

**Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.  
Estudio de Impacto Ambiental  
Proyecto Planta de Sulfuros**

**Metodología de Análisis de Calidad de  
Aguas Subterráneas**

7 de noviembre del 2003

Preparado para

**Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.**

Asiento Minero Cerro Verde - Uchumayo

Arequipa

Perú

Preparado por

**Knight Piésold Consultores S.A.**

Av. San Borja Sur 143

San Borja, Lima

Perú

**Proyecto LI201/00060/3**

**Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.  
Estudio de Impacto Ambiental  
Proyecto Planta de Sulfuros**

**Metodología de Análisis de Calidad de  
Aguas Subterráneas**

***Tabla de Contenido***

---

1.0 Objetivos .....	1
2.0 Metodología empleada y resultados obtenidos .....	2
2.1 Cuantificación de la variabilidad de los parámetros medidos.....	2
2.2 Intervalos de confianza.....	3
2.3 Análisis de tendencias .....	4
3.0 Conclusiones .....	8
4.0 Recomendaciones.....	9
5.0 Referencias bibliográficas .....	10

## ***Lista de Tablas***

---

<b><i>Tabla</i></b>	<b><i>Título</i></b>
Tabla 1	Parámetros de Calidad del Agua Subterránea Estación MA-24
Tabla 2	Parámetros de Calidad del Agua Subterránea Estación MA-25
Tabla 3	Parámetros de Calidad del Agua Subterránea Estación MA-26
Tabla 4	Parámetros de Calidad del Agua Subterránea Estación MA-27
Tabla 5	Resultados de la Medición del pH del Agua Subterránea, Estación MW-SXN
Tabla 6	Análisis de Tendencia para la Serie de datos de pH del Agua Subterránea, Estación MW-SXN (1998-2002)

## ***Lista de Figuras***

---

<b><i>Figuras</i></b>	<b><i>Título</i></b>
Figura 1	Variación del pH en la Estación MA - 24 (Nov 2000 - Abr 2003)
Figura 2	Contenido de Cobre en la Estación MA-24 (Nov 2000 - Abr 2003)
Figura 3	Contenido de Hierro en la Estación MA-24 (Nov 2000 - Abr 2003)
Figura 4	Contenido de Plomo en la Estación MA-24 (Nov 2000 - Abr 2003)
Figura 5	Contenido de Sulfatos en la Estación MA-24 (Nov 2000 - Abr 2003)
Figura 6	Variación del pH en la Estación MW-SXN (1998-2002)

**Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.  
Estudio de Impacto Ambiental  
Proyecto Planta de Sulfuros**

**Metodología de Análisis de Calidad de  
Aguas Subterráneas**

***1.0 Objetivos***

---

Para el análisis de calidad de aguas subterráneas es necesario cuantificar la variabilidad natural de los valores de concentración de parámetros pertinentes como pH, contenido de cobre, hierro, plomo y sulfatos. Se eligió estos parámetros por ser de especial interés para el Proyecto Planta de Sulfuros. Para tener criterios adecuados de comparación entre los parámetros de calidad de agua actuales previos a la realización del proyecto y los parámetros medidos durante la construcción, operación y cierre del proyecto es necesario poseer una imagen de la variabilidad actual y establecer si existen diferencias entre el comportamiento de los resultados actuales y lo futuros.

Mediante la cuantificación de la variabilidad actual e histórica de los parámetros medidos, el cálculo de intervalos de confianza para medidas de tendencia central como la media y el análisis de tendencias para datos estacionales, se puede obtener una adecuada estimación del comportamiento de los parámetros de calidad del agua subterránea en los puntos de interés del Proyecto Planta de Sulfuros.

## ***2.0 Metodología empleada y resultados obtenidos***

---

### ***2.1 Cuantificación de la variabilidad de los parámetros medidos***

#### ***Estación MA-24***

Esta estación será reubicada de llevarse a cabo el proyecto Planta de Sulfuros, debido a que esta zona será parte del emplazamiento del nuevo depósito de relaves en la parte alta de la quebrada Enlozada. Sin embargo es la estación que presenta una mayor historia de datos, lo cual constituye la fuente de información de calidad de aguas subterráneas más completa del área cercana al futuro emplazamiento del depósito de relaves.

En el análisis se tomó en cuenta los datos de calidad de agua de noviembre de 2000 hasta abril de 2003 presentados en la Tabla 1. A esta serie se le calcularon las medidas de tendencia central (media y mediana) y medidas de dispersión (varianza, desviación estándar y coeficiente de variabilidad). Es importante aclarar la utilidad de calcular medidas de dispersión debido a que usualmente las medidas de tendencia central como la media se ven afectadas por los valores extremos y para tener una adecuada imagen del comportamiento de la variabilidad de los datos (natural o inducida por factores externos), es necesario cuantificarla. En las Figuras 1 a 5, se aprecia la dispersión de los datos para cada parámetro en función del tiempo.

Los resultados muestran que los parámetros tomados en consideración tienen diferentes variabilidades en el tiempo. En la Tabla 1 se aprecia el alto coeficiente de variabilidad para las concentraciones de cobre seguido del hierro. Mientras que parámetros como el contenido de plomo, sulfatos y pH presentan menores variabilidades en ese mismo orden decreciente. Los valores de pH son los más conservativos en el tiempo.

#### ***Otras Estaciones Pertinentes***

De igual manera que para la estación MA-24, se realizó un análisis de las medidas de tendencia central y de dispersión para las estaciones MA-25, MA-26 y MA-27 (Tablas 2,3 y 4), ubicadas en las cercanías del área destinada al depósito de relaves en la quebrada Enlozada. Esta información debe ser tomada solamente como referencial debido al poco

tiempo de monitoreo. Los resultados muestran una mayor variabilidad en los valores de concentración de cobre y hierro y una menor variabilidad en los valores de plomo, sulfatos y pH en orden decreciente, muy similar al comportamiento observado en la estación MA-24.

