TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA 2
2.1. Ubicación puntos de estudio 2
2.2. Parámetros a Analizar 2
3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA - SULFATO 4
3.1. Aspectos Generales 4
3.2. Series de Valores Medios Mensuales Concentración Sulfato 4
3.3. Concentración de Sulfato en el Tiempo 12
3.4. Análisis de Medias Móviles para Sulfato y Caudal 12
4. ANÁLISIS DE OTROS PARÁMETROS 27
5. CONCLUSIONES 42
6. REFERENCIAS 43



Carlos Espinoza C.
Ingeniero Civil, Ph.D.
Representante Legal HIDROMAS

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se desarrolla un análisis integrado de la hidrología y la calidad del agua en el río Del Estrecho, con el propósito de explicar el comportamiento que a lo largo del este río y través del tiempo, han presentado las concentraciones de un conjunto de parámetros físico-químicos representativo del Drenaje de Acido de Roca (en adelante, DAR) durante un período previo al inicio del proyecto Pascua Lama, en octubre de 2009. Lo anterior, con el objeto de responder las consultas sobre esta materia formuladas en la Carta N° 351 del Servicio de Evaluación Ambiental de la Región de Atacama, en el marco del procedimiento de revisión de la RCA N° 24/2006.

El análisis comprende las estaciones NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8 ubicadas en el río Del Estrecho y las estaciones NE-1A y NE-7, ubicadas en la quebrada Barriales y río Blanco, respectivamente. Todas estas estaciones poseen información de caudal y calidad de aguas, con la estadística de los siguientes parámetros: pH, aluminio (Al), arsénico (As), cobre (Cu), conductividad eléctrica (CE), fierro total (Fe total), manganeso (Mn), sulfato (SO_4) y zinc (Zn). Aunque en el presente informe el análisis se centrará principalmente en el sulfato, las otras variables también se analizan de forma más resumida.

Este informe se centrará en el análisis de la evolución de las concentraciones de Sulfato y la correlación que existe entre éstas y los caudales medidos durante el periodo enero de 2000 a septiembre de 2009, a lo largo del río Del Estrecho, y en algunos de sus afluentes al mismo en los cuales no existe influencia del Proyecto Pascua Lama. Lo anterior, considerando que la relación que existe entre las concentraciones de Sulfato y los caudales que se presentan se observa de forma mucho más clara en la evolución de este parámetro, que en otros. De todas formas, se incluye un análisis más sintético de los otros 8 parámetros representativos de DAR, dando cuenta del comportamiento de estos durante el mismo periodo, de forma más sintetizada.

2. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

2.1. Ubicación puntos de estudio

En el presente estudio se analiza la información fluviométrica y de calidad de aguas analizadas proveniente de las estaciones de monitoreo que se ubican en el río Del Estrecho/Chollay, quebrada Barriales y río Blanco. En la Figura 2.1 se presenta la ubicación de dichas estaciones.

2.2. Parámetros a Analizar

El análisis se efectuará con respecto a las concentraciones de los parámetros representativos DAR, estos son:

- Sulfato.
- Aluminio.
- pH.
- Arsénico.
- Cobre.
- Conductividad Eléctrica.
- Fierro Total.
- Manganeso.
- Zinc.

Para efectos de este análisis, se utilizaron las mediciones realizadas durante enero de 2000 a septiembre de 2009. Si bien en algunas estaciones presentan mediciones anteriores al año 2000, con objeto de homogeneizar la información, se determinó dicha fecha de inicio para este estudio, por cuanto a partir de ésta todas las estaciones presentan información tanto de caudal como de calidad de aguas. La fecha final corresponde al último mes antes del inicio de la construcción del Proyecto.

Figura 2.1
Ubicación de las Estaciones en Estudio



Fuente: Elaboración Propia.

3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA - SULFATO

3.1. Aspectos Generales

A continuación se da cuenta de la relación que existe entre las concentraciones de Sulfatos y el caudal a lo largo del río Del Estrecho, y a nivel temporal.

3.2. Series de Valores Medios Mensuales Concentración Sulfato

En esta sección se presenta un análisis de la estadística mensual media del parámetro Sulfato (se analiza en detalle este parámetro porque los resultados se observan de forma mucho más clara en éste que para el resto de los parámetros. De todas formas se incluye un análisis más sintético de los otros 8 parámetros) en las estaciones NE-5, NE-2A, NE-1A, NE-3, NE-4, NE-7 y NE-8.

En las Figuras 3.1 a 3.7 se presentan las series de variación estacional para el caudal y la concentración de sulfato para cada punto de monitoreo (considerando datos hasta septiembre de 2009).

Como se observa en las Figuras 3.1 y 3.2, en las denominadas estaciones de la Parte Alta (NE-5 y NE-2A) en el período 2000-2009 existe una relación inversamente proporcional entre las variables en estudio, en donde a medida que el caudal aumenta en la época de deshielo (diciembre-marzo) las concentraciones de sulfato disminuyen.

