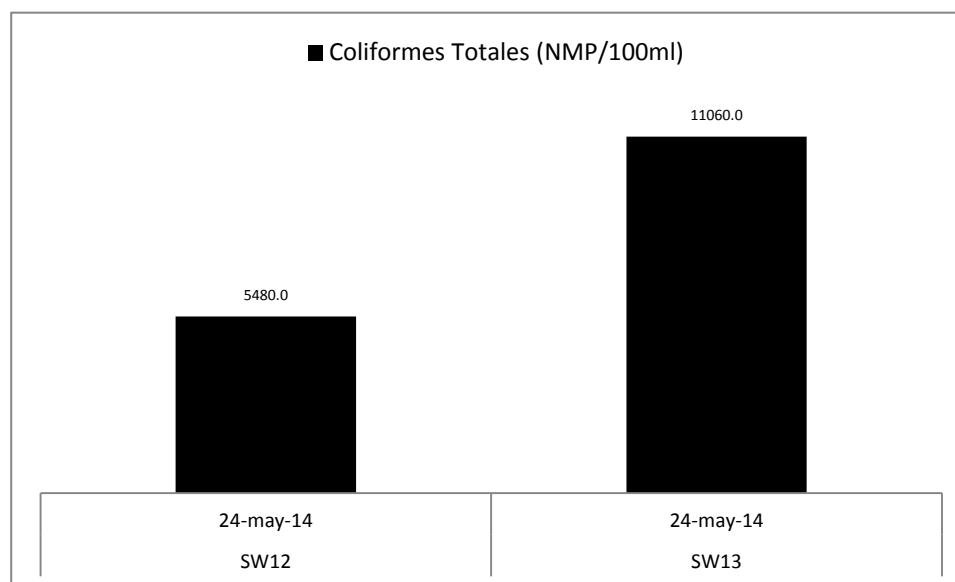
Todos los valores para el cianuro total en todas las estaciones de la red arrojaron valores debajo del criterio ambiental (0.005 mg/L). Por otro lado, los valores de cianuro de asociación débil (o cianuro WAD) fueron, para todas las estaciones, menores a 0.005 mg/L.

En todas las estaciones, con excepción de SW5 y SW10, los valores estuvieron por encima del criterio ambiental de 250 UFC/100 ml. Con lo que se puede concluir que donde se desarrollará el Proyecto hay actividad humana generadora de este de microorganismo.

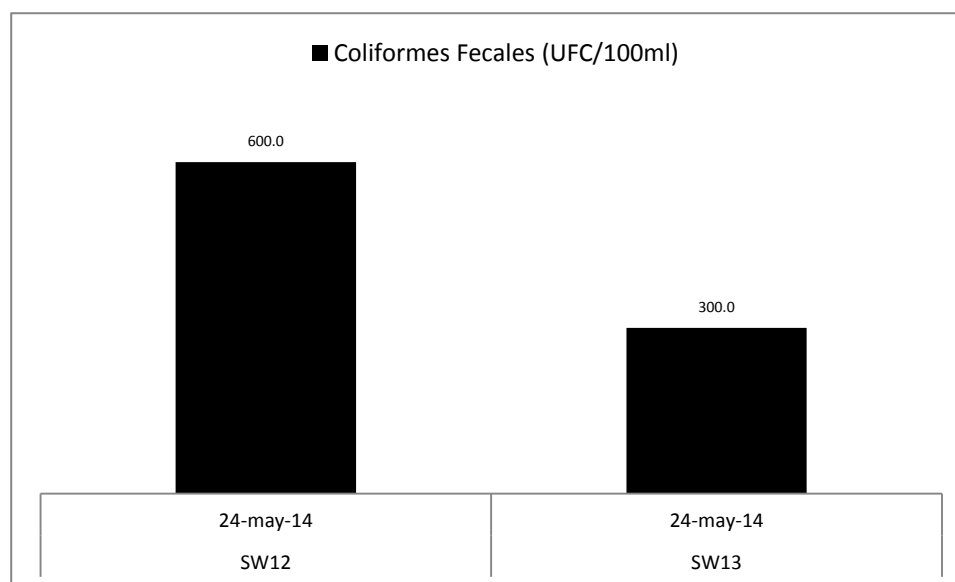
Pasando al análisis de metales disueltos y totales, comenzaremos con el análisis del cromo por ser un elemento relacionado con la salud humana. Los valores de cromo en todas las estaciones muestreadas presentaron valores muy por debajo del criterio ambiental de 0.05 mg/L. De igual manera para el cobre y el plomo, los valores se mantuvieron por debajo del criterio ambiental establecido en 0.01 mg/L y 0.005 mg/L respectivamente.

El único metal que presentó valores por encima del criterio ambiental de 0.18 mg/L fue el zinc que arrojó hasta el valor de 2.5 para la estación SW10 (en quebrada Maricela).

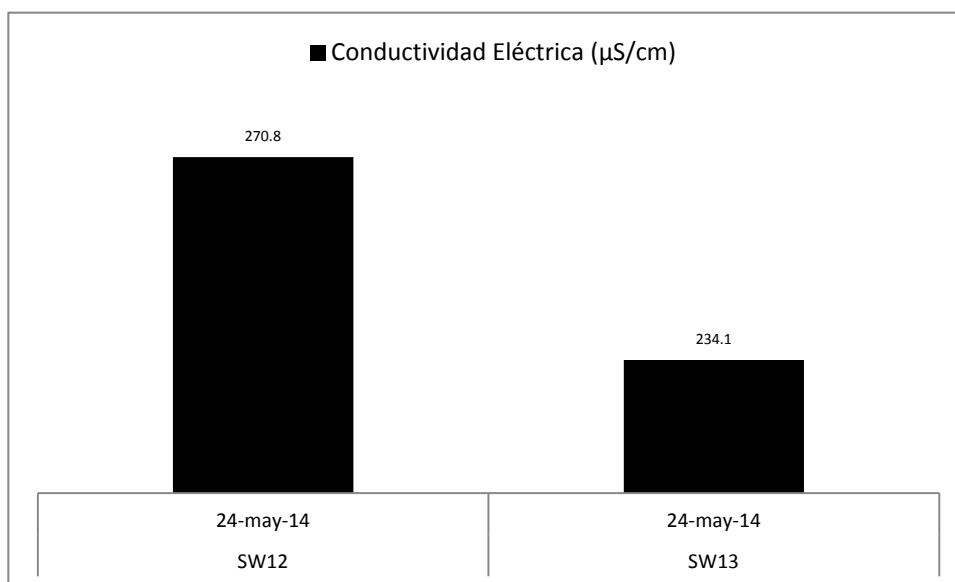
A continuación se muestran los resultados de las estaciones aguas debajo del río Quema para observar el aporte de las aguas de la quebrada De Quema (SW12) en el río Quema (SW13).



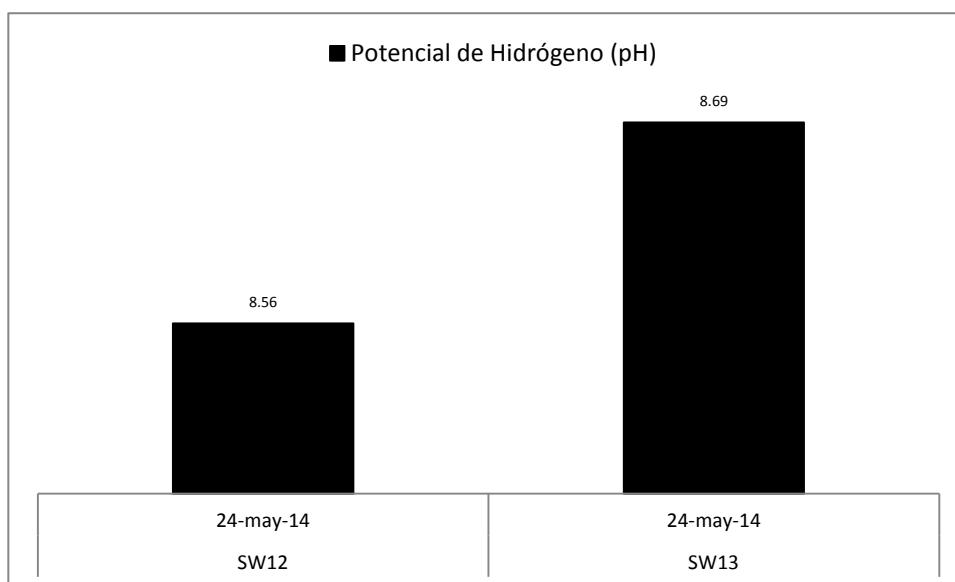
**Gráfico 6.6-12: Resultados de coliformes totales en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



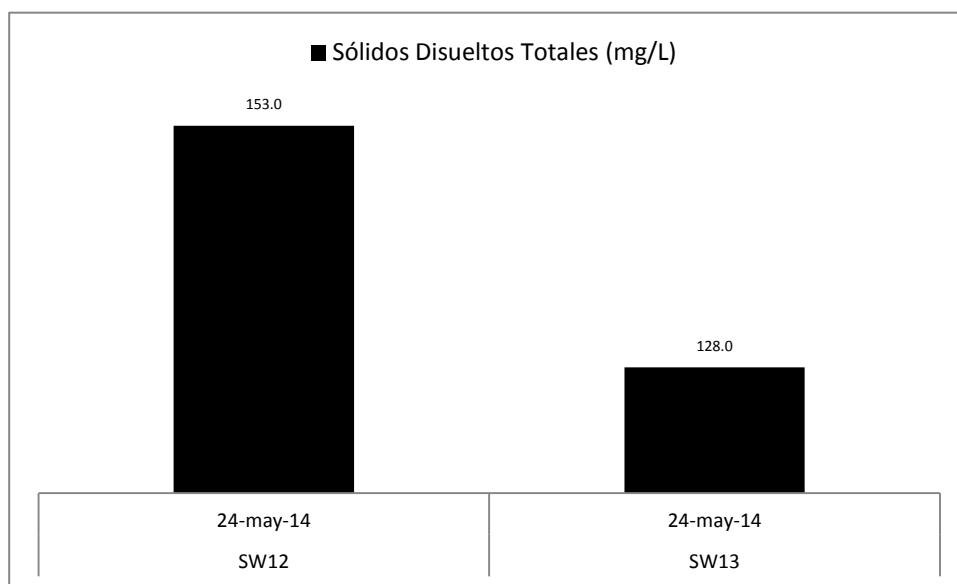
**Gráfico 6.6-13: Resultados de coliformes fecales en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



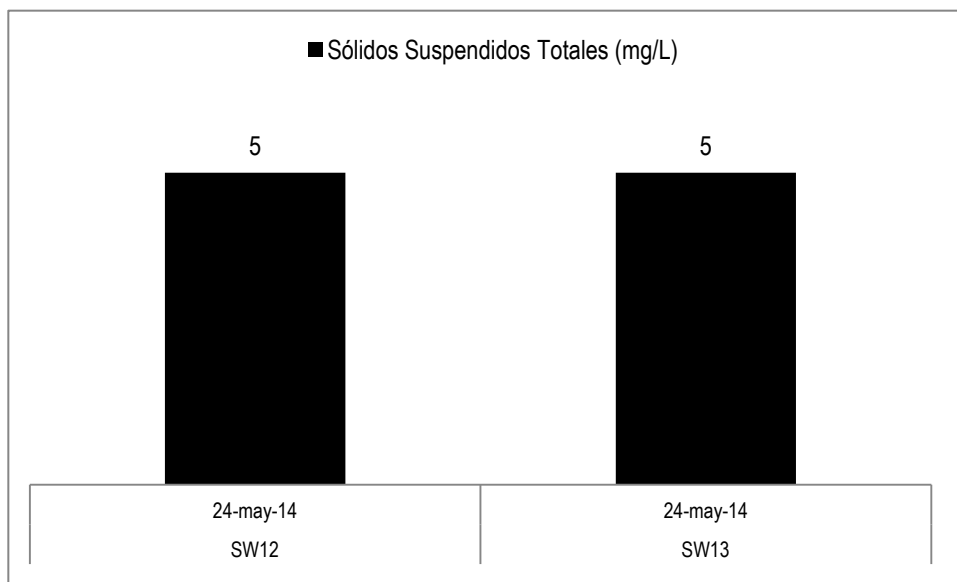
**Gráfico 6.6-14: Resultados de conductividad eléctrica en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



