

**ANALISIS DE IMPACTOS HIDROQUIMICOS  
ACUMULATIVOS DE LAS ESCOMBRERAS  
DE ROCA**

**PROYECTOS PASCUA LAMA Y VELADERO**

# **ANALISIS DE IMPACTOS HIDROQUIMICOS ACUMULATIVOS DE LAS ESCOMBRERAS DE ROCA**

## **PROYECTOS PASCUA LAMA Y VELADERO**

**Septiembre 2004**

3401/R2

Preparado por:

Exploraciones Argentina S.A.  
Francisco de Villagra 531 Este  
C.P.5400, San Juan  
Argentina

Preparado por:

Water Management Consultants Ltda  
Alcántara 44, Piso 3  
Las Condes, Santiago  
Chile

## CONTENIDO

---

	Página
<b>1 INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2 METODOLOGIA</b>	<b>5</b>
2.1 Ubicación de estaciones seleccionadas	5
2.2 Caracterización del caudal y condiciones hidroquímicas base	6
2.3 Escenarios de mezcla de descarga de la escombrera – flujo superficial	13
2.4 Modelación de impactos parciales máximos desde El Morro	20
2.5 Cálculos de cuociente de Impacto	22
<b>3 PREDICCIÓN DE IMPACTOS</b>	<b>23</b>
3.1 Introducción	23
3.2 Concentraciones de elementos mayores y traza	23
3.2.1 Impactos en LA-1	23
3.2.2 Impactos en SW-6, LA-3 y LA-8	24
3.2.3 Impactos en SW-9 y SW-17	25
3.3 Predicción de impacto para la descarga parcial máxima desde El Morro	34
<b>4 REVISION DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA LINEA BASE Y PREDICCIÓNES DE IMPACTOS EN RELACION A LOS ESTANDARES</b>	<b>41</b>
4.1 Impactos en relación a los estándares de calidad de aguas bajo la máxima 41 descarga parcial agregada desde Pascua Lama y Veladero	
4.2 Impactos relacionados con las normas de calidad de agua en la descarga 45 parcial máxima de El Morro	
4.3 Impacto sobre pH	45
4.4 Consideraciones de cargas suspendidas	46
4.5 Atenuación natural	46
<b>REFERENCIAS</b>	<b>49</b>

<b>TABLAS</b>	<b>Página</b>
2.1 Sitios escogidos para la evaluación de impactos aguas abajo	5
2.2a Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en SW-6, período 2018-2118	7
2.2b Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en LA-1, período 2018-2118	8
2.2c Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en LA-3, período 2018-2118	9
2.2d Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en LA-8, período 2018-2118	10
2.2e Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en SW-9, período 2018-2118	11
2.2f Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en SW-17, período 2018-2118	12
2.3 Resumen de coeficientes de correlación (r) de Pearson que representan la relación entre caudal y Al, Fe, SO <sub>4</sub> , Ca en estaciones de evaluación de impacto aguas abajo	13
2.4 Resumen de la variación temporal de las contribuciones de descarga simulada de las escombreras a los caudales de aguas superficiales aguas abajo, en sitios de monitoreo seleccionados	14
2.5 Químicas de descarga usadas para calcular la contribución de descarga parcial máxima de las escombreras al caudal aguas abajo	18
2.6 Químicas de descarga usadas para calcular la contribución de descarga parcial media de escombrera al flujo aguas abajo	20
2.7 Resumen de descargas y condiciones de descargas coincidentes con la contribución parcial máxima desde la escombrera El Morro	21
2.8 Químicas de descarga usadas para calcular la contribución parcial máxima de las escombreras a las descargas aguas abajo	22
3.1 Impactos predecidos en la química de las aguas	26
3.2 Resumen de impactos negativos predecidos aguas abajo, para la máxima y mediana descarga parcial de las escombreras	32
3.3 Impactos predecidos en la química de las aguas	35
3.4 Resumen de impactos negativos en la calidad de las aguas, aguas debajo de las máximas contribuciones de descarga parcial desde la escombrera El Morro	39
4.1a Resumen de casos en los cuales se exceden los estándares de la calidad de agua potable en la Provincia de San Juan	43
4.1b Resumen de los casos en los cuales se exceden los estándares en la calidad del agua para ganado en la Provincia de San Juan	44
4.2a Resumen de casos en que se exceden los estándares reguladores de agua potable de la Provincia de San Juan	46
4.2b Resumen de casos en que se exceden los estándares para la calidad de agua de ganado en la Provincia de San Juan	47

## FIGURAS

## Después de página

1.1	Ubicación del proyecto Pascua Lama	2
1.2	Ubicación de la concesión Lama y su relación con el área del proyecto Veladero	2
2.1a	Datos de flujo de serie de tiempo modelado de 100 años para las estaciones SW-6, LA-1 y LA-3, con predicciones de serie de tiempo sincrónica del flujo de filtración de escombrera	24
2.1b	Datos de flujo de serie de tiempo modelado de 100 años para las estaciones LA-8, SW-9 y SW-17, con predicciones de series de tiempo sincrónico de flujo de filtración de escombrera	24
2.2a	Relación entre flujo de corriente y Al en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (mayo 1999-enero 2004)	24
2.2b	Relación entre flujo de corriente y Fe en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (mayo 1999-enero 2004)	24
2.2c	Relación entre flujo de corriente y $SO_4$ en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (mayo 1999-enero 2004)	24
2.2d	Relación entre flujo de corriente y Ca en sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (mayo 1999-enero 2004)	24
2.3a-f	Distribución de frecuencia acumulativa de contribuciones parciales de escombrera a la descarga total en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo	24
2.4a-b	Hidrográficos anuales que muestran un periodo de 12 meses durante el cual ocurre una contribución de filtración parcial máxima de escombrera en LA-8, SW-9 y SW-17	24
2.5a-d	Relación entre filtración simulada mensual de escombrera y flujo de corriente mensual en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo	24

## PLANOS

1.1	Ubicación de puntos de monitoreo de impacto río abajo y escombrera
-----	--



## 1 INTRODUCCION

---

El depósito de oro de Pascua Lama está ubicado en la cordillera Andina, extendiéndose hacia ambos lados del límite entre Chile y Argentina (Figura 1.1). La Compañía Minera Nevada Ltda. (CMN) y Barrick Exploraciones Argentina S.A. (BEASA), subsidiarias de Barrick Gold Corporation, están evaluando la explotación del depósito. El plan minero base involucra una operación principal de rajo abierto que se extiende hacia ambos lados del límite Chile-Argentina, dos pequeños rajos satelitales ubicados en Argentina, depósitos de roca estéril o escombreras ubicadas en la cabecera del Río del Estrecho (Chile) y del Río Turbio (Argentina), además de una planta de proceso y depósito de colas ubicados en la parte inferior del valle del Río Turbio (Argentina).

El área del proyecto yace inmediatamente al norte del proyecto Veladero (Figura 1.2) en Argentina, el cual está siendo desarrollado por Barrick. El proyecto Veladero incluye la extracción de dos rajos abiertos, el desarrollo de dos escombreras (Norte y Sur) ubicadas en los valles del Río Canito y Río Potrerillos respectivamente, una pila de lixiviación y una planta de recuperación del oro en el Valle de Río Potrerillos. La cuenca del Río Canito constituye un tributario de la cuenca del Río Turbio, y ambas cuencas son tributarias de la cuenca del Río de Las Taguas.

En marzo 2004 Water Management Consultants (WMC) fue encargado para estimar los impactos acumulativos sobre la hidroquímica aguas debajo de las facilidades mineras dentro de la misma área de la cuenca, relacionadas al desarrollo de los proyectos de Pascua Lama y Veladero. Los resultados de esta evaluación refuerzan las conclusiones de un estudio previo de las escombreras Norte y Sur de Veladero realizado por WMC (3193/R24, 2002). Las fuentes potenciales de los impactos de calidad de agua evaluadas en dicho informe son:

- Escombrera Veladero Sur (Potrerillos),
- Escombrera Veladero Norte (Canito),
- Escombrera Lama Morro (Turbio).

Para el presente informe las escombreras son las únicas instalaciones mineras consideradas para los propósitos de evaluación de impacto. Las instalaciones mineras adicionales que incluyen la pila de lixiviación de Veladero y los depósitos de colas de Pascua Lama pueden constituir potencialmente fuentes de filtración menor. Sin embargo, el diseño de ambas instalaciones incorpora geo-membranas impermeables y sistemas de recuperación de filtraciones. Consecuentemente, su influencia total aguas abajo sobre la calidad del agua se consideran insignificante.

Este informe presenta la metodología y los resultados de un modelo de mezcla de balance de masa, desarrollado para evaluar los impactos potenciales de las escombreras sobre la calidad del agua, asumiendo que éstos serán determinados por tres factores de control principales:

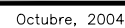
- La hidroquímica previa o base de los cuerpos de agua receptores.
- El volumen y química de la descarga estimada desde las escombreras.
- La razón de mezcla de la descarga estimada desde las escombreras y la descarga de la cuenca.

Todos los cálculos de impacto presentados en este informe están realizados en base a las configuraciones de cese de las escombreras. Los intervalos de tiempo usados para la modelación ha sido seleccionado en base de una serie de criterios técnicos y logísticos que incluyen los siguientes:

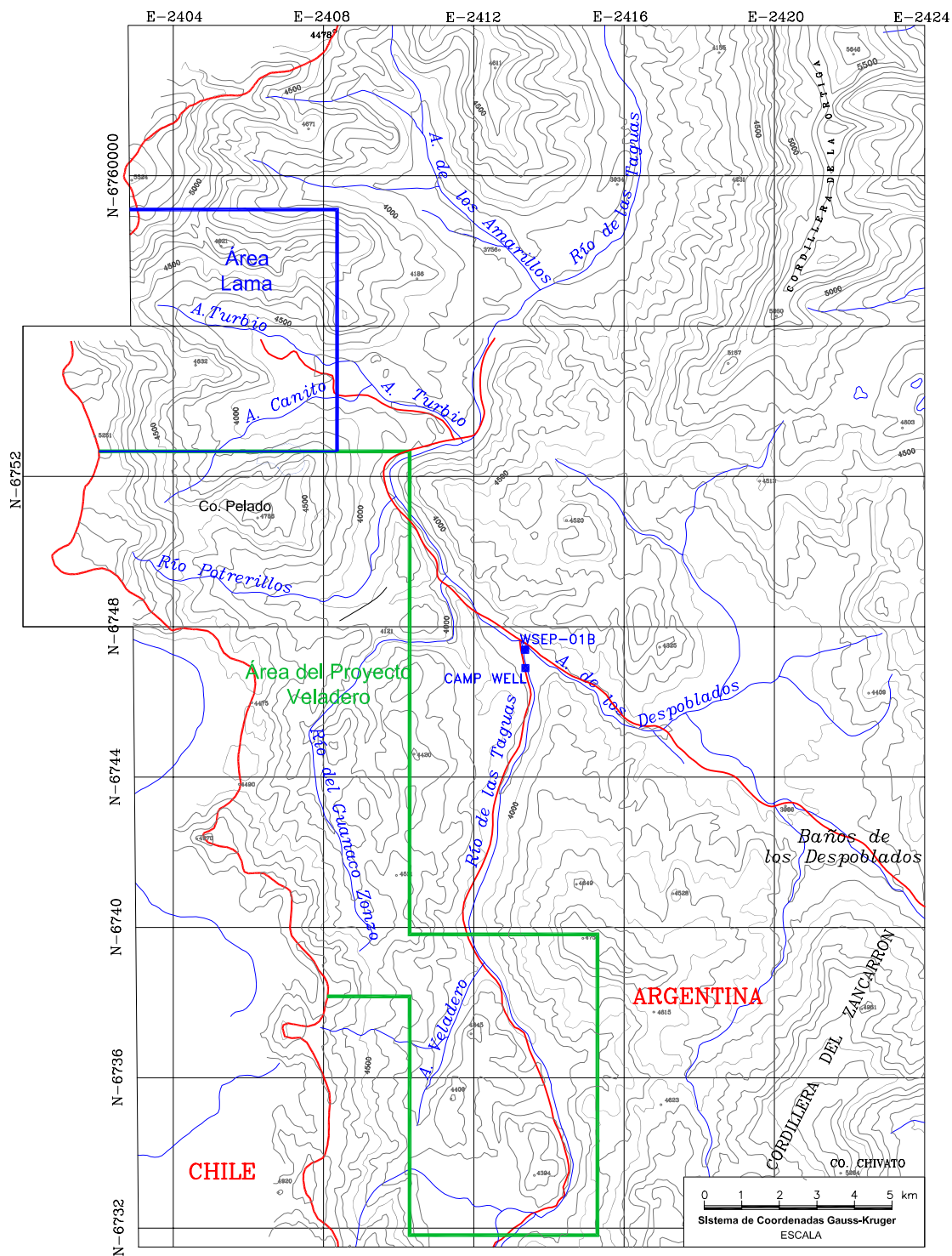
- El escenario de cese involucra la modelación de impactos cuando el tonelaje de desecho total (ej. la carga química potencialmente móvil) es maximizado y cuando cada cuenca contribuyente es ocupada por la mayor área superficial de desecho de mina.
- Las condiciones posteriores al cese pueden considerarse más sensibles ambientalmente, debido a que se asume que los monitoreos continuos en el sitio y los sistemas activos de retención de filtración no serán funcionales.
- La modelación de impactos compuestos para el escenario de cese mantiene consistencia con los modelos de impacto aguas abajo desarrollados para Veladero (WMC 3193/R24, 2002) y usados en el proceso de obtención de permisos para dicho proyecto.

Se informa el impacto desde dos escenarios separados: el primero siendo el “peor” escenario que refleja la descarga agregada máxima desde las escombreras Pascua Lama y Veladero y el segundo evaluando el impacto relacionado a la descarga parcial desde la escombrera El Morro de Pascua Lama.





**Figura 1.2 Ubicación de la concesión Lama y su relación con el área del proyecto Veladero**



Todos los cálculos se basan en la hipótesis que la descarga de la escombrera reportará directamente hacia las aguas superficiales aguas abajo y, por lo tanto, no toma en cuenta las potenciales modificaciones influyentes asociadas con la capacidad natural de atenuación aluvial, o con tratamiento activo de las descargas de la escombrera.

Este enfoque de balance de masa adoptado por WMC es simplista, debido a que los procesos geoquímicos inducidos por la interacción de los materiales de desecho con las aguas de drenaje naturales superficiales (ej. precipitación controlada por pH/Eh) no son evaluados. En muchos aspectos esta simplificación probablemente arroja cálculos conservadores (ej. sobre-estimación de valores predecidos) para los impactos sobre la calidad de las aguas.



## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Ubicación de estaciones seleccionadas

Los impactos aguas abajo se evaluaron en base de la calidad del agua predecida para seis estaciones dentro de la red de monitoreo de línea base de Lama-Veladero, las que se presentan en el Plano 1.1 y en la Tabla 2.1. Las estaciones LA-8, SW-9 y SW-17 están aguas abajo de más de una escombrera, por lo que en estas localidades la evaluación de los impactos aguas abajo se basan en los efectos acumulativos de descarga desde la escombrera El Morro (propuesto para el Proyecto Pascua Lama) y las escombreras Canito y Potrerillos (parte del Proyecto Veladero).

**Tabla 2.1 Sitios escogidos para la evaluación de impactos aguas abajo**

Sitio	Cuenca donde se ubica	Descripción de la ubicación	Escombrera ubicada aguas arriba
SW-6	Río Potrerillos	Parte baja de la cuenca, aproximadamente 100 m aguas arriba de la confluencia con el Río de las Taguas.	Potrerillos
LA-1	Arroyo Turbio	Parte alta de la cuenca.	El Morro
LA-3	Arroyo Canito	Aproximadamente 700 m aguas arriba de la confluencia con el Arroyo Turbio.	Canito
LA-8	Arroyo Turbio	Parte inferior de la cuenca, aproximadamente 50 m aguas arriba de la confluencia con el Río de Las Taguas.	Canito, El Morro
SW-9	Río de Las Taguas	Aproximadamente 1,5 km aguas abajo de la confluencia con el Río Turbio.	Canito, Potrerillos, El Morro
SW-17	Río de Las Taguas	Aproximadamente 5,5 km aguas abajo de la confluencia con el Río Turbio.	Canito, Potrerillos, El Morro

## 2.2 Caracterización del caudal y condiciones hidroquímicas base

Los datos de flujo empíricos para los sitios mostrados en la Tabla 2.1 para el período diciembre 1988 a enero 2004, se recolectaron desde el programa de línea base de Lama-Veladero (WMCL informe 3401/R1, 2004). Estos datos fueron utilizados para simular una serie sintética de caudales (resolución mensual) para 100 años para cada estación (Jones, 2004), usando análisis de probabilidad de la relación precipitación-evaporación-descarga. La simulación de caudales toma el supuesto de la presencia de un canal de desviación alrededor de la escombrera El Morro, el que capturará un 90% del caudal de escorrentía aguas arriba de esta instalación. El conjunto de datos simulado para 100 años (Figuras 2.1a y 2.1b) proporciona predicciones de caudales desde el año 2018 hasta el 2118. El comienzo del período coincide con el cese proyectado del proyecto Veladero. Sin embargo, es probable que esté dentro del período operacional del Proyecto Pascua Lama. Las estadísticas resumidas para los flujos previstos en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, se entregan en las Tablas 2.2a - f.

Los datos hidroquímicos para los seis sitios escogidos para la evaluación de impactos aguas abajo fueron colectados a través del programa de monitoreo de línea base de Lama-Veladero descrito anteriormente (WMC, 2004a). El registro de los datos incluidos en el presente análisis de impactos acumulativos fueron recolectados entre junio de 1999 y enero de 2004. Los valores de las concentraciones promedio (totales) para todos los analitos se muestran en las Tablas 2.2 a-f. Con el propósito de determinar concentraciones promedio, los valores menores al límite de detección (LD) fueron recalculados como  $0.5 \times \text{LD}$ .

Las Tablas 2.2 a-f incluyen adicionalmente, cálculos de carga de masa química (mg/s) para flujos mensuales y anuales mínimos, promedio y máximos predecidos en las estaciones seleccionadas para la evaluación de impactos aguas abajo en el período 2018 – 2118. En cada caso se tiene que:

$$\text{Carga de masa (mg/s)} = \text{Concentración de analitos (mg/l)} \times \text{Descarga (l/s)}$$

Las concentraciones promedio de analitos se aplicaron a todas los caudales en el cálculo de las cargas de masa finales. Este enfoque se adoptó siguiendo un análisis estadístico del conjunto de datos de monitoreo la línea base de Lama-Veladero, el que demostró que no existe una correlación consistente entre los valores de flujo y la química de agua registrada simultáneamente. Las Figuras 2.2 a-d muestran ejemplos de gráficos de covarianza generados durante este análisis. Al, Fe,  $\text{SO}_4$  y Ca se escogieron como representativos de la relación general entre caudal y química. En la Tabla 2.3 se muestra un resumen de los coeficientes de correlación para flujos y concentraciones de estos elementos. Los gráficos de covarianza y los coeficientes de correlación (donde se especifica) excluyen los caudales y las concentraciones de analitos determinadas como fuera del rango factible.

**Tabla 2.2a Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en SW-6, período 2018-2118**

Analito	Química promedio de la línea base	Flujos superficiales simulados					
		(l/s)					
		Promedio anual para 100 años			Promedio mensual para 100 años		
		Min	Máx	Prom.	Min	Máx	Prom.
	12.5	278	42.4	8.50	576	35.9	
	(mg/l)	Carga de masa (mg/seg)					
pH	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76
Al	0,933	11,7	259	39,6	7,93	538	33,5
Sb	0,012	0,154	3,41	0,521	0,104	7,07	0,441
As	0,023	0,284	6,29	0,962	0,193	13,06	0,815
Ba	0,056	0,698	15,47	2,36	0,473	32,11	2
Be	0,003	0,039	0,867	0,133	0,027	1,8	0,112
HCO <sub>3</sub>	89,6	1123	24882	3803	762	51648	3221
Bi	0,012	0,149	3,31	0,506	0,101	6,87	0,428
Cd	0,002	0,029	0,643	0,098	0,02	1,34	0,083
Ca	112	1400	31013	4741	949	64374	4014
Co	0,004	0,054	1,19	0,181	0,036	2,46	0,154
Cu	0,008	0,1	2,21	0,338	0,068	4,59	0,286
Cl	4,36	54,6	1210	185	37	2512	157
Cr	0,0173	0,217	4,8	0,734	0,147	10	0,622
F	0,604	7,56	168	25,6	5,13	348	21,7
Fe	1,33	16,7	370	56,6	11,3	768	47,9
Pb	0,008	0,096	2,14	0,327	0,065	4,44	0,277
Mg	17,3	217	4807	735	147	9977	622
Mn	0,444	5,57	123	18,9	3,77	256	16
Hg	0,001	0,006	0,144	0,022	0,004	0,298	0,019
Mo	0,004	0,048	1,06	0,162	0,032	2,2	0,137
Ni	0,01	0,13	2,87	0,439	0,088	5,96	0,372
NO <sub>3</sub>	1,01	12,7	282	43,05	8,62	585	36,5
NO <sub>2</sub>	0,034	0,432	9,57	1,46	0,293	19,9	1,24
P	0,114	1,43	31,7	4,85	0,971	65,8	4,11
K	2,67	33,5	741	113	22,7	1539	96
Se	0,004	0,048	1,06	0,163	0,033	2,21	0,138
Si	6,62	83	1838	281	56,26	3815	238
Ag	0,002	0,022	0,48	0,073	0,015	0,996	0,062
Na	8,56	107	2375	363	72,7	4930	307
SO <sub>4</sub>	286	3585	79438	12143	2431	164891	10282
Sr	0,311	3,9	86,3	13,2	2,64	179	11,2
Tl	0,017	0,217	4,82	0,736	0,147	10	0,623
Sn	0,017	0,216	4,79	0,732	0,147	9,94	0,62
Ti	0,026	0,323	7,16	1,09	0,219	14,9	0,927
V	0,014	0,177	3,92	0,599	0,12	8,14	0,507
Zn	0,032	0,404	8,95	1,37	0,274	18,6	1,16