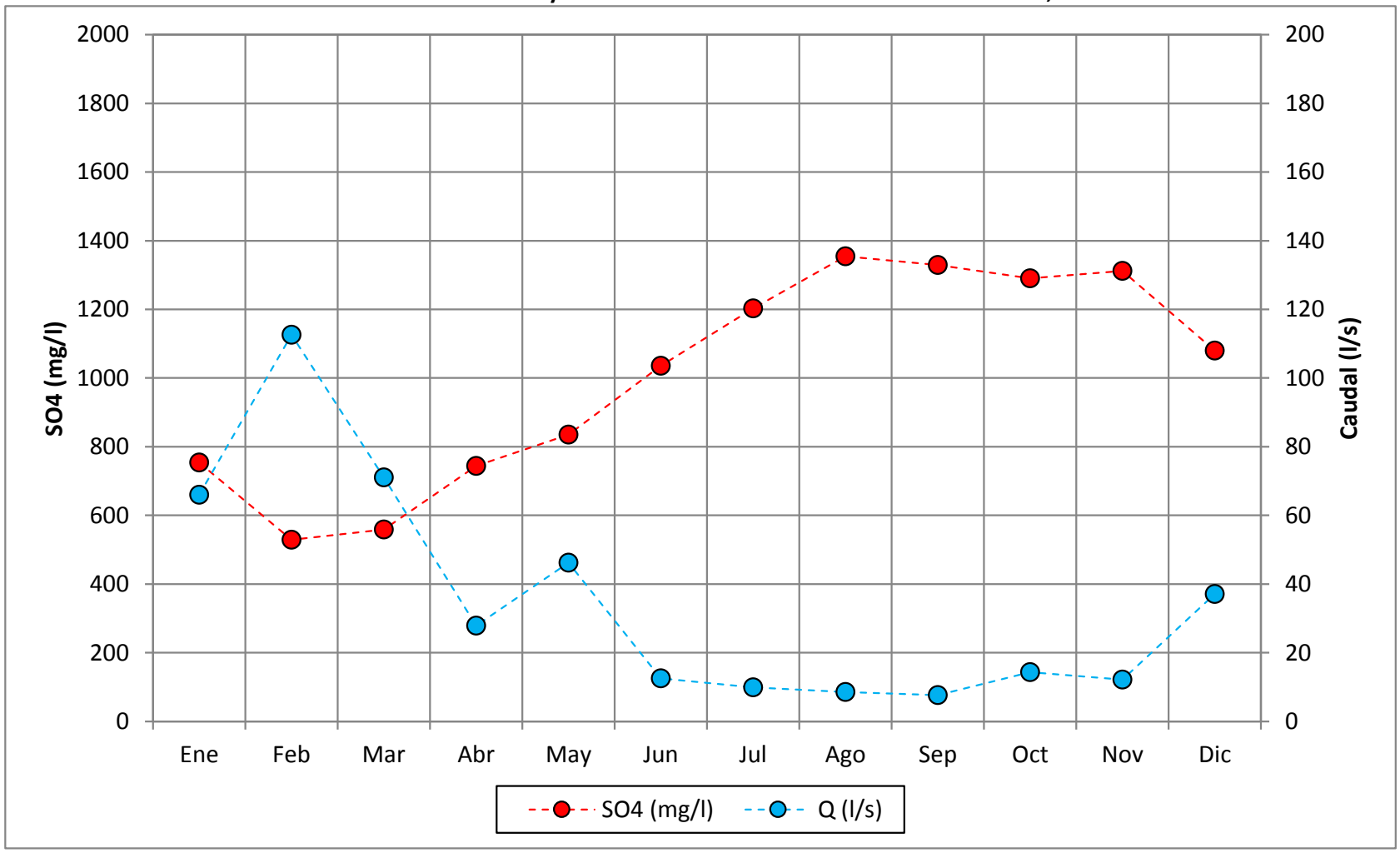
Respecto a las estaciones que representan los aportes laterales, NE-1A (quebrada Barriales) y NE-7 (río Blanco), en las cuales no existe intervención del Proyecto, en las Figuras 3.3 y 3.6 se observa que en el primer punto la concentración de sulfato se mantiene relativamente constante durante el año, pese a que el caudal sí cambia estacionalmente. En el caso del punto NE-7 no se observa una tendencia clara con respecto a las concentraciones medias y los caudales promedio a lo largo del año.

Por último, en las Figuras 3.4, 3.5 y 3.7 se muestran las estaciones ubicadas en la parte Media-Baja de la cuenca, para las cuales se observa que:

- Para NE-3 en términos promedio, no existe una relación entre caudal y concentración de sulfato tan clara como para NE-5 y NE-2A, aunque se observa una variación estacional marcada en términos de caudal (valores más altos en la temporada de deshielo) y una cierta disminución de las concentraciones hacia noviembre y diciembre (aunque en enero los valores suben rápidamente).
- Para NE-4 la concentración de sulfato durante el año, en términos promedio, se observa muy estable con valores en torno a 150 mg/l, y con un caudal con una marcada influencia del régimen glacio-nival imperante en la cuenca.
- Para NE-8 se observa un comportamiento, en términos promedio, muy similar al observado en NE-4.

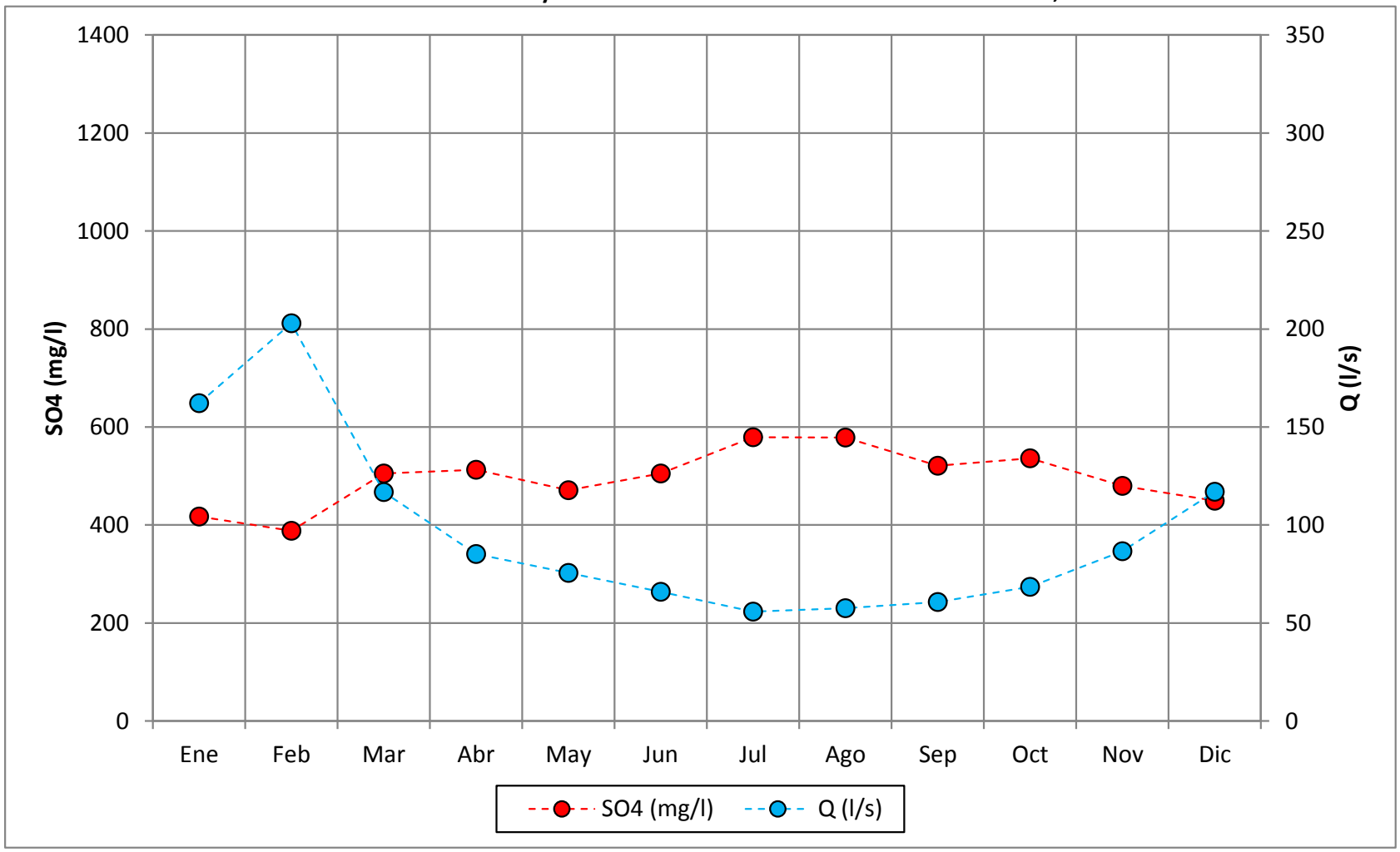
En conclusión, se puede indicar que la variación estacional tanto del caudal como de la concentración de sulfato, es distinta según el sector del sistema que se está analizando. En la parte alta (NE-5 y NE-2A) las variaciones de caudal y de concentración de sulfatos son inversamente proporcionales y más acentuadas que en la parte media-baja, además se alcanzan las mayores magnitudes de sulfatos. En la zona media-baja (NE-3, NE-4 y NE-8) la variación estacional de ambas variables se observa, pero de manera más leve que en la parte alta.