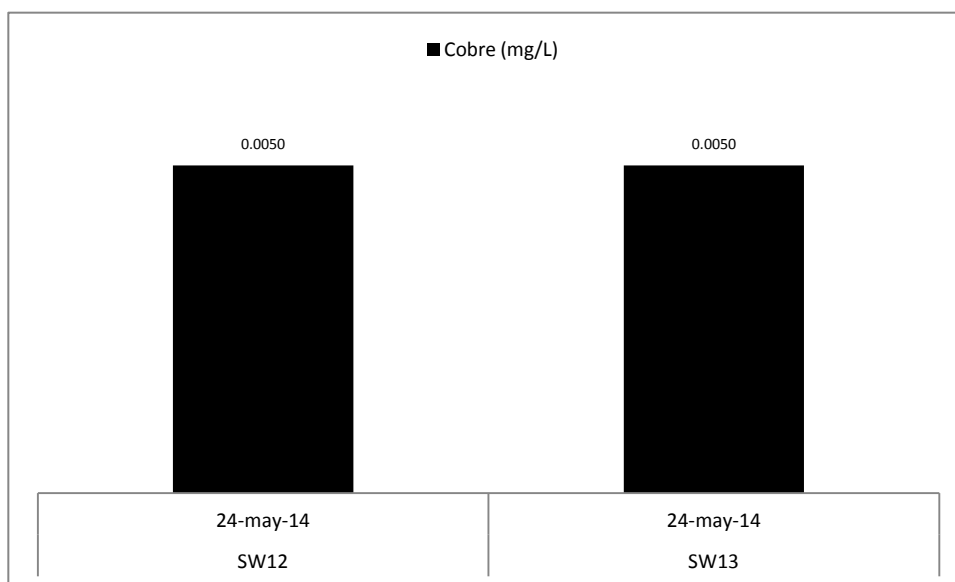
**Gráfico 6.6-15: Resultados de pH en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



**Gráfico 6.6-16: Resultados de SDT en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



**Gráfico 6.6-17: Resultados de SST en las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**



**Gráfico 6.6-18: Resultados de Cu las estaciones de la parte baja de la microcuenca del río Quema**

#### 6.6.1.5 Resumen

El periodo de muestreo y análisis de los parámetros de calidad de agua comprende desde el año 1992 hasta el año 2014. Desarrollándose al menos un monitoreo anual. No se cuentan con registros de los años 1996 al 2003 y del 2005, probablemente debido a la inactividad de actividades mineras de la empresa MCQSA durante ese período.

Los resultados de calidad de agua evidencian las características de un yacimiento altamente mineralizado.

En resumen la calidad de las aguas superficiales de la microcuenca del río Quema no representa una fuente de contaminación de las aguas del río Güera.

### **6.6.1.a. Caudales (máximo, mínimo y promedios anual)**

#### 6.6.1.a.1. Introducción

Para definir los caudales característicos de cada unidad de área hidrológica es necesario primero realizar el análisis hidrológico.

La caracterización hidrológica se hace necesaria para describir las condiciones hidrológicas actuales en el área y establecer la base a partir de la cual se medirán las modificaciones potenciales que podrán resultar del Proyecto. De esta forma, se podrán definir qué medidas de mitigación deberán ser aplicadas por afectaciones o modificaciones hidroclimáticas que puedan surgir a partir de la instalación y desarrollo del Proyecto minero.

Desde el punto de vista hidrológico, es importante mantener en todo momento, el enfoque ecosistémico donde se dé el equilibrio entre la conservación, uso sostenible, distribución justa y equitativa de los beneficios obtenidos del recurso, con las complejas y dinámicas comunidades vegetal, animal y de microorganismos con su medio no viviente para que interactúen como una unidad funcional.

#### 6.6.1.a.2. Objetivo

El objetivo de la caracterización hidrológica es el de evaluar la situación actual de aspectos hidrológicos como los caudales característicos, sus diferentes periodos de retorno y su variación en las diferentes cuencas hidrográficas con influencia directa o indirecta del Proyecto.

#### 6.6.1.a.3. Metodología

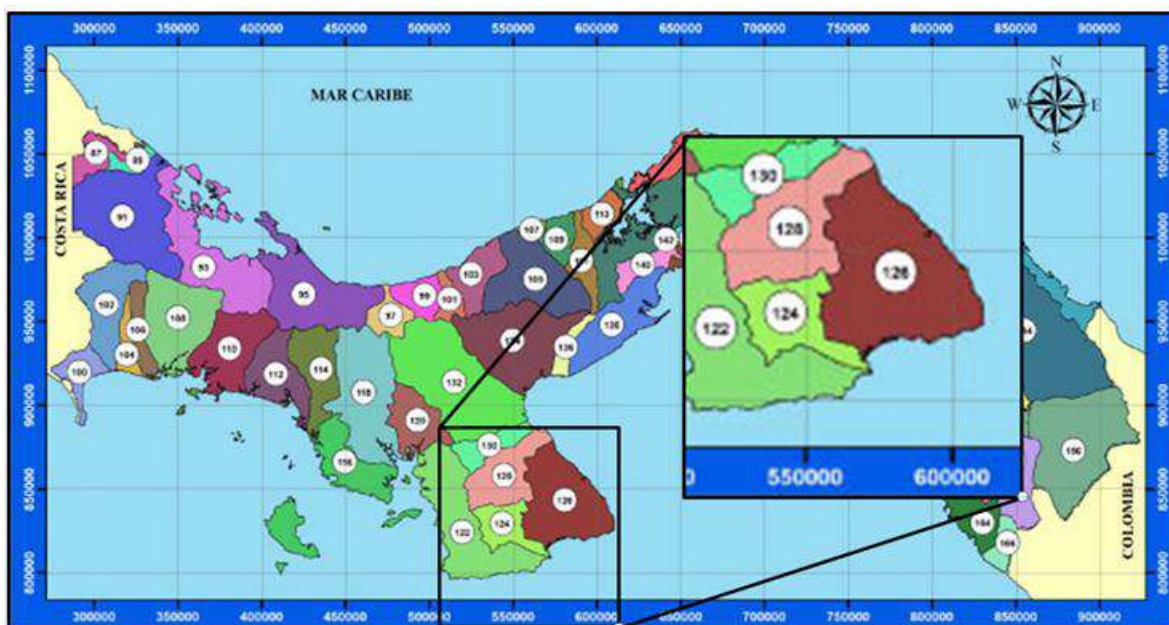
Para cumplir con los objetivos definidos en el párrafo anterior, la metodología se debe enfocar en definir los caudales característicos del área de influencia del Proyecto.

El primer paso de la metodología, consiste en revisar la información existente en estudios previos realizados sobre el área en el contexto regional; recoger, analizar



y utilizar la información registrada en algunas estaciones hidrometeorológicas del área del Proyecto y que forman parte de la red de estaciones que opera la Gerencia de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA). Luego de esto, se analizan y definen las herramientas de cálculos que aplican para el estudio, de acuerdo a los datos o insumos con los que se cuenta.

Específicamente se revisan las series de datos históricos de las estaciones hidrometeorológicas de las cuencas hidrográficas No.128 del río La Villa No.126 del río Tonosí y las cuenca No.124 de los ríos ubicados entre el río La Villa y el río Tonosí tal como se muestra en la Figura 6.6-3, ya que son las cuencas que guardan relación con el proyecto minero, en cuanto al comportamiento de sus características hidrológicas.



Fuente: Cuencas Hidrográficas de Panamá (<http://www.hidromet.com.pa/cuencas.php>)

**Figura 6.6-3: División de cuencas en la región del Proyecto**

De la red de estaciones hidrometeorológicas se determina la confiabilidad de las series y la cercanía de las mismas, para ser utilizadas en los análisis.

El primer filtro se realiza seleccionando las estaciones que han sido validadas por la Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, a través de su respectivo ajuste y uso en proyectos importantes como lo es el Balance Hídrico Nacional de 2006.

Inicialmente, se realizó una descripción de la localización y características de las estaciones que provean alguna información de valor para el estudio, por cuencas. Seguidamente, se definen las áreas hidrológicas de trabajo o cuencas hidrológicas de acuerdo a los puntos de interés. Luego, se procedió a establecer los puntos de interés para realizar los cálculos de caudales máximos, mínimos y promedios.

Los caudales máximos promedios y los caudales para los diferentes periodos de recurrencia, se calculan aplicando la metodología del Análisis de Crecidas Máximas Regionales 2006. Los caudales promedios de las áreas de interés, se obtienen a partir de relaciones de área con los caudales promedios de las estaciones alrededor y finalmente, los caudales mínimos resultan del análisis de la relación que guardan con los caudales promedios.

#### 6.6.1.a.4 Área de estudio

El análisis debe iniciarse desde un área geográfica mayor, con información registrada en estaciones hidrológicas, lo que permite verificar los resultados que se obtienen para el área específica. Las estaciones hidrológicas utilizadas para realizar los cálculos, se encuentran tanto en el área regional del Proyecto como en el área local del mismo. En el área específica del proyecto minero Cerro Quema, se está instalando una red de estaciones en diferentes puntos del Proyecto, lo que permitirá complementar la información que resulte de este análisis y darle seguimiento a la caracterización hidrológica del Proyecto.

El área específica de estudio, desde el punto de vista de la caracterización hidrológica, representa el área de los posibles impactos directos del Proyecto en la hidrología y está circunscrita por la delimitación de la cuenca hidrográfica dentro

de la cual se ubica el Proyecto. Esta área se encuentra dentro de la microcuenca del río Quema.

En tal sentido, el presente estudio culmina con la definición de los caudales a nivel de la parte alta, media y baja de la cuenca del río Quema y de la quebrada De Quema.

Desde el punto de vista geográfico y geológico, el área de desarrollo del Proyecto está situada sobre un macizo volcánico de la era cenozoica ubicado en la sierra del Canajagua en la península de Azuero, en la provincia de Los Santos, República de Panamá.

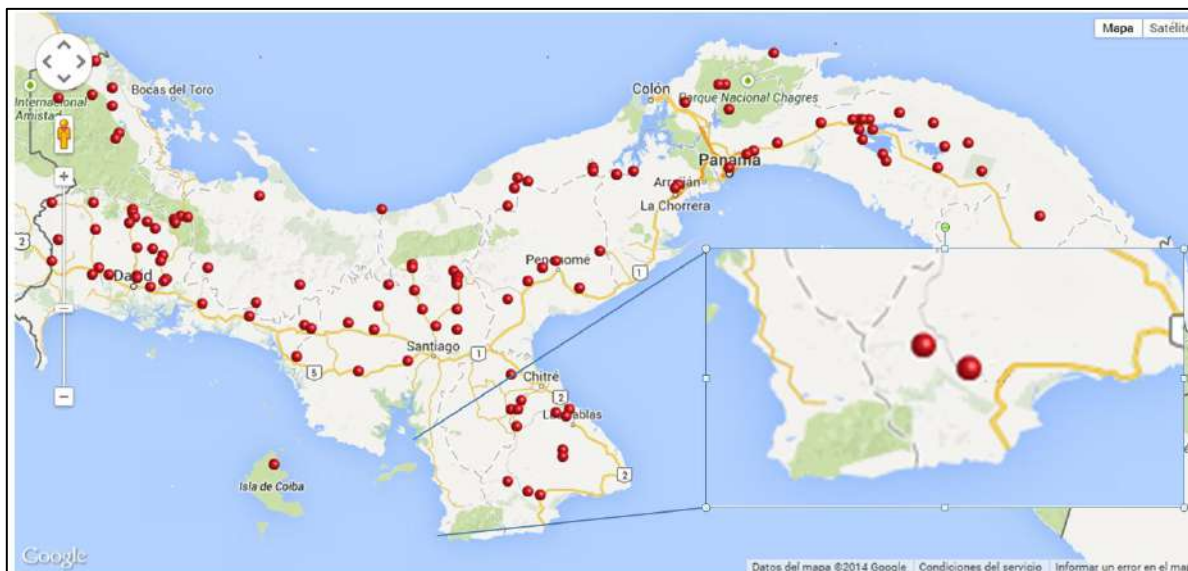
Desde el punto vista hidrológico, el área regional objeto de este estudio se ubica en la cuenca del río Tonosí (124).

La cuenca del río Tonosí se localiza al suroeste de la provincia de Los Santos, en la vertiente del Pacífico. Sus coordenadas se encuentran entre 7° 20' y 7°30' de Latitud Norte y 80° 20' y 80° 45', de Longitud Oeste.

#### 6.6.1.a.4.1. Localización y características de la red de estaciones hidrológicas en la cuenca de interés

Se recopiló un inventario de datos regionales de largo plazo disponibles a partir de la información de estudios previos del Proyecto y datos proporcionados por ETESA en su página web. Dentro del área del Proyecto, MCQSA ha instalado algunas estaciones hidrológicas que permitirán, a futuro, conocer la hidrología específica del proyecto pero hasta este momento solo se han realizado algunos aforos puntuales en algunos puntos del Proyecto. El grupo de datos obtenidos de la página web de ETESA, incluyó los caudales máximos, promedios y mínimos mensuales y anuales para los períodos de registro.