**Tabla 2.2b Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en LA-1, período 2018-2118**

Analito	Química promedio de la línea base	Flujos superficiales simulados (l/s)					
		Promedio anual para 100 años			Promedio mensual para 100 años		
		Min	Máx	Prom.	Min	Máx	Prom.
		21.3	282	41.5	8.53	684	28.5
	(mg/l)	Carga de masa (mg/seg)					
pH	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
Al	222	4722	62569	9192	1891	151490	6306
Sb	0,0006	0,012	0,162	0,024	0,005	0,393	0,016
As	0,211	4,51	59,7	8,8	1,8	145	6
Ba	0,073	1,56	20,7	3,04	0,624	50	2,08
Be	0,002	0,048	0,633	0,093	0,019	1,53	0,064
HCO <sub>3</sub>	1,33	28,4	377	55,3	11,4	912	38
Bi	0,0003	0,005	0,071	0,01	0,002	0,171	0,007
Cd	0,033	0,71	9,4	1,38	0,284	22,8	0,948
Ca	259	5524	73192	10753	2212	177210	7377
Co	0,1	2,51	33,3	4,89	1,01	80,6	3,35
Cu	10,7	229	3034	446	91,7	7347	306
Cl	6,66	142	1881	276	56,8	4553	190
Cr	0,044	0,941	12,5	1,83	0,377	30,18	1,26
F	0,389	8,29	110	16,1	3,32	266	11,1
Fe	265	5641	74745	10981	2259	180971	7533
Pb	0,089	1,91	25,3	3,71	0,764	61,2	2,55
Mg	43,9	936	12407	1823	375	30038	1250
Mn	10,8	230	3052	448	92,2	7390	308
Hg	0,0002	0,003	0,046	0,007	0,001	0,111	0,005
Mo	0,001	0,021	0,282	0,041	0,009	0,684	0,028
Ni	0,098	2,08	27,6	4,05	0,833	66,7	2,78
NO <sub>3</sub>	1,82	38,8	514	76	15,5	1244	52
NO <sub>2</sub>	0,007	0,151	2	0,295	0,061	4,85	0,202
P	0,704	15	199	29,2	6,01	481	20
K	6,78	145	1915	281	57,9	4637	193
Se	0,007	0,145	1,92	0,282	0,058	4,65	0,193
Si	42,4	904	11978	1760	362	29001	1207
Ag	0,001	0,021	0,277	0,041	0,008	0,671	0,028
Na	10,4	222	2945	433	89	7129	297
SO <sub>4</sub>	2240	47755	632732	92959	19120	1531953	63772
Sr	1	21,4	284	41,7	8,57	686	28,6
Tl	0,0005	0,011	0,141	0,021	0,004	0,342	0,014
Sn	0,0005	0,011	0,141	0,021	0,004	0,342	0,014
Ti	0,042	0,902	12	1,76	0,361	28,9	1,21
V	0,036	0,762	10,1	1,48	0,305	24,4	1,02
Zn	7,5	160	2119	311	64	5131	214



**Tabla 2.2c Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en LA-3, período 2018-2118**

Analito	Química promedio de la línea base  (mg/l)	Flujos superficiales simulados (l/s)					
		Promedio anual de 100 años			Promedio mensual de 100 años		
		Min	Máx	Prom.	Min	Máx	Prom.
		62.6	433	105	20.2	1130	66
		Carga de masa (mg/seg)					
pH	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52
Al	6,36	398	2756	667	129	7192	419
Sb	0,0005	0,03	0,207	0,05	0,01	0,541	0,032
As	0,021	1,31	9,09	2,2	0,425	23,7	1,38
Ba	0,039	2,43	16,8	4,06	0,785	43,8	2,56
Be	0,001	0,064	0,44	0,107	0,021	1,15	0,067
HCO <sub>3</sub>	21,6	1350	9342	2261	437	24376	1422
Bi	0,0004	0,0235	0,162	0,039	0,008	0,424	0,025
Cd	0,003	0,205	1,42	0,344	0,066	3,71	0,216
Ca	174	10876	75244	18211	3516	196343	11452
Co	0,004	0,276	1,91	0,463	0,089	4,99	0,291
Cu	0,109	6,84	47,3	11,45	2,21	123	7,2
Cl	3,87	242	1677	406	78	4376	255
Cr	0,011	0,688	4,76	1,15	0,222	12,42	0,724
F	0,69	43,22	299	72,4	14	780	45,5
Fe	7,36	461	3189	772	149	8321	485
Pb	0,023	1,43	9,89	2,39	0,462	25,8	1,5
Mg	21,7	1357	9387	2272	439	24495	1429
Mn	2,15	135	933	225,8	43,6	2435	142
Hg	0,0002	0,011	0,075	0,018	0,004	0,196	0,011
Mo	0,001	0,079	0,549	0,133	0,026	1,43	0,084
Ni	0,02	1,24	8,59	2,08	0,401	22,41	1,31
NO <sub>3</sub>	0,962	60,2	417	101	19,5	1087	63
NO <sub>2</sub>	0,007	0,419	2,9	0,701	0,135	7,56	0,441
P	0,215	13,5	93,1	22,5	4,35	243	14,2
K	4,1	257	1777	430	83	4636	270
Se	0,003	0,194	1,34	0,325	0,063	3,5	0,204
Si	22,6	1418	9807	2374	458	25591	1493
Ag	0,0006	0,034	0,238	0,058	0,011	0,622	0,036
Na	9,64	604	4177	1011	195	10899	636
SO <sub>4</sub>	590	36934	255523	61844	11941	666770	38891
Sr	0,324	20,3	140	33,9	6,55	366	21,3
Tl	0,0006	0,037	0,253	0,061	0,012	0,659	0,038
Sn	0,002	0,13	0,902	0,218	0,042	2,35	0,137
Ti	0,014	0,887	6,14	1,49	0,287	16,01	0,934
V	0,001	0,088	0,606	0,147	0,028	1,58	0,092
Zn	0,419	26,21	181	43,9	8,47	473	27,6

**Tabla 2.2d Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en LA-8, período 2018-2118**

Analito	Química promedio de línea base	Flujos superficiales simulados					
		(l/s)					
		Promedio anual de 100 años			Promedio mensual de 100 años		
		Min	Máx	Prom.	Min	Máx	Prom.
	172	980	250	110	2321	195	
	(mg/l)	Carga de masa (mg/seg)					
pH	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Al	61,4	10555	60216	15344	6763	142582	12006
Sb	0,001	0,181	1,03	0,263	0,116	2,44	0,206
As	0,084	14,4	81,9	20,9	9,2	193,9	16
Ba	0,234	40,2	229	58,4	25,7	542,4	46
Be	0,002	0,344	1,96	0,5	0,22	4,64	0,391
HCO <sub>3</sub>	1,49	257	1464	373	164	3466	292
Bi	0,756	130	741	189	83	1755	148
Cd	0,009	1,5	8,55	2,18	0,96	20,24	1,7
Ca	186	31930	182170	46421	20458	431349	36322
Co	0,041	7,06	40,3	10,3	4,52	95,4	8
Cu	2,78	478	2726	695	306	6455	544
Cl	17,9	3071	17520	4464	1968	41484	3493
Cr	0,024	4,05	23,1	5,89	2,6	54,76	4,6
F	0,679	116,6	665	170	74,7	1575	133
Fe	45,7	7845	44756	11405	5026	105975	8924
Pb	0,056	9,58	54,7	13,9	6,14	129,5	11
Mg	25,9	4452	25398	6472	2852	60138	5064
Mn	4,54	780	4453	1135	500	10543	888
Hg	0,0004	0,07	0,399	0,102	0,045	0,946	0,08
Mo	0,002	0,315	1,8	0,458	0,202	4,26	0,358
Ni	0,051	8,74	49,8	12,7	5,6	118	10
NO <sub>3</sub>	1,39	240	1367	348	153	3236	273
NO <sub>2</sub>	0,016	2,79	15,9	4,05	1,78	37,63	3,17
P	0,27	46,3	264	67,4	29,7	625,9	53
K	4,89	840	4790	1221	538	11343	955
Se	0,004	0,662	3,78	0,963	0,424	8,95	0,753
Si	34,4	5902	33675	8581	3782	79736	6714
Ag	0,002	0,319	1,82	0,464	0,205	4,32	0,363
Na	17	2928	16705	4257	1876	39556	3331
SO <sub>4</sub>	965	165744	945613	240961	106196	2239053	188540
Sr	0,505	86,8	495	126	55,6	1172	99
Tl	0,01	1,63	9,31	2,37	1,05	22,05	1,9
Sn	0,01	1,76	10	2,55	1,13	23,73	2
Ti	0,123	21,2	121	30,8	13,6	285,8	24
V	0,009	1,61	9,2	2,35	1,03	21,79	1,8
Zn	2,32	399	2274	580	255	5385	453

**Tabla 2.2e Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en SW-9, período 2018-2118**

Analito	Química promedio de línea base  (mg/l)	Flujos superficiales simulados (l/s)					
		Promedio anual de 100 años			Promedio mensual de 100 años		
		Min	Máx	Prom.	Min	Máx	Prom.
		638	8033	1237	531	17352	1083
		Carga de masa (mg/seg)					
pH	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66
Al	12,8	8176	102969	15854	6802	222428	13887
Sb	0,025	16,2	204	31,4	13,5	440	27,5
As	0,679	433	5450	839	360	11773	735
Ba	0,108	68,9	868	134	57,3	1874	117
Be	0,004	2,52	31,8	4,89	2,1	68,6	4,28
HCO <sub>3</sub>	42,9	27341	344328	53016	22746	743795	46439
Bi	0,195	125	1569	242	104	3389	212
Cd	0,004	2,47	31,1	4,79	2,06	67,2	4,2
Ca	116	74020	932191	143530	61579	2013657	125724
Co	0,011	7,06	88,9	13,7	5,87	192	12
Cu	0,566	361	4543	700	300	9814	613
Cl	145	92586	1166005	179530	77024	2518726	157259
Cr	0,028	17,8	225	34,6	14,8	485	30,3
F	1,28	816	10282	1583	679	22210	1387
Fe	12,6	8039	101236	15587	6687	218684	13654
Pb	0,014	9,05	114	17,6	7,53	246	15,4
Mg	24,7	15744	198271	30528	13097	428292	26741
Mn	1,62	1031	12982	1999	858	28042	1751
Hg	0,0003	0,207	2,61	0,402	0,172	5,64	0,352
Mo	0,005	3,4	42,8	6,6	2,83	92,5	5,78
Ni	0,016	10,2	129	19,9	8,52	279	17,4
NO <sub>3</sub>	1,03	656	8256	1271	545	17834	1113
NO <sub>2</sub>	0,039	25,1	317	48,74	20,9	684	43
P	0,381	243	3059	471	202	6608	413
K	20,3	12952	163119	25115	10775	352358	22000
Se	0,004	2,6	32,8	5,05	2,17	70,9	4,42
Si	6,85	4370	55041	8475	3636	118896	7423
Ag	0,003	1,69	21,2	3,27	1,4	45,8	2,86
Na	156	99572	1253989	193077	82836	2708783	169125
SO <sub>4</sub>	474	302011	3803469	585622	251251	8215998	512972
Sr	0,563	359	4523	696	299	9771	610
Tl	0,021	13,7	172	26,5	11,4	372	23,2
Sn	0,018	11,6	146	22,5	9,65	315	19,7
Ti	0,047	30,3	381	58,7	25,2	823	51,4
V	0,017	10,9	138	21,2	9,09	297	18,6
Zn	0,675	430	5420	835	358	11708	731

**Tabla 2.2f Resumen de estadísticas para caudales simulados y cargas de masa química en SW-17, período 2018-2118**

Anlito	Química promedio de línea base  (mg/l)	Flujos superficiales simulados (l/s)					
		Promedio anual de 100 años			Promedio mensual de 100 años		
		Min	Máx	Prom.	Min	Máx	Prom.
		642	8270	1243	534	18069	1089
		Carga de masa (mg/seg)					
pH	7,13	7,13	7,13	7,13	7,13	7,13	7,13
Al	12,6	8061	103875	15617	6713	226955	13681
Sb	0,035	22,3	287	43,2	18,6	628	37,9
As	0,677	434	5595	841	362	12224	737
Ba	0,117	74,8	964	145	62,3	2107	127
Be	0,002	1,51	19,4	2,92	1,26	42,5	2,56
HCO <sub>3</sub>	48,6	31206	402110	60455	25988	878563	52962
Bi	0,008	4,94	63,7	9,6	4,12	139	8,4
Cd	0,005	2,92	37,6	5,66	2,43	82,2	4,96
Ca	108	69562	896349	134762	57931	1958419	118058
Co	0,01	6,31	81,3	12,2	5,26	178	10,7
Cu	0,544	349	4499	676	291	9830	593
Cl	126	80972	1043373	156866	67433	2279648	137423
Cr	0,02	13,1	169	25,4	10,9	369	22,2
F	1,32	847	10916	1641	706	23851	1438
Fe	10,8	6912	89064	13390	5756	194594	11731
Pb	0,014	9,26	119	17,9	7,71	261	15,72
Mg	21,5	13792	177722	26720	11486	388302	23408
Mn	1,21	774	9978	1500	645	21801	1314
Hg	0,0005	0,307	3,96	0,595	0,256	8,65	0,521
Mo	0,005	3,08	39,7	5,97	2,57	86,7	5,23
Ni	0,006	3,94	50,8	7,64	3,28	111	6,7
NO <sub>3</sub>	1,68	1075	13852	2083	895	30266	1824
NO <sub>2</sub>	0,025	16,3	211	31,65	13,6	460	27,7
P	0,44	282	3640	547	235	7953	479
K	17,7	11390	146768	22066	9486	320670	19331
Se	0,004	2,43	31,3	4,71	2,02	68,4	4,12
Si	20,1	12903	166269	24998	10746	363279	21899
Ag	0,002	0,966	12,4	1,87	0,804	27,2	1,64
Na	137	87807	1131454	170108	73126	2472095	149024
SO <sub>4</sub>	428	274661	3539182	532098	228738	7732703	466146
Sr	0,611	392	5050	759	326	11035	665
Tl	0,014	8,73	112	16,91	7,27	246	14,8
Sn	0,01	6,4	82,7	12,4	5,34	181	10,9
Ti	0,025	16,2	209	31,5	13,5	457	27,6
V	0,023	14,5	186,5	28	12,1	407	24,6
Zn	0,488	313	4033	606	261	8813	531

**Tabla 2.3 Resumen de coeficientes de correlación (r) de Pearson que representan la relación entre caudal y Al, Fe, SO<sub>4</sub>, Ca en estaciones de evaluación de impacto aguas abajo**

Analitos (total)	SW-6		SW-17		SW-9		LA-1		LA-3		LA-8	
	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r	n
<b>Al</b>	<b>0.86</b>	18	<b>-0.91</b>	4	-0.28	9	<b>-0.84</b>	6	<b>-0.69</b>	20	<b>-0.78</b>	15
<b>Fe</b>	<b>0.70</b>	18	<b>-0.96</b>	4	-0.31	9	<b>-0.78</b>	6	<b>-0.45</b>	20	-0.02	15
<b>SO<sub>4</sub></b>	<b>-0.61</b>	19	<b>-0.76</b>	5	<b>-0.76</b>	10	<b>-0.76</b>	6	-0.38	20	<b>-0.85</b>	15
<b>Ca</b>	-0.13	14	<b>-0.98</b>	4	<b>-0.91</b>	8	-	0	<b>-0.84</b>	20	<b>-0.79</b>	18

Nota: n denota el número de pares de datos que representan medidas de flujo y muestras de agua tomadas al mismo tiempo. Los coeficientes en "negrita" son estadísticamente significantes (grados de libertad n-2 y p = 0.05).

### 2.3 Escenarios de mezcla de descarga de la escombrera – flujo superficial

La Figura 2.1 a y b ilustra la relación entre la descarga mensual simulada del escombrera y el caudal total en los seis sitios de evaluación de impacto aguas abajo para un período de 100 años (Jones, 2004). Las Figuras 2.3 a-f muestra los gráficos de frecuencia acumulativa de las contribuciones predecidas de la descarga de las escombreras a la descarga total a lo largo del período. La descarga de las escombreras se representa como una rápida infiltración de nieve derretida, y por lo tanto, ocurrirá sólo en meses en que la nieve se derrite activamente.

En la Tabla 2.4 se muestra un resumen de las estadísticas basadas en el análisis de caudales simulados y tasas de descarga. Estos datos indican una tasa de contribución parcial de la escombrera El Morro de 0 - 9,14% en LA-1. En el 82% de los meses durante la simulación de 100 años, no ocurrieron descargas desde la escombrera El Morro. Así, el caudal de descarga promedio mensual desde la escombrera El Morro es cero, mientras el promedio anual es 0,16 l/s. De acuerdo con la simulación de caudales anuales para 100 años, una descarga abajo del pie de la escombrera El Morro ocurrirá en ocasiones en que la descarga generada dentro de la escombrera es cero. Esto se debe al flujo generado aguas arriba de la escombrera que pasará por un drenaje artificial bajo la escombrera (Jones, 2004).

En LA-8 (que se encuentra aguas abajo desde las escombreras El Morro y Canito) el rango de la contribución parcial de las escombreras es de entre 0,15 y 24,8%. La escombrera Canito fue el único contribuyente al componente de las escombreras al caudal total en LA-8 durante el 82% de todos los meses durante el período de simulación de 100 años. Por esta razón, la mediana de la contribución de las escombreras en este sitio se explica sólo con la descarga desde la escombrera Canito.

**Tabla 2.4 Resumen de la variación temporal de las contribuciones de descarga simulada de las escombreras a los caudales de aguas superficiales aguas abajo, en sitios de monitoreo seleccionados**

		SW-6				LA-1				LA-3			
		Min	Máx	Prom. <sup>‡</sup>	Prom	Min	Máx	Prom. <sup>‡‡</sup>	Prom	Min	Máx	Median <sup>†</sup>	Prom
Contribución de filtración de las escombreras (%) <sup>*</sup>		0,29	69,7	15,2	17,0	0	9,14	0,0	0,0	0,28	99,5	6,58	11,4
Condiciones correspondientes													
Fecha		Nov-65	Ene-55	na	na	na <sup>†</sup>	Sep-38	na	na	Feb-20	Oct-07	na	na
Descarga superficial (l/s)		272	10,6	50,1	-	9,3	8,74	26,3	-	324	40,4	63,2	-
Contribución Escombreras (l/s)	Total	0,80	7,36	7,64	-	0	0,80	0	-	0,92	40,2	4,16	-
	El Morro	na	na	na	-	0	0,80	0	-	na	na	na	-
	Potrerosillos	0,80	7,36	7,64	-	na	na	na	-	na	na	na	-
	Canito	na	Na	na	-	na	na	na	-	0,92	40,2	4,16	-

		LA-8				SW-9				SW-17			
		Min	Máx	Median <sup>†</sup>	Prom	Min	Máx	Median <sup>†</sup>	Prom	Min	Máx	Median <sup>†</sup>	Prom
Contribución de filtración de escombrera (%) <sup>*</sup>		0,15	24,8	2,3	3,44	0,06	7,25	0,87	1,17	0,06	7,21	0,86	1,16
Condiciones correspondientes													
Fecha		Feb-20	May-96	na	na	Nov-19	May-96	Na	na	Ene-95	May-96	na	na
Descarga superficial (l/s)		627	343	177	-	8,057	2,178	866	-	18,069	2,189	891	-
Contribuciones de la Escombrera (l/s)	Total	0,92	85,0	4,06	-	5,23	158	7,56	-	11,3	158	7,70	-
	El Morro	0	0	0	-	3,51	0	0	-	5,01	0	0	-
	Potrerosillos	na	na	na	-	0,96	72,8	3,49	-	2,89	72,8	3,55	-
	Canito	0,2	85,0	4,06	-	0,93	85,0	4,07	-	3,37	85,0	4,15	-

Notas: <sup>\*</sup> Basado en la simulación del caudal superficial y descarga de escombreras mensual para 100 años

<sup>‡</sup> Las condiciones correspondientes a la mediana de la contribución parcial de filtraciones de escombreras representan la mediana calculada para un sub-grupo de meses en los cuales la contribución de descarga de escombreras estaba entre los percentiles 40° y 60°.

<sup>†</sup> La contribución de descarga de escombrera desde El Morro es cero para el 82% de todos los meses de la simulación de caudales para 100 años.

na: No aplicable

Un valor de cero significa que no hay descarga desde el escombrera bajo consideración (determinado por la simulación de caudales para 100 años).

En SW-9 y SW-17 (aguas abajo de las escombreras de El Morro, Canito y Potrerillos), los rangos de la contribución total de la suma de las contribuciones parciales de las escombreras son 0,06-7,25% y 0,06-7,21%, respectivamente. En los casos de SW-9 y SW-17, las escombreras Canito y Potrerillos fueron los únicos contribuyentes de descarga de escombreras en estos sitios, en 82% de los meses de la simulación de 100 años. Por esta razón, la mediana de la contribución de las escombreras en estos sitios de evaluación de impacto aguas abajo, se explica únicamente con la contribución de las escombreras de Canito y Potrerillos.

La Tabla 2.4 también muestra las condiciones de descarga asociadas con las contribuciones parciales de las escombreras mediana, máximas y mínimas, en cada sitio de evaluación. La mediana de la contribución parcial de las escombreras no corresponde a un valor específico durante el período de simulación de 100 años. La relación no lineal entre contribución parcial de las escombreras y la descarga superficial total (Figuras 2.3 a-f) significa que los valores de mediana para cada una de estas variables no forman un escenario típico de descarga de las escombreras-caudal. Por esta razón, el evento de descarga total correspondiente con la mediana de la contribución parcial de las escombreras se determinó al identificar primero las contribuciones parciales de las escombreras entre los percentiles 40% y 60%. Se seleccionó así un subgrupo de contribuciones parciales de las escombreras entre estos percentiles. Luego, se calculó la mediana de la descarga total correspondiente con las contribuciones parciales de las escombreras en este subgrupo.

Los datos en la Tabla 2.4 se usaron para la evaluación de impactos de descargas de las escombreras a las descargas aguas abajo, seleccionando los dos escenarios siguientes:

- 1) Contribución de descarga parcial máxima de escombreras.
- 2) Mediana de la contribución de descarga parcial de escombreras.

En términos generales, éstos pueden considerarse que representan los casos “peor” y “típico”, respectivamente.

#### *Contribución de la descarga parcial máxima de escombrera al caudal aguas abajo*

Los peores escenarios identificables dentro de simulaciones de 100 años del caudal del río y la descarga de escombreras para SW-6 y LA-3 (Figura 2.4), corresponden potencialmente a eventos en que se maximiza la contribución parcial de las descargas de las escombreras al caudal total aguas abajo. Tales condiciones, basadas en un conjunto de datos simulado para 100 años, pueden involucrar contribuciones parciales de las escombreras entre 99.5% (en LA-3) y 7.21% (SW-17), respectivamente.

La mayor contribución de descarga parcial máxima de la escombrera El Morro en el sitio LA-1 es 9.14%. En el resto de los sitios de evaluación de impactos aguas abajo que reciben descargas desde la escombrera El Morro (LA-8, SW-9 y SW-17), el mes de contribución de descarga parcial máxima de las escombreras no coincide con ninguna descarga desde la escombrera El Morro. Lo anterior está relacionado con las diferencias entre las propiedades hidráulicas de las escombreras de El Morro y de Veladero (Norte y Sur).

La escombrera de El Morro no aporta descargas en el escenario del “peor caso” para impactos combinados aguas abajo de la descarga de las escombreras desde los proyectos de Veladero y Pascua Lama. Dado que el 82% de los meses durante el período de simulación de 100 años no involucró ninguna contribución de descarga desde la escombrera El Morro, la coincidencia de un valor de cero para las descargas desde este depósito y la contribución parcial máxima desde las otras escombreras en LA-8, SW-9 y SW-17 no son excepcionales.