Figura 3.1
Variación Mensual del Caudal y de la concentración de Sulfato en Estación NE-5, Parte Alta



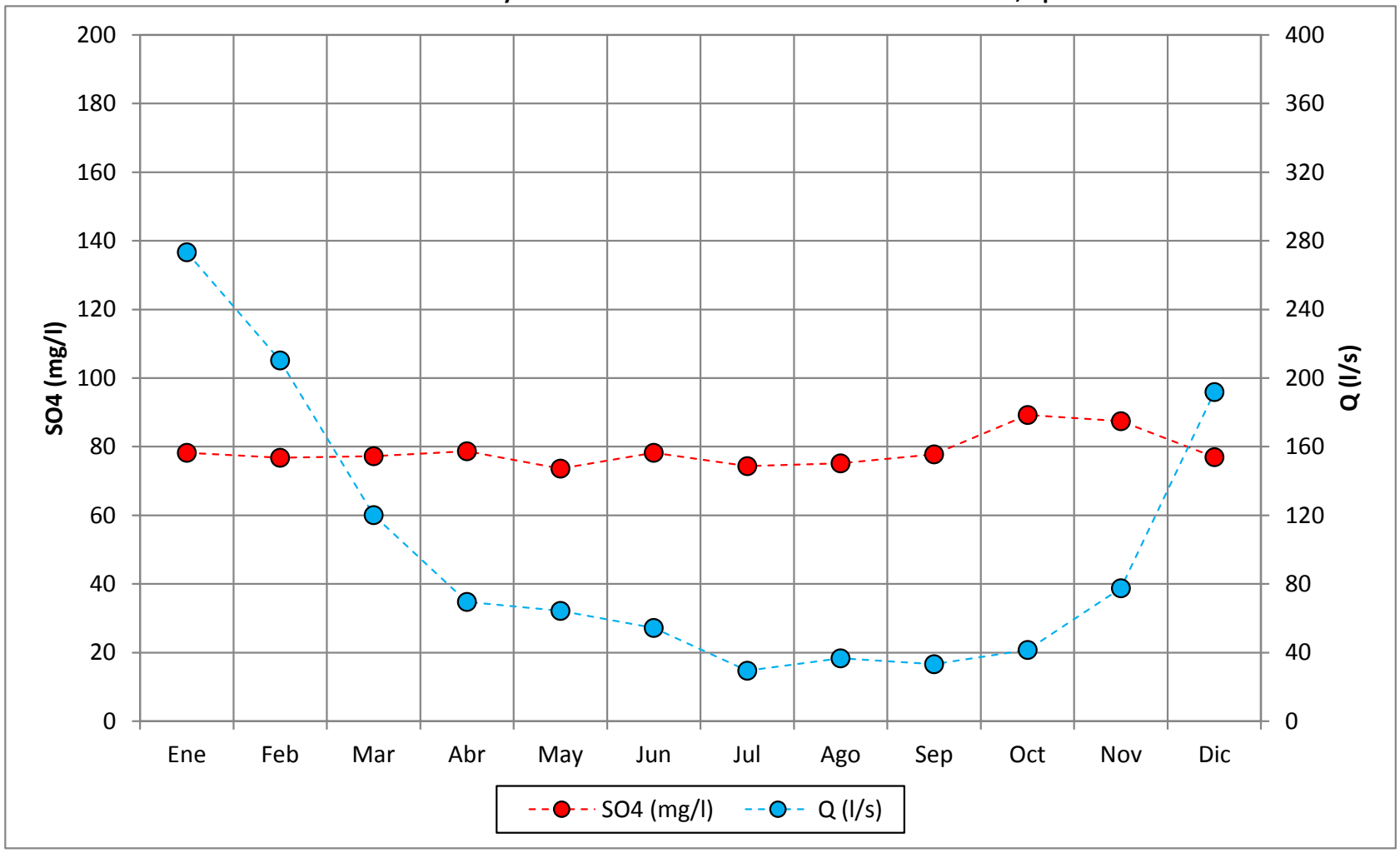
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.2
Variación Mensual del Caudal y de la concentración de Sulfato en Estación NE-2A, Parte Alta