## **2.2 Intervalos de confianza**

La variación encontrada líneas atrás se puede tomar como una imagen de la variabilidad “basal” o variabilidad “antes de los efectos del proyecto” de dichos parámetros y mediante el cálculo de intervalos de confianza para la media se puede establecer un rango con límites aceptables de cambio, con un nivel de confianza determinado, para contener a la media poblacional del conjunto de valores. Es decir que mediante este análisis podemos tener un rango de valores estimadores del valor medio de determinado parámetro que puede compararse entre diferentes períodos de tiempo.

Se calcularon los intervalos de confianza (Tablas 1 al 4) para la media utilizando los siguientes pasos, asumiendo que se trata de una distribución normal o aproximadamente normal en donde la variancia poblacional  $s^2$  es desconocida:

$$\text{Límite Inferior de Confianza LIC}(\mu) = X - T_{\text{tab}} S_X$$

$$\text{Límite Superior de Confianza LSC}(\mu) = X + T_{\text{tab}} S_X$$

Donde:

$\mu$  Media Poblacional

$X$  Media Muestral

$T_{\text{tab}}$  Prueba T ( $1 - a/2$ ,  $n-1$  grados de libertad)

$a$  nivel de riesgo, en este caso igual a 0.05 o una confianza del 95% de rigurosidad

$n$  número de valores

$S_X$  error estándar

Por ejemplo podemos tomar el conjunto de datos de calidad de agua de determinado parámetro (previos al desarrollo del Proyecto Planta de Sulfuros) y calcular su intervalo de confianza para la media y del mismo modo calcular otro intervalo de confianza para la media

para un conjunto de valores de igual extensión que el anterior para una etapa post o paralela al desarrollo del proyecto. Comparando ambos valores podemos tener una confiable imagen del grado de variación a lo largo del tiempo del valor medio de determinado parámetro y establecer si existe una mejora o deterioro de la calidad del agua.

Estos valores calculados en las tablas anteriores son preliminares y se necesita el aporte paulatino de nuevos datos mediante un monitoreo continuo, para tener un mayor nivel de confianza y una mejor estimación de la variabilidad de la información obtenida.

Es necesario aclarar que los intervalos de confianza no se establecen para compararlos con valores puntuales de determinada concentración, se deben comparar con los intervalos de confianza obtenidos de series de datos de un tamaño similar.

Por ejemplo, si se necesita comparar un valor promedio de determinada concentración de metales, calculado en los dos primeros años de operación con el valor promedio calculado en los dos siguientes años de operación, se deberán calcular los intervalos de confianza para cada rango de tiempo (sobre 24 valores mensuales cada uno) y finalmente se confrontarán los resultados obtenidos.

### ***2.3 Análisis de tendencias***

Ninguna de las estaciones mencionadas ubicadas en las cercanías del futuro depósito de relaves presentan una serie histórica de datos mayor de tres años, motivo por el cual no es conveniente realizar una prueba de tendencias (Test de Kendall) para verificar si efectivamente existe una tendencia de la dispersión de puntos al incremento o decremento de un conjunto de valores determinado. Sin embargo conforme se incrementen los datos, será posible realizar tales pruebas con un suficiente respaldo estadístico.

A modo de ejemplo se tomaron los datos de la estación MW-SXN, que es una de las más cercanas a la cabecera de la quebrada Enlozada y se procedió a realizar el “Seasonal Kendall Test” (Test de Kendall para datos con estacionalidad). Este test puede ser usado incluso



cuando se trabaja con datos faltantes, valores repetidos o valores por debajo del límite de detección (ND). Adicionalmente, la validez de este test no depende de la condición de distribución normal en los datos. Básicamente el test consiste en calcular el estadístico S de Mann Kendall Test y su varianza Var(S) para cada uno de los 12 meses y/o períodos estacionales. Las estadísticas estacionales se suman y el estadístico Z se calcula. Si el número de estaciones y el número de años es suficientemente grande el valor de Z, puede ser referido a las tablas para distribución normal estándar para probar por una tendencia estadísticamente significativa. Si existen 12 estaciones (datos mensuales) esta tabla puede ser usada siempre y cuando exista por lo menos 3 años de información.

Sea  $x_{il}$  el dato para la  $i$ -ésima estación del  $l$ -ésimo año de monitoreo,  $k$  el número de estaciones y  $L$  el número de años. Para cada estación (periodo) se usan los datos colectados durante todos los años de monitoreo para calcular el estadístico S de Mann Kendall.

1) Calcular  $S_i$  y Var ( $S_i$ )

$$S_i = \sum_{l=k+1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_i-1} \text{sgn}(x_{il} - x_{ik})$$

Donde:

$l > k$ ,  $n_i$  es el número de datos (durante todos los años) para la estación  $i$ ,

La primera sumatoria va de  $l=k+1$  hasta  $n_i$  y la segunda de  $k=1$  hasta  $n_i-1$  y:

$$\text{sgn}(x_{il} - x_{ik}) = \{1, \text{ si } x_{il} - x_{ik} > 0\}; \{0, \text{ si } x_{il} - x_{ik} = 0\}; \{-1, \text{ si } x_{il} - x_{ik} < 0\}$$

$$\text{Var}(S_i) = 1/18 \left[ n_i(n_i-1)(2n_i+5) - \sum_{p=1}^{g_i} t_{ip}(t_{ip}-1)(2t_{ip}+5) - \sum_{q=1}^{h_i} u_{iq}(u_{iq}-1)(2u_{iq}+5) \right] +$$

$$\frac{\sum_{p=1}^{g_i} t_{ip}(t_{ip}-1)(t_{ip}-2) \sum_{q=1}^{h_i} u_{iq}(u_{iq}-1)(u_{iq}-2)}{9n_i(n_i-1)(n_i-2)} + \frac{\sum_{p=1}^{g_i} t_{ip}(t_{ip}-1) \sum_{q=1}^{h_i} u_{iq}(u_{iq}-1)}{2n_i(n_i-1)}$$

Nota:

Las sumatorias:  $\sum_{p=1}^{g_i} t_{ip}$  va de  $p=1$  a  $g_i$ ;  $\sum_{q=1}^{h_i} u_{iq}$  va de  $q=1$  a  $h_i$

Donde  $g_i$  es el número de grupos con valores iguales en la estación  $i$ ,  $t_{ip}$  es el número de valores iguales en el  $p$ -ésimo grupo para la estación  $i$ ,  $h_i$  es el número de veces de muestreo (o períodos de tiempo) en la estación  $i$  que contiene datos múltiples y  $u_{iq}$  es el número de datos múltiples en el  $q$ -ésimo período de tiempo de la estación  $i$ .