Las ubicaciones de las estaciones hidrológicas de interés se muestran en la Figura 6.6-4.



Fuente: Datos Hidrológicos Históricos ([http://www.hidromet.com.pa/hidro\\_historicos.php](http://www.hidromet.com.pa/hidro_historicos.php))

**Figura 6.6-4: Red de estaciones hidrológicas**

En la Tabla 6.6-7 se presentan las coordenadas de ubicación de las estaciones hidrológicas activas en las cuenca de influencia del Proyecto.

**Tabla.6.6-1: Características de las estaciones hidrológicas sobre el río Tonosí**

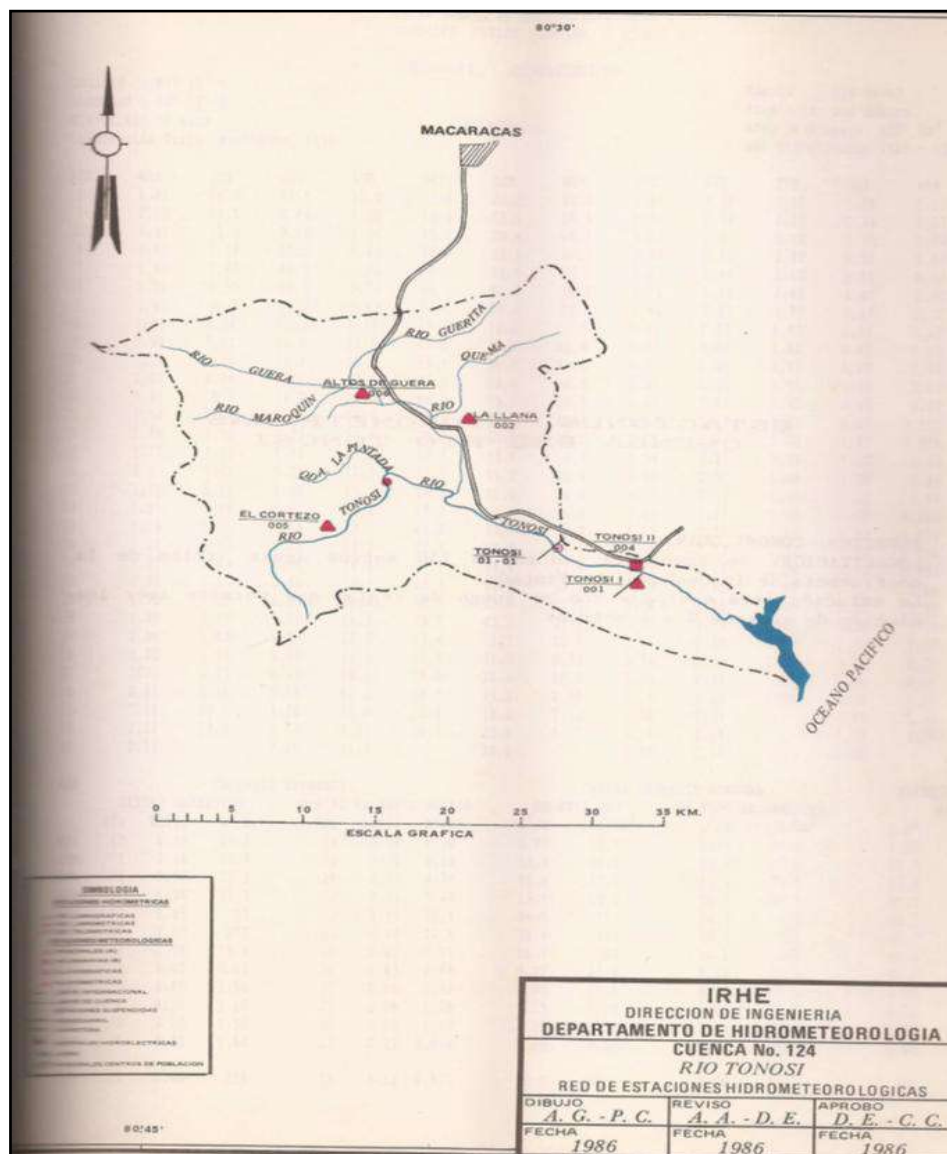
Número	Nombre		Coordenadas Geográficas		Elevación (msnm)	Tipo de Estación
			Latitud	Longitud		
124-01-01	Tonosí	Tonosí	7° 25' 00"	80° 30' 00"	20	Cv
124-01-02	Tonosí	Guaniquito	7° 28' 00"	80° 36' 00"	50	Cv

Fuente: Lista de Estaciones Meteorológicas. [http://www.hidromet.com.pa/estaciones\\_meteo.php](http://www.hidromet.com.pa/estaciones_meteo.php)

## Cuenca del río Tonosí

La cuenca del río Tonosí se localiza al suroeste de la provincia de Los Santos, en la vertiente del Pacífico. Sus coordenadas se encuentran entre 7° 20' y 7°30' de Latitud Norte y 80° 20' y 80° 45', de Longitud Oeste. Tiene un área total de 716.8 km<sup>2</sup> hasta su desembocadura en el mar con una elevación media de 160 msnm, y

91 km de longitud. En la Figura 6.6-5 se muestra la red de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca del río Tonosí y la delimitación de dicha cuenca.



Fuente: Boletín Hidrológico del IRHE, 1992

**Figura 6.6-5: Red de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca del río Tonosí y delimitación de la cuenca**

Dentro de esta cuenca se ubican las siguientes estaciones:

- **Estación Tonosí Tonosí 124-01-01**

Esta estación fue instalada el 9 de febrero de 1960. Se encuentra localizada en la margen izquierda del río Tonosí. Tiene un área de drenaje de 617 km<sup>2</sup>. Posee un registro de caudal desde 1960. Sus coordenadas geográficas son: 7°25' Latitud Norte y 80°30' Longitud Oeste.

- **Estación Tonosí-Guaniquito 124-01-02**

La estación fue instalada el 24 de noviembre de 1988. Se encuentra ubicada a 40m aguas arriba de la confluencia de la quebrada La Pintada, a una elevación de 50 msnm y el área de drenaje es de 135 Km<sup>2</sup>.

#### 6.6.1.a.5 Aguas superficiales

#### 6.6.1.a.6.a Hidrología a nivel regional

Las características geomorfológicas, geológicas y de uso del suelo influyen en la longitud, pendiente y orientación de los cursos de agua así como en la capacidad de retención de las cuencas.

Se destaca que el área del Proyecto minero se encuentra en la porción oriental de la Península de Azuero en donde presentan los recursos más bajos del país.

En la vertiente del Pacífico solo del 7% al 15% del aporte anual se da entre enero y abril y del 85% al 93% restante en la época lluviosa, de mayo a diciembre. Se observa, además, que la variación de los caudales mes a mes en la región del Pacífico, es grande. En general, el mes de mayor caudal es el de octubre. A continuación el análisis regional de la cuenca del río Tonosí

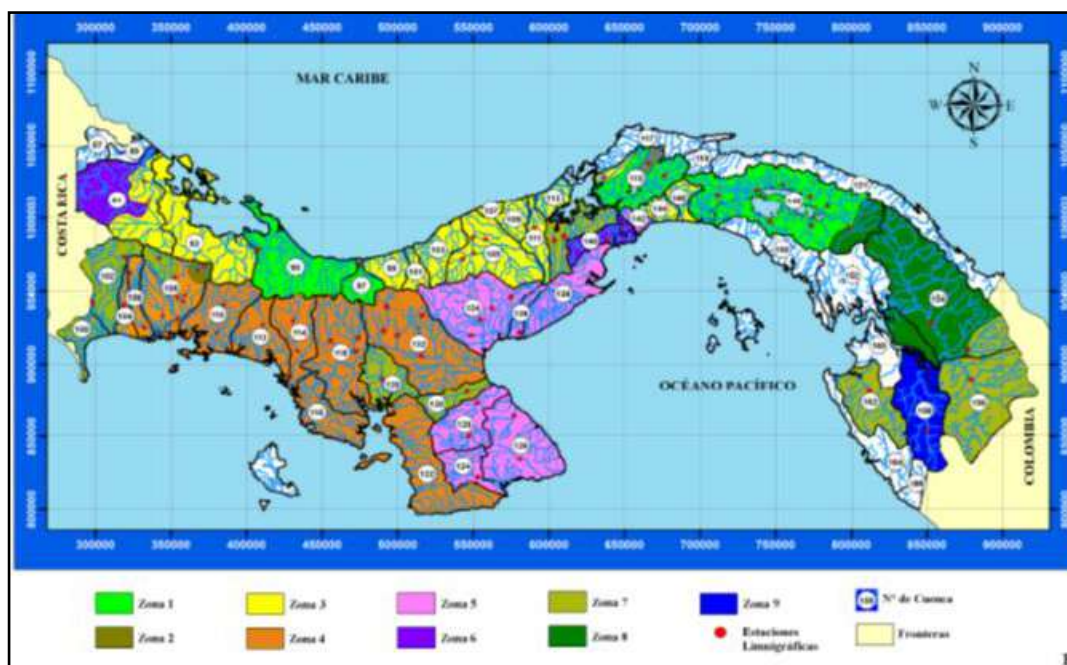
#### **❑ Caudales máximos regionales**

Para definir el caudal máximo a nivel regional, se utiliza la herramienta propuesta en el Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, 2008. El



método consiste en: definir regiones hidrológicamente homogéneas, definir la ecuación para cada región homogénea y en función del área, determinar los caudales máximos.

Según esta metodología, el área circunscrita dentro de las cuencas de interés en la Península de Azuero, se encuentra en la zona 5, lo que se muestra en la Figura 6.6-6.



Fuente: Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, 2008

**Figura 6.6-6: Mapa de zonificación hidrológica homogénea de caudales máximos regionales**

Siguiendo la metodología, al área de interés le corresponde la Ecuación 3 y la tabla de distribución de frecuencia N°1 (Tabla 6.6-8).



**Tabla 6.6-7: Ecuaciones y distribución de frecuencia para definir caudales máximos en regiones**

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34A^{0.59}$	Tabla # 1
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34A^{0.59}$	Tabla # 3
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 1
4	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 4
5	3	$Q_{\text{máx}} = 14A^{0.59}$	Tabla # 1
6	3	$Q_{\text{máx}} = 14A^{0.59}$	Tabla # 2
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9A^{0.59}$	Tabla # 3
8	5	$Q_{\text{máx}} = 4.5A^{0.59}$	Tabla # 3
9	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 3

Fuente: Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, 2008

Definida el área en la que se desea conocer el caudal máximo, de acuerdo a esta ecuación, se puede determinar para cada punto de interés, según el Análisis Regional de Crecidas Máximas. Las áreas en las ecuaciones, corresponden a las áreas de las cuencas mencionadas hasta su desembocadura al mar.

De esta forma se obtienen los caudales promedio máximos (regionales) que se indican en la Tabla 6.6-9.

**Tabla 6.6-8: Caudales máximos promedio regionales**

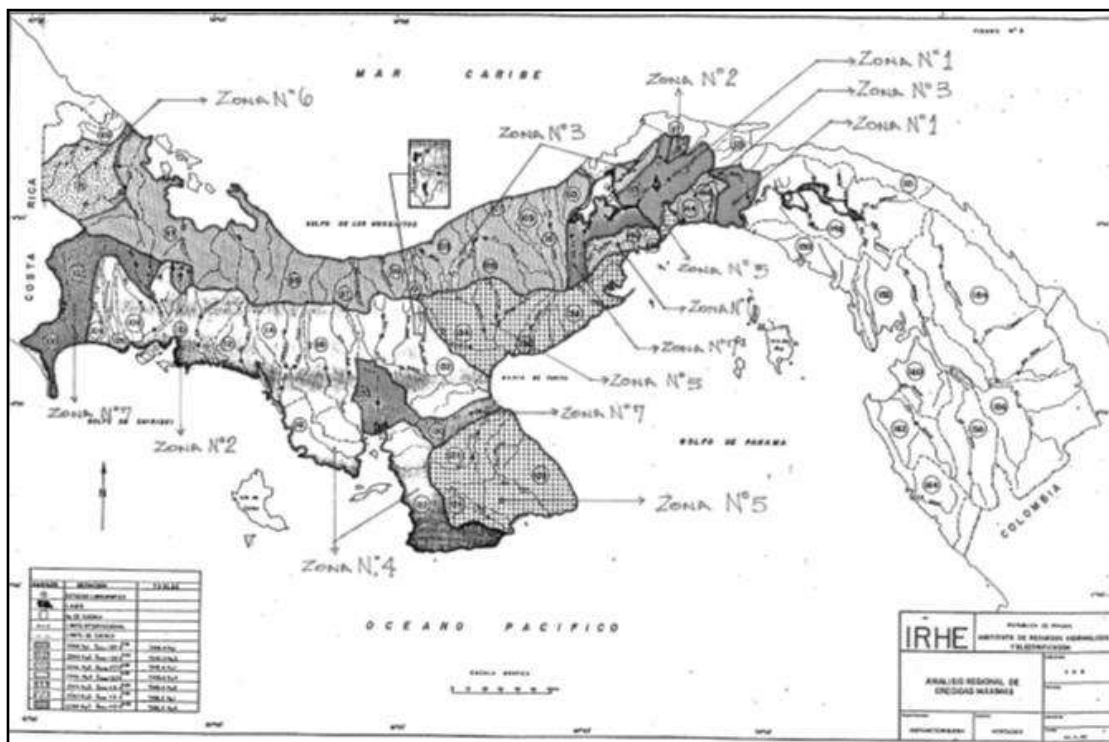
Cuenca	Área, km <sup>2</sup>	$Q_{\text{max}} = 14 A^{0.59}$ , m <sup>3</sup> /s
Tonosí	716.8	677

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A.