Los hidrogramas de las Figuras 2.4 a y b muestran cuando se alcanza la contribución parcial máxima de escombrera al flujo en LA-8, SW-9 y SW-17, para el período de 12 meses que incluye May-2096. Estas figuras demuestran que las contribuciones de alta descarga parcial desde las escombreras resultan de alcanzar el máximo de descarga anual de las escombreras en otoño, luego del término de la época de derretimiento de nieve desde la parte superior de la cuenca.

Las Figuras 2.5 a-d muestran una coincidencia entre las tasas de descarga de las escombreras del percentil 5 superior, y descargas al río aguas abajo dentro del percentil 25 inferior de sus poblaciones respectivas en todos los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, con excepción de LA-1. En la estación LA-1 hay una correlación positiva entre el caudal del Arroyo Turbio y las tasas de descarga desde la escombrera de El Morro.

Los caudales totales que coinciden con los eventos máximos de descarga parcial predecidos para las escombreras, son los siguientes:

- SW-6: 10.6 l/s
- LA-1: 8.74 l/s
- LA-3: 40.4 l/s
- LA-8: 343 l/s
- SW-9: 2178 l/s
- SW-17: 2189 l/s.

La evaluación de los impactos aguas abajo asociados con las contribuciones parciales máximas de las escombreras se basan en la conclusión de que generalmente las variaciones de caudal de descarga de las escombreras en el tiempo no afectan de manera importante los hidrogramas estacionales de los sistemas de ríos receptores (ej. flujos máximos en los ríos serán controlados principalmente por condiciones las condiciones propias de la cuenca más que por regímenes hidrológicos de las escombreras). Esta conclusión se basa en la similitud de las propiedades modeladas de retención de agua en las escombreras (Zhan, 2002) a aquellas del relleno aluvial en Potrerillos y Canito, unidad que naturalmente almacena agua infiltrada y regula la liberación del flujo base.



En base de lo anterior, los algoritmos de impacto sobre la carga química para los eventos de descarga parcial máximos de las escombreras son:

$$SW-6 \text{ impacto} = (C_{SW-6} * 3.20 + C_{POTRERILLOS} * 7.36) / (C_{SW-6} * 10.56)$$

$$LA-1 \text{ impacto} = (C_{LA-1} * 7.94 + C_{MORRO} * 0.80) / (C_{LA-1} * 8.74)$$

$$LA-3 \text{ impacto} = (C_{LA-3} * 0.2 + C_{CANITO} * 40.2) / (C_{LA-3} * 40.4)$$

$$LA-8 \text{ impacto} = (C_{LA-8} * 258 + C_{CANITO} * 85.0 + C_{MORRO} * 0) / (C_{LA-8} * 343)$$

$$SW-9 \text{ impacto} = (C_{SW-9} * 2020.5 + C_{CANITO} * 85.0 + C_{MORRO} * 0 + C_{POTRERILLOS} * 72.8) / (C_{SW-9} * 2178.3)$$

$$SW-17 \text{ impacto} = (C_{SW-17} * 2031.2 + C_{CANITO} * 85.0 + C_{MORRO} * 0 + C_{POTRERILLOS} * 72.8) / (C_{SW-17} * 2189)$$

Donde:

- $C_{SITIO}$  = Concentración promedio de analito 'C' en hidroquímica de línea base en cualquier sitio de evaluación de impacto aguas abajo (mg/l).
- $C_{ESCOMBRERA}$  = Concentración de analito 'C' en descarga en cada escombrera (mg/l).

Las cargas de masa química de descarga de las escombreras calculadas para los escenarios descritos anteriormente se derivaron de la aplicación de PHREEQC para la química de las filtraciones determinadas previamente por WMC (2002, 2004b). Estas químicas de descarga están relacionadas con condiciones climáticas particulares o regímenes de caudal. Con respecto a las escombreras de Canito y Potrerillos, los regímenes de flujo seleccionados por WMC (2002) fueron aquellos que más coincidieron con la descarga de escombrera asociada a un evento de contribución parcial máxima de escombrera (como se determina en la simulación de 100 años de Jones, 2004). En el caso de la escombrera de El Morro, el régimen climático usado para representar la química de descarga asociada con un evento de contribución parcial máxima de escombrera fue la siguiente:

- Año seco de retorno de 7 años: Caudal de descarga al pie de escombrera < percentil 25%
- Normal: Caudal de descarga al pie de la escombrera > percentil 25% y < percentil 75%
- Año húmedo de retorno de 10 años: Caudal de descarga al pie de la escombrera > percentil 75%.

Para cada uno de los regímenes climáticos usados en la caracterización geoquímica de la escombrera El Morro, se usaron químicas de descarga para el intervalo de tiempo 21, que representa el año 21 en la vida de la mina (o el cese de la mina). La Tabla 2.5 resume las químicas de las descarga usadas para calcular la contribución de la descarga parcial máxima de cada escombrera a los caudales aguas abajo.

Las químicas de descarga que representan las escombreras de Canito y Potrerillos se basaron en una hipótesis de porcentaje de interacción de agua-roca de un 10% dentro de los depósitos de desecho (WMC 2003, informe 3193/R21).

**Tabla 2.5 Químicas de descarga usadas para calcular la contribución de descarga parcial máxima de las escombreras al caudal aguas abajo**

	<b>El Morro<sup>1</sup></b>	<b>Canito<sup>2</sup></b>	<b>Potrerillos<sup>2</sup></b>
SW-6	Na	Na	Promedio anual máximo para 100 años (5,6 l/s)
LA-1	Año seco (retorno 7 años)	Na	Na
LA-3	Na	Máxima mensual para 100 años (29,9 l/s)	Na
LA-8	Año húmedo (retorno 10 años)	Máxima mensual para 100 años (29,9 l/s)	Na
SW-9	Año húmedo (retorno 10 años)	Máxima mensual para 100 años (29,9 l/s)	Máxima mensual para 100 años (45,7 l/s)
SW-17	Año húmedo (retorno 10 años)	Máxima mensual para 100 años (29,9 l/s)	Máxima mensual para 100 años (45,7 l/s)

Nota: <sup>1</sup> Valores de WMC (2004b), Tabla 6.5

<sup>2</sup> Valores de WMC (2002), Tabla 6.2.

#### *Contribución de descarga parcial media de escombrera a flujos de corriente de SW-6 y LA- 3*

Las curvas de frecuencia acumulativa para contribuciones parciales de escombrera a descargas totales en los sitios de evaluación (Figuras 2.3) indican valores medios de 15.2% en SW-6, 0% en LA-1, 6.58% en LA-3, 2.3% en LA-8, 0.87% en SW-9 y 0.86% en SW-17. Estas son relativamente cercanas a los valores aritméticos promedio para contribuciones parciales de escombrera a cada sitio (SW-6 = 17.0%, LA-1 = 0%, LA-3 = 11.4%, LA-8 = 3.44%, SW-9 = 1.17% y SW-17 = 1.16%).

Un escenario de impacto de descarga de escombrera “típico” puede, por lo tanto, desarrollarse al mezclar la carga de masa de la contribución de descarga parcial media de la escombrera con proporciones modificadas apropiadamente de la carga química llevados por los flujos correspondientes.

Los flujos totales, que corresponden a los eventos de descarga parcial medias de escombrera previstas, son como sigue:

- SW-6: 50.1 l/s
- LA-1: 26.3 l/s
- LA-3: 63.2 l/s
- LA-8: 177 l/s
- SW-9: 866 l/s
- SW-17: 891 l/s.

Los siguientes algoritmos resumen tales condiciones:

$$SW-6 \text{ impacto} = (C_{SW-6} * 42.4 + C_{POTRERILLOS} * 7.6) / (C_{SW-6} * 50.1)$$

$$LA-1 \text{ impacto} = (C_{LA-1} * 263 + C_{MORRO} * 0) / (C_{LA-1} * 26.3)$$

$$LA-3 \text{ impacto} = (C_{LA-3} * 59.1 + C_{CANITO} * 40.2) / (C_{LA-3} * 63.2)$$

$$LA-8 \text{ impacto} = (C_{LA-8} * 173 + C_{CANITO} * 4.1 + C_{MORRO} * 0) / (C_{LA-8} * 177)$$

$$SW-9 \text{ impacto} = (C_{SW-9} * 858 + C_{CANITO} * 4.1 + C_{MORRO} * 0 + C_{POTRERILLOS} * 3.5) / (C_{SW-9} * 866)$$

$$SW-17 \text{ impacto} = (C_{SW-17} * 884 + C_{CANITO} * 4.1 + C_{MORRO} * 0 + C_{POTRERILLOS} * 3.5) / (C_{SW-17} * 891)$$

Donde:

$C_{SITIO}$  = Concentración promedio de analito 'C' en química base en cualquiera de los sitios de evaluación de impacto aguas abajo (mg/l).

$C_{ESCOMBRERA}$  = Concentración de analito 'C' en descargas de escombrera desde cualquier escombrera (mg/l).

El método para seleccionar químicas que representen escenarios de contribución parcial media de escombrera fue el mismo que el descrito para la determinación de escenarios de descarga parcial de escombrera. Esto involucró el uso de químicas modeladas PHREEQC que se basaron en tasas de descarga que coinciden más estrechamente con la tasa de descarga en la simulación de 100 años de Jones (2004). Las químicas de descarga usadas para calcular la contribución de descarga parcial media de escombreras a descargas aguas abajo se resumen en la Tabla 2.6. Las químicas de descarga que representan las escombreras de Canito y Potrerillos se basaron en una interacción roca-agua de 10%.

**Tabla 2.6 Químicas de descarga usadas para calcular la contribución de descarga parcial media de escombrera al flujo aguas abajo**

	El Morro <sup>1</sup>	Canito <sup>2</sup>	Potrerillos <sup>2</sup>
SW-6	-	-	Máximo del promedio anual para 100 años (5,6 l/s)
LA-1	Año normal	-	-
LA-3	-	Máximo del promedio anual para 100 años (3,7 l/s)	-
LA-8	Año normal	Máximo del promedio anual para 100 años (3,7 l/s)	-
SW-9	Año Normal	Máximo del promedio anual para 100 años (3,7 l/s)	Máximo del promedio anual para 100 años (3,3 l/s)
SW-17	Año Normal	Máximo del promedio anual para 100 años (3,7 l/s)	Máximo del promedio anual para 100 años (3,3 l/s)

Nota: <sup>1</sup> Valores de WMC (2004b). Tabla.6.5

<sup>2</sup> Valores de WMC (2002). Tabla 6.2.

## 2.4 Modelación de impactos parciales máximos desde El Morro

Las secciones previas describen la modelación de los “peores” escenarios para impactos combinados desde las escombreras de Pascua Lama y Veladero. Lo anterior se consideró que correspondía al mes en el que la contribución de descarga parcial agregada desde las escombreras de Veladero y Pascua Lama era máxima para la simulación de 100 años. Sin embargo, tres de las cuatro estaciones de monitoreo aguas debajo de la escombrera de El Morro (LA-8, SW-9 y SW-17) están caracterizadas por una descarga parcial máxima dominada por las escombreras de Veladero y, generalmente, coincide con períodos de descargas nula desde El Morro. Sin embargo, lo anterior no se aplica al sitio LA-1, que recibe solamente la descarga desde El Morro.

Por lo tanto, además se ha llevado a cabo una evaluación de impacto para condiciones de contribución de descarga parcial máxima desde la escombrera El Morro en los sitios LA-1, LA-8, SW-9 y SW-17. Este escenario coincide con las tasas de descarga desde las otras dos escombreras, que de acuerdo con la simulación de flujo de 100 años estará muy por debajo de su valor parcial máximo.

### *Selección de eventos de contribución de descarga parcial máxima*

Los eventos de contribución de descarga parcial máxima para la escombrera de El Morro, se identificaron desde la simulación de caudales para 100 años. Estas se resumen en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Resumen de descargas y condiciones de descargas coincidentes con la contribución parcial máxima desde el escombrera El Morro**

		LA-1	LA-8	SW-9	SW-17
<b>Contribución de descarga de la escombrera El Morro (%)*</b>		9.17	0.85	0.09	0.09
<b>Condiciones correspondientes</b>					
<b>Fecha</b>		Sep-38	Oct-42	Oct-36	Oct-36
<b>Descarga superficial (l/s)</b>		8.74	394.6	1404.8	1413.4
<b>Contribuciones de la escombrera (l/s)</b>	<b>Total</b>	0.80	5.42	3.50	3.50
	<b>El Morro</b>	0.80	3.35	1.29	1.29
	<b>Potreriillos</b>	n/a	n/a	1.02	1.02
	<b>Canito</b>	n/a	2.06	1.19	1.19

Nota: \*Basada en una simulación mensual de 100 años de flujo de corriente y descarga de escombrera.

n/a: No ocurren contribuciones de descarga.

El evento de contribución de descarga parcial máxima mostrado en la Tabla 2.7 para el sitio LA-1 tiene un valor idéntico al informado en la Tabla 2.4. Lo anterior se debe a que El Morro es la única escombrera que contribuye al caudal en este lugar. El evento correspondiente para el sitio LA-8 involucra una contribución de descarga parcial total de la escombrera desde El Morro de 0,85% del caudal (o 3,35 l/s de descarga de la escombrera). Durante este evento 2,06 l/s se reciben también desde la escombrera Norte de Veladero en la estación LA-8. Los eventos de contribución de descarga parcial máxima para la escombrera El Morro en los sitios SW-9 y SW-17 involucran a esta instalación contribuyendo con 0,09% del flujo total. Estos eventos corresponden con una contribución de descarga total desde todas las escombreras de 0,25%. Esto ocurre hacia el final inferior del rango de contribuciones parciales agregadas de las escombreras para la simulación de 100 años, como se muestra en la Sección 2.3 (0,06-7,25% para SW-9 y 0,06-7,21% para SW-17).

Usando la información de flujo proporcionado en la Tabla 2.7, los algoritmos del cálculo del impacto sobre la carga química para los eventos de descarga parcial máxima desde la escombrera El Morro, pueden definirse como:

$$LA-1 \text{ impacto} = (C_{LA-1} * 7.94 + C_{MORRO} * 0.80) / (C_{LA-1} * 8.74)$$

$$LA-8 \text{ impacto} = (C_{LA-8} * 389.2 + C_{CANITO} * 2.06 + C_{MORRO} * 3.35) / (C_{LA-8} * 394.6)$$

$$SW-9 \text{ impacto} = (C_{SW-9} * 1401.3 + C_{CANITO} * 1.19 + C_{MORRO} * 1.29 + C_{POTRERILLOS} * 1.02) / (C_{SW-9} * 1404.8)$$

$$SW-17 \text{ impacto} = (C_{SW-17} * 1409.9 + C_{CANITO} * 1.19 + C_{MORRO} * 1.29 + C_{POTRERILLOS} * 1.02) / (C_{SW-17} * 1413.4)$$

### Selección de químicas de descarga

Las cargas de masa química de la descarga de las escombreras aplicadas en los escenarios descritos arriba, se derivaron de los cálculos PHREEQC de las químicas de descarga de todas las escombreras. Para las escombreras norte y sur de Veladero, las químicas de descarga seleccionadas fueron aquellas asociadas con las tasas de descarga que son más estrechamente análogas a aquellas en cada uno de los escenarios de contribución de descarga parcial, mostrados en la Tabla 2.8. Las químicas de descarga que representan las dos escombreras de Veladero se basaron en un porcentaje de interacción agua-roca de 10% y el lapso de tiempo de 21 años desde el inicio de la vida de la mina.

**Tabla 2.8 Químicas de descarga usadas para calcular la contribución parcial máxima de las escombreras a las descargas aguas abajo**

	El Morro <sup>1</sup>	Veladero Norte <sup>2</sup>	Veladero Sur <sup>2</sup>
LA-1	Año seco (retorno 7 años)	-	-
LA-8	Año húmedo (retorno 10 años)	Mínimo del promedio anual para 100 años	-
SW-9	Año normal	Mínimo mensual en 100 años	Mínimo mensual en 100 años
SW-17	Año normal	Mínimo mensual en 100 años	Mínimo mensual en 100 años

Nota: <sup>1</sup> Valores de WMC (2004), Tabla 6.5

<sup>2</sup> Valores de WMC (2002), Tabla 6.2.

## 2.5 Cálculos de cuociente de Impacto

Para cada elemento o compuesto, los cuocientes porcentuales de impacto se calcularon para expresar la relación porcentual entre la concentración en aguas impactadas por descargas y la concentración de línea base que ocurriría si el caudal fuera el mismo, pero no incluye un componente de descarga de escombrera.

$$\text{Razón de impacto (\%)} = C_{\text{IMPACTADO}} / C_{\text{BASE}} * 100$$

Donde:

$C_{\text{IMPACTADO}}$  = Concentración en aguas superficiales que contienen componentes de descargas desde escombreras.

$C_{\text{BASE}}$  = Concentración en aguas superficiales si el caudal fuera el mismo que  $C_{\text{IMPACTADO}}$ , pero compuesto completamente por la química de la línea base.

Un cuociente porcentual de impacto de 100, significa impacto cero. Valores de >100 indican un incremento de concentración neta; y los valores de <100 indican una disminución de concentración neta.

### 3 PREDICCIÓN DE IMPACTOS

---

#### 3.1 Introducción

Las predicciones de impactos para el escenario de “peor caso” relacionado con la máxima descarga parcial agregada de Pascua Lama y Veladero se muestran en la Sección 3.2, mientras que la predicción de impactos relacionada con la máxima descarga parcial desde El Morro se muestra en la Sección 3.3.

#### 3.2 Concentraciones de elementos mayores y traza

La Tabla 3.1 de presenta los resultados del algoritmo para calcular los impactos de mezcla descritos en la Sección 2.3. Esto muestra la química predecida del agua bajo escenarios de máxima y mediana contribución de descarga parcial de las escombreras. La Tabla 3.2 proporciona un resumen de los parámetros de calidad de aguas que se predice mostrarán impactos negativos (cuocientes de impacto mayores que 100) debido al influjo de descarga desde las escombreras bajo una o más razones de interacción agua-roca modeladas y escenarios de descargas desde las escombreras.

##### 3.2.1 Impactos en LA-1

En el sitio LA-1 se predice que las condiciones de máxima contribución de descarga parcial de las escombreras inducen la elevación de las concentraciones netas de los valores de la línea base para Sb, Be, Cd, Co, Cl, Cr, F, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, NO<sub>3</sub>, Se, Ag, Na, SO<sub>4</sub>, Sr, Sn, Ti, V y Zn. En el caso de Sb, Be, Mo, y Ti, el Cuociente de Impacto es mayor que 1000%. De acuerdo al grupo de datos de monitoreo de la línea base, Sb, Be, y Mo presentan concentraciones predominantemente bajo los límites de detección (LD) analíticos. Con respecto a Sb, 21 de 28 muestras contenían valores menores que el LD máximo de 0,01 mg/l. Con respecto a Be, 15 de 28 muestras contenían menos que el límite de detección máxima de 0,001 mg/l.

Con respecto a Mo, 15 de 28 muestras contenían menos que el LD máximo de 0,002 mg/l. Bajo estas circunstancias, se puede predecir un impacto adverso producido por la ocurrencia esporádica de valores altos en uno o dos lixiviados de las celdas de humedad, lo que podría potencialmente no ser representativo de la química de los lixiviados depósitos de los materiales de deshecho. Además, bajo tales circunstancias, es imposible hacer una definición precisa de las concentraciones para la línea base. Para propósitos estadísticos, todos los valores límites bajo el LD analítico fueron recalculados como  $0,5 \times \text{LD}$ . Esto puede potencialmente resultar en una subestimación de la verdadera condición de línea base y por lo tanto el cálculo de Cuocientes de Impactos relativamente altos.

Para LA-1, el escenario de contribución de descarga parcial de la escombrera correspondiente a la mediana no involucra cambios relativos sobre la química de la línea base correspondiente, porque bajo este escenario no ocurre descarga desde la escombrera de El Morro.

### 3.2.2 Impactos en SW-6, LA-3 y LA-8

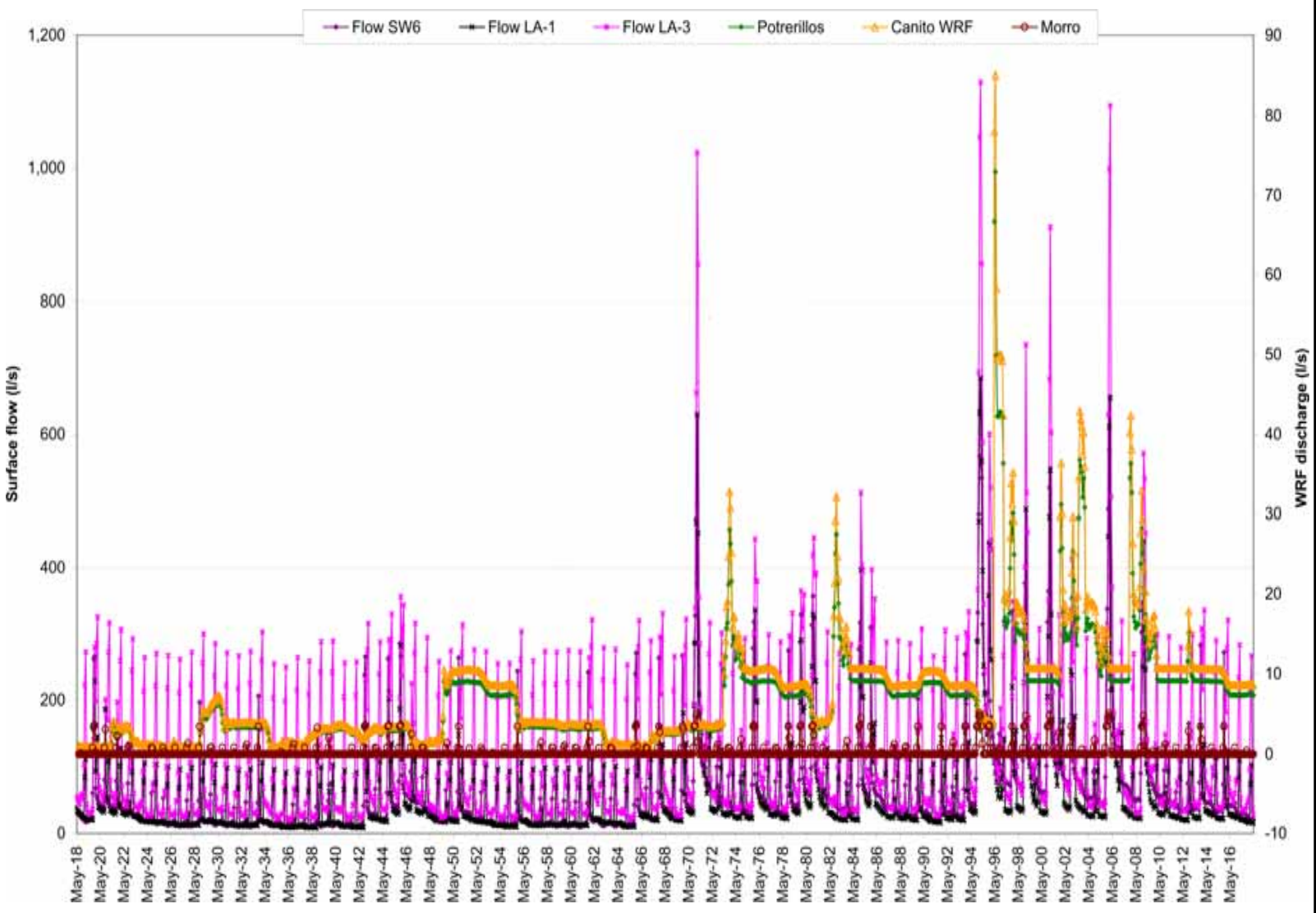
En SW-6, los valores de la química que se predice que estará asociada con el escenario de máxima contribución de descarga parcial de las escombreras son mayores que el escenario de la mediana de la contribución de descarga parcial de escombrera. En ambos escenarios, se han previsto incrementos netos en la concentración de Al, Co, Cu, Pb, Ni, P, K y Zn. El Cociente de Impacto de Co es relativamente alto (3290%). Sin embargo, esto es casi una predicción no realista, y refleja el hecho de que las concentraciones de línea base de Co en SW-6 se encontraban bajo el LD (el mayor de los cuales era 0,05 mg/l) en 28 de 29 muestras colectas durante el monitoreo de la línea base.