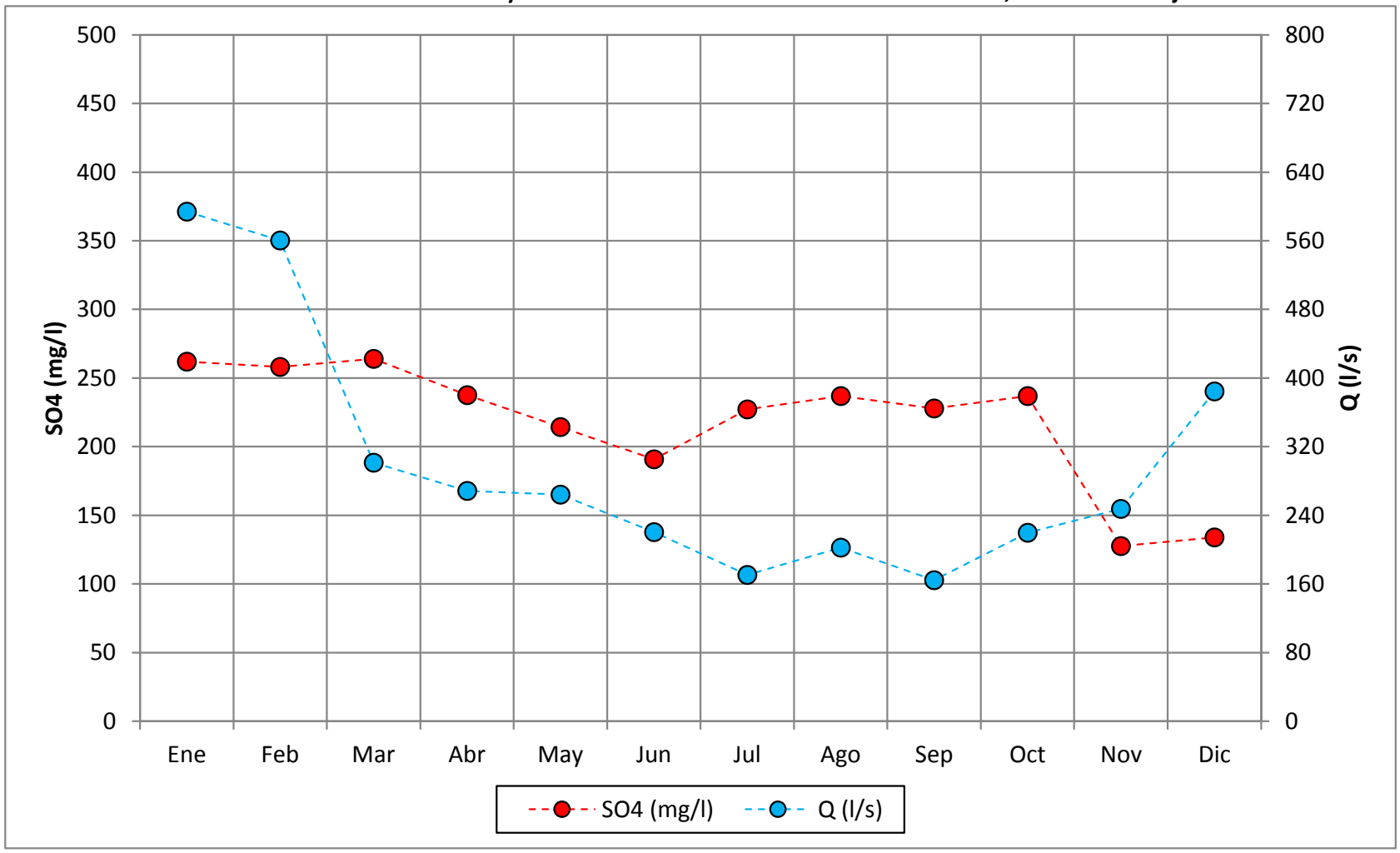
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.3
Variación Mensual del Caudal y de la concentración de Sulfato en Estación NE-1A, Aportes Laterales



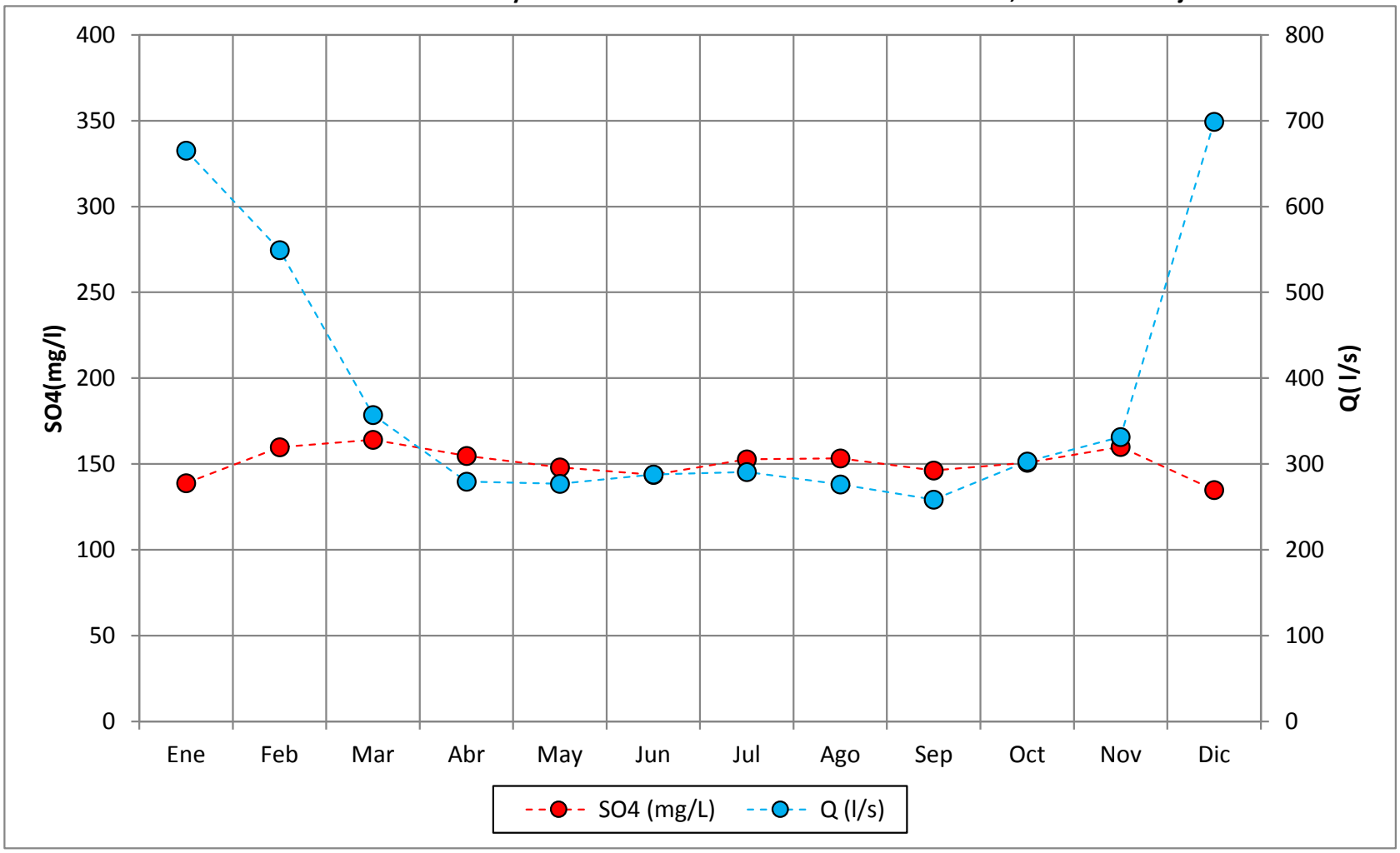
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.4
Variación Mensual del Caudal y de la concentración de Sulfato en Estación NE-3, Parte Media Baja