Se realizó una comparación de estos caudales con los promedios máximos obtenidos con la metodología desarrollada por el IRHE en el año 1972, a través del Análisis Regional de Crecidas Máximas. Ambas metodologías coinciden que las cuencas son regiones homogéneas y los valores de

caudales promedio máximos resultan similares, lo que indica un buen grado de certidumbre en los valores obtenidos.

En la Figura 6.6-7 se muestra la zonificación obtenida en el estudio Regional de Crecidas Máximas de 1972 del IRHE.



Fuente: Caudales máximos promedio regionales, 1972. I.R.H.E.

**Figura 6.6-7: Mapa de zonificación hidrológica homogénea de caudales máximos promedio regionales, 1972**

Aplicando la Tabla 6.6-8 de distribución de frecuencia de la metodología utilizada, tal como se presenta en la Tabla 6.6-10, se puede definir el caudal máximo para cada periodo de frecuencia. Los resultados se presentan en la Tabla 6.6-11.

**Tabla 6.6-9: Tablas de factores para definir los caudales máximos para diferentes periodos de retorno**

<i>Factores <math>Q_{m\acute{a}x}/Q_{prom.m\acute{a}x}</math> para distintos <math>Tr</math>.</i>				
<i>Tr, años</i>	<i>Tabla # 1</i>	<i>Tabla # 2</i>	<i>Tabla # 3</i>	<i>Tabla # 4</i>
1.005	0.28	0.29	0.3	0.34
1.05	0.43	0.44	0.45	0.49
1.25	0.62	0.63	0.64	0.67
2	0.92	0.93	0.92	0.93
5	1.36	1.35	1.32	1.30
10	1.66	1.64	1.6	1.55
20	1.96	1.94	1.88	1.78
50	2.37	2.32	2.24	2.10
100	2.68	2.64	2.53	2.33
1,000	3.81	3.71	3.53	3.14
10,000	5.05	5.48	4.6	4.00

Fuente: Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá, Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, 2008

**Tabla 6.6-10: Tablas de caudales máximos para los diferentes periodos de retorno**

Tr. Años	Qprom máx	Río Tonosí
		677 m <sup>3</sup> /s 716.8 km <sup>2</sup>
1.005	0.28	190
1.05	0.43	291
1.25	0.62	420
2	0.92	623
5	1.36	921
10	1.66	1,124
20	1.96	1,327
50	2.37	1,604
100	2.68	1,814
1,000	3.81	2,579
10,000	5.05	3,419

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

Debido a que el área de influencia del Proyecto se puede ubicar dentro de la cuenca cuya información es registrada por la estación hidrológica Tonosí, Tonosí (124-01-01), definimos el valor de caudal promedio máximo regional para la

cuenca correspondiente a esa estación (617 km<sup>2</sup>), el cual es igual a 620 m<sup>3</sup>/s. Con este caudal promedio máximo, se pueden definir los diferentes periodos de retorno para esta estación (Tonosí-Tonosí).

De los registros de las estaciones en el área, se pueden desglosar los máximos mensuales regionales y son presentados en la Tabla 6.6-12.

**Tabla 6.6-11: Caudales Máximos regionales por estación, (m<sup>3</sup>/s)**

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<b>124-01-01</b>	24.3	23.3	6.5	10.5	21.4	40.1	65.2	85.6	155	188.8	179.6	61.4
<b>124-01-02</b>	8.6	5.8	3.6	6.6	16.3	28.3	18.8	28.4	26.9	41	36.5	18.1
<b>124-01-03</b>	17.4	7.8	4.6	3.3	5.5	16.4	23	25.1	36.7	114.4	163.4	56.7

Fuente: Datos Hidrológicos Históricos. [http://www.hidromet.com.pa/hidro\\_historicos.php](http://www.hidromet.com.pa/hidro_historicos.php)

#### ❑ Caudales promedios regionales

Para describir los caudales promedios regionales, se considera de gran valor la información que resulta del análisis de caudales en cada estación hidrológica en el área, debido a que es producto del registro y estudio de niveles en las mismas.

Los caudales medios mensuales para el área de la Península de Azuero, específicamente en el área de las tres cuencas de interés, se resumen en la Tabla 6.6-13.

**Tabla 6.6-12: Caudales promedios regionales (m<sup>3</sup>/s)**

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Anual
124-01-01	11.6	7.0	3.3	4.1	10.2	23.0	28.5	39.1	60.6	80.9	77.7	29.1	31.3
124-01-02	3.9	2.4	1.6	1.9	4.5	8.3	8.4	9.4	14.6	19.5	15.1	8.6	8.2
124-01-03	4.0	2.0	1.3	1.1	1.8	4.2	5.7	6.4	10.7	28.6	35.3	10.4	9.3

Fuente: Datos Hidrológicos Históricos. [http://www.hidromet.com.pa/hidro\\_historicos.php](http://www.hidromet.com.pa/hidro_historicos.php)

## ❑ Caudales mínimos regionales

Los caudales mínimos regionales se describen a partir de la información proveniente de los registros de las estaciones hidrológicas del área, tal como se describe a continuación en la Tabla 6.6-13.

**Tabla 6.6-13: Caudales mínimos regionales (m<sup>3</sup>/s)**

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
124-01-01	5.8	3.3	2.1	1.9	3	5.7	4.6	10.5	4.3	25.3	24.7	14.3
124-01-02	0.3	0.3	0.3	0.4	1.1	2.8	2.9	1.6	5	7.2	5.3	2.3
124-01-03	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.8	1.1	1.2	1.5	1.6	1.8	1.1

Fuente: Datos Hidrológicos Históricos. [http://www.hidromet.com.pa/hidro\\_historicos.php](http://www.hidromet.com.pa/hidro_historicos.php)

### 6.6.1.a.6.b Hidrología local del Proyecto

El principal río, de influencia en el área del proyecto minero, es el río Tonosí que se divide en cinco sub-cuencas de las cuales la subcuenca del río Quema (o microcuenca del río Quema) cuya superficie corresponde al área específica de influencia indirecta ambiental del Proyecto.

La microcuenca del río Quema, tiene un área de drenaje de 85.4 km<sup>2</sup>, un caudal promedio de 3.66 m<sup>3</sup>/s, un caudal específico de 42.9 l/s/km<sup>2</sup> y un coeficiente de escorrentía de 0.56, según datos de la Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

El área específica del Proyecto se ubica en la microcuenca media del río Quema por lo que se procede a dividir el área de la cuenca de este río en cuenca alta, media y baja, para su mejor análisis, tal como se mostró en la Figura 6.6-1.

El río Quema, es un afluente del río Tonosí, por lo que los datos de las estaciones sobre este último, son altamente importantes para este análisis y se utilizan como estación base para realizar los cálculos que a continuación se indican.

### Caudales máximos promedio en el área del Proyecto

Utilizando la misma metodología usada para definir los caudales máximos promedio regionales y conociendo las áreas de las subcuencas en los puntos de interés, se pueden calcular los valores correspondientes a la subcuencas de interés en el río Quema.

El punto más elevado de la cuenca que es cerro Quema, está situado hacia el noreste de la cuenca, con una elevación de máxima de 950 msnm.

Se redefinen los valores de las áreas de las subcuencas utilizando la herramienta de ARCGIS y se presentan en la Tabla 6.6-14: Caudales máximos promedio del área del Proyecto

La suma de las áreas en el Río Quema es igual a 88.85 km<sup>2</sup>. Es un poco más que lo que tiene definido ETESA. Es posible que esta diferencia se deba al uso de diferentes herramientas. El área de la Quebrada Quema está incluida dentro del área de la cuenca media del río Quema. Se puede asumir que los caudales específicos y los coeficientes de escorrentía, tanto del Río Quema como de la quebrada Quema, son similares, dado que la quebrada Quema se encuentra dentro de la cuenca de este río.

En la Tabla 6.6-15 se presentan los caudales promedio máximos para las diferentes cuencas en las que se ha subdividido el área de influencia hidrológica. Debido a que el caudal en la parte baja incluye el caudal de la parte media y alta de la cuenca, es de esperar que mientras más bajo se esté en la cuenca, más grande será el caudal máximo.

**Tabla 6.6-14: Caudales máximos promedio del área del Proyecto**

Subcuencas	Área acumulada, Km <sup>2</sup>	Qprom max = $14 A^{0.59}$ , m <sup>3</sup> /s
Río Quema cuenca alta	35.37	114.77
Río Quema cuenca media	83.92	191.08
Río Quema cuenca baja	88.85	197.62

Subcuencas	Área acumulada, Km <sup>2</sup>	Qprom max = 14 A <sup>0.59</sup> , m <sup>3</sup> /s
Quebrada De Quema	(18.36)	(77.95)

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

### Caudales promedios en el área del Proyecto

Dado que la quebrada De Quema es una subcuenca del río Quema y que existe información de la cuenca del Río Quema, ésta última se toma como información base para calcular los caudales promedios de la quebrada De Quema.

Si se mantiene el mismo caudal específico del río Quema dado por ETESA (0.0429 l/s/km<sup>2</sup>) y se recalcula el caudal promedio de este río, resulta 3.81 m<sup>3</sup>/s, lo que es apenas 4% más que lo calculado por ETESA (3.66 m<sup>3</sup>/s).

Con este nuevo caudal promedio del río Quema, se puede definir el caudal promedio de la quebrada De Quema en su desembocadura al río Quema, resultando como caudal promedio 0.79 m<sup>3</sup>/s.

De esta misma forma se pueden calcular los caudales promedios, por una relación de las áreas para las cuencas: alta, media y baja del río Quema. Los resultados se muestran en la Tabla 6.6-16.

**Tabla 6.6-15: Caudales promedios para la cuenca alta, media, baja del río Quema y quebrada De Quema**

Cuenca	Área, km <sup>2</sup>	Q promedio, m <sup>3</sup> /s	Área acumulada, Km <sup>2</sup>	Q promedio acumulado, m <sup>3</sup> /s
Río Quema	88.85	3.81	88.85	3.81
Río Quema cuenca alta	35.37	1.52	35.37	1.52
Río Quema cuenca media	48.55	2.08	83.92	3.60
Río Quema cuenca baja	4.93	0.21	88.85	3.81
Quebrada De Quema	18.36	0.79	No aplica	No aplica

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

De acuerdo a como va bajando la cuenca, ésta se va haciendo más extensa ya que va sumando las áreas de la subcuenca superior. Es por esto que en la Tabla 6.6-15, la columna de área acumulada, va aumentando hasta igualarse a la



cuenca del río Quema (88.85 km<sup>2</sup>). Es por esta misma razón que los caudales promedios van aumentando de acuerdo al aumento de las áreas de las subcuencas o áreas de captación.

#### 6.6.1.a.6.c Hidrología del Proyecto

Dentro del área del proyecto Cerro Quema, se ha establecido una red hidrológica en distintos puntos de diferentes quebradas en áreas que se ven influenciadas directamente por el Proyecto. Con la información obtenida de estas estaciones y un programa de aforos sistemáticos, en un futuro se podrán definir las curvas de descarga de las mismas y los caudales característicos de dichas quebradas en los puntos en donde se ubican dichas estaciones, lo que permitirá caracterizar hidrológicamente la cuenca a nivel de quebradas.

Hasta este momento, se han realizado algunos aforos puntuales en diferentes puntos del área del Proyecto.