2) Calcular  $S'$ ,  $\text{Var}(S')$  y  $Z$ :

$S' = ?$  Si, la sumatoria va de  $i=1$  hasta  $k$

$\text{Var}(S) = ? \text{Var}(S_i)$ , la sumatoria va de  $i=1$  hasta  $k$

$$Z = \frac{S'-1}{[\text{Var}(S')^{1/2}]} \quad \text{si } S' > 0 ; \quad 0 \quad \text{si } S' = 0 ; \quad \frac{S'+1}{[\text{Var}(S')^{1/2}]} \quad \text{si } S' < 0$$

3) Para probar la hipótesis nula ( $H_0$ ) de no tendencia versus la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) de una tendencia ascendente o descendente, rechazaremos  $H_0$  si el valor absoluto  $Z$  es más grande que  $Z_{1-a/2}$ , donde  $Z_{1-a/2}$  se obtiene de la tabla de distribución normal estándar. Si la hipótesis alternativa es para una tendencia ascendente al nivel  $\alpha$  se rechaza  $H_0$  si  $Z$  es más grande que  $Z_{1-\alpha}$ . Se rechaza  $H_0$  a favor de una tendencia descendente si  $Z$  es negativo y el valor absoluto de  $Z$  es más grande que  $Z_{1-\alpha}$ .

La Figura 6 muestra la dispersión de datos mensuales de pH en la estación MW-SXN correspondientes al período enero 1998 – diciembre 2002 (Tabla 5). Aparentemente existe una tendencia a la disminución del pH que necesita verificarse. En la Tabla 6 se presentan los resultados del análisis de tendencia. La comparación final del  $Z$  calculado (-2,4873) versus el  $Z$  tabular (1,65) nos indica que efectivamente, con un nivel de confianza del 95%, existe una tendencia a la disminución del pH, que debe ser monitoreada en el tiempo para aumentar la confiabilidad de los resultados y permita tomar medidas de gestión.

Este mismo análisis puede ser implementado para los puntos de monitoreo pertinentes para el proyecto planta de sulfuros cuando se incremente las series de datos de calidad de agua y tengan como mínimo una historia de tres años. Adicionalmente se puede realizar una prueba conocida como Seasonal – Kendall Slope Estimator obtener un intervalo de confianza para el valor de la pendiente de la línea de tendencia encontrada.

### **3.0 Conclusiones**

---

- Los parámetros tomados en consideración tienen diferentes variabilidades en el tiempo.
- Las concentraciones de cobre presentan un alto coeficiente de variabilidad seguido del hierro, plomo, sulfatos y pH.
- Los valores de pH presentan menor variabilidad en el tiempo, respecto a los otros parámetros.
- Los intervalos de confianza calculados para la media de los parámetros medidos previos al Proyecto Planta de Sulfuros, pueden servir de indicadores de una condición basal o condición “sin efectos del proyecto” y pueden ser comparados con intervalos de confianza calculados durante las distintas etapas del proyecto. Mediante esta comparación podemos establecer si existe una mejora o deterioro de la calidad del agua.
- Se propone usar el Seasonal Kendall Test, para verificar la existencia de tendencias en series de datos de parámetros de calidad del agua subterránea en le área de estudio.
- Los resultados obtenidos utilizando las técnicas de análisis detalladas en el presente estudio, conforman una adecuada herramienta para la toma de decisiones en cuanto al manejo y control ambiental..

## ***4.0 Recomendaciones***

---

- Los intervalos de confianza no se establecen para compararlos con valores puntuales de determinada concentración, se debe comparar con otros intervalos de confianza obtenidos de otras series de datos de igual tamaño en diferentes tiempos.
- El Seasonal Kendall Test debe realizarse sólo si se cuenta con una serie de monitoreo mayor a tres años.
- Es necesario contar con una mayor serie de datos en los puntos de monitoreo pertinentes para tener una mayor confiabilidad en los resultados.

## ***5.0 Referencias bibliográficas***

---

CALZADA, J. 1982 Métodos Estadísticos para la Investigación, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.

CANTER, L. 1998 Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, Ed. McGraw Hill, Madrid.

KNIGHT PIÉSOLD CONSULTORES S.A. 2002, Diseño y Análisis de Redes de Monitoreo Ambiental, Documento de Curso Taller realizado en la ciudad de Lima, Perú.

LAMOTTE, M. 1965, Estadística Biológica, Principios Fundamentales, Ed. Toray Masson, Barcelona.

RUBIO, J. 1992 Estadística, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.

## **Tablas**

**SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE**  
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**Proyecto Sulfuros Primarios**  
**TABLA 1**