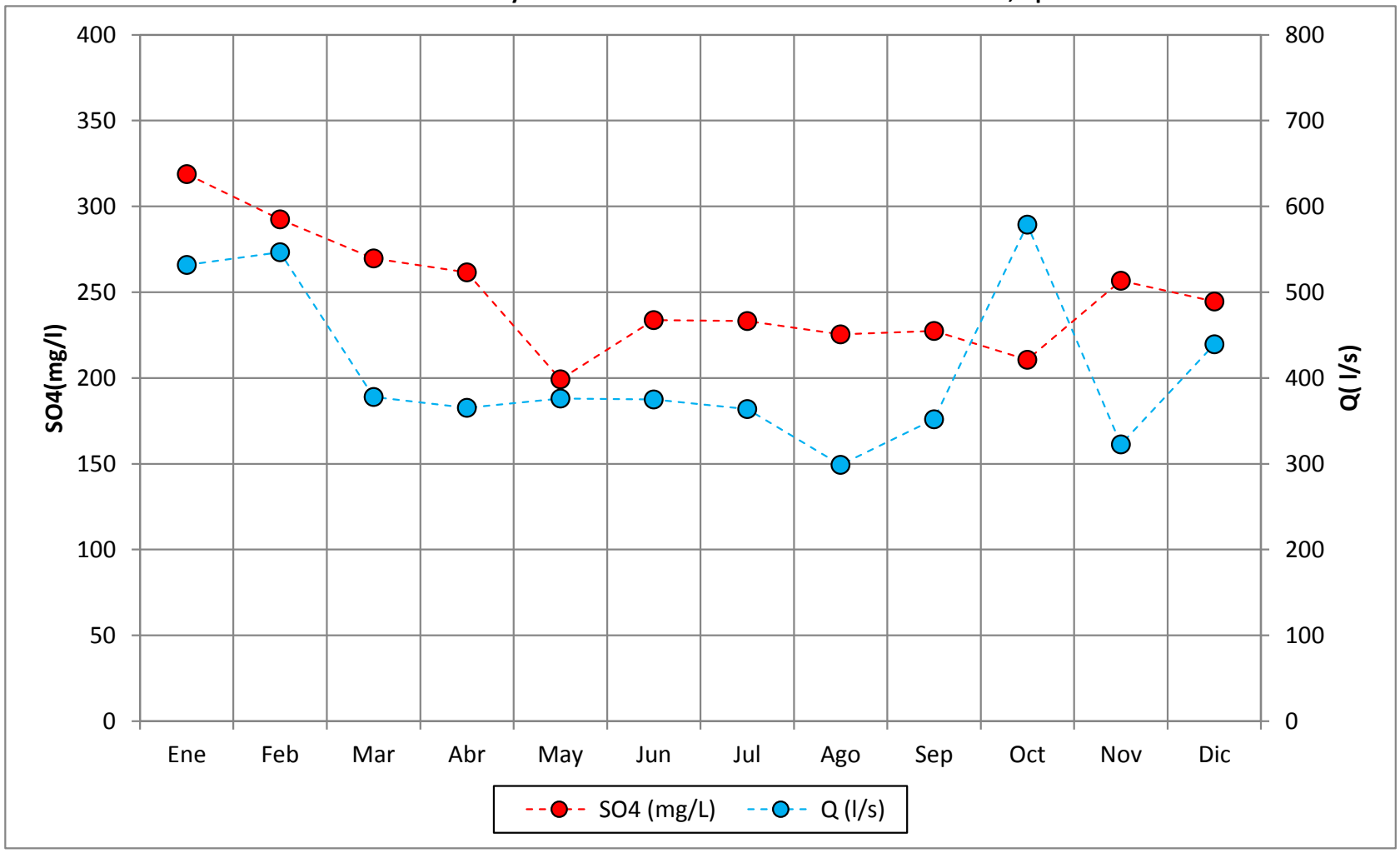
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.5
Variación Mensual del Caudal y de la concentración de Sulfato en Estación NE-4, Parte Media Baja