La información inicial correspondiente a los aforos puntuales, se obtiene del informe de CEDSA74-MCQ-LS-AGUAS, que presenta las mediciones hidrológicas de seis sitios ubicados en las inmediaciones del proyecto. Estos aforos fueron realizados entre el 3 y 4 de enero de 2013 y se indican a continuación

1. Quebrada Mala  
Ubicación del punto de aforo: 544,950 E, 835,694 N  
Elevación: 234 msnm  
Caudal puntual:  $Q = 0.106 \text{ m}^3/\text{s}$
2. Las Mesitas  
Ubicación del punto de aforo: 552,112 E, 835,889 N  
Elevación: 423 msnm  
Caudal puntual:  $Q = 0.0273 \text{ m}^3/\text{s}$
3. Quebrada Ceibal  
Ubicación del punto de aforo: 551,922 E, 835,778 N  
Elevación: 447 msnm  
Caudal puntual:  $Q = 0.053 \text{ m}^3/\text{s}$
4. Quebrada Chontal  
Ubicación del punto de aforo: 551,345 E, 834,985 N  
Elevación: 409 msnm  
Caudal puntual:  $Q = 0.0038 \text{ m}^3/\text{s}$

5. Quebrada Quema  
 Ubicación del punto de aforo: 549,313 E, 832,723 N  
 Elevación: 92 msnm  
 Caudal puntual: Q=0.14 m<sup>3</sup>/s
  
6. Río Quema  
 Ubicación del punto de aforo: 548,673 E, 831,923N  
 Elevación: 108 msnm  
 Caudal puntual: Q=1.01 m<sup>3</sup>/s

Esta etapa es aún temprana para definir caudales a nivel de quebradas pequeñas que conforman la mayoría de los componentes de la red hídrica que rodea al Proyecto MCQSA. Ya se han iniciado los procesos para establecer la red de equipos hidrológicos y meteorológicos en el área. El río Quema, en conjunto con la quebrada De Quema, son los cursos con mayor caudal durante el año y son los efluentes principales del Proyecto. El río Quema, finalmente fluye al río Tonosí y debido a que el río Tonosí cuenta con registros históricos largos, se toma como base para realizar el cálculo de caudales en las áreas de Proyecto. En la Tabla 6.6-16, se muestran los caudales resultantes, promedios máximos y promedios para el río Quema, para la cuenca alta, media, baja del río Quema y quebrada De Quema.

**Tabla 6.6-16: Caudales promedios máximos y promedios para la cuenca alta, media, baja del río Quema y quebrada De Quema**

Subcuencas	Área acumulada, Km <sup>2</sup>	Q promedio máximo m <sup>3</sup> /s	Q promedio acumulado, m <sup>3</sup> /s
Río Quema	88.85	197.62	3.81
Río Quema Cuenca alta	35.37	114.77	1.52
Río Quema Cuenca media	83.92	191.08	3.60
Río Quema Cuenca baja	88.85	197.62	3.81
Quebrada De Quema	(18.36)	(77.95)	(0.79)

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

Con la información de la cuenca media del río Quema y la de la quebrada De Quema, más la información que se obtenga de la red de equipos y sensores hídricos que está instalando MCQSA, se podrá dar información hídrica a mayor detalle de los cursos pequeños alrededor del área del Proyecto.

#### **6.6.1.b. Corrientes mareas y oleajes**

El Proyecto no contempla el desarrollo y operación de componentes e instalaciones marítimas. Por lo tanto, esta sección no será descrita o ampliada como parte del EsIA.

### 6.6.2 Aguas subterráneas

Esta sección describe la situación hidrogeológica, seguido por una descripción de los niveles y de la calidad ambiental del agua subterránea en el área del Proyecto minero.

#### 6.6.2.a *Identificación del acuífero*

##### Metodología para la definición del acuífero

La caracterización del acuífero fue desarrollada con base en la revisión de información técnica disponible, de cuatro tipos de información:

- ☐ Hidrología, clima y topografía local;
- ☐ Geología regional y local; para determinar preliminarmente, dimensiones y características posibles de acuíferos;
- ☐ Niveles de piezómetros geotécnicos; para determinar la profundidad del nivel freático y el comportamiento temporal del acuífero somero; y
- ☐ Calidad de agua de los drenajes; para determinar reacciones químicas en agua de infiltración y en el acuífero somero.

La topografía e hidrología local sirvieron para generar un modelo hidrogeológico preliminar. Este modelo requiere ulteriores estudios para una verificación y análisis hidrogeológico más detallado.

El análisis de clima e hidrología local se realizó en base a los datos reportados en el Estudio de Pre-Factibilidad del Proyecto Minero Cerro Quema, elaborado por Kappes, Cassidy & Associates (2014) y el informe de viabilidad ambiental de Knight Piésold (1996), incluyendo datos de informes de otros consultores que se encuentran en los estudios antes mencionados. El área del estudio cubre la zona del Proyecto entre río Quema y quebrada De Quema, incluyendo las quebradas Ceibal y Chontal y la zona La Mesita.

### Clima local

La provincia panameña de Los Santos se encuentra en una zona de clima tropical situada entre los océanos Pacífico y Atlántico en la Península de Azuero. El clima es tropical, con una estación de alta humedad entre mediados de mayo y noviembre. Una temporada relativamente cálida y seca se produce entre diciembre y mediados de mayo. La mayoría de las precipitaciones se producen durante las tormentas torrenciales de la estación húmeda. La precipitación media anual en el sitio del Proyecto es de unos 1,850 mm.

Las temperaturas del aire mensuales en el sitio se determinaron mediante un ajuste de los datos de la estación meteorológica de Santiago, como se informa en el Reporte de Viabilidad Ambiental de Knight Piésold (1996). Las temperaturas mensuales máximas y mínimos usados para el diseño son de 28.5°C y 20.4°C. El Atlas Nacional de la República de Panamá indica que la temperatura media anual en el sitio del Proyecto es de 25.5°C.

### Hidrología local

La zona norte del Proyecto drena hacia el río Quema, mientras que la zona sur drena hacia la quebrada De Quema, que es a su vez afluente del río Quema.

Las quebradas que vienen del norte fluyen al río Quema, mientras que las quebradas del sur fluyen a la quebrada De Quema (incluyendo quebrada Seca). Ambas fluyen al río Quema aguas abajo del proyecto minero, el cual a su vez fluye al río Güera hasta confluir con el río Tonosí y este último desemboca finalmente al Océano Pacífico.

No existen lagos ni humedales presentes en el sitio del Proyecto. Los drenajes existentes son intermitentes y se activan durante la estación lluviosa. Los aportes de manantiales y flujos en las quebradas varían enormemente entre las temporadas lluviosa y seca.

#### 6.6.2. a.1 Piezómetros instalados en la quebrada Chontal

En la quebrada Chontal, hay un total de 15 pozos geotécnicos. Los piezómetros están ubicados de forma lineal en la quebrada, al norte del Proyecto. Se han medido los niveles de agua subterránea desde el año 2008 hasta el 2012. Algunos pozos, actualmente, se encuentran obstruidos por trabajos ejecutados en la zona del Proyecto. En la Tabla.6.6.-17 se detalla la ubicación y el estado actual de estos pozos.

**Tabla 6.6-17: Ubicación de piezómetros en quebrada Chontal**

Pozo	Coordenadas de los Vértices Proyección UTM – Datum WGS 84 (Zona 17 N)	Estado	Observación
No. 1	550628 - 835510	Obstruido	Obstruido por trabajos de depósito de sedimento de los gaviones
No. 2 Norte y Sur	550668 - 835275	Obstruido	Obstruido por trabajos de mejoras de camino
No. 3 Norte y Sur	550848 - 835217	Bueno	-----
No. 4	550957 - 835168	Obstruido	-----
No. 5	551158 - 835040	Bueno	-----
No. 6	No ejecutado		
No. 7	550912 - 834848	Bueno	-----
No. 8 Norte y Sur	551265 - 834759	Obstruido	Obstruido por trabajos de relleno en área de Puente Chontal.
No. 9	551209 - 834816	Obstruido	Obstruido por trabajos de relleno en área de Puente Chontal.
No. 10 Norte y Sur	551133 - 834873	Bueno	-----
No. 11	551050 - 834693	Obstruido	-----

Fuente: MCQSA, 2014

#### Resultados de mediciones de niveles freáticos máximos en quebrada Chontal

A continuación, se presentan los datos máximos y mínimos anuales de niveles



freáticos de los pozos (Tabla 6.6-18) medidos por MCQSA. La frecuencia de medición fue cada dos semanas entre los años 2008 y 2011, y mediciones puntuales en 2012.

**Tabla 6.6-18: Niveles piezométricos de pozos geotécnicos (2008 a 2012)**

Año	2008	2009	2010	2011	2012
Nivel freático (m)					
<b>Pozo No 1</b>					
Nivel mínimo	2.2	2.27	2.26	2.73	-
Nivel máximo	3.75	3.33	2.85	2.75	-
<b>Pozo No 2 Norte</b>					
Nivel mínimo	7.05	6.95	7.04	7.07	-
Nivel máximo	7.12	7.11	7.15	7.09	-
<b>Pozo No 2 Sur</b>					
Nivel mínimo	12.07	12.46	12.45	13.1	-
Nivel máximo	13.56	13.52	13.56	13.38	-
<b>Pozo No 3 Norte</b>					
Nivel mínimo	3.8	8.22	8.16	8.23	-
Nivel máximo	8.26	8.35	8.27	8.26	8.1
<b>Pozo No 3 Sur</b>					
Nivel mínimo	2.45	11.18	10.97	-	-
Nivel máximo	12.64	15.55	15.56	11.35	13.04
<b>Pozo No 3 Sur</b>					
Nivel mínimo	2.45	11.18	10.97	-	-
Nivel máximo	12.64	15.55	15.56	11.35	13.04
<b>Pozo No 5</b>					
Nivel mínimo	17.51	17.64	16.8	15.27	-
Nivel máximo	19.6	19.76	19.75	15.43	18.8
<b>Pozo No 7</b>					
Nivel mínimo	4.04	4.02	4	5.14	-
Nivel máximo	5.77	5.1	5.27	5.15	4.02
<b>Pozo No 8 Norte</b>					
Nivel mínimo	4.16	3.24	2.4	5.02	-
Nivel máximo	5.92	5.36	5.3	5.11	-
<b>Pozo No 8 Sur</b>					
Nivel mínimo	4.16	3.25	2.43	5.05	-
Nivel máximo	4.98	5.34	5.31	5.11	-
<b>Pozo No 9</b>					
Nivel mínimo	3.86	3.9	3.95	4.1	-
Nivel máximo	4.25	4.19	4.16	4.13	-
<b>Pozo No 10 Norte</b>					
Nivel mínimo	0.2	0.2	0.19	0.43	-
Nivel máximo	0.42	0.52	0.68	0.53	0.34
<b>Pozo No 10 sur</b>					
Nivel mínimo	0	0.08	0	0.35	0.15
Nivel máximo	0.35	0.56	0.66	0.49	0.18
<b>Pozo No 11</b>					
Nivel mínimo	14.82	13.77	17.22	-	-

Año	2008	2009	2010	2011	2012
Nivel freático (m)					
Nivel máximo	19.9	19.59	17.26	-	-

Fuente: MCQSA, Base de datos, agosto 2014

La profundidad del nivel freático varió en general entre 2 y 15 metros, sin poder identificar zonas específicas con niveles someros o profundos. Los valores extremos se encuentran en el pozo No. 5 con niveles freáticos entre 15.27 a 19.75 metros y en el pozo No.10 (norte y sur) con niveles muy someros entre 0 y 0.84 metros.

Se observa los niveles más bajos en las temporadas secas (febrero a mayo) y niveles más altos en las temporadas húmedas (julio a noviembre). Los pozos tienen una variabilidad alta de la diferencia de nivel entre las estaciones, desde varios centímetros hasta casi cinco metros. Esta variabilidad se observa tanto en los pozos con niveles freáticos de poca profundidad, como en los de mayor profundidad. Más probablemente, los niveles freáticos corresponden a la topografía, con niveles freáticos profundos en zonas altas y niveles someros en cercanía a la base de las quebradas. Sin embargo, fallas y otras estructuras geológicas que forman zonas permeables o impermeables, pueden influenciar localmente los niveles freáticos.

#### 6.6.2.a.2 Piezómetros instalados dentro del Proyecto

Para profundizar el entendimiento hidrogeológico de la zona del Proyecto, Golder Associates Inc. ejecutó un programa de perforación hidrogeológica (Golder, 2014). La Tabla 6.6-19 resume ubicación y datos de la instalación de estos nuevos piezómetros.