**Parámetros de Calidad del Agua Subterránea Estación MA-24**

<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Cu (mg/l)</b>	<b>Fe (mg/l)</b>	<b>Pb (mg/l)</b>	<b>Sulfatos (mg/l)</b>
nov-00	7,7	0	0	0	530
dic-00	7,04	0	0	0	530
ene-01	7,31	0,053	0,113	0,025	469
feb-01	7,55	1,96	0,273	0,085	507
mar-01	7,24	0,06	0,308	0,113	499
abr-01	7,03	0,035	0,233	0,038	491
may-01	6,81	0,04	0,198	0,05	500
jun-01	7,08	0,1	0,1	0,033	373
jul-01	7,77	0,053	0,06	0,045	501
ago-01	6,94	0,04	0,055	0,04	356
oct-01	7,83	0,05	0,335	0,048	645
nov-01	7,75	0,043	0,25	0,048	420
dic-01	7,66	0,43	0,2	0,038	435
ene-02	6,93	0,02	0,1	0,06	405
feb-02	7,33	0,005	0,04	0,05	427
mar-02	7,19	0,09	0,06	0,05	483
abr-02	7,18	0,045	0,88	0,14	497
may-02	7,38	0,05	0,135	0,09	494
jun-02	7,46	0,065	0,035	0,04	492
jul-02	7,15	0,22	0,11	0,06	514
ago-02	8,23	0,04	0,29	0,065	503
sep-02	6,38	0,14	0,12	0,055	582
oct-02	7,55	0,005	0,046	0,04	507
nov-02	7,43	0,04	0,04	0,04	509
dic-02	7,32	0,01	0,04	0,08	484
ene-03	7,17	0,09	0,065	0,025	500
feb-03	8,11	0,04	1,08	0,04	487
mar-03	7,81	0,05	0,165	0,06	513
abr-03	7,56	0,035	0,165	0,065	435
Media	7,376	0,131	0,190	0,053	485,793
Mediana	7,330	0,045	0,113	0,048	497,000
Desviación Estándar	0,399	0,361	0,240	0,029	57,379
Varianza	0,159	0,131	0,058	0,001	3292,313
Coficiente de Variabilidad %	5,414	275,121	126,742	55,451	11,811
Error Estándar	0,074	0,067	0,045	0,005	10,655
Grados de Libertad	28	28	28	28	28
T tab	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048
Intervalo de Confianza (+/-)	0,152	0,137	0,091	0,011	21,821
Intervalo de Confianza %	2,059	104,630	48,200	21,088	4,492



**SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE**  
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**Proyecto Sulfuros Primarios**  
**TABLA 2**

**Parámetros de Calidad del Agua Subterránea Estación MA-25**

<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Cu (mg/l)</b>	<b>Fe (mg/l)</b>	<b>Pb (mg/l)</b>	<b>Sulfatos (mg/l)</b>
nov-02	6,95	0,09	0,05	0,09	928
dic-02	7,29	0,06	0,06	0,11	908
ene-03	7,64	0,26	0,065	0,06	905
feb-03	8,05	0,055	0,915	0,055	884
mar-03	7,76	0,06	0,175	0,08	868
abr-03	7,46	0,045	0,2	0,09	842
Media	7,525	0,095	0,244	0,081	889,167
Mediana	7,550	0,060	0,120	0,085	894,500
Desviación Estándar	0,383	0,082	0,335	0,021	31,025
Varianza	0,147	0,007	0,112	0,000	962,567
Coefficiente de Variabilidad %	5,092	86,547	137,121	25,479	3,489
Error Estándar	0,156	0,034	0,137	0,008	12,666
Grados de Libertad	5	5	5	5	5
T tab	2,571	2,571	2,571	2,571	2,571
Intervalo de Confianza (+/-)	0,402	0,086	0,351	0,022	32,564
Intervalo de Confianza %	5,345	90,840	143,923	26,743	3,662

**SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE**  
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**Proyecto Sulfuros Primarios**  
**TABLA 3**

**Parámetros de Calidad del Agua Subterránea Estación MA-26**

<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Cu (mg/l)</b>	<b>Fe (mg/l)</b>	<b>Pb (mg/l)</b>	<b>Sulfatos (mg/l)</b>
nov-02	7,11	0,04	0,04	0,08	858
dic-02	7,27	0,025	0,05	0,1	826
ene-03	7,44	0,32	0,13	0,05	835
feb-03	8,1	0,05	0,53	0,06	811
mar-03	7,77	0,05	0,19	0,1	786
abr-03	7,45	0,05	0,19	0,1	746
Media	7,523	0,088	0,187	0,072	810,333
Mediana	7,445	0,045	0,158	0,070	818,500
Desviación Estándar	0,358	0,114	0,178	0,018	39,642
Varianza	0,128	0,013	0,032	0,000	1571,467
Coefficiente de Variabilidad %	4,758	130,544	95,376	25,603	4,892
Error Estándar	0,146	0,047	0,073	0,007	16,184
Grados de Libertad	5	5	5	5	5
T tab	2,571	2,571	2,571	2,571	2,571
Intervalo de Confianza (+/-)	0,376	0,120	0,187	0,019	41,608
Intervalo de Confianza %	4,994	137,019	100,107	26,873	5,135

**SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE**  
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**Proyecto Sulfuros Primarios**  
**TABLA 4**

**Parámetros de Calidad del Agua Subterránea Estación MA-27**

<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Cu (mg/l)</b>	<b>Fe (mg/l)</b>	<b>Pb (mg/l)</b>	<b>Sulfatos (mg/l)</b>
nov-02	7,450	0,030	0,060	0,090	1099,000
dic-02	7,390	0,030	0,060	0,100	1067,000
ene-03	7,320	0,135	0,065	0,055	1102,000
mar-03	7,680	0,050	0,160	0,080	1026,000
abr-03	7,470	0,050	0,130	0,065	797,000
Media	7,462	0,059	0,095	0,078	1018,200
Mediana	7,450	0,050	0,065	0,080	1067,000
Desviación Estándar	0,135	0,044	0,047	0,018	127,400
Varianza	0,018	0,002	0,002	0,000	16230,700
Coefficiente de Variabilidad %	1,811	73,977	49,373	23,378	12,512
Error Estándar	0,060	0,020	0,021	0,008	56,975
Grados de Libertad	4	4	4	4	4
T tab	2,776	2,776	2,776	2,776	2,776
Intervalo de Confianza (+/-)	0,168	0,054	0,058	0,023	158,162
Intervalo de Confianza %	2,249	91,840	61,295	29,023	15,534

**SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE**  
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**Proyecto Sulfuros Primarios**  
**TABLA 5**