Con respecto a LA-3, se predicen incrementos netos en las concentraciones de Ba, Co, Ni, K y Tl para ambos escenarios de máxima y mediana contribución de descarga parcial de las escombreras. El escenario correspondiente a la mediana está adicionalmente asociado con incrementos netos en la concentración de Sb, Be, Cr, P, Hg, Se y Ti. Bajo el escenario de máxima contribución parcial de las escombreras, se predice una disminución neta en la concentración neta de 28 de 33 de los elementos, para los cuales los resultados se muestran en la Tabla 3.1.

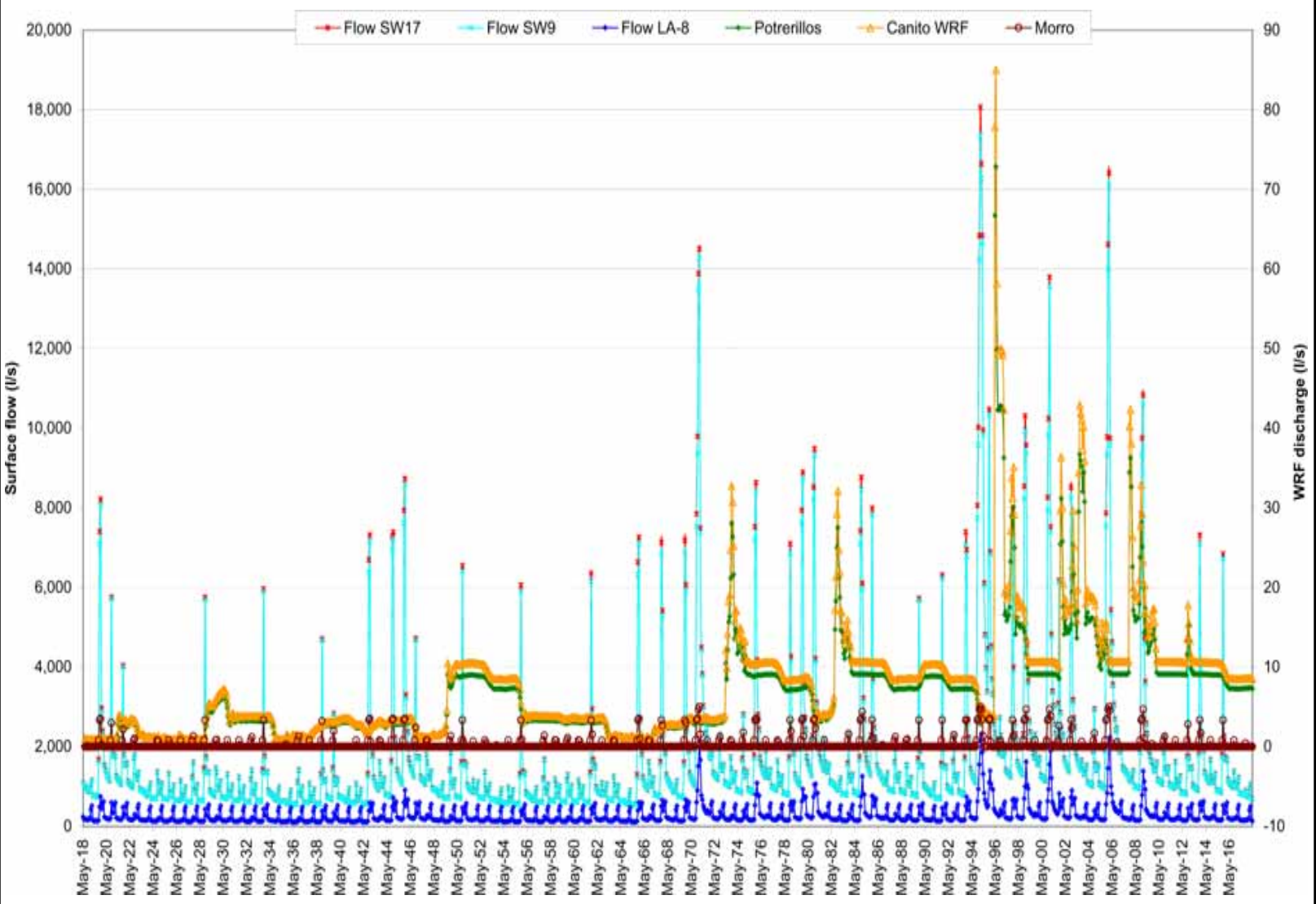
El sitio LA-8 está aguas abajo de las escombreras de Veladero Norte y de El Morro. Sin embargo, los escenarios de máxima y mediana contribución parcial total de la escombrera coincide con períodos durante los cuales se predice que la descarga desde El Morro será cero. Todos los impactos previstos mostrados en la Tabla 3.1 resultan de descargas de la escombrera de Veladero Norte. De los elementos para los cuales se dan los resultados en la Tabla 3.1, K es el único elemento que se predice tendrá un incremento neto en la concentración bajo un escenario de máxima contribución parcial de la escombrera para LA-8 (Cuociente de Impacto 112%). Bajo el escenario de la mediana de la contribución parcial para las escombreras, se predice un incremento neto para las concentraciones de Co, Cr, K, Ni, Pb y Se en este sitio.



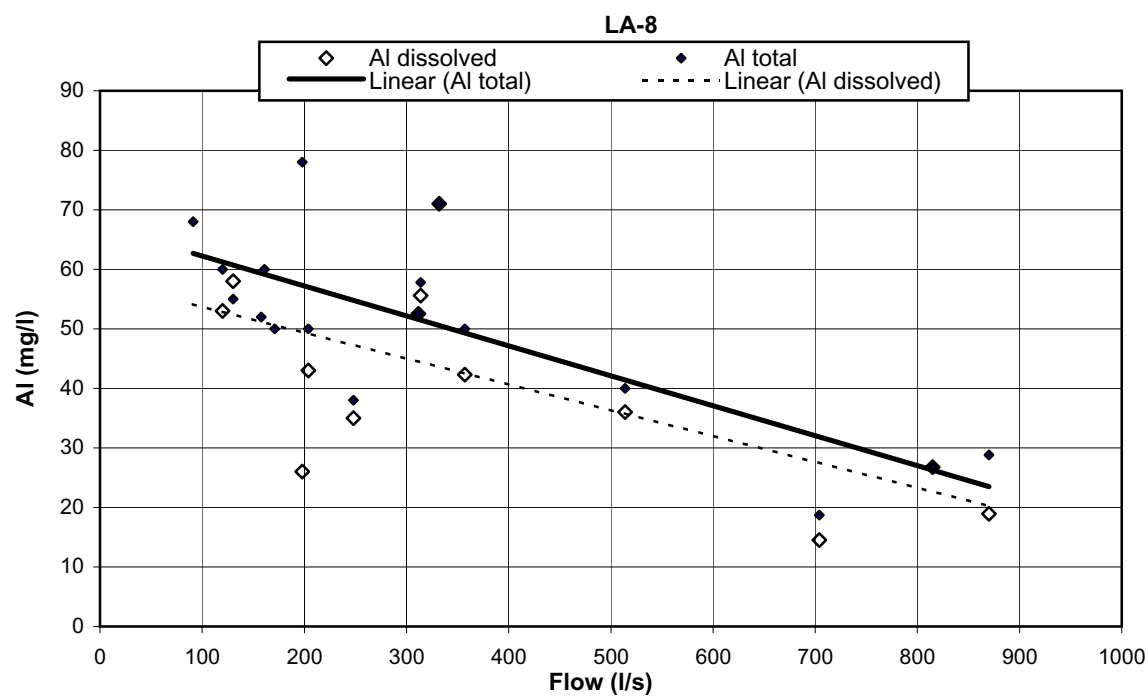
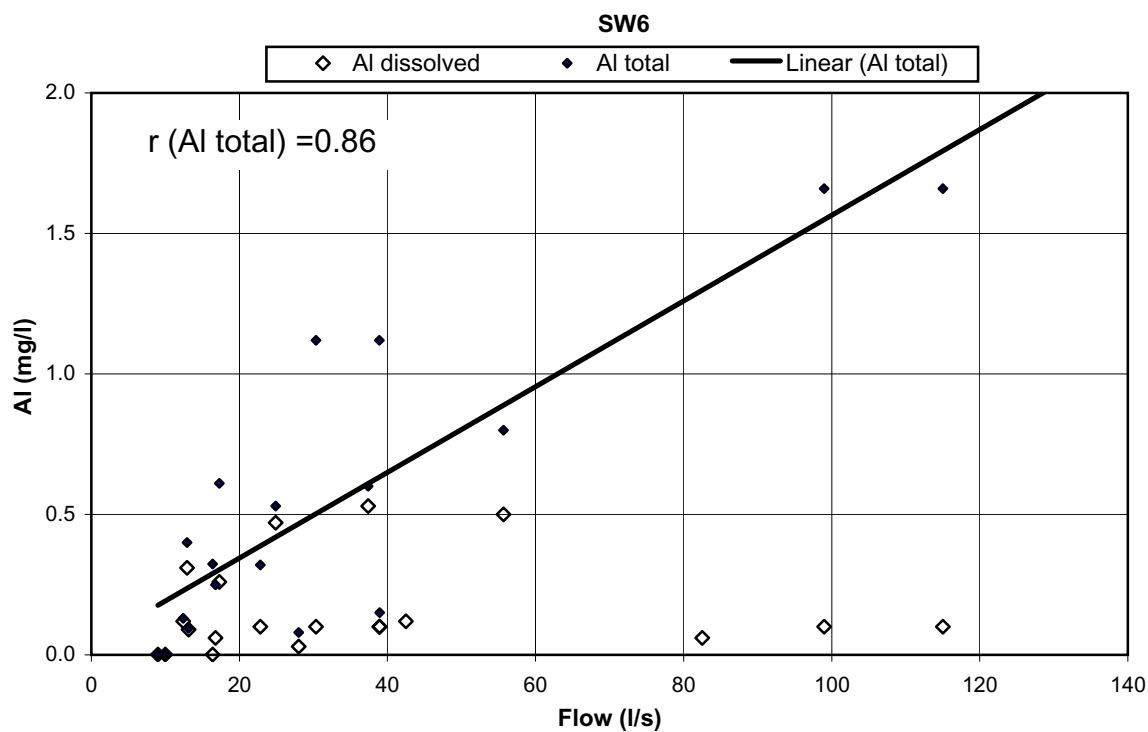
**Figura 2.1a** Datos de flujo de serie de tiempo modelado de 100 años para las estaciones SW-6, LA-1 y LA-3, con predicciones de serie de tiempo sincrónica del flujo de filtración de escombrera



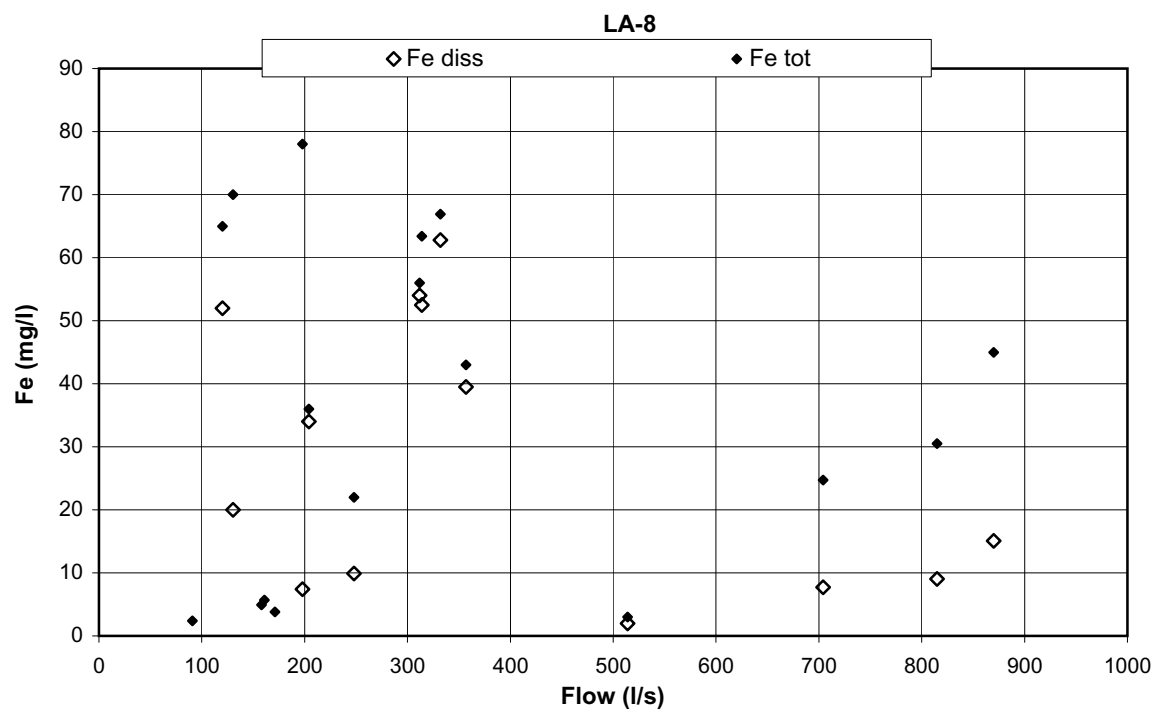
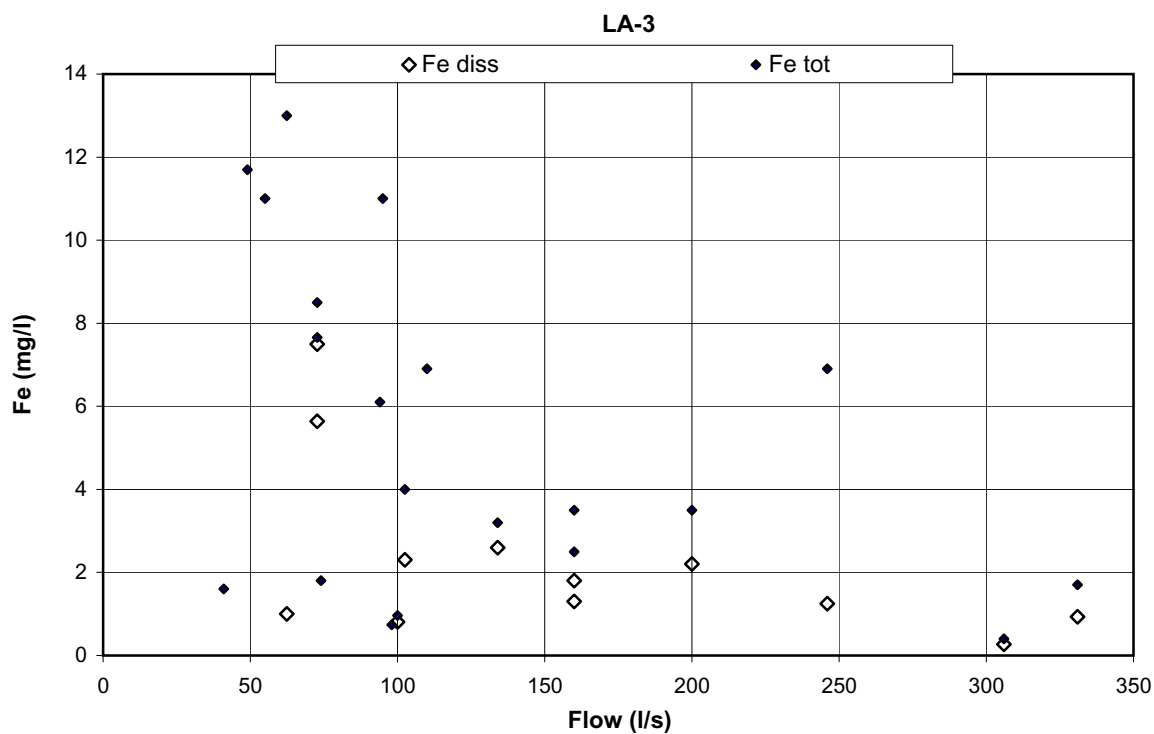
**Figura 2.2b Relación entre flujo de corriente y Fe en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (mayo 1999-enero 2004)**



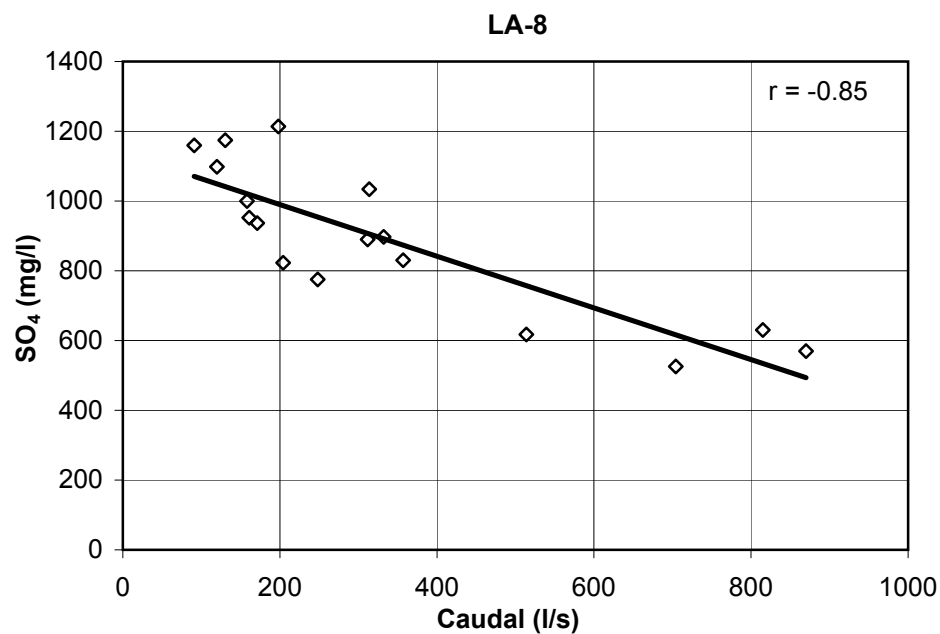
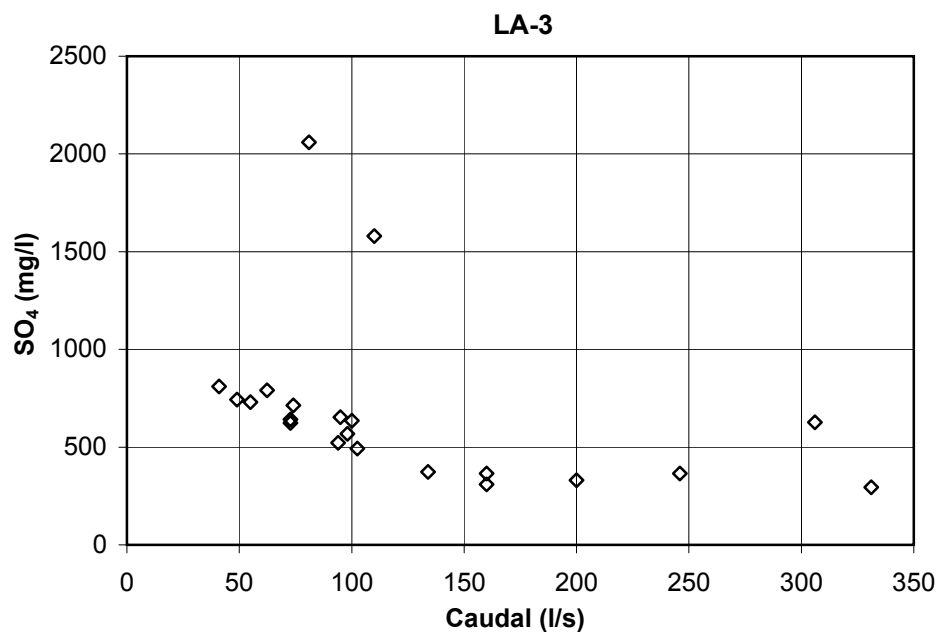
**Figura 2.2a Relación entre flujo de corriente y Al en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (Mayo 1999-Enero 2004)**



**Figura 2.2b Relación entre flujo de corriente y Fe en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (mayo 1999-enero 2004)**

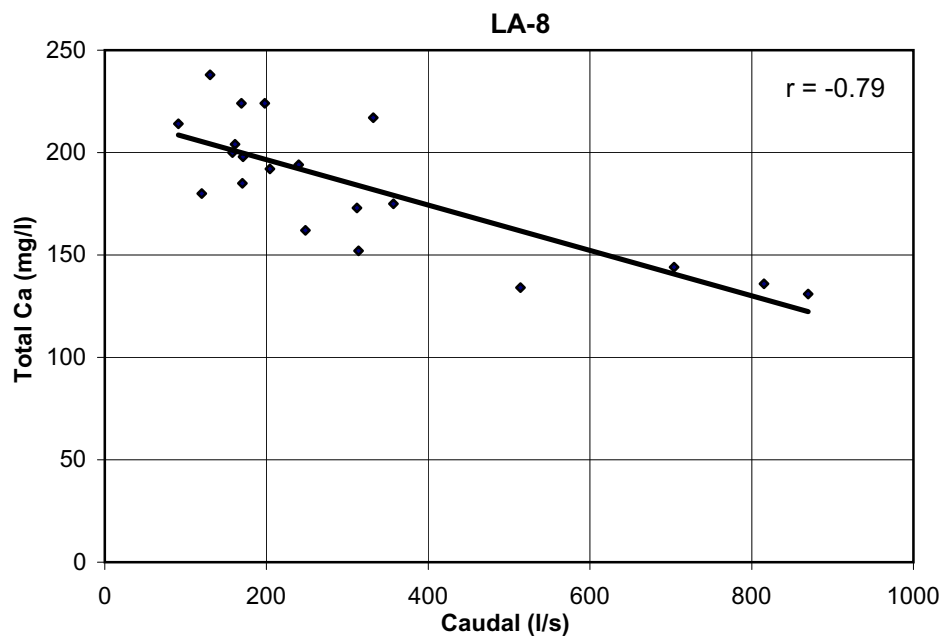
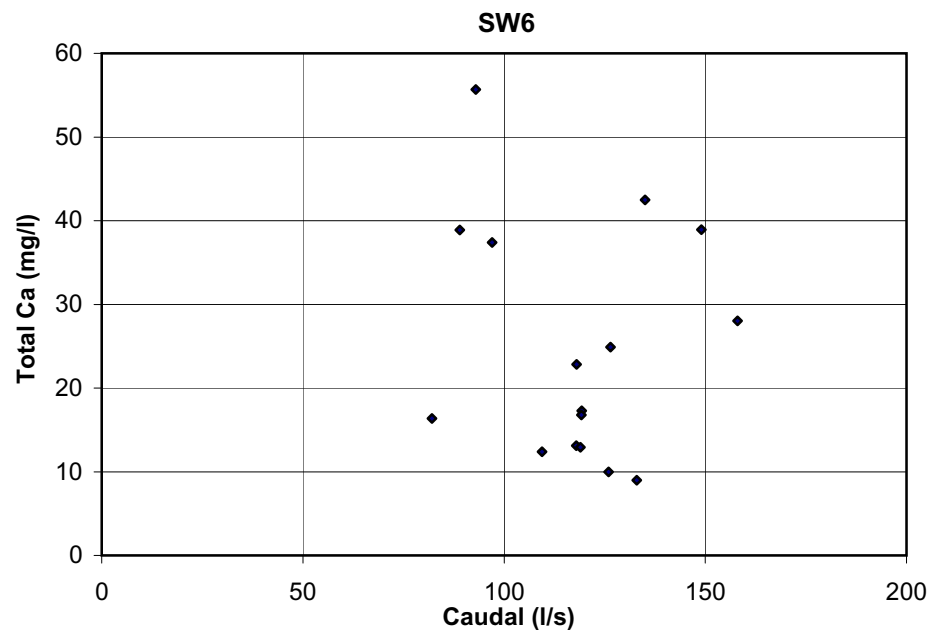


**Figura 2.2c Relación entre flujo de corriente y SO<sub>4</sub> en los sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (mayo 1999-enero 2004)**



LA-3 and LA-8: no data pairs excluded on the basis that they were outliers.