**Tabla 6.6-19: Ubicación de pozos hidrogeológicos del estudio de Golder (2014)**

Identificación del pozo	Coordenadas NAD27		Profundidad de perforación	Inicio de la rejilla	Fin de la rejilla	Unidad geológica
	Este	Norte	metros bajo superficie			
MW14-01A	549298	832521	10	8.2	10	Andecita
MW14-01B			2.9	1.4	2.9	Andecita
MW14-02A	549465	835501	18	14.9	16.4	Andecita
MW14-02B	549474		14	8.7	10.2	Depósitos cuaternarios
MW14-03A	550411	835650	9	7.3	8.8	Andecita
MW14-03B			2.8	1.2	2.7	Depósitos cuaternarios
MW14-04A	551135	834879	23	18.6	20.1	Dacita
MW14-04B			9.5	8	9.5	Andecita
MW14-05A	549606	835029	50	44.5	46	Dacita
MW14-05B			9.1	16	19.1	Dacita
MW14-06A	553380	836033	50.5	47	48.5	Dacita
MW14-06B			17.4	15.5	17	Dacita
MW14-07A	550902	832979	11.5	7.3	10.3	Andecita
MW14-07B			4.5	3	4.5	Andecita
MW14-08A	551312	833463	49	46	49	Andecita
MW14-08B			20	13.2	15.1	Andecita

Fuente: Golder, 2014

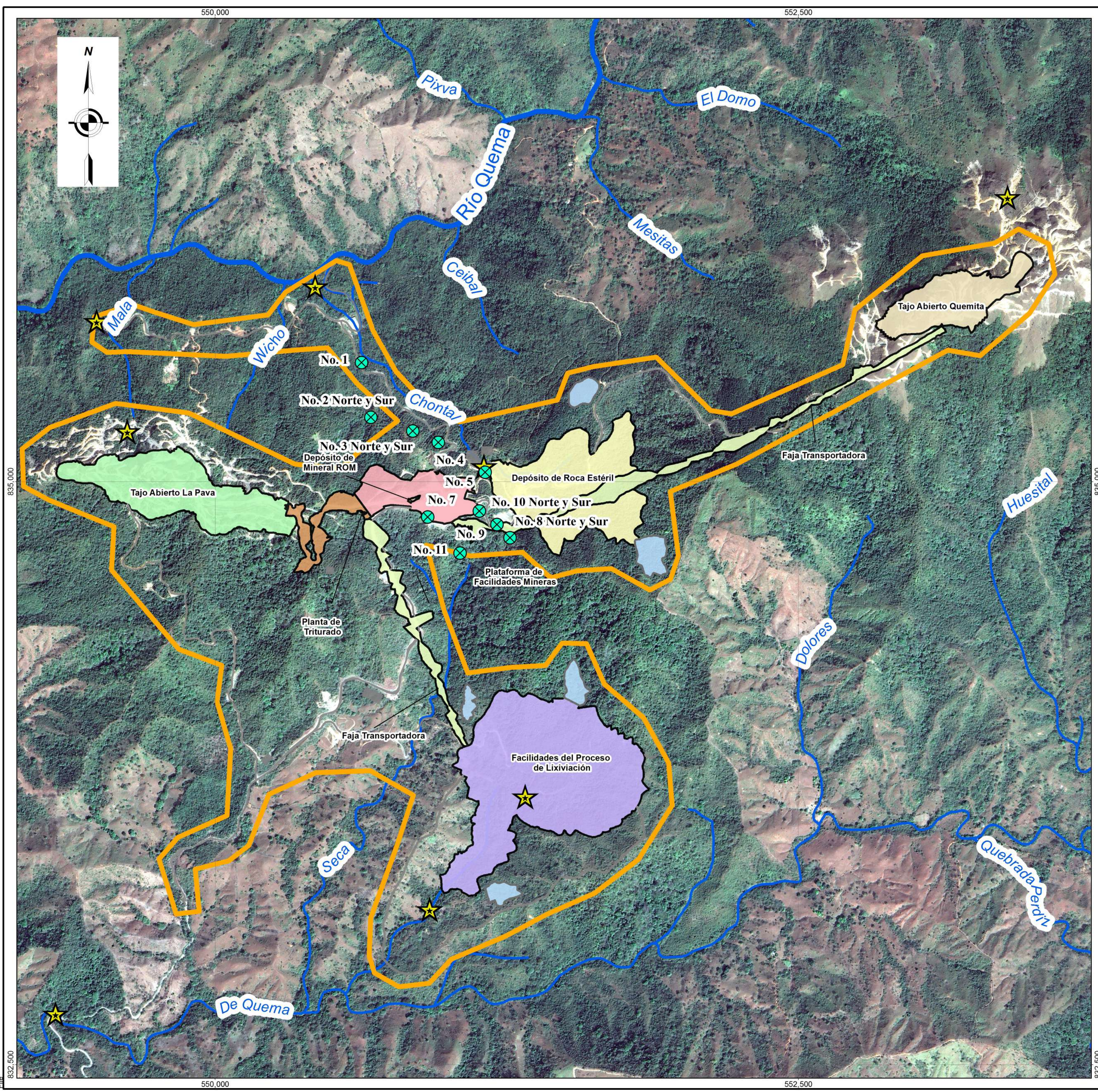
Después de haber desarrollado los pozos, se midió mensualmente en junio, julio y agosto de 2014 los niveles freáticos. Adicionalmente, se ejecutaron pruebas de conductividad hidráulica tipo “slug test”. Los datos se procesaron con el software Aqtesolv Pro (HydroSOLB Inc, 2014) y se interpretaron usando las soluciones matemáticas de servicio geológico de Kansas (EEUU).

La Figura 6.6-8 muestra la ubicación de los piezómetros técnicos utilizados para la medición de niveles freáticos en diversos estudios del Proyecto.

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

**Figura 6.6-8: Ubicación de piezómetros instalados dentro el Proyecto**





MAPA DE UBICACIÓN



Leyenda

- Red de Piezómetros (2008 – 2012)
- Red de Piezómetros (Agosto 2014)
- Huella del Proyecto Minero
- Camino de acarreo La Pava
- Depósito de roca estéril Chontal
- Depósito de suelo orgánico
- Facilidades auxiliares
- Facilidades del proceso de lixiviación
- Faja tansportadora
- Plataforma de facilidades mineras
- Tajo abierto La Pava
- Tajo abierto Quemita
- Quebradas
- Ríos

0 500 1,000 Meters  
ESCALA 1:10,000

 "Compromiso Social, Responsabilidad Ambiental"	CLIENTE: <b>Minera Cerro Quema S.A.</b>			
	PROYECTO: <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL PROYECTO MINERO CERRO QUEMA</b>			
TÍTULO: <b>MAPA DE UBICACIÓN DE LA RED DE PIEZÓMETROS</b>				
 SNC • LAYALIN PANAMA, S.A.	CÓDIGO DE PROYECTO: <b>I SLP14_001</b>		REVISIÓN: <b>VF00</b>	
	DIBUJO GIS	<b>J. C. G.</b>	FECHA	<b>DIC 2014</b>
	RESPONSABLE	<b>C. A. S.</b>	FECHA	<b>DIC 2014</b>
	APROBACIÓN	<b>E. D. A.</b>	FECHA	<b>DIC 2014</b>
REFERENCIA: - Cartografía Nacional Escala 1/50,000 - - Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. Fecha de publicación Junio 2002 - Datum WGS84, Zona 17 Norte				<b>N°: 6.6-8</b>



### Resultados de mediciones de la nueva red de piezómetros

El estudio hidrogeológico de Golder (2014) cuenta con datos de niveles freáticos y permeabilidades hidráulicas de un total de 16 nuevos pozos en ocho puntos de monitoreo (dos pozos por punto de monitoreo). La Tabla 6.6-20 muestra los resultados obtenidos de conductividad hidráulica de los diferentes estratos en los pozos.

**Tabla 6.6-20: Datos de permeabilidades y almacenamiento específico de pozos de Golder (2014) utilizados para las mediciones de niveles freáticos**

Identificación del pozo	Inicio de la rejilla	Fin de la rejilla	Unidad geológica	K promedio	S promedio
	Metros bajo superficie			(m/s)	-
MW14-01A	8.2	10	Andecita	9.00E-06	3.00E-07
MW14-01B	1.4	2.9	Andecita	5.00E-05	5.00E-07
MW14-02A	14.9	16.4	Andecita	2.00E-08	2.00E-07
MW14-02B	8.7	10.2	Depósitos cuaternarios	2.00E-04	6.00E-04
MW14-03A	7.3	8.8	Andecita	2.00E-09	6.00E-07
MW14-03B	1.2	2.7	Depósitos cuaternarios	2.00E-05	2.00E-02
MW14-04A	18.6	20.1	Dacita	2.00E-08	1.00E-04
MW14-04B	8	9.5	Andecita	9.00E-08	9.00E-06
MW14-05A	44.5	46	Dacita	1.00E-05	2.00E-07
MW14-05B	16	19.1	Dacita	8.00E-07	2.00E-07
MW14-06A	47	48.5	Dacita		
MW14-06B	15.5	17	Dacita	1.00E-06	1.00E-03
MW14-07A	7.3	10.3	Andecita	2.00E-08	1.00E-03
MW14-07B	3	4.5	Andecita	1.00E-08	1.00E-06
MW14-08A	46	49	Andecita	7.00E-07	-
MW14-08B	13.2	15.1	Andecita	9.00E-06	-

Fuente: Golder, 2014

Geológicamente, se pudo diferenciar dos unidades hidrogeológicas: (1) material superficial no consolidado (depósitos cuaternarios) y (2) roca volcánica (andesita y dacita).

La conductividad hidráulica en el material superficial no consolidado varió entre  $2\text{E}-5$  m/s y  $2\text{E}-4$  m/s, con un promedio geométrico de  $6\text{E}-5$  m/s, mientras la conductividad en roca volcánica varió entre  $5\text{E}-5$  y  $2\text{E}-9$  m/s. La más alta permeabilidad en el material superficial no consolidado origina en la granulometría relativamente gruesa y la fácil percolabilidad en este material. La roca volcánica muestra más bajas permeabilidades, con una tendencia general a una reducción de permeabilidad con mayor profundidad. Sin embargo, esta tendencia no es homogénea, probablemente por diferentes zonas con rocas fracturadas y rocas competentes no fracturadas (Golder, 2014).

El almacenamiento específico se analizó en los dos pozos de material superficial no consolidado y en 12 pozos en roca volcánica. Los valores S variaron entre  $6\text{E}-4$  y  $2\text{E}-2$  para pozos en material superficial no consolidado, y entre  $1\text{E}-4$  y  $2\text{E}-7$  para rocas volcánicas. Eso se interpreta como valores típicos para material de granulometría gruesa hasta arcillosa para el material no consolidado, y valores típicos para basamento competente para las rocas volcánicas (Golder, 2014).

En el marco del estudio hidrogeológico de Golder Associates, se midió en junio, julio y agosto de 2014 en cuatro campañas, niveles freáticos en los diferentes pozos nuevos (Tabla 6.6-21).

**Tabla 6.6-21: Niveles freáticos en pozos hidrogeológicos del estudio de Golder (2014) utilizados para las mediciones de niveles freáticos**

Identificación del pozo	Inicio de la rejilla	Fin de la rejilla	Unidad geológica	Nivel del agua			
				30/6/2014	2/7/2014	10/7/2014	11/8/2014
	metros bajo superficie			metros bajo superficie			
MW14-01A	8.2	10	Andecita	0.42	0.42	0.42	0.5
MW14-01B	1.4	2.9	Andecita	0.29	0.29	0.29	0.4
MW14-02A	14.9	16.4	Andecita	5.71	5.71	5.75	5.29

Identificación del pozo	Inicio de la rejilla	Fin de la rejilla	Unidad geológica	Nivel del agua			
				30/6/2014	2/7/2014	10/7/2014	11/8/2014
	metros bajo superficie			metros bajo superficie			
MW14-02B	8.7	10.2	Depósitos cuaternarios	1.6	1.62	1.78	1.56
MW14-03A	7.3	8.8	Andecita	3.45	3.46	2.56	3.58
MW14-03B	1.2	2.7	Depósitos cuaternarios	1.75	1.75	1.92	1.87
MW14-04A	18.6	20.1	Dacita	-0.19	-0.16	-0.12	-0.15
MW14-04B	8	9.5	Andecita	1.12	1.21	1.32	1.12
MW14-05A	44.5	46	Dacita	10.28	10.34	10.53	11.01
MW14-05B	16	19.1	Dacita	13.3	13.35	13.5	12.45
MW14-06A	47	48.5	Dacita	48.44	48.46	48.5	48.48
MW14-06B	15.5	17	Dacita	8.28	8.19	7.65	7.5
MW14-07A	7.3	10.3	Andecita	-	1.58	-	18.2
MW14-07B	3	4.5	Andecita	-	3.59	-	14.3
MW14-08A	46	49	Andecita	14.18	14.73	23.9	-
MW14-08B	13.2	15.1	Andecita	13.15	13.23	13.49	-

Fuente: Golder, 2014

En base a los niveles y la geología, se definieron en el estudio de Golder (2014), niveles freáticos correspondientes a dos diferentes estratos:

- ❑ Niveles freáticos de estratos de baja profundidad; estos niveles variaron entre 0.29 m y 13.50 m y representan niveles en roca no consolidada o roca volcánica cerca a la superficie. Los niveles freáticos de poca profundidad en este grupo se encuentran cerca a ríos y en quebradas, mientras los niveles freáticos en mayores profundidades se encuentran en zonas de cumbres y planicies altas (incluyendo zonas de La Pava y Quema-Quemita-Mesita). Los niveles variaron menos que un metro en los tres meses de medición en la mayor parte de las mediciones.
- ❑ Niveles freáticos profundos; estos niveles freáticos representan niveles en roca fresca del basamento (roca volcánica) y variaron entre 0.19 m (levantamiento



artésiano del nivel freático) y 14.73 m, con excepción de una medición puntual de 23.9 m en pozo MW14-08A, donde el nivel muy bajo fue más probablemente influenciado por la baja recuperación del nivel en este pozo. De modo semejante como para los niveles freáticos de baja profundidad, los niveles freáticos de estratos profundos en su mayoría variaron en función de la topografía (niveles más bajo en cumbres y planicies altas, niveles menos profundos en quebradas y cerca a ríos), con una variabilidad de menos de un metro en la mayoría de los casos.