**Resultados de la Medición del pH del Agua Subterránea, Estación MW-SXN**

<b>Fecha</b>	<b>pH</b>
ene-98	8,32
feb-98	8,31
mar-98	8,44
abr-98	3,98
may-98	8,38
jun-98	8,26
jul-98	7,62
ago-98	8,08
sep-98	7,53
oct-98	7,32
nov-98	7,37
dic-98	7,15
ene-99	8,36
feb-99	3,93
mar-99	8,07
abr-99	7,26
may-99	7,56
jun-99	7,29
jul-99	7,41
ago-99	8,61
sep-99	4,43
oct-99	7,80
nov-99	8,41
dic-99	NT
ene-00	7,79
feb-00	7,69
mar-00	8,33
abr-00	7,91
may-00	7,88
jun-00	7,56
jul-00	8,110
ago-00	7,480
sep-00	7,830
oct-00	8,170
nov-00	7,920
dic-00	7,380
ene-01	7,420
feb-01	8,15
mar-01	7,62
abr-01	7,23
may-01	NT
jun-01	7,690
jul-01	7,960
ago-01	6,890
sep-01	NT
oct-01	7,800
nov-01	3,070
dic-01	7,100
ene-02	6,620
feb-02	6,620
mar-02	6,040
abr-02	7,260
may-02	4,7
jun-02	4,7
jul-02	6,9
ago-02	8,1
sep-02	4,53
oct-02	6,42
nov-02	6,58
dic-02	7,24

NT                      Dato no tomado

**SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE**  
**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
 Proyecto Sulfuros Primarios  
**TABLA 6**

**Análisis de Tendencia para la Serie de datos de pH del Agua Subterránea, Estación MW-SXN (1998-2002)**

Año	Estación											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8,32	8,31	8,44	3,98	8,38	8,26	7,62	8,08	7,53	7,32	7,37	7,15
2	8,36	3,93	8,07	7,26	7,56	7,29	7,41	8,61	4,43	7,8	8,41	
3	7,79	7,69	8,33	7,91	7,88	7,56	8,11	7,48	7,83	8,17	7,92	7,38
4	7,42	8,15	7,62	7,23		7,69	7,96	6,89		7,8	3,07	7,1
5	6,62	6,62	6,04	7,26	4,66	4,67	6,88	8,07	4,53	6,42	6,58	7,24
ni	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4

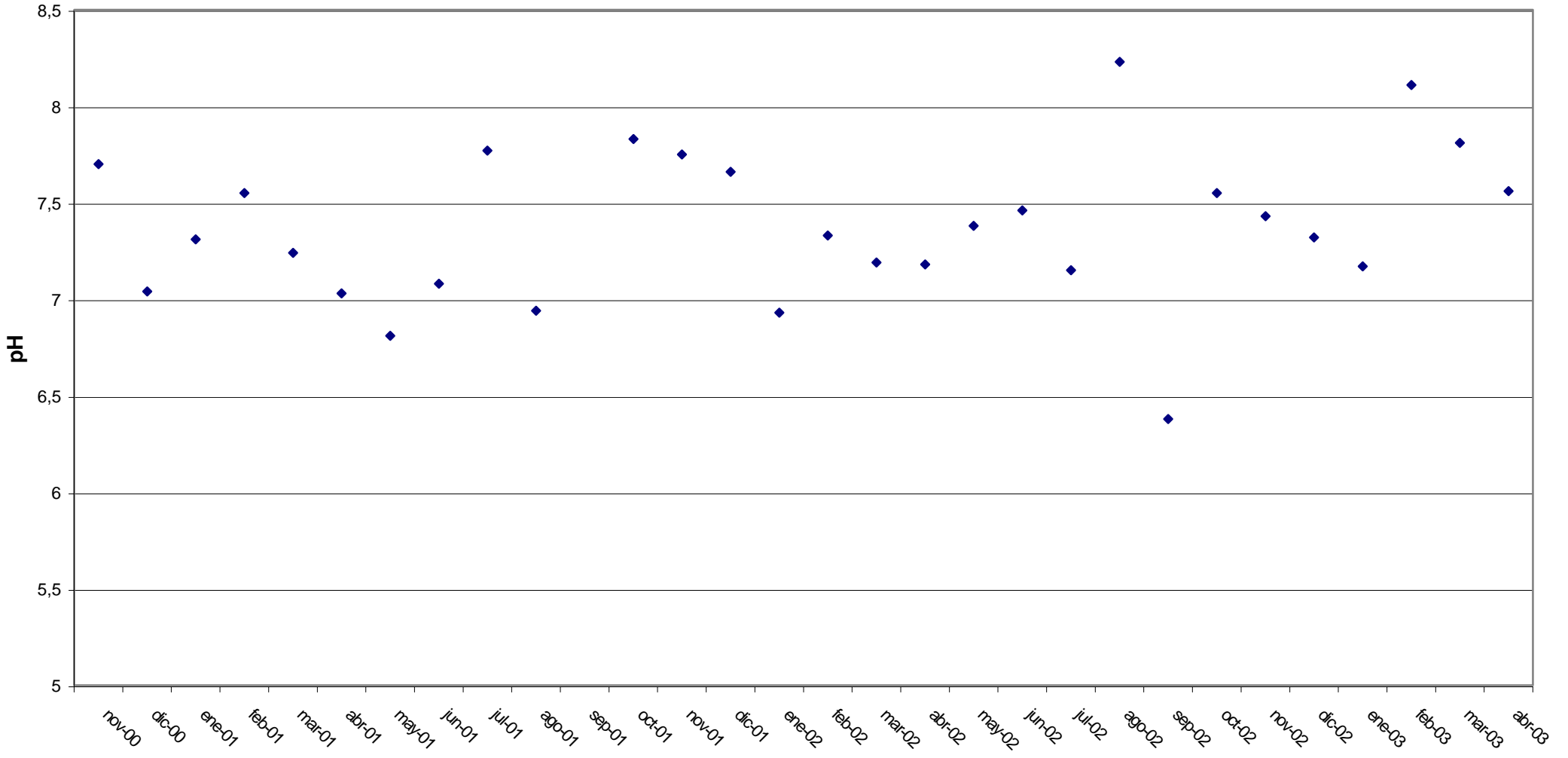
Xil-Xij												
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
l,k												
1	0,04	-4,38	-0,37	3,28	-0,82	-0,97	-0,21	0,53	-3,1	0,48	1,04	-7,15
2	-0,57	3,76	0,26	0,65	0,32	0,27	0,7	-1,13	3,4	0,37	-0,49	7,38
3	-0,53	-0,62	-0,11	3,93	-0,5	-0,7	0,49	-0,6	0,3	0,85	0,55	0,23
4	-0,37	0,46	-0,71	-0,68	-7,88	0,13	-0,15	-0,59	-7,83	-0,37	-4,85	-0,28
5	-0,94	4,22	-0,45	-0,03	-7,56	0,4	0,55	-1,72	-4,43	0	-5,34	7,1
6	-0,9	-0,16	-0,82	3,25	-8,38	-0,57	0,34	-1,19	-7,53	0,48	-4,3	-0,05
7	-0,8	-1,53	-1,58	0,03	4,66	-3,02	-1,08	1,18	4,53	-1,38	3,51	0,14
8	-1,17	-1,07	-2,29	-0,65	-3,22	-2,89	-1,23	0,59	-3,3	-1,75	-1,34	-0,14
9	-1,74	2,69	-2,03	0	-2,9	-2,62	-0,53	-0,54	0,1	-1,38	-1,83	7,24
10	-1,7	-1,69	-2,4	3,28	-3,72	-3,59	-0,74	-0,01	-3	-0,9	-0,79	0,09
Sum +	1	4	1	7	2	3	4	3	4	3	3	6
Sum -	9	6	9	2	8	7	6	7	6	6	7	4
Si	-8	-2	-8	5	-6	-4	-2	-4	-2	-3	-4	2
Var Si	16,667	16,667	16,667	15,667	16,667	16,667	16,667	16,667	16,667	15,667	16,667	16,667