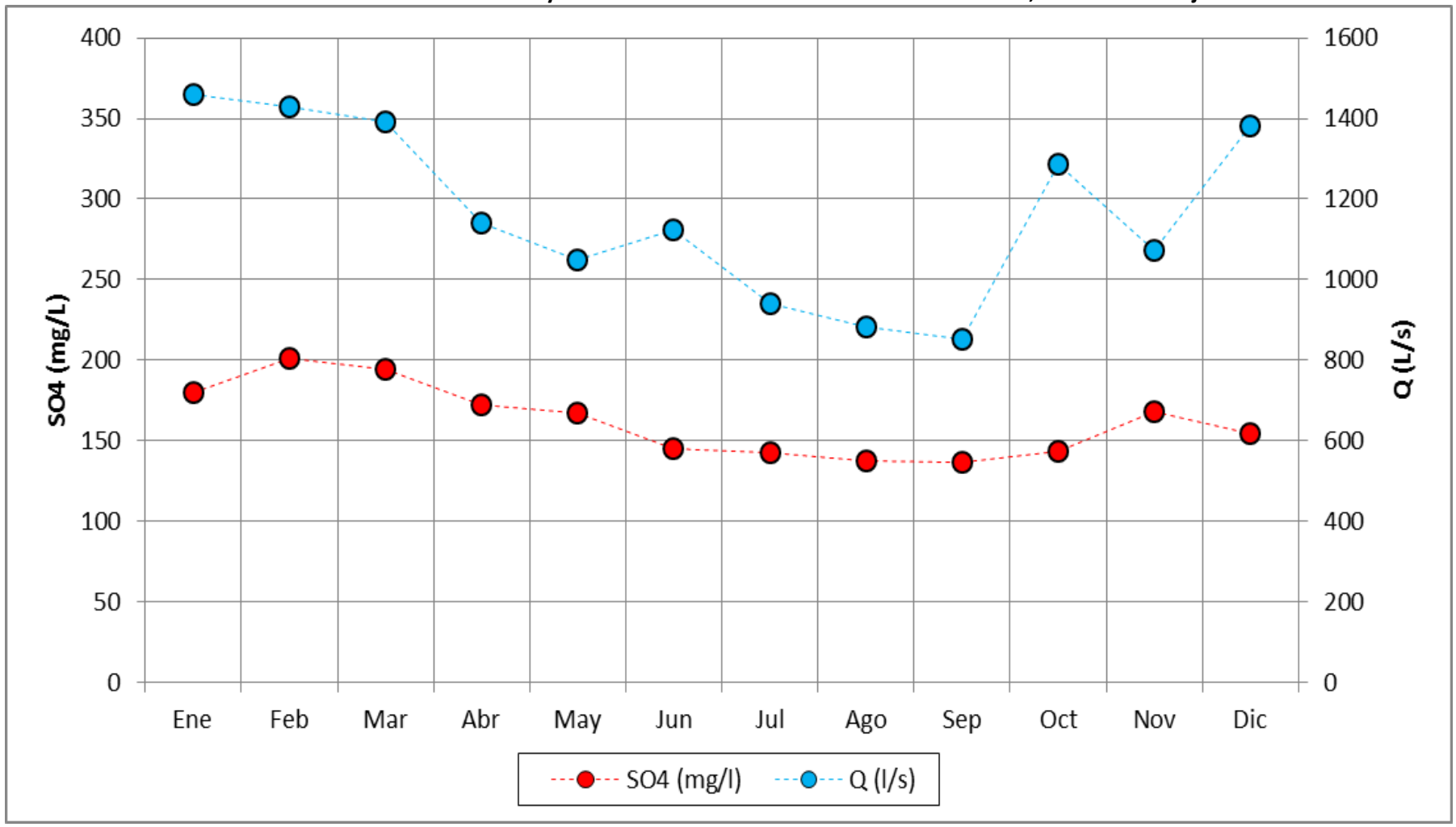
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.6
Variación Mensual del Caudal y de la concentración de Sulfato en Estación NE-7, Aportes Laterales



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.7
Variación Mensual del Caudal y de la concentración de Sulfato en Estación NE-8, Parte Media Baja



Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Concentración de Sulfato en el Tiempo

A partir de la información disponible, se realizaron gráficos de la evolución de la concentración de sulfato en el tiempo, y tal como se mencionó anteriormente, el análisis fue desde el año 2000 a septiembre del 2009.

En las Figuras 3.8 a 3.14 se muestra la concentración de sulfato en el tiempo, para las 7 estaciones en estudio. Como se puede observar en dichas figuras, las concentraciones de sulfato en el tiempo tienden a aumentar desde el año inicial considerado para el análisis, el 2000, hasta el 2009.

En las estaciones de la parte alta, NE-5 y NE-2A, la información posee una mayor dispersión y variación intra-anual que en el resto de las estaciones. A medida que se va hacia aguas abajo del río Del Estrecho/Chollay, las concentraciones disminuyen sus magnitudes y su variación porcentual.

En las estaciones de aportes laterales, NE-1A y NE-7, que tal como fue indicado anteriormente no se han visto afectadas por el comienzo de la construcción del Proyecto, se observa de igual forma una tendencia de aumento de las concentraciones.

En las estaciones de la parte baja, NE-4 y NE-8, los datos también muestran una tendencia al aumento de las concentraciones de sulfato, más allá de las variaciones estacionales que también se observan.

Del análisis estadístico realizado, se puede estimar que el aumento de la concentración de Sulfato a través del tiempo que se observan en las estaciones NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8, ubicadas en la cuenca del río Del Estrecho/Chollay, se debe a cambios naturales en el sistema hidrológico de la cuenca, dado que en la estaciones NE-1A y NE-7 que no se ven afectadas por el Proyecto, se observa de igual forma una tendencia de aumento de dichas concentraciones. Esta situación se puede deber a la disminución de caudales disponibles, por la ocurrencia de años hidrológicamente secos que presentan menores precipitaciones, en comparación al promedio histórico de la zona, situación de que da cuenta el "Análisis de Información Hidrológica", que se acompaña en el Anexo 1.