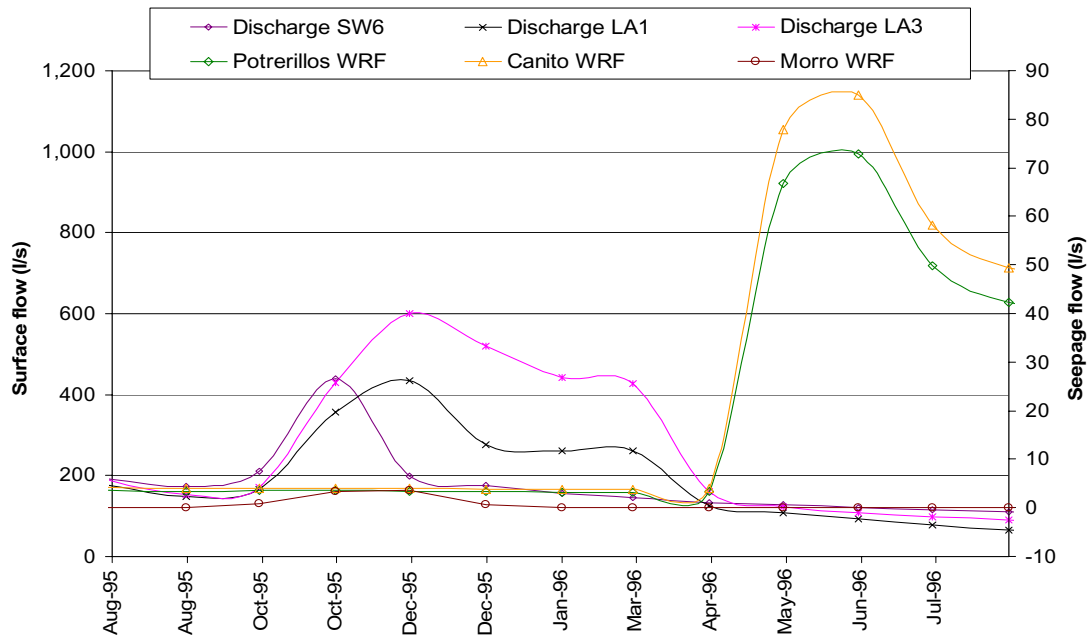
**Figure 2.2d Relación entre flujo de corriente y Ca en sitios de evaluación de impacto aguas abajo, usando datos de monitoreo de línea base (mayo 1999-enero 2004)**



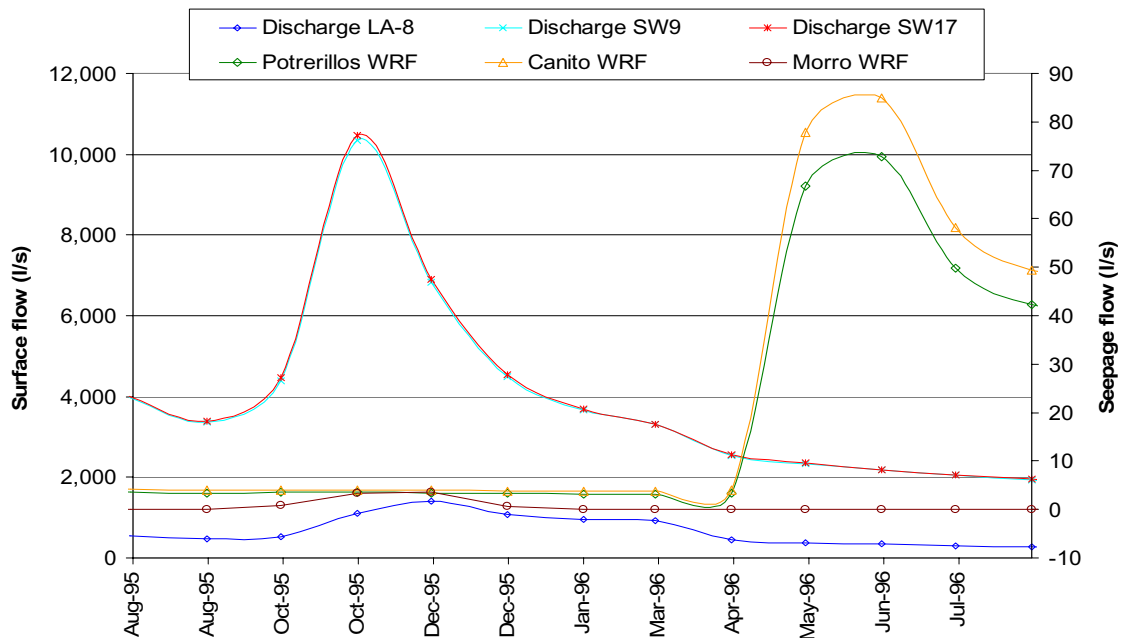
Data pairs excluded on the basis that they were outliers:  
 SW6: Sample of 4 Nov 2002 - Flow 119.4 l/s, Ca 248 mg/l; Sample of 13 Mar 2002 - Flow 99.5 l/s, Ca 115 mg/l; 5 Apr 2002 - Flow 78.8 l/s, Ca 99 mg/l  
 LA-8: no data pairs excluded

**Figura 2.4a-b Hidrográficos anuales que muestran un periodo de 12 meses durante el cual ocurre una contribución de filtración parcial máxima de escombrera en LA-8, SW-9 y SW-17**

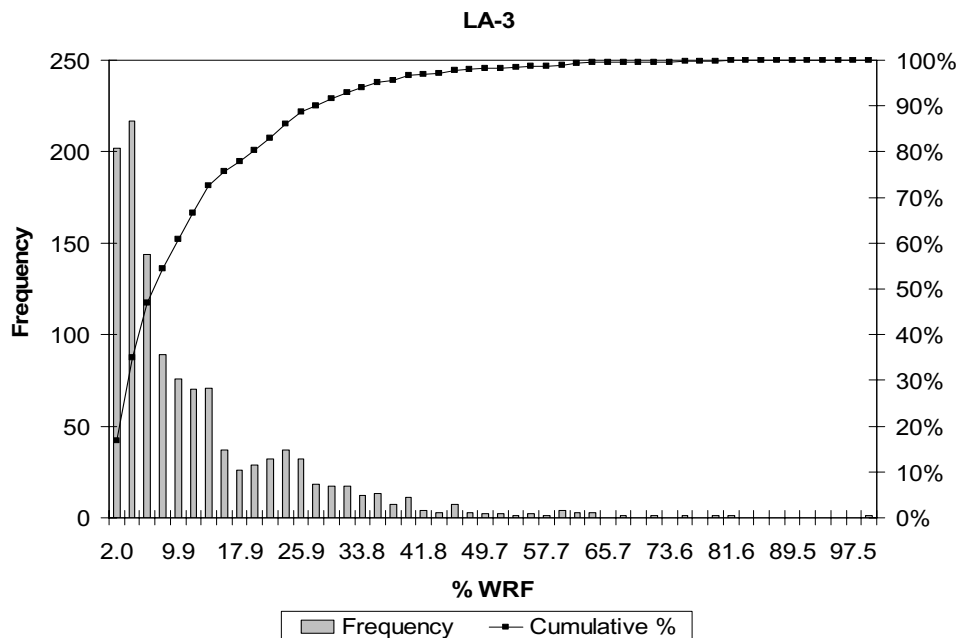
a)



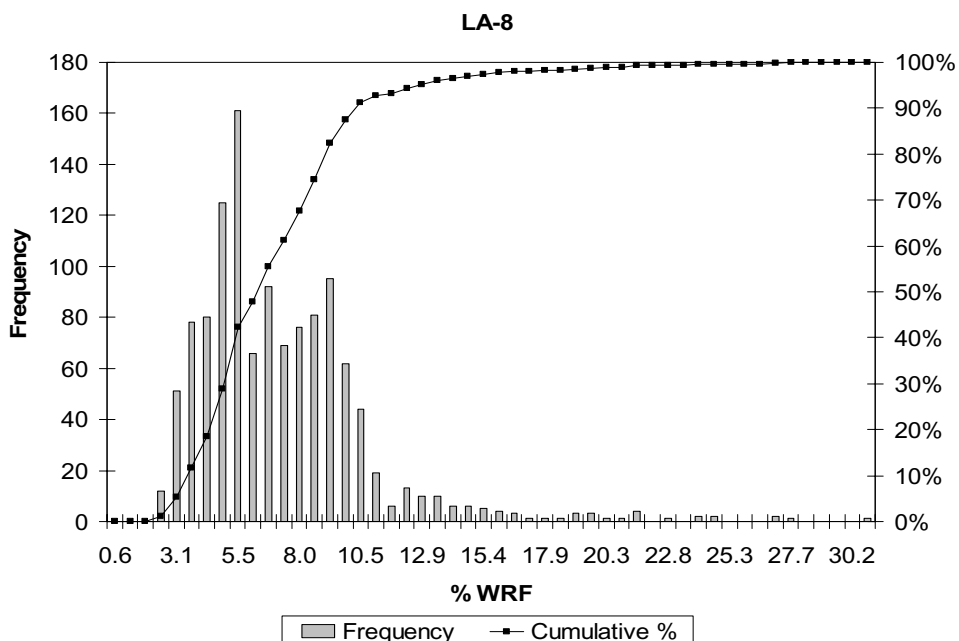
b)



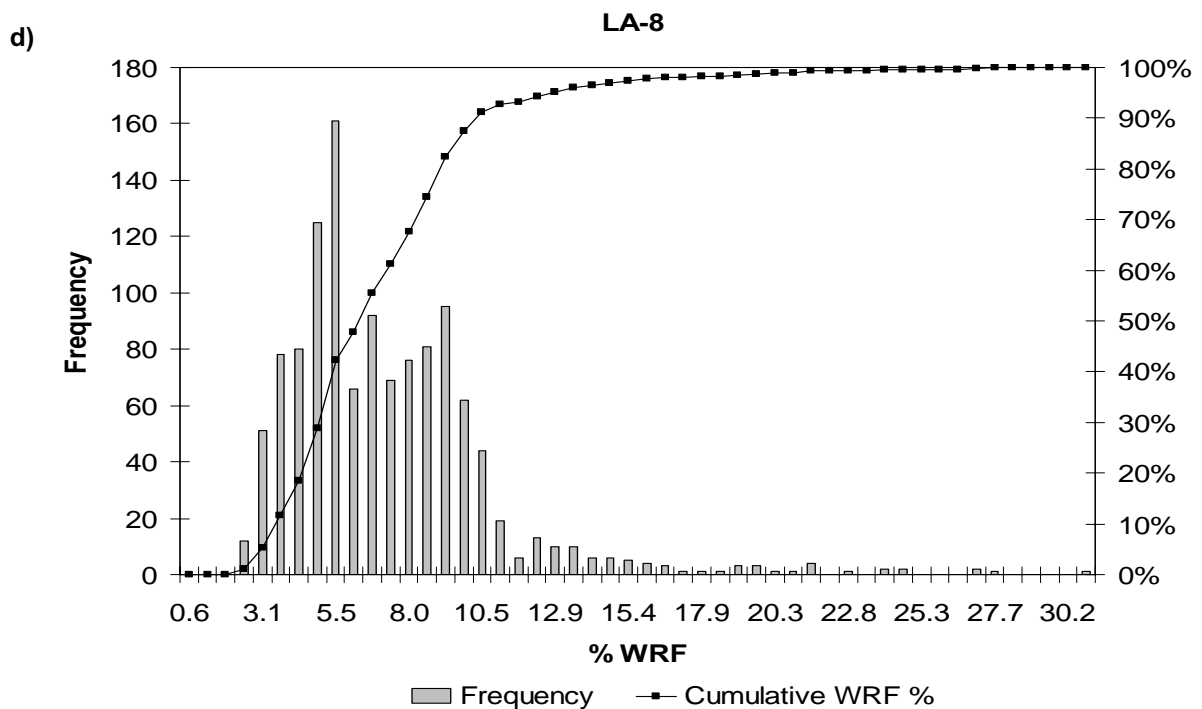
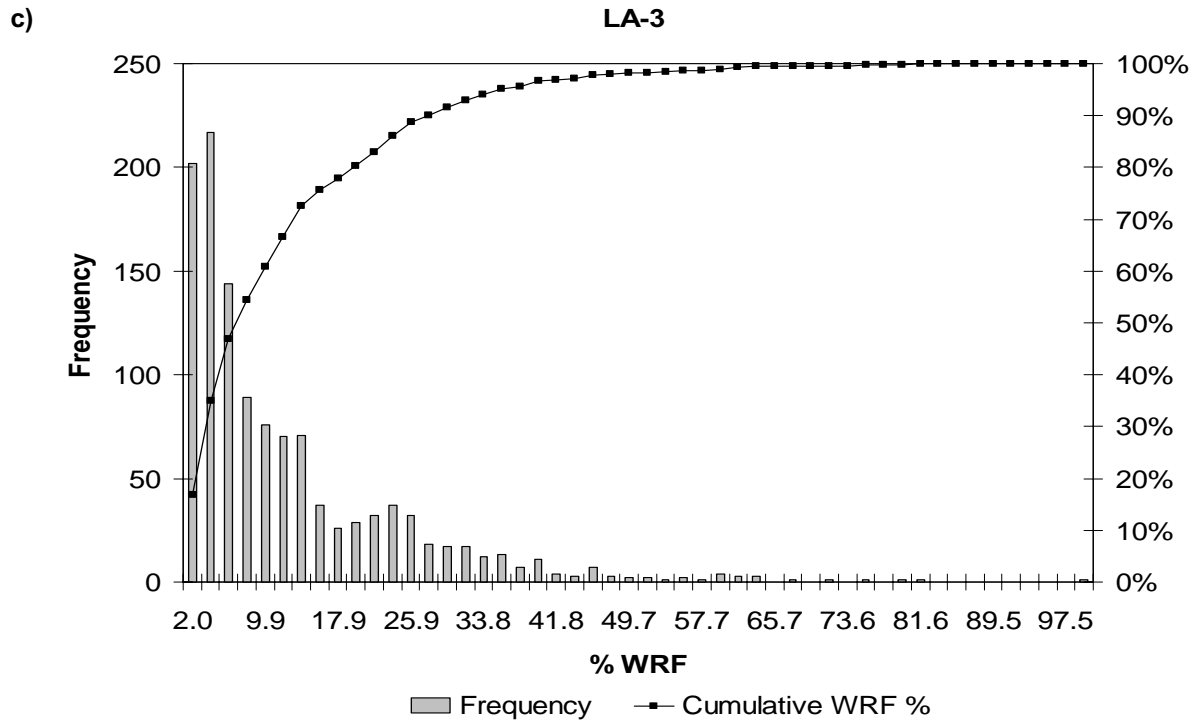
c)

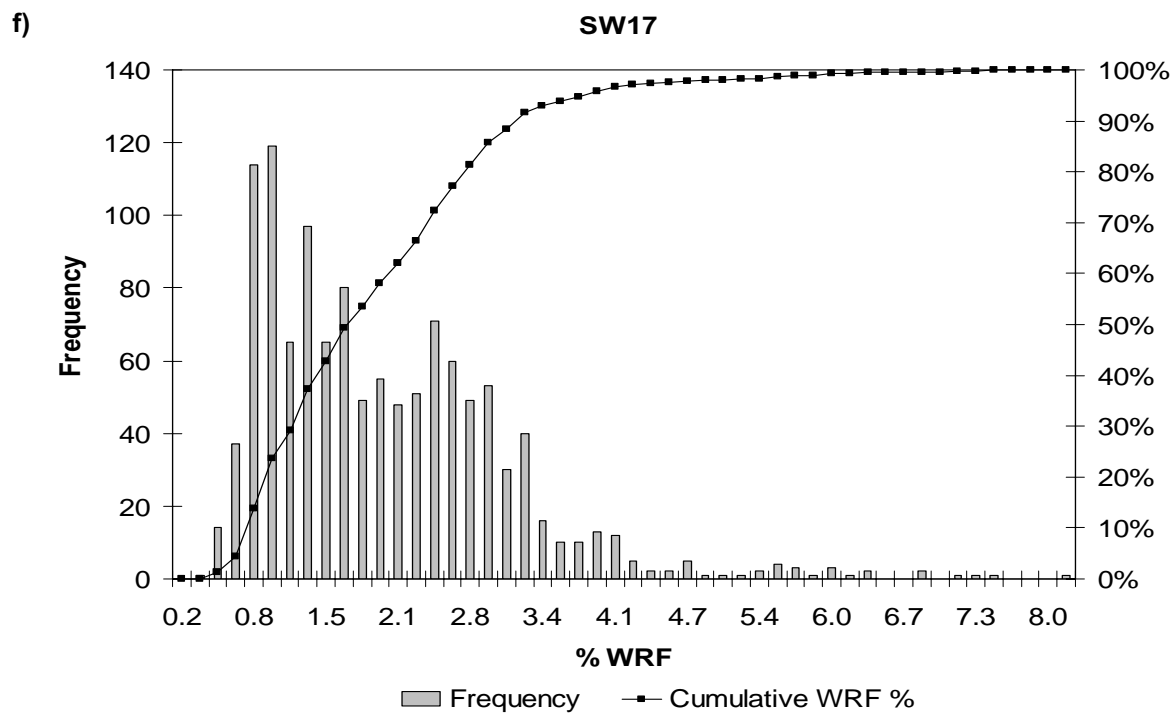
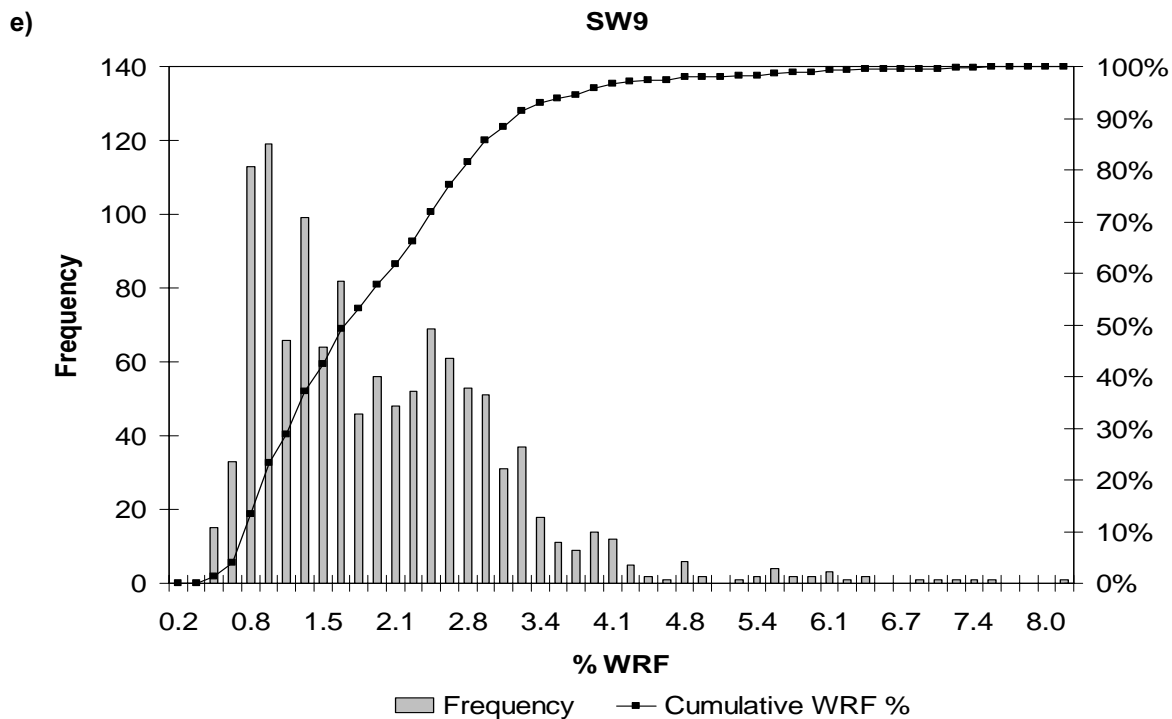


d)