i 1.....12  
 gi 1 (para meses 4 y 10 ; 0 para los demás)  
 tip 2 (para meses 4 y 10 ; 0 para los demás)  
 hi 0  
 uiq 0  
 n 60  
 Ho No tendencia  
 Ha Tendencia descendente  
 S' -36  
 Var S' 198,004  
 Z calculado -2,4873  
 Z tabular (0.95) 1,65  
 Se rechaza Ho

## **Figuras**

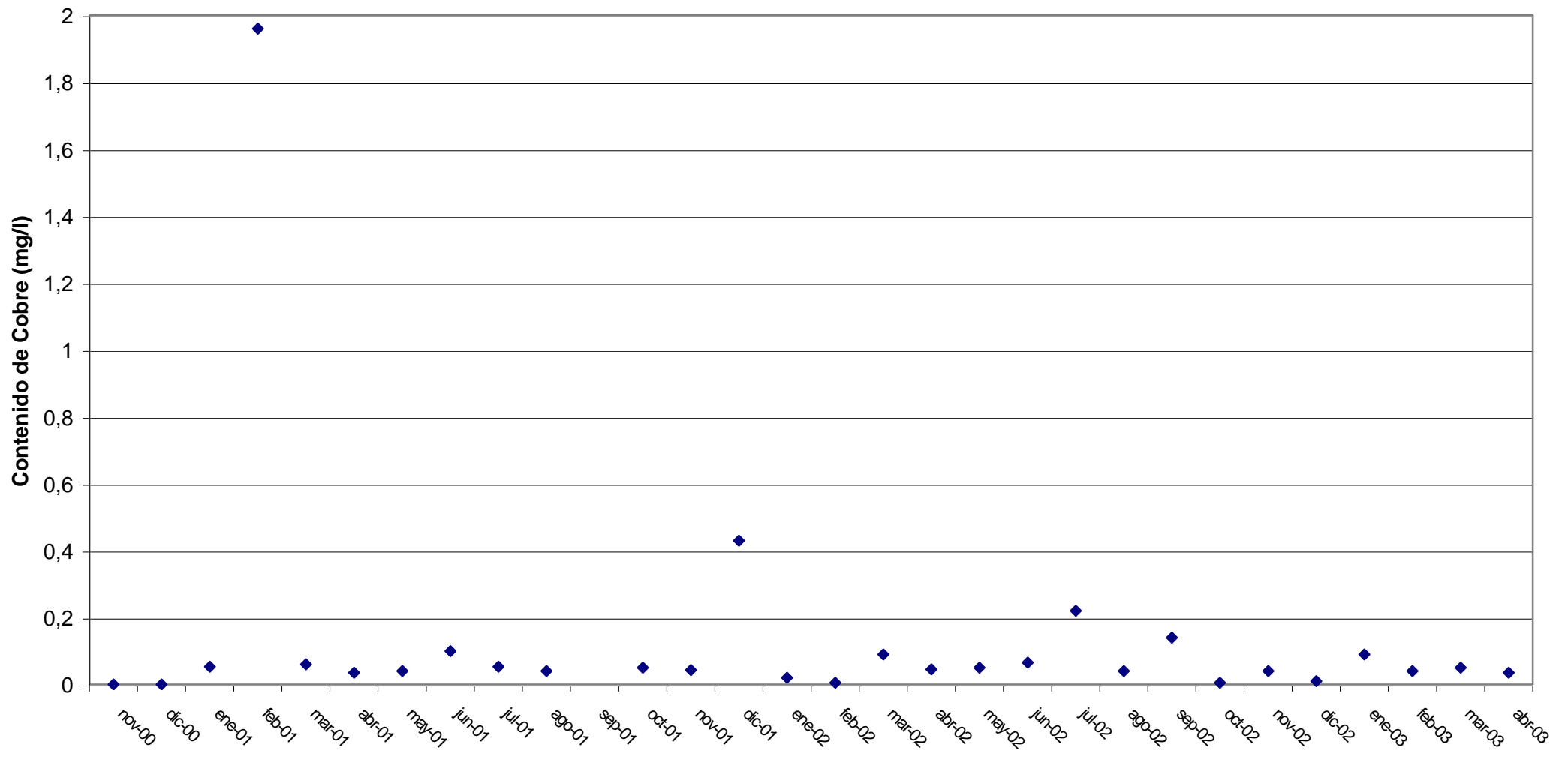
Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.  
Estudio de Impacto Ambiental  
Proyecto Sulfuros Primarios

Figura 1  
Variación del pH en la Estación MA - 24 (Nov 2000 - Abr 2003)



Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.  
Estudio de Impacto Ambiental  
Proyecto Sulfuros Primarios