En la actualidad, no existe una evaluación de infiltración y recarga del sitio del proyecto. Golder (2014) resume en base a la literatura de la zona, que infiltración y recarga dependen de múltiples factores; climáticos, topográficos, geológicos e hidrológicos que requieren una evaluación detallada para poder indicar cuantitativamente infiltración y recarga.

Concluyendo, el informe hidrogeológico (Golder, 2014) confirma la existencia de dos unidades hidrogeológica (material superficial no consolidado/roca volcánica meteorizado y/o fracturado cerca a la superficie, y roca volcánica competente), con alta permeabilidad en el material no consolidado y baja (pero variable) conductividad hidráulica en las rocas volcánicas. De forma igual, las mediciones de niveles confirman la estacionalidad observada en estudios anteriores, y una conexión de los niveles con la topografía, influenciada localmente a diferentes grados por las propiedades hidráulicas de los estratos geológicos.

#### 6.6.2.a.3 Hidrogeología preliminar

A continuación, se resume la información hidrogeológica. También se adjunta un modelo hidrogeológico preliminar desarrollado en base a la información disponible.

##### Unidades hidrogeológicas

Considerando a la geología local presentada en Correl et al. (2011), se identificaron, preliminarmente, cuatro Unidades Hidrogeológicas (UH):

- ☐ UH1: Depósitos aluviales y coluviales, actuando como acuífero somero;
- ☐ UH2: Rocas volcánicas de la formación Rio Quema;
- ☐ UH3: Rocas calcáreas de la Formación Rio Quema, probablemente actuando como acuífero, especialmente en zonas fracturadas y/o en zonas con carsismo
- ☐ UH4: Basamento de rocas ígneas (Formación Azuero), probablemente actuando como acuífero o acuícludo.

Conductividades hidráulicas de estas unidades variaron para material no consolidado y roca volcánica meteorizada/fracturada entre  $2E-5$  m/s y  $2E-4$  m/s, mientras la conductividad en roca volcánica competente varió entre  $5E-5$  y  $2E-9$  m/s. Especialmente en el caso de las rocas volcánicas e ígneas, las características hidráulicas son variables, probablemente por zonas fracturadas (permeabilidad secundaria) y zonas competentes sin fracturas.

Se observaron niveles freáticos en la quebrada Chontal muy cercanos a la superficie (hasta 0 metros de profundidad; MCQSA 2014), soportando la interpretación de un acuífero somero de material principalmente aluvial, con estratos profundos que funcionan en su mayoría como acuitardos.

#### Modelo hidrogeológico preliminar

El modelo hidrogeológico preliminar fue construido con datos locales de la geología, topografía, hidrología, mediciones de niveles en piezómetros en el área del Proyecto y con datos hidroquímicos de los drenajes.

Se identificaron dos Unidades Hidrogeológicas Funcionales (UHF):

- ☐ UHF1: Depósitos coluviales, aluviales, y rocas volcánicas somera meteorizadas y fracturadas que actúan como acuífero somero; este grupo puede incluir localmente, roca volcánica meteorizada y fracturada cerca a la superficie;
- ☐ UHF2: Formaciones volcánicas y basamento de rocas ígneas que actúan muy probablemente, como acuitardo.

La formación calcárea representa una unidad de menor importancia que localmente, podría representar un acuífero profundo.

El acuífero principal está compuesto por depósitos coluviales y aluviales. En este, el flujo subterráneo se orienta a las microcuencas locales. Por otro lado, el acuífero somero conduce filtraciones, dependiendo de la topografía a zonas más bajas. En ambos casos, barreras locales como rocas volcánicas no meteorizadas, pueden ser el limitante del flujo subterráneo, generando drenajes en la superficie.

#### 6.6.2.b Calidad ambiental del acuífero

La calidad ambiental del acuífero fue evaluada utilizando los datos disponibles de la calidad de agua de manantiales, que representan aguas del acuífero somero. Estos manantiales están identificados en los siguientes estudios:

- ☐ Resultados de calidad de agua de manantiales (Knight Piésold. 1996). Anexo 6.6-6;
- ☐ Mediciones de pH de los manantiales del Proyecto (MCQSA, 2014). Anexo 6.6-7;
- ☐ Primer reporte de seguimiento de la línea base de agua superficial (SLP, 2014). Anexo 6.6-8;
- ☐ Reporte sobre calidad de agua en manantiales (Aquatec, 2014). Anexo 6.6-3.

Esta sección presenta una recopilación de los muestreos de calidad de agua de manantiales realizados desde el año 1992 hasta el año 2014 dentro del área del Proyecto, con el objetivo de describir las condiciones existentes de calidad de agua subterránea y establecer los parámetros sobre la base de los cuales deberán medirse los posibles cambios que puedan generarse.

### Ubicación de manantiales

El área del estudio cubre la zona del Proyecto entre el río Quema y la quebrada De Quema, incluyendo las quebradas Ceibal y Chontal y la zona La Mesita. En esta área, Knight Piesold (1996) y Pershimco (2014) identificaron un total de 61 manantiales. La Fig. 6.6-9 y la Tabla.6.6-22 detallan la ubicación de los mismos.

**Tabla 6.6-22: Ubicación de manantiales identificados en el Proyecto**

No.	Manantial	Altitud	Coordenadas de los Vértices Proyección UTM – Datum WGS 84 (Zona 17 N)	
		msnm	Este	Norte
1	Qda. Huesital #1	784.66	554443	835808
2	Qda. Huesital #2	858.50	553875	835768
3	Qda. Huesital #3	831.62	553891	835832
4	Qda. El Domo	799.05	553398	836054
5	Qda. La Torre	816.42	553278	835928
6	Qda. Quema #1	646.68	552889	835999
7	Qda. Quema #2	673.41	552886	835967
8	Qda. Quema #3	625.76	552955	836121
9	Qda. Centro la Mesita #1	557.98	552475	836068
10	Qda. Centro la Mesita #2	552.78	552373	836064
11	Qda. La Mesita Centro	675.86	552620	835749
12	Qda. El Ceibal # 1	676.96	552664	835502
13	Qda. El Ceibal # 2	596.19	552378	835517
14	Qda. El Ceibal # 3	575.04	552349	835456
15	Qda. El Ceibal # 4	587.23	552078	835361
16	Qda. Chontal de La Pava #1	480.77	551792	835304
17	Qda. Chontal de La Pava #2	483.60	551813	835314
18	Mala1	388.15	549618	835270
19	Mala2	362.52	549626	835334
20	Mala3	373.60	549640	835314
21	Mala4	359.38	549635	835346
22	Mala5	351.83	549634	835357
23	Mala6	353.40	549625	835361
24	Qda. Del Pinal #1	521.59	552429	834859
25	Qda. Del Pinal # 2	508.51	552483	834830
26	Qda. Quemita #1	408.77	552762	834744



No.	Manantial	Altitud	Coordenadas de los Vértices Proyección UTM – Datum WGS 84 (Zona 17 N)	
		msnm	Este	Norte
27	Qda. Quemita #2	477.10	552749	834968
28	Qda. Quemita #3	478.58	552738	834988
29	Qda. Quemita #4	581.97	552920	835101
30	Qda. Quemita #5	598.07	552921	835123
31	Qda. Aguacate del Quemita	469.23	552868	834887
32	Qda. Chichical	578.40	552900	835106
33	Qda. Del Quemita	736.77	553123	835549
34	M. Casa de Piedra	755.65	553673	835478
35	Cerro Idaida 1	652.63	554285	835342
36	Cerro Idaida 2	711.93	554354	835253
37	Cerro Idaida 3	634.39	554304	835252
38	Cerro Idaida 4	697.10	554285	835251
39	Cerro Idaida 5	701.51	554106	835163
40	Cerro Quema 1	620.16	553802	835102
41	Huesital 1	752.01	553688	835475
42	Huesital	718.19	553792	835394
43	Casa Yan	255.27	551599	833703
44	Africano	354.44	549723	834570
45	Gallote	270.34	550051	834045
46	Maricela	254.94	551350	833760
47	Seca	270.76	550988	834121
48	El Pinal	391.13	551746	834965
49	El Pinal2	397.26	551775	834885
50	El Pianl3	398.94	551780	834876
51	El Chontal	441.22	551855	834834
52	RandaFinca Yan	461.55	551821	834737
53	RandaFinca Yan2	418.92	551798	834766
54	La Pava	400.32	550194	835086
55	Wicho	373.74	550051	835287
56	Wicho2	309.44	550246	835487
57	Wicho3	283.74	550273	835574
58	Wicho4	274.71	550315	835578
59	Pava Sur	383.65	549485	834646
60	La Pava	376.26	549514	834603
61	El Africano	378.69	549710	834542

Fuente: Pershimco, 2014

De los 61 manantiales identificados en estudios previos, entre permanentes y estacionales, SNC Lavalin Panamá, S.A. monitoreó 18 para la línea base de este Estudio de Impacto Ambiental.

Para la selección de los 18 manantiales se aplicaron los siguientes criterios:

- ☐ El manantial debe estar ubicado aguas arriba de una quebrada donde exista una estación de calidad de agua superficial, con el fin de conocer la calidad del agua subterránea que está sirviendo de aporte a dicha quebrada;
- ☐ El manantial debe estar próximo a algún sitio de actividad minera del proyecto como por ejemplo:: tajo abierto, botadero, cancha de lixiviación, entre otros.

A continuación en la Tabla 6.6-23 se detalla la ubicación de los 18 manantiales seleccionados

**Tabla 6.6-23: Ubicación de manantiales más representativos del Proyecto**

Manantial	Coordenadas de los Vértices Proyección UTM – Datum WGS 84 (Zona 17 N)	
	Este	Nortey
Qda. Quema #1	552889	835999
Qda. Centro la Mesita	552474	836066
Qda. La Mesita Centro	552620	835749
Qda. El Ceibal # 1	552664	835502
Qda. El Ceibal # 4	552078	835361
Qda. Chontal de La Pava	551792	835304
Quebrada Mala	549618	835270
Qda. Del Pinal #1	552429	834859
Qda. Quemita #2	552749	834968
Cerro Idaida 2	554354	835253
Cerro Idaida 3	554304	835252
Huesital 1	553688	835475
Huesital	553792	835394

Manantial	Coordenadas de los Vértices Proyección UTM – Datum WGS 84 (Zona 17 N)	
	Este	Nortey
Africano	549723	834570
Gallote	550051	834045
Maricela	551350	833760
Seca	550988	834121

Fuente: MCQSA, Marzo 2014

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

**Figura 6.6-9: Mapa de ubicación de manantiales**







### Hidroquímica de los manantiales del Proyecto

Knight Piésold (1996) reportó la calidad de agua de los manantiales en la zona del Proyecto. Las aguas fueron generalmente de tipo sodio-cloruro-sulfato (Na-Cl-SO<sub>4</sub>), con concentraciones de los iones mayores de 0.4 a 3.3 mg/L Na, 3.3 a 16.7 mg/L Cl, y 8.2 a 45.2 mg/L SO<sub>4</sub>. El pH fue ácido con valores entre 3.48 y 4.06, la conductividad eléctrica fue baja con valores entre 24.8 a 120.8 µS/cm.