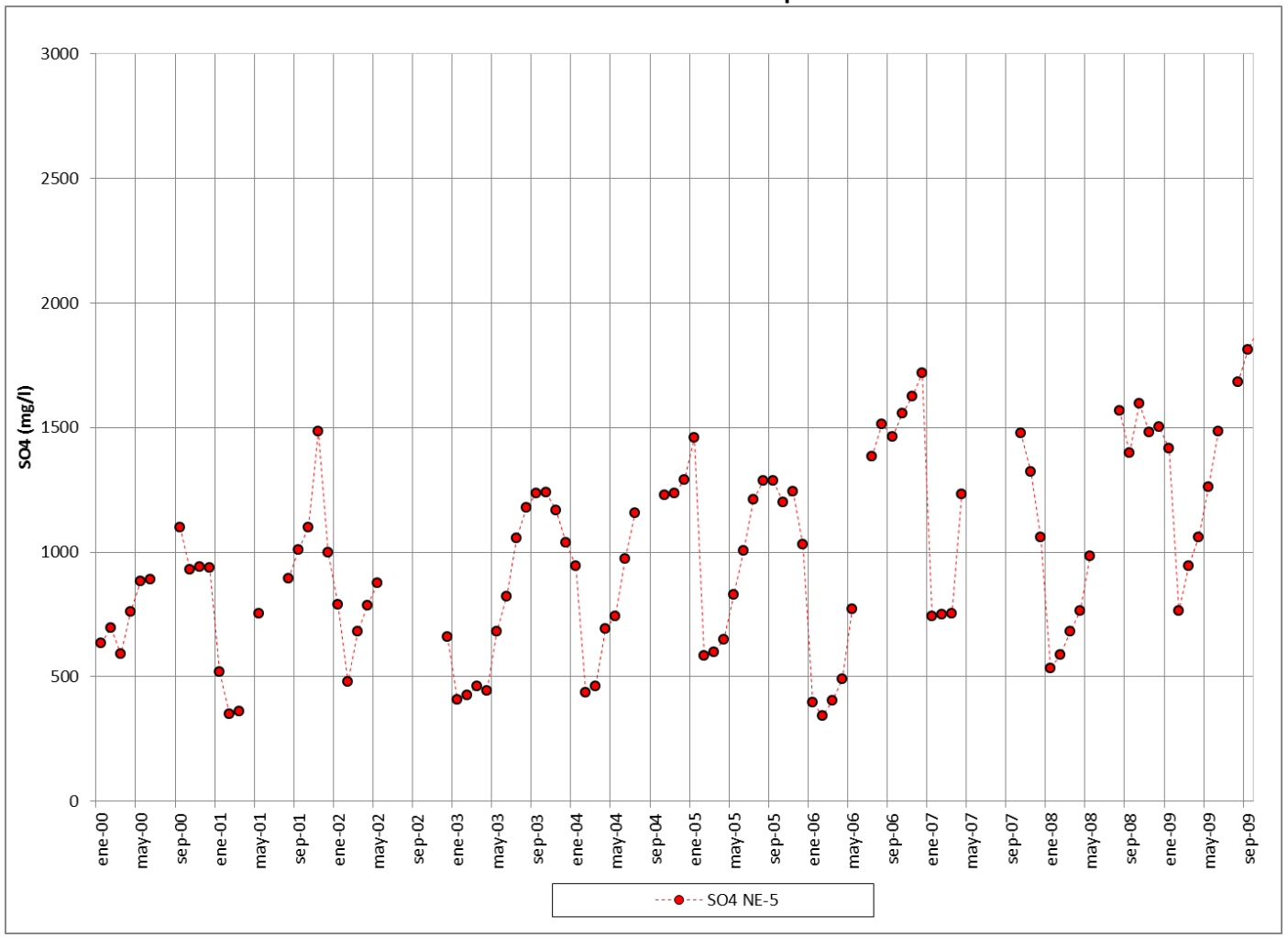
3.4. Análisis de Medias Móviles para Sulfato y Caudal

En complemento a lo presentado en los acápites 3.1 y 3.2, para visualizar el comportamiento de la concentración de sulfato y del caudal, se realizó un análisis de medias móviles, que consiste en que para cada mes se calcula un valor promedio que considera los 12 meses anteriores (dicho mes incluido), esto permite disminuir la dispersión de la información y visualizar de mejor manera los efectos interanuales y el comportamiento general de las variables.

En las Figuras 3.15 a 3.21 se presentan las series de medias móviles de caudal y concentración de sulfato, para los puntos en estudio.