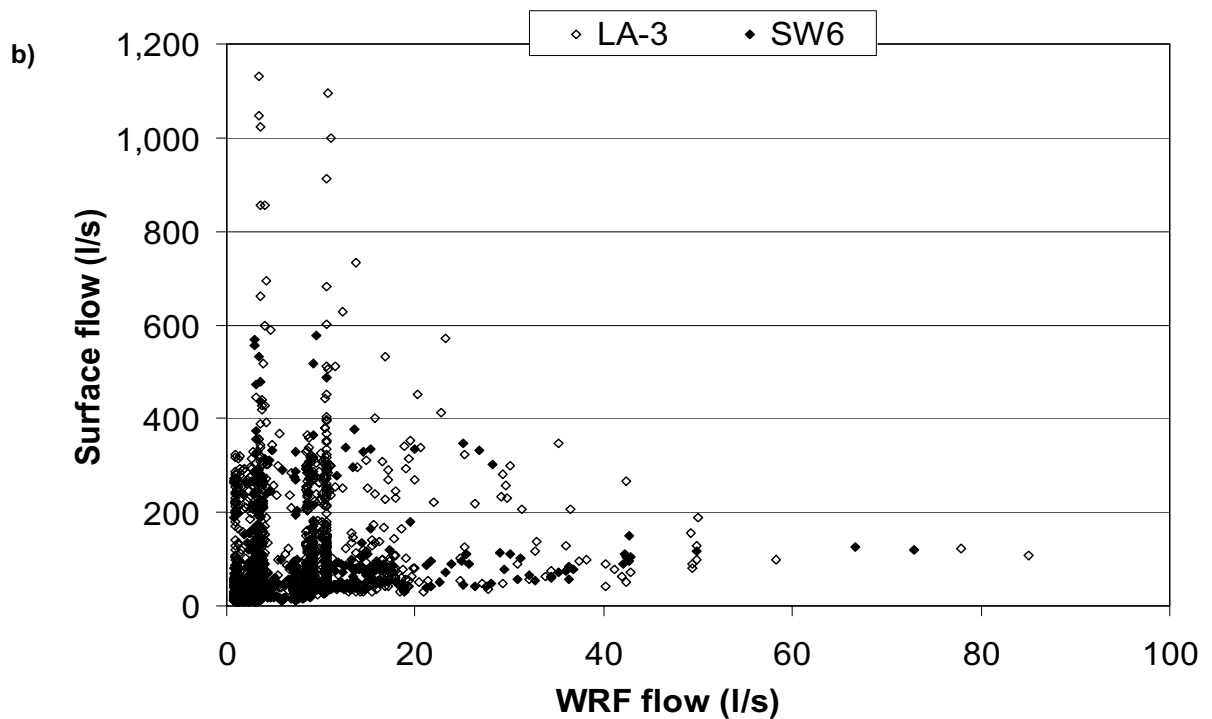
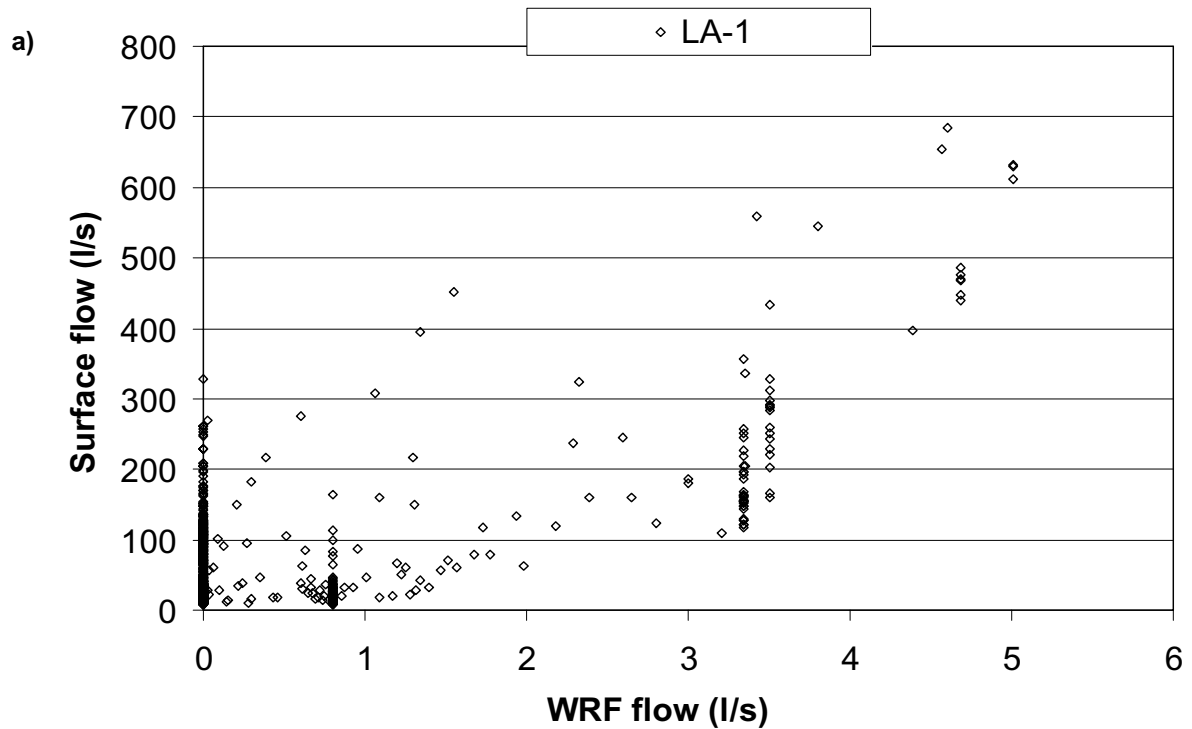


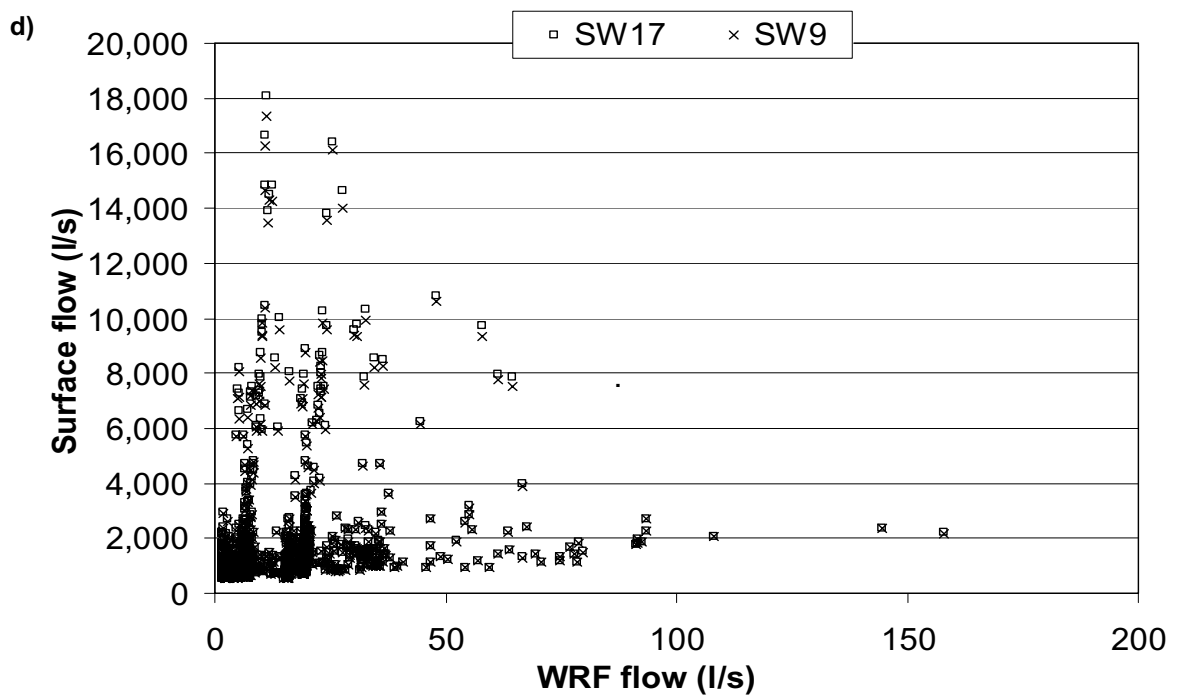
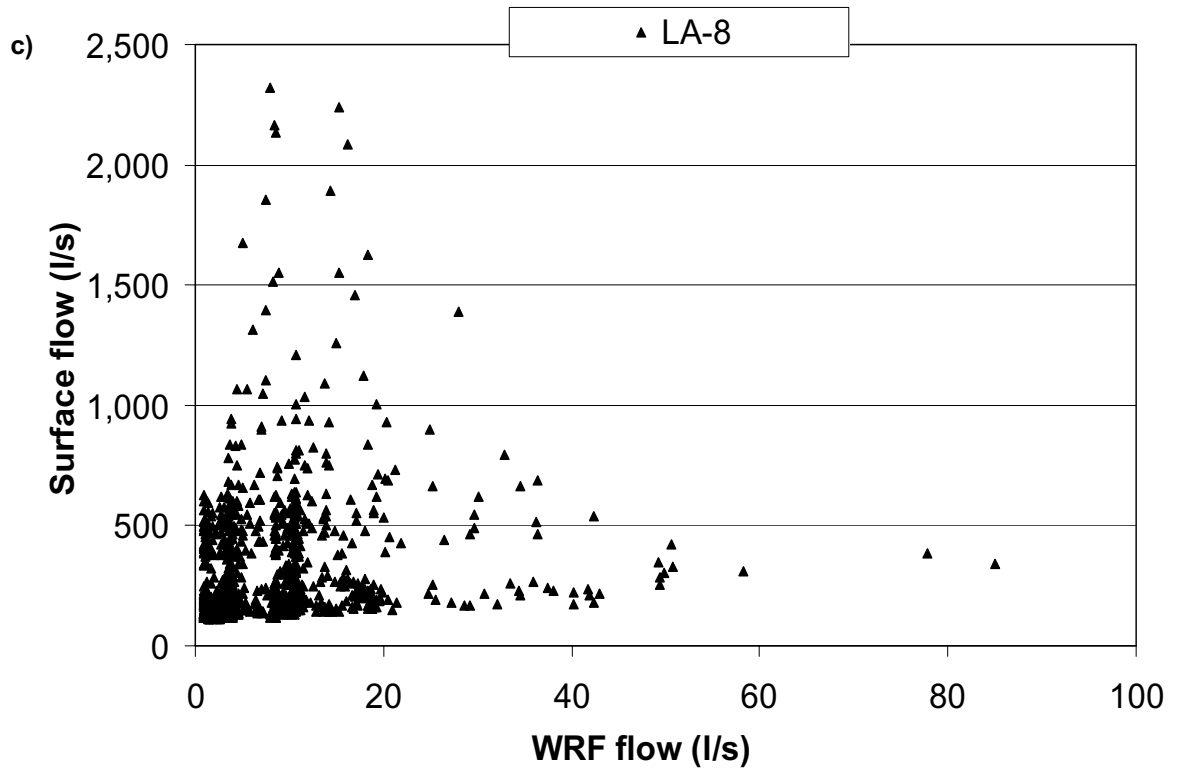






**Figuras 2.5a-d Relación entre filtración simulada mensual de  
escombrera y flujo de corriente mensual en los sitios de  
impacto agua abajo**





### 3.2.3 Impactos en SW-9 y SW-17

En SW-9 se predice que las condiciones de contribución de descarga parcial máxima de las escombreras inducirán una elevación neta de las concentraciones de la línea base de Co. En SW-17 se predice que estas condiciones inducirán una elevación neta de Co y Ni. El escenario correspondiente a la mediana de la contribución de descarga parcial de las escombreras está asociado con un incremento neto en las concentraciones de la línea base para Co, Cr, Pb, Ni, Se, Tl y Ti en ambas estaciones, a excepción de los dos últimos elementos que sólo se ven afectados en SW-17. Entre estos elementos el incremento neto (Cociente de Impacto) más alto es para Co en SW-17 (123%).

El hecho de que los escenarios definidos por la mediana de la contribución de descarga parcial desde las escombreras para SW-9 y SW-17 resulten en mayor incidencia de Cuocientes de Impacto >100% que bajo el escenario de máxima descarga parcial de las escombreras (Tabla 3.2), puede estar relacionada con las diferencias entre las químicas de descargas usadas en los cálculos para cada escenario. Los escenarios correspondientes a la mediana de la contribución parcial de las escombreras para SW-9 y SW-17 corresponden con caudales simulados de descarga de las escombreras para los múltiples depósitos de desecho contribuyentes de 7,56 y 7,70 l/s respectivamente. En contraste, la máxima contribución parcial de las escombreras para ambos sitios corresponde a un caudal de descarga simulado total de las escombreras de 156 l/s. Las químicas de descarga de escombreras elegidas para representar el caudal de descarga más alto (156l/s), contienen concentraciones de solutos más bajas que las elegidas para representar el caudal de descarga más bajo (7,70 l/s).

Es necesario enfatizar que los impactos predecidos para SW-9 y SW-17 están basados en un componente de descarga de las escombreras de Veladero pero no de la escombrera de El Morro, ya que éste último no posee descarga bajo ningún escenario de mediana de contribución parcial de la escombrera.

Tabla 3.1 Impactos predecidos en la química de las aguas

Analitos	SW-6					
	Química de las componentes de las aguas		Escenario 1: Máxima contribución de descarga parcial escombreras		Escenario2: Máxima contribución de descarga parcial escombreras	
	Línea base	Química de descarga de escombrera Potrerillos (PHREEQC)	Química: SW-6 + Descarga de escombrera	Impacto SW-6	Química: SW-6 + Descarga de escombrera	Impacto SW-6
	Promedio	en 5,6 l/s	(10,6 l/s)	(CI)	(50,1 l/s)	(CI)
	mg/l	mg/l	Mg/l	%	mg/l	%
Al	0,933	1,8	1,54	165	1,066	114
Sb	0,012	0,001	0,004	34	0,01	85
As	0,023	0,002	0,008	36	0,02	86
Ba	0,056	0,05	0,052	93	0,055	98
Be	0,003	0,0007	0,001	46	0,003	88
Bi	0,012	0,0002	0,004	31	0,01	85
Cd	0,002	0,0001	0,001	33	0,002	85
Ca	112	2	35,3	32	95	85
Co	0,004	0,2	0,141	3290	0,034	798
Cu	0,008	0,01	0,009	118	0,008	104
Cl	4,36	0,7	1,81	41	3,8	87
Cr	0,017	0,003	0,007	42	0,015	87
F	0,604	0,15	0,287	48	0,534	89
Fe	1,33	0,02	0,418	31	1,13	85
Pb	0,008	0,01	0,009	121	0,008	105
Mg	17,3	0,16	5,36	31	14,7	85
Mn	0,44	0,21	0,281	63	0,409	92
Hg	0,001	0,0001	0,0002	44	0,0005	88
Mo	0,004	0,0003	0,0014	36	0,003	86
Ni	0,01	0,1	0,045	435	0,018	173
NO <sub>3</sub>	1,01	0,05	0,342	34	0,868	86
NO <sub>2</sub>	0,034	0,006	0,015	42	0,03	87
P	0,114	0,12	0,118	103	0,115	101
K	2,67	10,8	8,34	312	3,9	146
Se	0,004	0,001	0,0019	48	0,003	89
Si	6,62	-	-	-	-	-
Ag	0,002	-	-	-	-	-
Na	8,56	0,83	3,2	37	7,38	86
SO <sub>4</sub>	286	37,5	113	39	248	87
Sr	0,311	0,1	0,164	53	0,279	90
Tl	0,017	0,013	0,014	83	0,017	96
Sn	0,017	0,0002	0,005	31	0,015	85
Ti	0,026	0,02	0,022	84	0,025	97
V	0,014	0,001	0,005	35	0,012	86
Zn	0,032	0,1	0,079	246	0,043	132

Tabla 3.1 Impactos predecidos en la química de las aguas (continuación 1)

Análito	LA-1						
	Química de las componentes de las aguas			Escenario 1: Máxima contribución de descarga parcial escombreras		Escenario2: Máxima contribución de descarga parcial escombreras	
	Línea base	Química de descarga de escombrera El Morro (PHREEQC)		Química: LA-1 + Descarga de escombrera  (8,74 l/s)	Impacto LA-1  (CI)	Química: LA-1 + Descarga de escombrera  (26,3 l/s)	Impacto LA-1  (CI)
	Promedio	Año seco (retorno 7 años)	Año Normal				
	mg/l	mg/l	mg/l				
Al	221	162	43,6	215	98	221	100
Sb	0,0007	0,71	0,18	0,066	8980	0,0007	100
As	0,211	0,02	0,012	0,193	92	0,211	100
Ba	0,071	0,002	0,003	0,065	91	0,071	100
Be	0,002	0,265	0,069	0,026	1129	0,002	100
Bi	0,0024	-	-	-	-	-	-
Cd	0,033	0,21	0,055	0,05	148	0,033	100
Ca	257	256	344	257	100	257	100
Co	0,118	1	0,27	0,198	169	0,118	100
Cu	10,8	3,42	0,89	10,1	94	10,8	100
Cl	9,4	373	367	42,7	455	9,4	100
Cr	0,043	0,374	0,098	0,073	171	0,043	100
F	0,435	0,51	0,5	0,44	102	0,435	100
Fe	264	3,18	1,79	240	91	264	100
Pb	0,087	1,48	0,41	0,215	247	0,087	100
Mg	43,7	865	363	119	272	43,7	100
Mn	10,8	157	41	24,2	224	10,8	100
Hg	0,0002	0,011	0,003	0,001	678	0,0002	100
Mo	0,001	0,17	0,04	0,016	1649	0,001	100
Ni	0,097	1,36	0,36	0,212	220	0,097	100
NO <sub>3</sub>	1,83	74,1	72,9	8,45	463	1,83	100
NO <sub>2</sub>	0,007	-	-	-	-	-	-
P	0,704	0,37	0,22	0,67	96	0,704	100
K	6,74	0,000004	0,00002	6,1	91	6,74	100
Se	0,007	0,16	0,04	0,021	312	0,007	100
Si	43,7	4,31	4,37	40,1	92	43,7	100
Ag	0,001	0,048	0,013	-	-	0,001	100
Na	10,6	34,65	9,04	12,8	121	10,6	100
SO <sub>4</sub>	2248	4556	1852	2460	109	2248	100
Sr	1	11,89	59	2	199	1	100
Tl	0,0006	-	-	-	-	-	-
Sn	0,0029	0,132	0,035	0,015	512	0,0029	100
Ti	0,032	12,23	3,24	1,15	3567	0,032	100
V	0,036	0,1	0,03	0,042	116	0,036	100
Zn	7,48	31,82	8,3	9,71	130	7,48	100

Tabla 3.1 Impactos predecidos en la química de las aguas (continuación 2)

Análito	LA-3						
	Química de las componentes de las aguas			Escenario 1: Máxima contribución de descarga parcial escombreras		Escenario2: Máxima contribución de descarga parcial escombreras	
	Línea base	Química de descarga de escombrera Canito (PHREEQC)		Química: LA-3 Descarga de escombrera (40,4 l/s)	Impacto LA-3 (CI)	Química: LA-3 + Descarga de escombrera (63,2 l/s)	Impacto LA-3 (CI)
	Promedio	en 29,9 l/s	en 3,7 l/s	mg/l	%	mg/l	%
	mg/l	mg/l	mg/l				
Al	6,36	2,8	2,3	2,818	44	6,095	96
Sb	0,0005	0,0001	0,001	0	21	0,0005	107
As	0,021	0,001	0,003	0,001	3	0,02	94
Ba	0,039	0,06	0,05	0,06	154	0,0395	102
Be	0,001	0,0002	0,001	0	20	0,001	100
Bi	0,0004	0,00002	0,0001	0	6	0,0004	95
Cd	0,003	0,0001	0,0004	0	2	0,003	94
Ca	174	0,2	2,2	1,09	1	162	94
Co	0,004	0,01	0,08	0,01	226	0,009	213
Cu	0,109	0,03	0,3	0,03	28	0,122	112
Cl	3,87	0,08	0,68	0,099	3	3,66	95
Cr	0,011	0,01	0,1	0,01	91	0,017	153
F	0,69	0,08	0,66	0,083	12	0,69	100
Fe	7,36	0,03	0,02	0,068	1	6,88	93
Pb	0,023	0,01	0,1	0,01	44	0,028	122
Mg	21,7	0,04	0,36	0,151	1	20,3	94
Mn	2,15	0,09	0,75	0,101	5	2,06	96
Hg	0,0002	0	0,0002	0	1	0,0002	101
Mo	0,0013	0,0002	0,001	0	16	0,001	99
Ni	0,02	0,02	0,1	0,02	101	0,025	127
NO <sub>3</sub>	0,962	0,01	0,1	0,015	2	0,91	94
NO <sub>2</sub>	0,007	0,001	0,007	0,001	14	0,007	100
P	0,215	0,04	0,13	0,041	19	0,209	97
K	4,1	7,3	10,5	7,3	178	4,52	110
Se	0,003	0,001	0,03	0,001	33	0,005	157
Si	22,6	-	-	-	-	-	-
Ag	0,001	-	-	-	-	-	-
Na	9,64	0,09	0,71	0,1	1	9,1	94
SO <sub>4</sub>	590	35	42	37,5	6	554	94
Sr	0,324	0,02	0,15	0,022	7	0,312	96
Tl	0,001	0,002	0,019	0,002	342	0,002	308
Sn	0,002	0,0001	0,001	0,0001	5	0,002	96
Ti	0,014	0,01	0,04	0,005	36	0,016	112
V	0,001	0,0004	0,003	0	29	0,002	108
Zn	0,419	0,1	0,4	0,052	12	0,417	100



Tabla 3.1 Impactos predecidos en la química de las aguas (continuación 3)

LA-8									
Análito	Química de las componentes de las aguas					Escenario 1: Máxima contribución de descarga parcial escombreras		Escenario2: Máxima contribución de descarga parcial escombreras	
	Línea base	Química de descarga de escombrera Canito (PHREEQC)		Química de descarga de escombrera El Morro (PHREEQC)		Química LA-8 + descarga de escombrera  (total 343 l/s)	Impacto LA-8  (CI)	Hidroquímica: LA- 8 + Descarga de escombrera  (total 177 l/s)	Impacto LA-8  (CI)
	Prom.	en 29,9 l/s	en 3,7 l/s	Año húmedo (retorno 10 años)	(año normal)				
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l	%
Al	61,426	2,8	2,3	17,6	43,6	46,883	76	60,068	98
Sb	0,001	0,0001	0,001	0,07	0,18	0,001	78	0,001	100
As	0,084	0,001	0,003	0,01	0,012	0,063	75	0,082	98
Ba	0,234	0,06	0,05	0,004	0,003	0,191	82	0,229	98
Be	0,002	0,0002	0,001	0,026	0,069	0,002	78	0,002	99
Bi	0,756	0,00002	0,0001	-	-	0,568	75	0,739	98
Cd	0,009	0,0001	0,0004	0,02	0,055	0,007	75	0,009	98
Ca	186	0,2	2,2	395	344	140	75	182	98
Co	0,041	0,01	0,08	0,1	0,27	0,033	81	0,042	102
Cu	2,78	0,03	0,3	0,33	0,89	2,1	75	2,724	98
Cl	17,9	0,08	0,68	366	367	13,5	75	17,5	98
Cr	0,024	0,01	0,1	0,04	0,098	0,02	86	0,025	107
F	0,679	0,08	0,66	0,5	0,5	0,53	78	0,678	100
Fe	45,7	0,03	0,02	1,22	1,79	34,34	75	44,6	98
Pb	0,056	0,01	0,1	0,16	0,41	0,044	80	0,057	102
Mg	25,9	0,04	0,36	251	363	19,5	75	25,3	98
Mn	4,54	0,09	0,75	15,1	41	3,44	76	4,46	98
Hg	0,0004	0	0,0002	0,001	0,003	0,0003	75	0,0004	99
Mo	0,002	0,0002	0,001	0,02	0,04	0,0014	78	0,002	99
Ni	0,051	0	0,1	0,13	0,36	0,043	85	0,052	102
NO <sub>3</sub>	1,39	0,01	0,1	72,7	72,9	1,05	75	1,36	98
NO <sub>2</sub>	0,016	0,001	0,007	-	-	0,0124	77	0,016	99
P	0,27	0,04	0,13	0,17	0,22	0,213	79	0,266	99
K	4,89	7,3	10,5	0,00008	0,00002	5,49	112	5,02	103
Se	0,004	0,001	0,03	0,02	0,04	0,003	82	0,004	116
Si	34,4	0	0	4,39	4,37	25,83	75	33,56	98
Ag	0,002	-	-	0,01	0,013	-	-	-	-
Na	17	0,09	0,71	3	9,04	12,8	75	16,7	98
SO <sub>4</sub>	965	35	42	1328	1852	734	76	943	98
Sr	0,505	0,02	0,15	1,17	3,2	0,385	76	0,497	98
Tl	0,01	0,002	0,019	-	-	-	-	-	-
Sn	0,01	0,00009	0,001	0,01	0,035	0,0077	75	0,01	98
Ti	0,123	0,01	0,04	1,2	3,24	0,094	76	0,121	98
V	0,009	0,0004	0,003	0,01	0,03	0,007	76	0,009	98
Zn	2,32	0,1	0,4	3,07	8,3	1,757	76	2,276	98