A pesar de reportarse valores de pH ácido (6.5 – 8.5) fuera de los límites establecidos en el Decreto Ejecutivo 75 de Panamá (Ministerio de Economía y Finanzas, 2008), no se observaron concentraciones de metales por encima de dichos límites. Más bien, la mayor parte de concentraciones de metales relevantes, como cadmio, cobre, plomo, mercurio y zinc, se encuentran por debajo de los respectivos límites de detección. Eso indica que a pesar de un aporte natural de acidez muy probablemente por meteorización de sulfuros, las rocas no aportan metales lixiviables al agua del acuífero somero.

En 2014, MCQSA inició un programa identificación y muestreo de 61 manantiales (drenajes naturales) en la zona del Proyecto. El único parámetro hidroquímico muestreado fue el potencial de hidrógeno (pH). La Tabla 6.6-24 presenta los resultados de los muestreos de los drenajes en realizados de febrero hasta agosto del 2014.

**Tabla 6.6-24: Resultados de pH en los manantiales del Proyecto**

Manantial	pH						
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Qda. Huesital #1	6.78	6.8	6.85	6.9	6.78	6.8	6.65
Qda. Huesital #2	6.55	6.7	6.9	6.9	7.15	6.95	7.15
Qda. Huesital #3	6.65	6.6	6.7	6.95	7.13	7.21	6.42
Huesital 1	7.55	7.95	7.95	7.95	7.85	8.03	8.05
Huesital	7.77	7.8	7.83	7.9	7.85	7.83	7.9

Manantial	pH						
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Qda. Quema #1	3.54	3.7	3.7	3.7	3.85	3.9	3.95
Qda. Quema #2	3.55	3.4	3.4	3.2	3.55	3.95	3.9
Qda. Quema #3	3.65	3.69	3.71	3.76	3.71	3.85	3.9
Qda. Centro la Mesita #1	3.62	3.6	3.62	3.50	3.65	3.60	3.73
Qda. Centro la Mesita #2	3.55	3.7	3.71	3.75	3.53	3.80	3.85
Qda. La Mesita Centro	3.90	3.90	3.92	3.90	3.95	3.90	3.80
Qda. El Ceibal # 1	6.60	6.60	6.68	6.96	6.55	6.70	6.04
Qda. El Ceibal # 2	7.36	7.41	7.39	7.41	7.35	7.50	6.78
Qda. El Ceibal # 3	7.37	7.37	7.40	7.49	7.67	7.73	7.14
Qda. El Ceibal # 4	7.55	7.53	7.60	7.65	7.60	7.58	7.36
Qda. Chontal de La Pava #1	7.70	7.71	7.70	7.75	7.68	7.90	7.37
Qda. Chontal de La Pava #2	7.88	7.80	7.90	7.95	8.10	8.00	8.02
El Chontal	8.13	8.13	8.16	8.20	8.15	8.10	8.15
Mala1	3.61	3.63	3.65	3.70	3.60	3.68	3.03
Mala2	2.97	2.80	2.98	2.98	3.00	2.95	2.95
Mala3	2.96	3.0	3.0	3.2	3.0	3.1	3.1
Mala4	2.88	2.88	2.88	2.90	2.85	2.80	2.90
Mala5	3.38	3.40	3.55	3.40	3.67	3.52	3.65
Mala6	2.89	2.78	2.90	2.95	2.90	3.00	3.10
Qda. Del Pinal #1	8.10	8.10	8.14	8.18	8.10	8.23	8.33
Qda. Del Pinal # 2	7.92	7.92	7.95	7.85	7.91	7.85	7.93
El Pinal	7.18	7.23	7.18	7.25	7.20	7.20	7.13
El Pinal2	7.20	7.20	7.15	7.50	7.20	7.14	7.25
El Pinal3	8.33	8.40	8.33	8.38	8.55	8.50	8.78
Qda. Quemita #1	7.76	7.80	7.81	7.92	7.89	7.95	7.90
Qda. Quemita #2	7.80	7.80	7.85	7.80	7.96	7.88	7.94
Qda. Quemita #3	7.85	7.90	7.92	8.00	7.92	7.98	7.86
Qda. Quemita #4	7.83	7.83	8.13	7.95	7.90	7.85	7.72
Qda. Quemita #5	7.97	7.88	7.90	7.97	8.10	8.00	7.92
Wicho	6.44	6.44	6.50	6.75	6.44	6.56	6.86
Wicho2	7.28	7.28	7.34	7.21	7.28	7.68	6.95
Wicho3	7.20	7.20	7.20	7.45	7.20	7.33	7.33
Wicho4	7.51	7.51	7.49	7.66	7.55	7.70	7.70
Randa Finca Yan	7.39	7.39	7.50	7.54	7.65	7.55	7.50
Randa Finca Yan2	7.37	7.37	7.45	7.34	7.29	7.37	7.43

Manantial	pH						
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Casa Yan	7.50	7.50	7.56	7.73	7.78	7.80	7.90
Qda. El Domo	3.76	3.76	3.76	3.71	3.78	3.80	3.87
Qda. La Torre	4.28	4.28	4.21	4.34	4.28	4.20	4.31
Cerro Idaida 1	7.18	7.18	7.33	7.55	7.33	7.44	7.55
Cerro Idaida 2	7.22	7.22	7.22	7.25	7.22	7.32	7.21
Cerro Idaida 3	8.50	8.64	8.50	8.76	8.50	8.55	8.32
Cerro Idaida 4	8.29	8.29	8.40	8.33	8.35	8.65	8.90
Cerro Idaida 5	7.35	7.35	7.45	7.43	7.80	7.45	7.72
La Pava 1	7.60	7.60	7.70	7.65	7.60	7.77	7.81
Pava Sur	5.58	5.58	5.65	5.58	5.76	5.78	5.67
La Pava	7.30	7.30	7.25	7.33	7.30	7.45	7.55
El Africano	8.21	8.21	8.25	8.46	8.21	8.34	8.20
Africano	7.63	7.63	7.67	7.70	7.61	7.65	7.71
Maricela	7.68	7.61	7.68	7.65	7.77	7.68	7.73
Seca	7.40	7.30	7.50	7.45	7.58	7.50	7.55
Qda. Chichical	7.58	7.58	7.63	7.58	7.50	7.98	7.90
Qda. Aguacate del Quemita	8.00	8.40	8.39	8.44	8.39	8.90	8.85
Qda. Del Quemita	7.60	7.55	7.60	7.86	7.60	7.76	7.80
M. Casa de Piedra	7.95	8.00	8.10	8.23	8.10	8.15	8.20
Cerro Quema 1	7.08	7.10	7.11	7.34	7.11	7.20	7.45
Gallote	7.38	7.38	7.35	7.70	7.38	7.55	7.34

Fuente: MCQSA, septiembre 2014

Se observaron agrupaciones de drenajes con pH ácido ( $\text{pH} < 5.0$ ) en la zona noroeste (grupo de drenajes de quebrada Mala, valores de pH de hasta 2.80) y en noreste (grupos de manantiales de Centro La Mesita y Quebrada Quema, valores de pH de hasta 3.20). Probablemente, el agua de estos manantiales provienen de la zona de mineralización cerca a la superficie, donde la oxidación de sulfuros genera de forma natura el drenaje ácido de rocas.

Con excepción de los manantiales de La Quema, que drenan a la quebrada De Quema, los manantiales de aguas acidas drenan a la quebrada Mala. Los valores de los manantiales ácidos están afuera del límite máximo permisible ( $\text{pH} 6.5 - 8.5$ )



establecido en el Decreto Ejecutivo 75 de Panamá (Ministerio de Economía y Finanzas, 2008).

Por otro lado, en mayo del 2014 SNC-Lavalin Panamá, S.A. realizó como parte de los estudios de línea base ambiental del EslA, un muestreo en 18 manantiales. En este muestreo se midieron parámetros de campo como: potencial de Hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), concentración de Oxígeno Disuelto (OD) y Turbiedad. En el Tabla. 6.6-25 se presentan los resultados de calidad ambiental de este muestreo. En el Anexo 6.6-3 se adjunta el informe de laboratorio.

**Tabla 6.6-25: Resultados de calidad de agua en los manantiales principales**

Manantial	CE	O.D.	pH	Turbiedad
	uS/cm	mg/L	-	NTU
Qda. Quema #1	563.9	7.6	3.83	<0.02
Qda. Centro la Mesita	207.4	5.6	3.52	<0.02
Qda. La Mesita Centro	81.8	2.6	6.12	<0.02
Qda. El Ceibal # 1	63.9	7.8	6.83	925.00
Qda. El Ceibal # 4	183.7	7.1	7.56	813.00
Qda. Chontal de La Pava	248.3	7.3	8.00	1.30
Qda. Mala	639.7	4.7	3.18	4.10
Qda. Del Pinal #1	262.8	7.8	8.45	20.20
Qda. Quemita #2	623.3	7.8	3.51	<0.02
Cerro Idaida 2	229.4	6.6	7.48	<0.02
Cerro Idaida 3	233.7	6.1	7.19	<0.02
Huesital 1	87.1	5.1	6.73	16.00
Huesital	241.4	7.8	8.15	3.90
Africano	241.1	5.2	6.67	<0.02
Gallote	264.0	3.1	6.83	<0.02
Maricela	249.0	7.1	7.87	<0.02
Seca	400.9	6.4	7.49	4.00
Wicho	144.2	8.1	7.06	31.30

Fuente: SNC-Lavalin Panamá, S.A., 2014

Al igual que en los monitoreos previos, se observaron valores de pH ácido en los manantiales de Quebrada Quema, Centro de Mesita y Mala. Adicionalmente, el pH en Quebrada Quemita resultó ácido (pH 3.51); en el muestreo realizado en 1994, este punto registra un pH neutral (pH 7.80). Esto puede indicar cambios en los flujos subterráneos.

El pH de los manantiales mencionados anteriormente, se encuentran fuera del límite máximo permisible (pH 6.5 – 8.5) establecido en el Decreto Ejecutivo 75 de Panamá (Ministerio de Economía y Finanzas, 2008).

La conductividad eléctrica indica agua de muy baja mineralización (<100 uS/cm) para tres manantiales (La Mesita Centro, Ceibal #1, Huesital 1), mientras los otros manantiales mostraron valores típicos para las cabeceras de los ríos (144.2 – 639.7 uS/cm).

Las concentraciones de oxígeno disuelto reportan los rango típicos para aguas subterráneas someras en todos los manantiales (OD: 2.6 – 8.1 mg/L). La turbidez registrada en nueve drenajes, resultó debajo del límite de detección (0.02 NTU). Sin embargo, se observaron concentraciones puntuales de hasta 925 NTU en Quebrada El Ceibal, probablemente relacionado con el arrastre de sedimentos finos en esta zona. Estos valores están por encima del límite máximo permisible (50-100 NTU) establecido en el Decreto Ejecutivo 75 de Panamá (Ministerio de Economía y Finanzas, 2008) determinando un riesgo de mediana magnitud.

#### 6.6.2.c Resumen

##### Identificación de acuíferos

El modelo hidrogeológico preliminar fue construido con datos de geología local, topografía, hidrología, mediciones de niveles en piezómetros en el área del Proyecto y con datos hidroquímicos de los drenajes.

Se identificaron dos unidades hidrogeológicas funcionales:

- ❑ UHF1: Depósitos coluviales y aluviales que actúan como acuífero somero;
- ❑ UHF2: Formaciones volcánicas y basamento de rocas ígneas que actúan muy probablemente, como acuitardo.

Una formación calcárea representa una unidad de menor importancia que localmente, podría representar un acuífero profundo.

El acuífero principal está compuesto por depósitos coluviales y aluviales. En éste, el flujo subterráneo se orienta a las microcuencas locales. Por otro lado, el acuífero somero conduce filtraciones, dependiendo de la topografía, a zonas más bajas. En ambos casos, barreras locales como rocas volcánicas no meteorizadas, pueden ser el limitante del flujo subterráneo, formando los manantiales observados en la zona del estudio.

##### Calidad ambiental del acuífero

La calidad ambiental del acuífero somero fue evaluada con los resultados de calidad de agua de los manantiales dentro del área del proyecto. Se observaron los siguientes como iones principales, al sodio, cloruro y sulfato, con una baja a intermedia conductividad (144.2 – 639.7 uS/cm). Se observó valores ácidos de pH en manantiales especialmente en las zonas noroeste (grupo de drenajes de quebrada Mala, valores de pH de hasta 2.80) y en noreste (grupos de manantiales Centro La Mesita y Quebrada Quema, valores de pH de hasta 3.20).

La baja mineralización de agua en los drenajes, permite llegar a la conclusión que sólo el acuífero somero es un acuífero activo e importante en la zona.

Los manantiales de aguas acidas observados indican que este acuífero tiene contacto con rocas subterráneas donde la meteorización de estratos con sulfuros libera ácidos de forma natural.