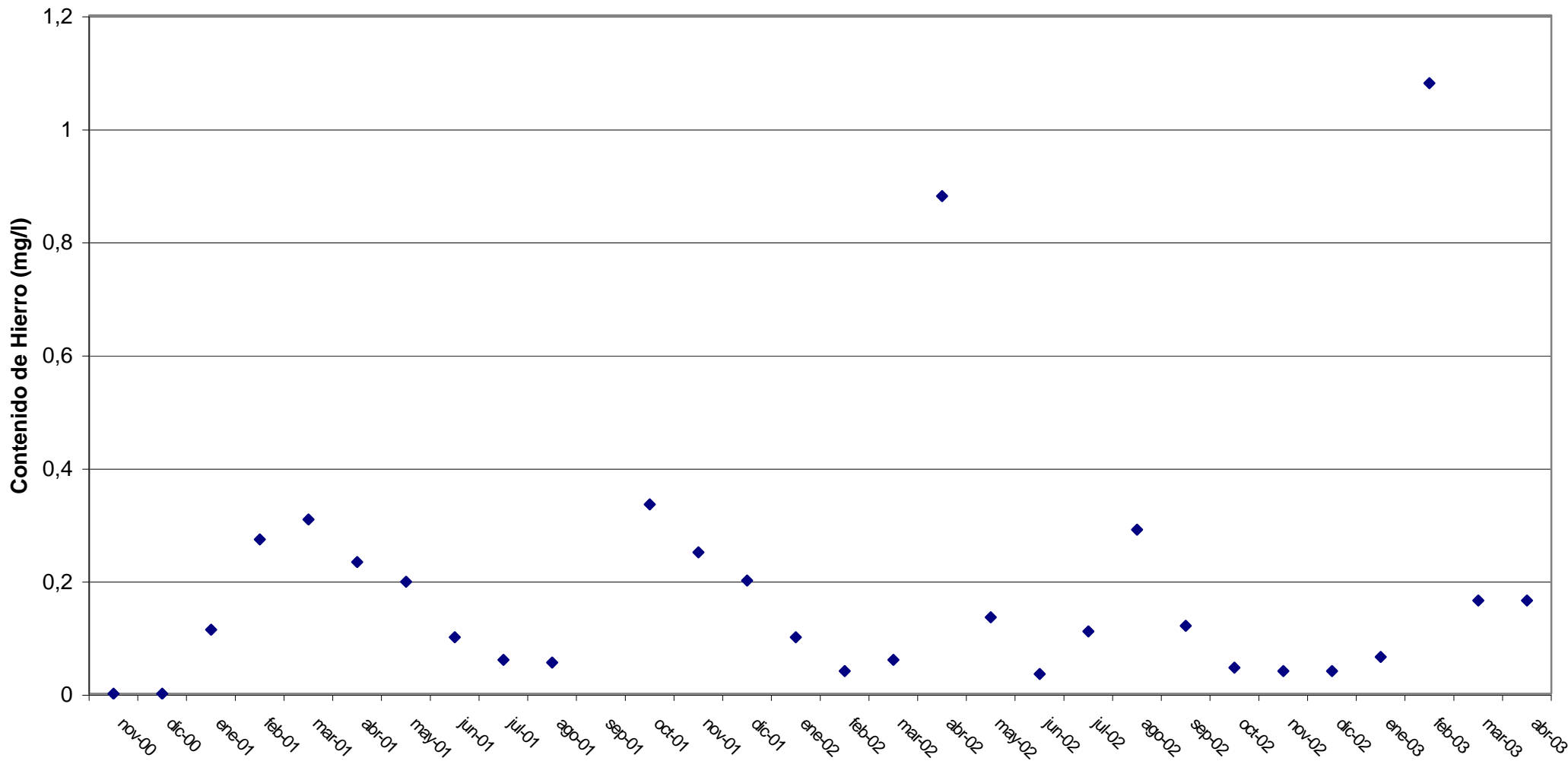
Figura 2  
Contenido de Cobre en la Estación MA-24 (Nov 2000 - Abr 2003)





Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.  
Estudio de Impacto Ambiental  
Proyecto Sulfuros Primarios

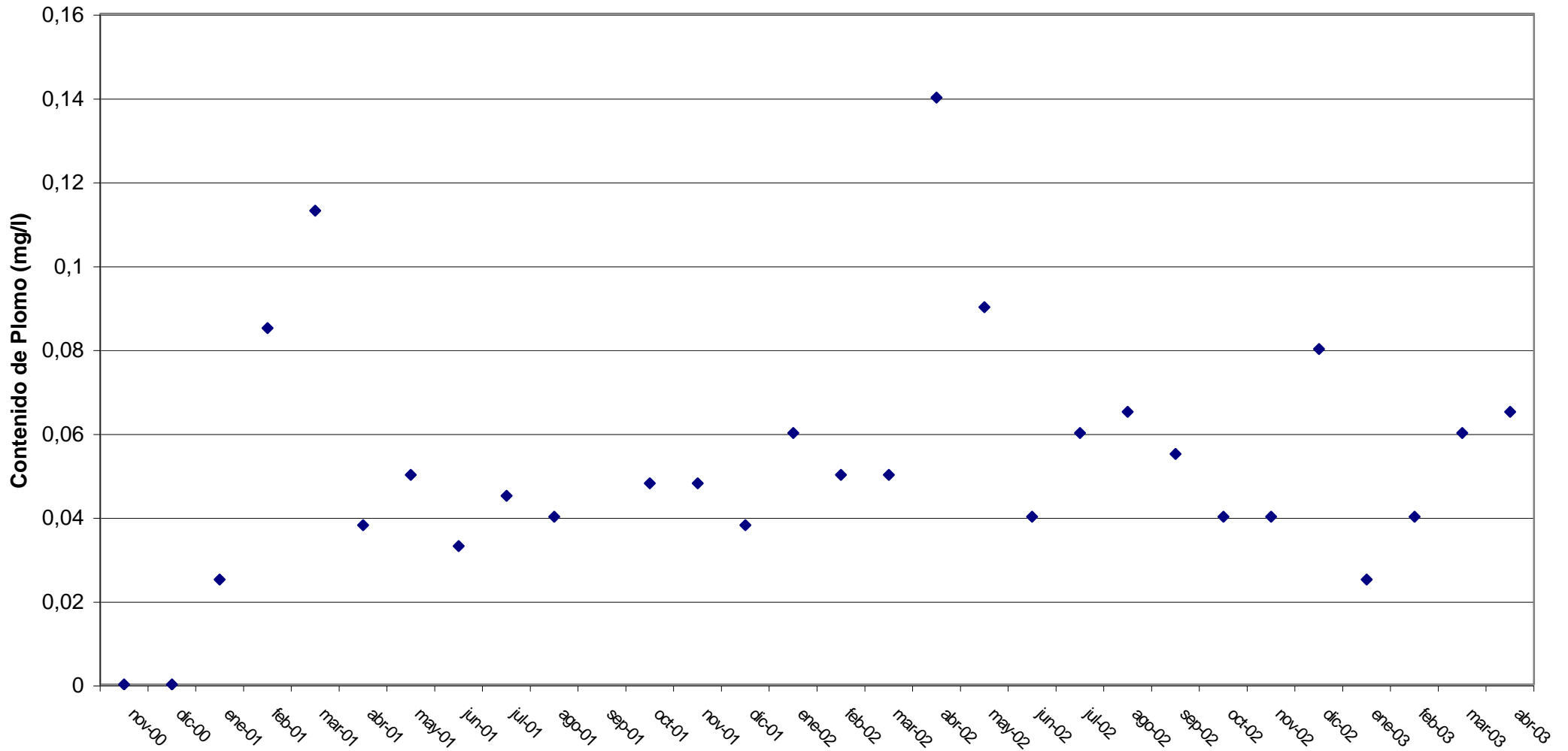
Figura 3  
Contenido de Hierro en la Estación MA-24 (Nov 2000 - Abr 2003)



Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.  
Estudio de Impacto Ambiental  
Proyecto Sulfuros Primarios

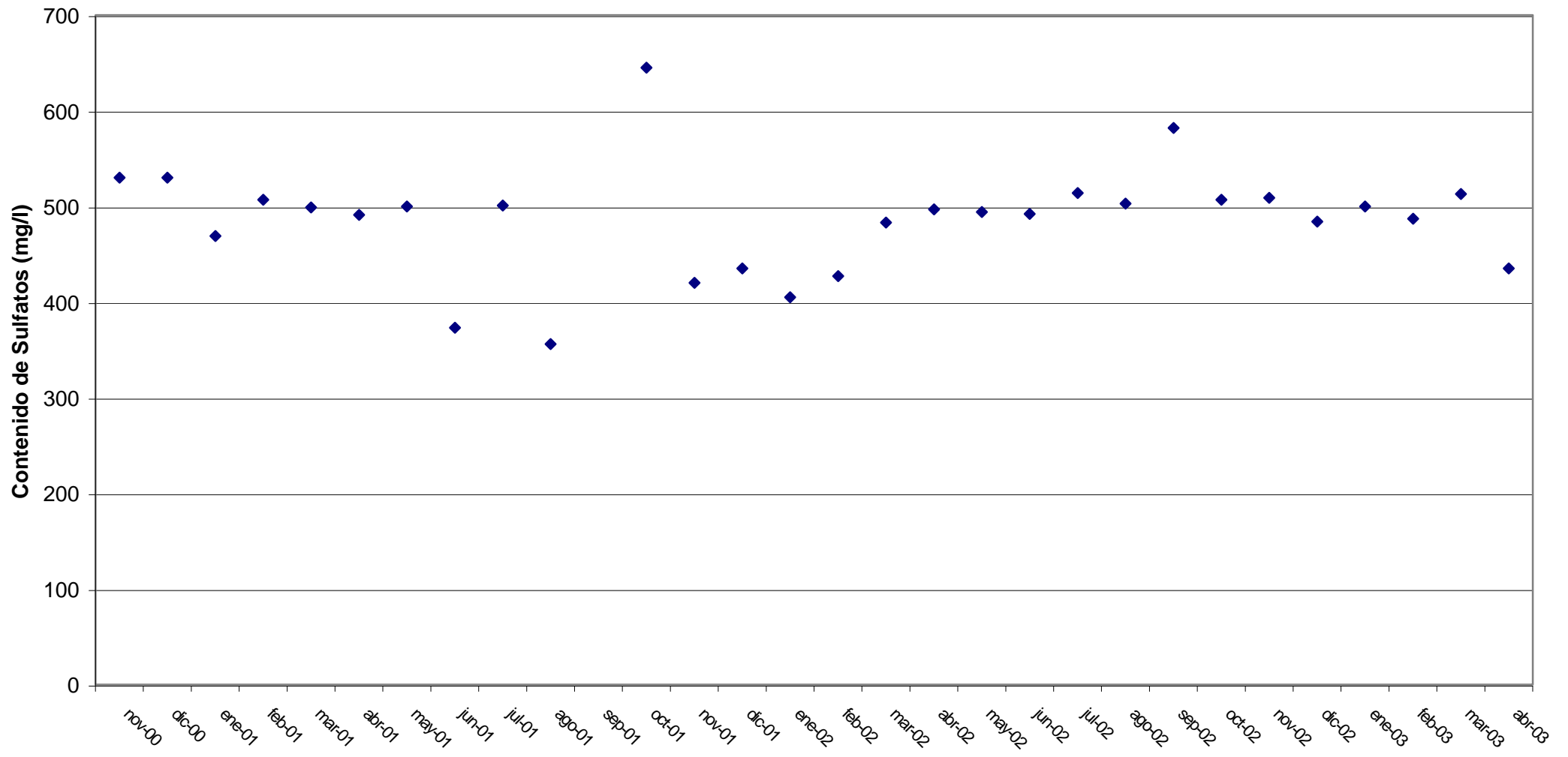
Figura 4

Contenido de Plomo en la Estación MA-24 (Nov 2000 - Abr 2003)



Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.  
Estudio de Impacto Ambiental  
Proyecto Sulfuros Primarios

Figura 5  
Contenido de Sulfatos en la Estación MA-24 (Nov 2000 - Abr 2003)



**Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.**  
**Estudio de Impacto Ambiental**  
**Proyecto Sulfuros Primarios**  
**Figura 6**  
**Variación del pH en la Estación MW-SXN (1998-2002)**