Tabla 3.1 Impactos predecidos en la química de las aguas (continuación 4)

SW-9											
Análito	Química de las componentes de las aguas							Escenario 1: Máxima contribución de descarga parcial escombreras		Escenario2: Máxima contribución de descarga parcial escombreras	
	Línea base	Química de descarga de escombrera Potrerillos (PHREEQC)		Química de descarga de escombrera Canito (PHREEQC)		Química de descarga de escombrera El Morro (PHREEQC)		Química: SW-9 + descarga  (2178 l/s)	Impacto SW-9  %	Química: SW-9 + descarga  (866 l/s)	SW-9 Impacto  %
	Promedio	en 45,7 l/s	en 3,3 l/s	en 29,9 l/s	en 3,7 l/s	Año húmedo (retorno 10 años)	(año normal)				
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l				
Al	12,8	2,7	1,3	2,8	2,3	17,6	43,6	12,1	94	12,7	99
Sb	0,025	0,0001	0,001	0,0001	0,001	0,07	0,18	0,024	93	0,025	99
As	0,679	0,0003	0,004	0,001	0,003	0,01	0,01	0,629	93	0,673	99
Ba	0,108	0,06	0,05	0,06	0,05	0,004	0,003	0,105	97	0,107	100
Be	0,004	0,0001	0,001	0,0002	0,001	0,03	0,07	0,004	93	0,004	99
Bi	0,195	0,00003	0,0004	0,00002	0,0001	0	0	0,181	93	0,194	99
Cd	0,004	0,00001	0,0002	0,00005	0,0004	0,02	0,06	0,004	93	0,004	99
Ca	116	0,2	3,4	0,2	2,2	395	344	108	93	115	99
Co	0,011	0,03	0,5	0,01	0,08	0,1	0,27	0,012	105	0,013	121
Cu	0,566	0	0,04	0,03	0,3	0,33	0,89	0,526	93	0,562	99
Cl	145	0,09	1,2	0,08	0,68	366	367	135	93	144	99
Cr	0,028	0,0004	0,01	0,01	0,1	0,04	0,1	0,026	94	0,028	101
F	1,28	0,02	0,25	0,08	0,66	0,5	0,5	1,19	93	1,27	99
Fe	12,6	0,03	0,02	0,03	0,02	1,22	1,79	11,7	93	12,5	99
Pb	0,014	0,001	0,01	0,01	0,1	0,16	0,41	0,014	96	0,015	103
Mg	24,7	0,02	0,27	0,04	0,36	251	363	22,9	93	24,5	99
Mn	1,62	0,03	0,36	0,09	0,75	15,1	41	1,5	93	1,61	99
Hg	0,0003	0	0,0001	0	0,0002	0	0	0,0003	93	0,0003	100
Mo	0,005	0,00004	0,001	0,0002	0,001	0,02	0,04	0,005	93	0,005	99
Ni	0,016	0,01	0,1	0	0,1	0,13	0,36	0,016	100	0,017	105
NO <sub>3</sub>	1,03	0,01	0,08	0,01	0,1	72,7	72,9	0,954	93	1,02	99
NO <sub>2</sub>	0,039	0,001	0,01	0,001	0,007	0	0	0,037	93	0,039	99
P	0,381	0,02	0,14	0,04	0,13	0,17	0,22	0,355	93	0,379	99
K	20,3	7,4	14	7,3	10,5	0	0	19,4	95	20,2	100
Se	0,004	0,001	0,001	0,001	0,03	0,02	0,04	0,004	95	0,004	103
Si	6,85	-	-	-	0	4,39	4,37	-	-	-	-
Ag	0,003	-	-	-	-	0,005	0,013	-	-	-	-
Na	156	0,1	1,4	0,09	0,71	3,34	9,04	145	93	155	99
SO <sub>4</sub>	474	34,3	43	35	42	1328	1852	442	93	470	99
Sr	0,563	0,01	0,17	0,02	0,15	1,17	3,15	0,523	93	0,56	99
Tl	0,021	0,002	0,022	0,002	0,019	1,17	3,15	0,02	93	0,021	100
Sn	0,018	0,00003	0,0003	0	0,001	0,01	0,04	0,017	93	0,018	99
Ti	0,047	0,002	0,04	0,01	0,04	1,2	3,24	0,044	93	0,047	100
V	0,017	0,0002	0,002	0,0004	0,003	0,01	0,03	0,016	93	0,017	99
Zn	0,675	0,01	0,3	0,1	0,4	3,07	8,3	0,628	93	0,672	100

Tabla 3.1 Impactos predecidos en la química de las aguas (continuación 5)

SW-17											
Análito	Química de las componentes de las aguas							Escenario 1: Máxima contribución de descarga parcial escombreras		Escenario2: Máxima contribución de descarga parcial escombreras	
	Línea base  Prom.	Química de descarga de escombrera Potrerillos (PHREEQC)		Química de descarga de escombrera Canito (PHREEQC)		Química de descarga de escombrera El Morro (PHREEQC)		Química: SW-17 + descarga  (2189 l/s)	Impacto SW-17  (CI)	Química: SW-17 + descarga  (891 l/s)	Impacto SW-17  (CI)
		en 45,7 l/s	en 3,3 l/s	en 29,9 l/s	en 3,7 l/s	año húmedo (retorno 10 años)	año normal				
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l				
Al	12.6	2.7	1.3	2.80	2.3	17.610	43.6	11.853	94	12.468	99
Sb	0.035	0.0001	0.001	0.0001	0.001	0.07	0.18	0.032	93	0.034	99
As	0.677	0.0003	0.004	0.001	0.003	0.010	0.01	0.628	93	0.671	99
Ba	0.117	0.06	0.05	0.060	0.050	0.004	0.003	0.113	96	0.116	100
Be	0.002	0.0001	0.001	0.0002	0.001	0.03	0.07	0.002	93	0.002	100
Bi	0.008	0.00003	0.0004	0.00002	0.0001	-	-	0.007	93	0.008	99
Cd	0.005	0.00001	0.00020	0.0001	0.00040	0.020	0.055	0.004	93	0.005	99
Ca	108	0.20	3.4	0.2	2.20	395	344	101	93	107	99
Co	0.010	0.03	0.5	0.01	0.08	0.100	0.27	0.011	107	0.012	123
Cu	0.544	0.003	0.04	0.03	0.3	0.33	0.89	0.506	93	0.541	99
Cl	126	0.09	1.2	0.08	0.68	366	367	117	93	125	99
Cr	0.020	0.0004	0.01	0.01	0.100	0.04	0.10	0.019	95	0.021	102
F	1.32	0.02	0.25	0.08	0.66	0.50	0.50	1.23	93	1.31	99
Fe	10.8	0.03	0.02	0.030	0.02	1.22	1.79	10.0	93	10.7	99
Pb	0.014	0.001	0.010	0.01	0.10	0.16	0.41	0.014	96	0.015	103
Mg	21.5	0.0	0.27	0.04	0.36	251	363	19.9	93	21.3	99
Mn	1.21	0.03	0.36	0.09	0.75	15.1	41.0	1.12	93	1.20	100
Hg	0.0005	0	0.0001	0	0.0002	0.001	0.003	0.0004	93	0.0005	99
Mo	0.005	0.00004	0.001	0.0002	0.0010	0.02	0.04	0.004	93	0.005	99
Ni	0.006	0.01	0.10	0.02	0.1	0.13	0.36	0.007	111	0.007	113
NO <sub>3</sub>	1.68	0.01	0.08	0.01	0.10	72.7	72.9	1.55	93	1.66	99
NO <sub>2</sub>	0.025	0.001	0.01	0.00	0.007	-	-	0.024	93	0.025	99
P	0.440	0.02	0.14	0.04	0.13	0.17	0.22	0.411	93	0.438	99
K	17.7	7.4	14.0	7.3	10.5	0.00008	0.00002	17.0	96	17.7	100
Se	0.004	0.001	0.001	0.00	0.030	0.02	0.04	0.004	95	0.004	103
Si	20.1	-	-	-	-	4.39	4.37	-	-	-	-
Ag	0.002	-	-	-	-	0.005	0.013	-	-	-	-
Na	137	0.10	1.4	0.09	0.71	3.34	9.04	127	93	136	99
SO <sub>4</sub>	428	34.3	43	35	42	1328	1852	400	93	425	99
Sr	0.611	0.01	0.17	0.02	0.15	1.17	3.15	0.568	93	0.607	99
Tl	0.014	0.002	0.022	0.0020	0.019	-	-	0.013	94	0.014	100
Sn	0.010	0.00003	0.0003	0.0001	0.001	0.013	0.035	0.009	93	0.010	99
Ti	0.025	0.002	0.04	0.01	0.04	1.20	3.24	0.024	94	0.025	101
V	0.023	0.0002	0.002	0.0004	0.003	0.01	0.03	0.021	93	0.022	99
Zn	0.488	0.01	0.3	0.05	0.4	3.07	8.30	0.455	93	0.486	100

**Tabla 3.2 Resumen de impactos negativos predecidos aguas abajo, para la máxima y mediana descarga parcial de las escombreras**

Analito	Escenario de sitio y contribución parcial de las escombreras											
	SW-6		LA-1		LA-3		LA-8		SW-9		SW-17	
	Máy	Mediana	Máy	Mediana	Máy	Mediana	Máy	Mediana	Máy	Mediana	Máy	Mediana
Al	165	114	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb	-	-	8980	-	-	107	-	-	-	-	-	-
As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-	154	102	-	-	-	-	-	-
Be	-	-	1129	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	148	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	3290	798	169	-	226	213	-	102	105	121	107	123
Cu	118	104	-	-	-	112	-	-	-	-	-	-
Cl	-	-	455	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	-	-	171	-	-	153	-	107	-	101	-	102
F	-	-	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	121	105	247	-	-	122	-	102	-	103	-	103
Mg	-	-	272	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	224	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hg	-	-	678	-	-	101	-	-	-	-	-	-
Mo	-	-	1649	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	435	173	220	-	101	127	-	102	-	105	111	113
NO <sub>3</sub>	-	-	463	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO <sub>2</sub>	-	-	‡	‡	-	100	-	-	-	-	-	-
P	103	101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	312	146	-	-	178	110	112	103	-	-	-	-
Se	-	-	312	-	-	157	-	116	-	103	-	103
Si	‡	‡	-	-	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
Ag	‡	‡	539	-	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡

Nota: ‡ Cuociente de impacto no determinado porque la concentración de PHREEQC de este elemento/compuesto no está disponible para una o más escombreras.

**Tabla 3.2 Resumen de impactos negativos predecidos aguas abajo, para la máxima y mediana descarga parcial de las escombreras (continuación)**

Analito	Escenario de sitio y contribución parcial de escombreras											
	SW-6		LA-1		LA-3		LA-8		SW-9		SW-17	
	Máx	Mediana	Máx	Mediana	Máx	Mediana	Máx	Mediana	Máx	Mediana	Máx	Mediana
Na	-	-	121	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub>	-	-	109	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	199	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl	-	-	-	-	342	308	-	-	-	-	-	100
Sn	-	-	512	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ti	-	-	3567	-	-	112	-	-	-	-	-	101
V	-	-	116	-	-	108	-	-	-	-	-	-
Zn	246	132	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: <sup>‡</sup> Cuociente de impacto no determinado porque la concentración de PHREEQC de este elemento/compuesto no está disponible para una o más escombreras.

### 3.3 Predicción de impacto para la descarga parcial máxima desde El Morro

Los resultados de los algoritmos del cálculo de impactos de mezcla que se describen en la Sección 2.4 se muestran en la Tabla 3.3. La Tabla 3.4 proporciona un resumen de los parámetros de la calidad de agua que se predice que mostrarán impactos negativos (Cuociente de impacto mayor que 100) como resultado de la descarga de las escombreras bajo una o más razones de interacción agua-roca modeladas y escenarios de caudal de descarga.

Como se describe en la Sección 3.2.1, las condiciones de máxima contribución de descarga parcial de las escombreras en el sitio LA-1 se predice que inducirán una elevación neta de las concentraciones base de Sb, Be, Cd, Co, Cl, Cr, F, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, NO<sub>3</sub>, Se, Ag, Na, SO<sub>4</sub>, Sr, Sn, Ti, V y Zn. En los casos de Sb, Be, Mo y Ti, el Cuociente de Impacto es mayor que 1000%.

En LA-8, receptor de descarga desde las escombreras de Veladero Norte y El Morro, se predice que los elementos que incrementarán su concentración son similares a los identificados para el sitio LA-1. La diferencia principal entre los eventos de máxima contribución de descarga parcial para El Morro en los sitios LA-1 y LA-8 es que se predice un incremento neto en las concentraciones de Na, SO<sub>4</sub>, Sn, V y Zn en LA-1, mientras que se predice una reducción neta en la concentración de estos analitos para LA-8. La magnitud de los impactos aguas abajo asociados con un evento de máxima contribución de descarga parcial para El Morro en LA-8 es menor que aquella observada para el evento equivalente en LA-1. El máximo incremento neto de concentración en LA-8 es para Sb (156%).

Los impactos en SW-9 y SW-17 son comparables. Esto se refleja en el hecho de que ambos están posicionados en Río de las Taguas, entre su confluencia con el Arroyo Turbio y el Arroyo de los Amarillos, agua abajo de las tres escombreras que están bajo consideración en este informe. Las diferencias entre los dos sitios pueden ser atribuidas a las diferencias en la química de la línea base. Bajo el evento de máxima contribución de descarga parcial para El Morro, se predice un incremento neto en las concentraciones de Be, Co, Cu, Cr, F, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni, NO<sub>2</sub>, P, K, Se, Sr, Ti, y Zn tanto en SW-9 como en SW-17. Entre estos analitos, el incremento mayor es para Ni en SW-17 (138%). Los incrementos netos adicionales en SW-17 están relacionados con Al, Sb, Cd, Ca, Cl, Mg, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> y Sn, aunque el cuociente de impacto mayor para estos elementos es para NO<sub>3</sub> (104%).

Tabla 3.3 Impactos predecidos en la química de las aguas

LA-1				
Análito	Química de las componentes de las aguas		Máxima contribución de descarga parcial escombrera El Morro	
	Línea base	Química de descarga de escombrera El Morro (PHREEQC)	Química: LA-1 + descarga de escombrera	Impacto LA-1
	Promedio	Año seco (retorno 7 años)	(8.74 l/s)	(CI)
	mg/l	mg/l	mg/l	%
Al	221	162	215	98
Sb	0,0007	0,71	0,066	8980
As	0,211	0,02	0,193	92
Ba	0,071	0,002	0,065	91
Be	0,0023	0,265	0,026	1129
Bi	0,0024	-	-	-
Cd	0,033	0,21	0,05	148
Ca	257	256	257	100
Co	0,118	1	0,198	169
Cu	10,8	3,42	10,095	94
Cl	9,4	373	42,7	455
Cr	0,043	0,374	0,073	171
F	0,435	0,51	0,44	102
Fe	264	3,18	240	91
Pb	0,087	1,48	0,215	247
Mg	43,7	865	119	272
Mn	10,8	157	24,2	224
Hg	0,0002	0,011	0,001	678
Mo	0,001	0,17	0,016	1649
Ni	0,097	1,36	0,212	220
NO <sub>3</sub>	1,83	74,1	8,45	463
NO <sub>2</sub>	0,007	-	-	-
P	0,704	0,37	0,673	96
K	6,74	0,000004	6,12	91
Se	0,0066	0,16	0,021	312
Si	43,7	4,31	40,1	92
Ag	0,001	0,048	0,01	539
Na	10,6	34,7	12,8	121
SO <sub>4</sub>	2248	4556	2460	109
Sr	1	11,89	2	199
Tl	0,0006	-	-	-
Sn	0,0029	0,132	0,015	512
Ti	0,0323	12,23	1,15	3567
V	0,0361	0,1	0,04	116
Zn	7,48	31,82	9,71	130

Tabla 3.3 Impactos predecidos en la química de las aguas (continuación 1)

LA-8					
Analito	Química de las componentes de las aguas			Máxima contribución de descarga parcial de escombrera El Morro	
	Línea base	Química de descarga de escombrera El Morro (PHREEQC)	Química de descarga de escombrera Canito (PHREEQC)	Química: LA-8 + descarga de escombrera (394,6 l/s)	Impacto LA-8 (CI)
	Promedio	Año húmedo (retorno 10 años)	en 2,2 l/s		
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Al	61,4	59,1	2,2	60,7	61,4
Sb	0,001	0,23	0,001	0,002	0,001
As	0,084	0,034	0,006	0,082	0,084
Ba	0,234	0,013	0,04	0,231	0,234
Be	0,002	0,087	0,002	0,002	0,002
Bi	0,756	-	0,0002	-	0,756
Cd	0,009	0,067	0,0007	0,009	0,009
Ca	186	1325	3,7	187	186
Co	0,041	0,34	0,1	0,042	0,041
Cu	2,78	1,11	0,4	2,75	2,78
Cl	17,9	1228	1,16	20,7	17,9
Cr	0,024	0,12	0,1	0,024	0,024
F	0,679	1,68	1,13	0,679	0,679
Fe	45,7	4,09	0,02	45	45,7
Pb	0,056	0,54	0,1	0,057	0,056
Mg	25,9	842	0,62	27,7	25,9
Mn	4,54	50,6	1,27	4,61	4,54
Hg	0,0004	0,0034	0,0003	0,0004	0,0004
Mo	0,0018	0,067	0,003	0,002	0,0018
Ni	0,051	0,436	0,2	0,052	0,051
NO <sub>3</sub>	1,39	244	0,17	1,99	1,39
NO <sub>2</sub>	0,016	-	0,01	-	0,016
P	0,27	0,57	0,15	0,268	0,27
K	4,89	0,0003	13,6	4,89	4,89
Se	0,004	0,0671	0,05	0,004	0,004
Si	34,4	14,7	-	-	34,4
Ag	0,002	0,02	-	-	0,002
Na	17	11,2	1,21	16,8	17
SO <sub>4</sub>	965	4454	49,9	963	965
Sr	0,505	3,92	0,26	0,509	0,505
Tl	0,0095	-	0,031	-	0,0095
Sn	0,0102	0,04	0,001	0,01	0,0102
Ti	0,123	4,02	0,069	0,132	0,123
V	0,009	0,034	0,005	0,009	0,009
Zn	2,32	10,3	0,7	2,32	2,32



Tabla 3.3 Impactos predecidos en la química de las aguas (continuación 2)

SW-9						
Análito	Química de las componentes de las aguas				Máxima contribución de descarga parcial de escombrera El Morro	
	Línea base	Química de descarga de escombrera El Morro (PHREEQC)	Química de descarga de escombrera Potrerillos (PHREEQC)	Química de descarga de escombrera Canito (PHREEQC)	Química: SW-9 + Descarga	Impacto SW-
		Año normal	en 0.49 l/s	en 0.32 l/s	(1404.8 l/s)	(CI)
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Al	12,8	43,6	4	10,6	12,8	43,6
Sb	0,025	0,18	0,01	0,01	0,025	0,18
As	0,679	0,012	0,028	0,04	0,679	0,012
Ba	0,108	0,003	0,01	0,01	0,108	0,003
Be	0,004	0,07	0,01	0,02	0,004	0,07
Bi	0,195	0	0	0	0,195	0
Cd	0,004	0,055	0,001	0,005	0,004	0,055
Ca	116	344	23	25	116	344
Co	0,011	0,27	3,4	0,9	0,011	0,27
Cu	0,566	0,89	0,3	3,7	0,566	0,89
Cl	145	367	8	8	145	367
Cr	0,028	0,1	0,03	1,2	0,028	0,1
F	1,28	0,5	1,67	7,63	1,28	0,5
Fe	12,6	1,79	0,01	0,01	12,6	1,79
Pb	0,014	0,41	0,1	1,1	0,014	0,41
Mg	24,7	363	2	4	24,7	363
Mn	1,616	41	2,5	8,6	1,616	41
Hg	0,0003	0,003	0,001	0,002	0,0003	0,003
Mo	0,005	0,04	0	0,02	0,005	0,04
Ni	0,016	0,36	0,6	1,9	0,016	0,36
NO <sub>3</sub>	1,028	72,9	0,5	1,1	1,028	72,9
NO <sub>2</sub>	0,039	0	0,1	0,1	0,039	0
P	0,381	0,2	0,7	0,7	0,381	0,2
K	20,3	0	77,7	77,4	20,3	0
Se	0,004	0	0	0,4	0,004	0
Si	6,852	4,4	-	-	6,852	4,4
Ag	0,003	0,013	-	-	0,003	0,013
Na	156	9	9,6	8,2	156	9
SO <sub>4</sub>	474	1852	211	270	474	1852
Sr	0,563	3,2	1,1	1,8	0,563	3,2
Tl	0,021	-	0,1	0,2	0,021	-
Sn	0,018	0	0	0	0,018	0
Ti	0,047	3,2	0,3	0,5	0,047	3,2
V	0,017	0	0	0	0,017	0
Zn	0,675	8,3	2	54,7	0,675	8,3

Tabla 3.3 Impactos predecidos en la química de las aguas (continuación 3)

SW-17						
Analito	Química de las componentes de las aguas				Máxima contribución de descarga parcial de escombrera El Morro	
	Línea base	Química de descarga de escombrera El Morro (PHREEQC)	Química de descarga de escombrera Potrerillos (PHREEQC)	Química de descarga de escombrera Canito (PHREEQC)	Química: SW-17 + descarga	Impacto SW-17
	Prom.	Año normal	en 0.49 l/s	en 0.32 l/s	(1413.4 l/s)	(CI)
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Al	12.6	43.6	4.00	10.6	12.6	100
Sb	0.035	0.18	0.01	0.01	0.035	100
As	0.677	0.012	0.028	0.040	0.675	100
Ba	0.117	0.003	0.010	0.010	0.116	100
Be	0.002	0.07	0.01	0.02	0.002	103
Bi	0.008	-	0.002	0.001	-	-
Cd	0.005	0.055	0.001	0.005	0.005	101
Ca	108	344	23	25	108	100
Co	0.010	0.270	3.400	0.900	0.013	135
Cu	0.544	0.89	0.30	3.70	0.547	101
Cl	126	367	8	8	126	100
Cr	0.020	0.10	0.03	1.20	0.021	105
F	1.32	0.50	1.67	7.63	1.32	100
Fe	10.8	1.79	0.01	0.01	10.7	100
Pb	0.014	0.41	0.10	1.10	0.016	109
Mg	21.5	363	2	4	21.8	101
Mn	1.21	41.0	2.5	8.6	1.25	104
Hg	0.0005	0.003	0.001	0.002	0.0005	101
Mo	0.005	0.04	0.00	0.02	0.005	101
Ni	0.006	0.36	0.60	1.90	0.008	138
NO <sub>3</sub>	1.68	72.9	0.5	1.1	1.74	104
NO <sub>2</sub>	0.025	-	0.1	0.1	-	-
P	0.440	0.22	0.65	0.74	0.440	100
K	17.7	0.00002	77.7	77.4	17.8	100
Se	0.004	0.04	0.03	0.37	0.004	110
Si	20.1	4.37	-	-	-	-
Ag	0.002	0.013	-	-	-	-
Na	137	9.04	9.58	8.19	136	100
SO <sub>4</sub>	428	1852	211	270	429	100
Sr	0.611	3.15	1.13	1.77	0.614	101
Tl	0.014	-	0.15	0.21	-	-
Sn	0.010	0.035	0.002	0.008	0.010	100
Ti	0.025	3.24	0.27	0.47	0.029	114
V	0.023	0.03	0.01	0.03	0.023	100
Zn	0.488	8.30	2.00	54.7	0.542	111

**Tabla 3.4 Resumen de impactos negativos en la calidad de las aguas, aguas debajo de las máximas contribuciones de descarga parcial desde la escombrera El Morro**

Analito	Sitio y cuociente de impacto (%)			
	LA-1	LA-8	SW-9	SW-17
Al	-	-	-	100
Sb	8980	156	-	100
As	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-
Be	1129	110	101	103
Bi	‡	‡	‡	‡
Cd	148	101	-	101
Ca	-	100	-	100
Co	169	102	136	135
Cu	-	-	101	101
Cl	455	116	-	100
Cr	171	102	107	105
F	102	100	101	100
Fe	-	-	-	-
Pb	247	102	114	109
Mg	272	107	-	101
Mn	224	102	101	104
Hg	678	101	101	101
Mo	1649	109	100	101
Ni	220	103	123	138
NO <sub>3</sub>	463	143	-	104
NO <sub>2</sub>	‡	‡	‡	‡
P	-	-	100	100
K	-	100	101	100
Se	312	110	116	110
Si	‡	‡	‡	‡
Ag	539	‡	‡	‡
Na	121	-	-	-
SO <sub>4</sub>	109	-	-	100
Sr	199	101	100	101
Tl	‡	‡	‡	‡
Sn	512	-	-	100
Ti	3567	107	102	114
V	116	-	100	100
Zn	130	-	114	111

Nota: ‡ El cuociente de impacto no está determinado porque la concentración PHREEQC de este elemento/compuesto no está disponible para una o más escombreras.



## **4 REVISION DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA LINEA BASE Y PREDICCIONES DE IMPACTOS EN RELACION A LOS ESTANDARES**

---

### **4.1 Impactos en relación a los estándares de calidad de aguas bajo la máxima descarga parcial agregada desde Pascua Lama y Veladero**

Las Tablas 4.1a y b proporcionan un resumen de los elementos que exceden los estándares para calidad de agua potable y agua para el ganado de la Provincia de San Juan, para los seis sitios de evaluación de impactos bajo condiciones de máxima descarga parcial agregada desde los dos sitios mineros. Esto muestra que en la mayoría de los casos donde existe un excedente de las normas, la química de la línea base también está excedida. En relación con las pautas de agua potable, las excepciones son las siguientes:

- Ni, bajo un escenario de contribución de descarga parcial máxima de la escombrera en SW-6 y un escenario de contribución de descarga parcial media de la escombrera en LA-3.
- Cr y Hg, bajo escenarios de máxima contribución de descarga parcial de la escombrera en LA-1.

Con respecto a Al, la concentración base excede los estándares de agua potable (0,2 mg/l) en cada sitio de evaluación de impacto aguas abajo. Las concentraciones predecidas bajo los escenarios de máxima y mediana contribución de descarga parcial de la escombrera también exceden los estándares de Al en cada sitio. En LA-1 el excedente de la química de línea base y los dos escenarios de descarga de las escombreras es de aproximadamente 100 veces mayor. En relación al As, las concentraciones base exceden las pautas de agua potable (0,05 mg/l) en todos los sitios excepto SW-6 y LA-3. En SW-9 y SW-17, la concentración promedio determinada durante el período de monitoreo de la línea base es de aproximadamente 13,5 veces el estándar de agua potable, y 1,3 veces el estándar de agua para ganado. Donde la química de línea base excede este estándar, las concentraciones predecidas para los dos escenarios de contribución de descarga parcial de escombrera también son excedidas.

Hay un caso en el que la concentración de línea base es menor que el estándar para el agua para ganado, pero el agua impactada por la escombrera está sobre el estándar. Esto sucede en SW-6, que esta aguas debajo de la escombrera de Veladero Sur, para las concentraciones de Zn bajo el escenario de máxima contribución de descarga parcial de la escombrera (concentración predecida de Zn 0,079 mg/l). Sin embargo, también se debería notar que el primer punto en el cual el agua superficial es substraída para su uso en agricultura está ubicado a 50 km aguas abajo del punto más bajo de evaluación (SW-17).

**Tabla 4.1a Resumen de casos en los cuales se exceden los estándares de la calidad de agua potable en la Provincia de San Juan**

Elemento	Estándar (mg/l)	SW-6			LA-1			LA-3		
		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera	
			Máximo	Mediana		Máximo	Mediana		Máximo	Mediana
Al	0,2	0,933	1,537	1,07	221	215	221	6,36	2,82	6,1
As	0,05	-	-	-	0,211	0,193	0,211	-	-	-
B	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	1	-	-	-	10,8	10,1	10,8	-	-	-
Cr	0,05	-	-	-	-0,043	0,07	-	-	-	-
F	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hg	0,001	-	-	-	-0,0002	0,001	-	-	-	-
Ni	0,025	-0,01	0,045	-	0,097	0,212	0,097	-0,02	-	0,025
Pb	0,05	-	-	-	0,087	0,215	0,087	-	-	-
Zn	5	-	-	-	7,48	9,715	7,48	-	-	-

Elemento	Estándar (mg/l)	LA-8			SW-9			SW-17		
		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera	
			Máximo	Media		Máximo	Media		Máximo	Media
Al	0,2	61,4	46,9	60,1	12,8	12,1	12,7	12,6	11,9	12,5
As	0,05	0,084	0,063	0,082	0,679	0,629	0,673	0,677	0,628	0,671
B	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	1	2,78	2,1	2,72	-	-	-	-	-	-
Cr	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hg	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0,025	0,051	0,043	0,052	-	-	-	-	-	-
Pb	0,05	0,056	-	0,057	-	-	-	-	-	-
Zn	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Los valores en paréntesis son concentraciones de la línea base que no excedieron la norma, pero se incluyeron para compararse con las concentraciones en las escombreras impactadas que no exceden el estándar.

**Tabla 4.1b Resumen de los casos en los cuales se exceden los estándares en la calidad del agua para ganado en la Provincia de San Juan**

Elemento	Estándar (mg/l)	SW-6			LA-1			LA-3		
		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera	
			Máx	Mediana		Máx	Mediana		Máx	Mediana
Al	5	-	-	-	221	215	221	6,36		6,1
As	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	1				10,8	10,1	10,8	-	-	-
Cr	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0,1	-	-	-	-	0,214	-	-	-	-
Zn	0,05	-0,032	0,079	-	7,48	9,71	7,48	0,419	0,052	0,417

Elemento	Estándar (mg/l)	LA-8			SW-9			SW-17		
		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera		Línea base	Escenario de contribución parcial de escombrera	
			Máx	Mediana		Máx	Mediana		Máx	Mediana
Al	5	61,4	46,9	60,1	12,8	12,1	12,7	12,6	11,9	12,5
As	0,5	-	-	-	0,679	0,629	0,673	0,677	0,628	0,671
B	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	1	2,78	2,1	2,72	-	-	-	-	-	-
Cr	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	0,05	2,32	1,76	2,28	0,675	0,628	0,672	0,488	0,455	0,486

Nota: Los valores en paréntesis son concentraciones de la línea base que no excedieron la pauta, pero se incluyen con el propósito de compararlas con concentraciones en las escombreras impactadas que si exceden el estándar.



#### **4.2 Impactos relacionados con las normas de calidad de agua en la descarga parcial máxima de El Morro**

Las Tablas 4.2a-b proporcionan un resumen de los elementos que exceden las concentraciones de los umbrales reguladores dentro de la Provincia de San Juan, que se relacionan con la calidad de agua potable y agua para ganado en los cuatro sitios de evaluación de impacto aguas abajo bajo máxima descarga parcial desde El Morro. Los resultados son ampliamente comparables con aquellos reportados para las contribuciones de descarga parcial máxima de todas las escombreras. En la mayoría de los casos donde hay un excedente de los umbrales reguladores, la química de la línea base también se excede. Hay dos excepciones y ambas están relacionadas con el sitio LA-1. En este sitio se predice que las concentraciones de Cr, que se informaron como 0,043 mg/l bajo condiciones de línea base (menores que el estándar de 0,05 mg/l), incrementarán a 0,073 mg/l bajo un evento de máxima descarga parcial para El Morro. En el caso de Hg, la concentración bajo condiciones de línea base se reportan en la Tabla 4.2a como 0,0002 mg/l, mientras que la concentración prevista de Hg bajo un evento de descarga parcial máxima para El Morro es de 0,0012 mg/l. Estos valores se comparan con un estándar regulador de agua de 0,001 mg/l.

Sin embargo, es importante mencionar que las 37 muestras la línea base tomadas en este lugar hasta la fecha produjeron valores de Hg por debajo del límite de detección (LD). Mientras que estos valores fueron recalculados como  $0.5 \times \text{LD}$  para propósitos de análisis estadístico, esto forma una base poco sólida para predecir el impacto preciso dentro del contexto del presente documento.

Con respecto a Al, las concentraciones de la línea base y las concentraciones predecidas bajo el evento de máxima contribución de descarga parcial para El Morro, exceden los estándares de agua potable (0,2 mg/l) y los estándares de agua para ganado (5 mg/l) en cada uno de los cuatro sitios considerados. En LA-1 el excedente de la química de línea base y el escenario de máxima descarga de escombrera es mayor en aproximadamente un factor de 100. En relación al As, las concentraciones de la línea base exceden las pautas de agua potable (0,05 mg/l) en todos los sitios. En SW-9 y SW-17 la concentración promedio de As determinada durante el período de monitoreo de la línea base es de aproximadamente 13,5 veces el estándar de agua potable, y 1,3 veces el estándar de agua para ganado (0,5 mg/l). Donde la química base excede este estándar, las concentraciones predecidas para los eventos de máxima contribución de descarga parcial de escombrera para El Morro, también se exceden.

Como se muestra en la Tabla 4.2b, en cada caso donde un elemento excede el estándar para agua de ganado, la concentración de la línea base que ocurriría en un caudal equivalente, también se excede. Las concentraciones de Al y Zn son mayores que el estándar de agua de ganado en todos los cuatro sitios de evaluación de impacto aguas abajo.

#### **4.3 Impacto sobre pH**

Se debe notar que los datos para pH no se muestran, ya que este parámetro no está sujeto a predicción en base a un algoritmo de mezcla simple.

#### 4.4 Consideraciones de cargas suspendidas

Las condiciones hidroquímicas de línea base establecidas para todos los sitios dentro de la red de monitoreo base de Lama-Veladero están relacionadas con el total de las concentraciones. Estas condiciones son, por consiguiente, inconsistentes en algunos casos con las predicciones modeladas de la química de descarga de escombrera, lo que explica exclusivamente las cargas disueltas. Por lo tanto, el impacto de descarga de escombrera prevista en los seis sitios de evaluación de impacto aguas abajo no explica las condiciones posteriores de cese, en las cuales la erosión y las movilización concomitante de materia de partículas suspendidas de derivados de desechos que ocurren dentro de la cuenca de las escombreras. En esta etapa, tales impactos no están sujetos a ser moldeados, y dependerán por completo de las prácticas de manejo de control de erosión de escombrera posteriores al cese. Sin embargo, es posible que tales efectos no serán pronunciados en relación a las escombreras de Canito, Potrerillos y El Morro. Esta conclusión esta basada en la alta capacidad de infiltración de las superficies de estas escombreras, y de esta manera, el limitado potencial de escorrentía superficial.

#### 4.5 Atenuación natural

Una consideración adicional en la evaluación de impactos aguas abajo de las escombreras es la modificación potencial de la descarga de escombreras durante la migración subterránea desde la fuente de los drenajes hasta el Río Potrerillos, Arroyo Canito y Arroyo Turbio. WMC (2002) llevó a cabo una evaluación de capacidades de atenuación basada en tres muestras de material aluvial de Potrerillos. Se encontró que la capacidad de atenuación de la unidad aluvial era positivas para Fe, K, Co, Ni, Zn, pero negativas (ej. movilización neta) para Ca, Na y Mg. Este hallazgo es relevante para la evaluación de impactos compuestos de los proyectos de Pascua Lama y Veladero en SW-9 y SW-17. Se requeriría una evaluación completa del potencial de modificación de la descarga de las escombreras antes de su liberación hacia los sistemas de aguas superficiales en las tres cuencas en las que se proponen las instalaciones de desecho, para cuantificar la capacidad de atenuación del material aluvial a través del cual el drenaje de las escombreras migraría.

**Tabla 4.2a Resumen de casos en que se exceden los estándares reguladores de agua potable de la Provincia de San Juan**

	Concentración (mg/l)				
	Estándar	LA-1		LA-8	
		Línea base	Con contribuciones de escombrera	Línea base	Con contribuciones de escombrera
<b>Al</b>	0,2	221	215	61,4	60,7
<b>As</b>	0,05	0,211	0,193	0,084	0,082
<b>B</b>	1	-	-	-	-
<b>Cu</b>	1	10,8	10,1	2,78	2,75
<b>Cr</b>	0,05	(0,043)	0,073	-	-
<b>F</b>	1,5	-	-	-	-
<b>Hg</b>	0,001	(0,0002)	0,0012	-	-
<b>Ni</b>	0,025	0,097	0,212	0,051	0,052
<b>Pb</b>	0,05	0,087	0,215	0,056	0,057
<b>Zn</b>	5	7,48	9,71	-	-

**Tabla 4.2a Resumen de casos en que se exceden los estándares reguladores de agua potable (continuación)**

	Concentración (mg/l)				
	Estándar	SW-9		SW-17	
		Línea base	Con contribución de escombrera	Línea base	Con contribuciones de escombrera
<b>Al</b>	0,2	12,8	12,6	12,6	12,6
<b>As</b>	0,05	0,68	0,68	0,68	0,67
<b>B</b>	1	-	-	-	-
<b>Cu</b>	1	-	-	-	-
<b>Cr</b>	0,05	-	-	-	-
<b>F</b>	1,5	-	-	-	-
<b>Hg</b>	0,001	-	-	-	-
<b>Ni</b>	0,025	-	-	-	-
<b>Pb</b>	0,05	-	-	-	-
<b>Zn</b>	5	-	-	-	-

Nota: Los valores en paréntesis son concentraciones de la línea base que no exceden las normas, pero se incluyen para propósitos de comparación con concentraciones de impacto del escombrera que sí exceden el estándar.

**Tabla 4.2b Resumen de casos en que se exceden los estándares para la calidad de agua de ganado en la Provincia de San Juan**

	Concentración (mg/l)				
	Estándar	LA-1		LA-8	
		Base	Con contribución de escombrera	Base	Con contribución de escombrera
<b>Al</b>	5	221	215	61,4	60,7
<b>As</b>	0,5	-	-	-	-
<b>B</b>	5	-	-	-	-
<b>Cu</b>	1	-	-	-	-
<b>Cr</b>	1	10,8	10,1	2,78	2,75
<b>F</b>	1	-	-	-	-
<b>Hg</b>	1	-	-	-	-
<b>Ni</b>	0,1	-	-	-	-
<b>Pb</b>	0,05	7,48	9,71	2,32	2,32
<b>Zn</b>	5	221	215	61,4	60,7

	Concentración (mg/l)				
	Estándar	SW-9		SW-17	
		Línea base	Con contribución de escombrera	Línea base	Con contribución de escombrera
<b>Al</b>	5	12,8	12,8	12,6	12,6
<b>As</b>	0,5	0,68	0,68	0,68	0,67
<b>B</b>	5	-	-	-	-
<b>Cu</b>	1	-	-	-	-
<b>Cr</b>	1	-	-	-	-
<b>F</b>	1	-	-	-	-
<b>Hg</b>	1	-	-	-	-
<b>Ni</b>	0,1	-	-	-	-
<b>Pb</b>	0,05	0,675	0,771	0,488	0,542
<b>Zn</b>	5	12,8	12,8	12,6	12,6

Nota: Los valores en paréntesis son concentraciones de la línea base que no exceden las normas, pero se incluyen para propósitos de comparación con concentraciones de impacto de la escombrera que sí exceden el estándar.



## REFERENCIAS

---

WMC (2002) Proyecto Veladero. *Predictive Modeling of Waste Facility Seepage Geochemistry*. Report No. 3192/R24. Prepared for Barrick Gold, August 2002.

WMC (2004a) Lama-Veladero. *District Hydrological and Hydrochemical Baseline*. Report No. 3401/R1. Prepared for Barrick, June 2004.

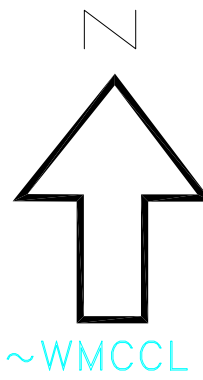
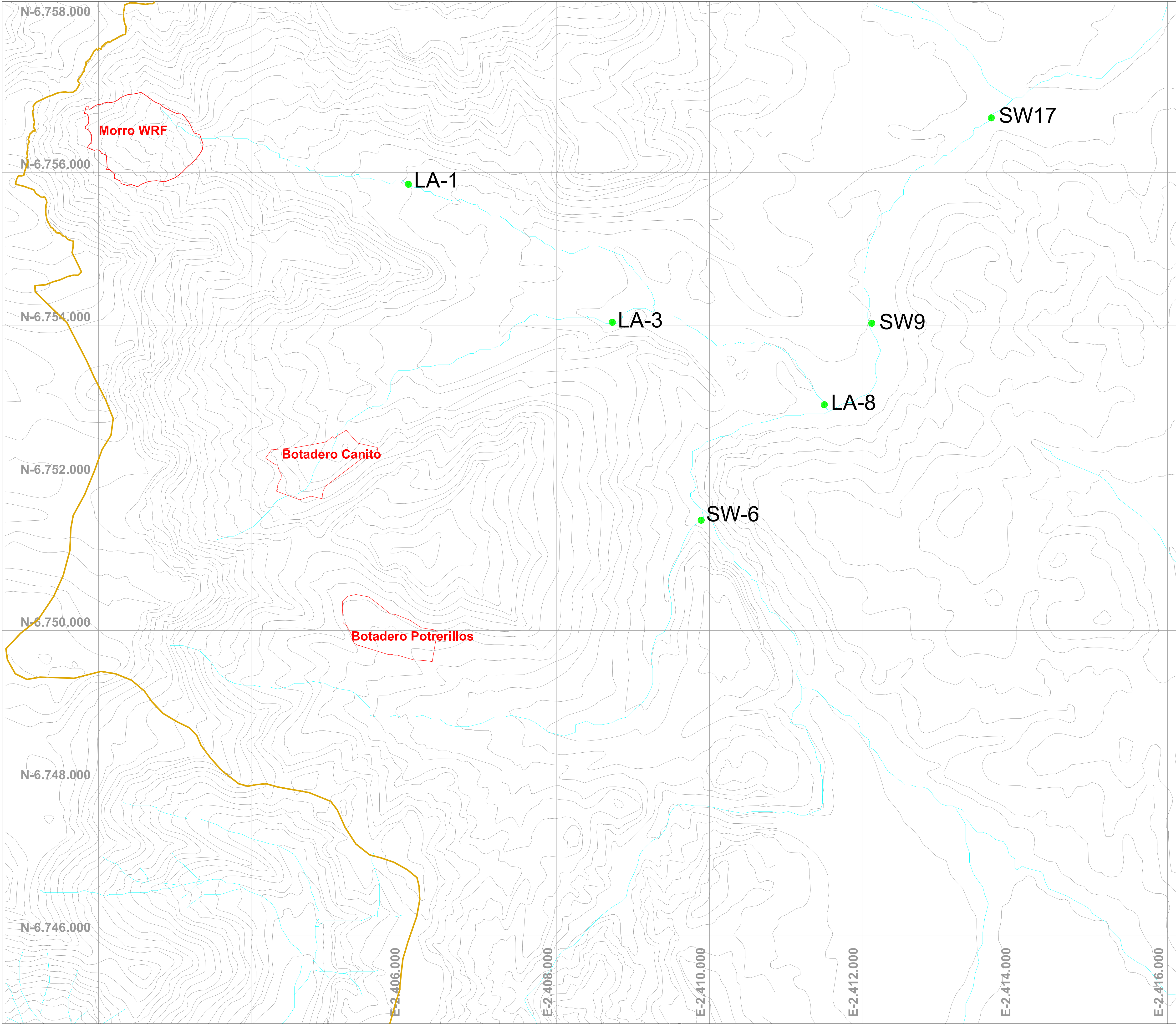
WMC (2004b) Pascua Lama Investment Study. *Predictive Modelling of Waste Facility Seepage Geochemistry and Preliminary Downstream Impact Analysis*. Report No. 3301/R3. Prepared for Barrick, March 2004.

Jones, M. (2004) *Estimation of Long Term Flows near the Veladero and Pascua Lama Projects*. Draft Memorandum to Barrick. 23 June 2004.



**Plano**





### LEYENDA

LA-8 Sitios de evaluación de impacto aguas abajo

Limite internacional

Nota: Ubicación de los botaderos derivada de WMC (2002) y WMC (2004b)

ESCALA  
1:25.000



Sistema de coordenadas Gauss Kruger Campo Inchauspe

Ubicación de puntos de monitoreo impacto río abajo y botaderos			
CLIENTE:		ESCALA:	1 : 25.000
BARCELONA:		DRAWN:	ACTIVADO
JOB:		CHECKED:	B.H.
DRAWING:		DATE:	Septiembre, 2004
Plano 1.1			

**WATER**  
MANAGEMENT  
CONSULTANTS