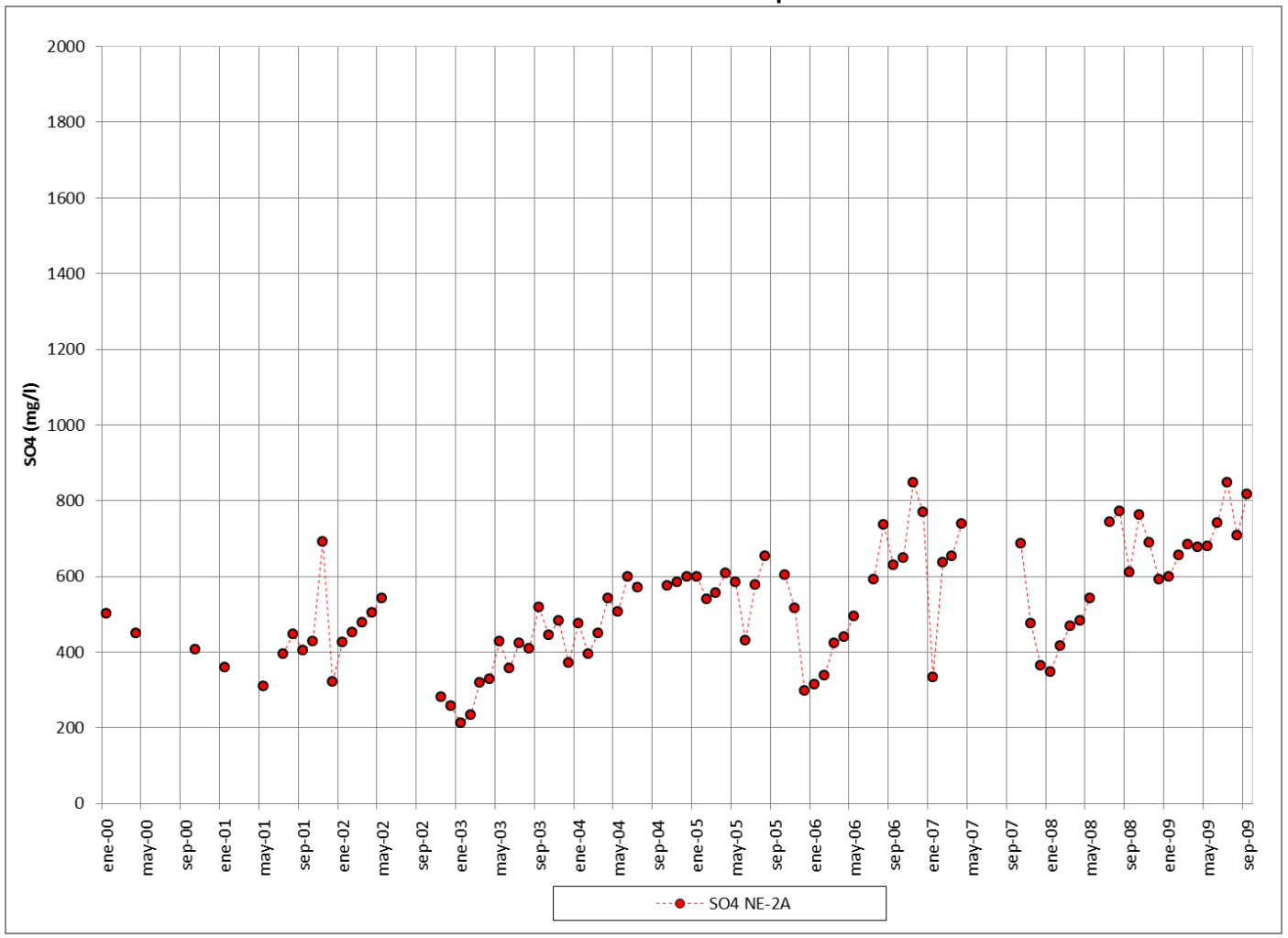
En el período de estudio, en todos los puntos (a excepción de NE-7) se observa una relación inversamente proporcional entre la concentración de sulfato y caudal. Además en todas las estaciones se verifica una tendencia clara al aumento de la concentración y una disminución del caudal en el tiempo.

Figura 3.8
Concentración de Sulfato en el Tiempo en NE-5



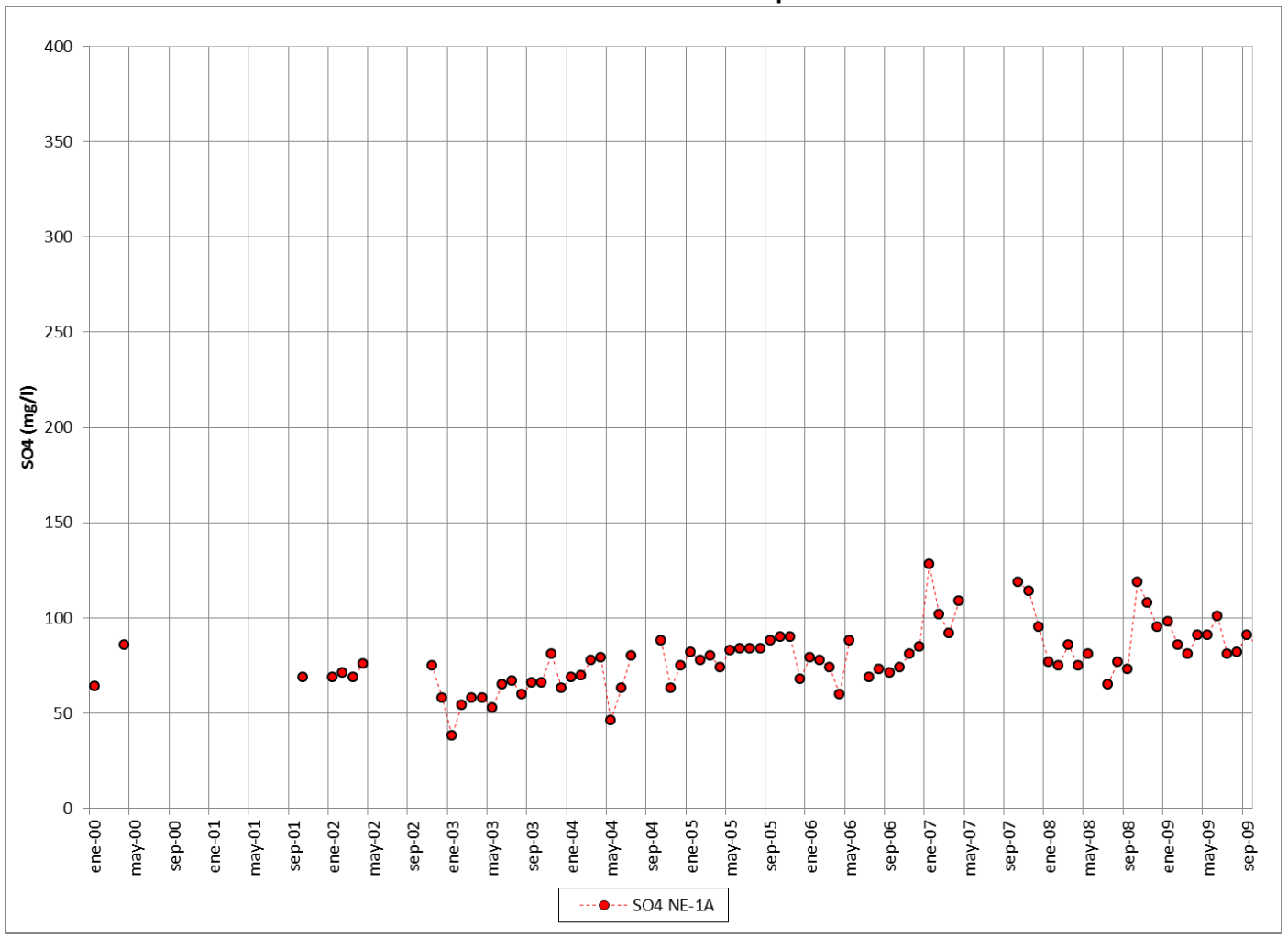
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.9
Concentración de Sulfato en el Tiempo en NE-2A



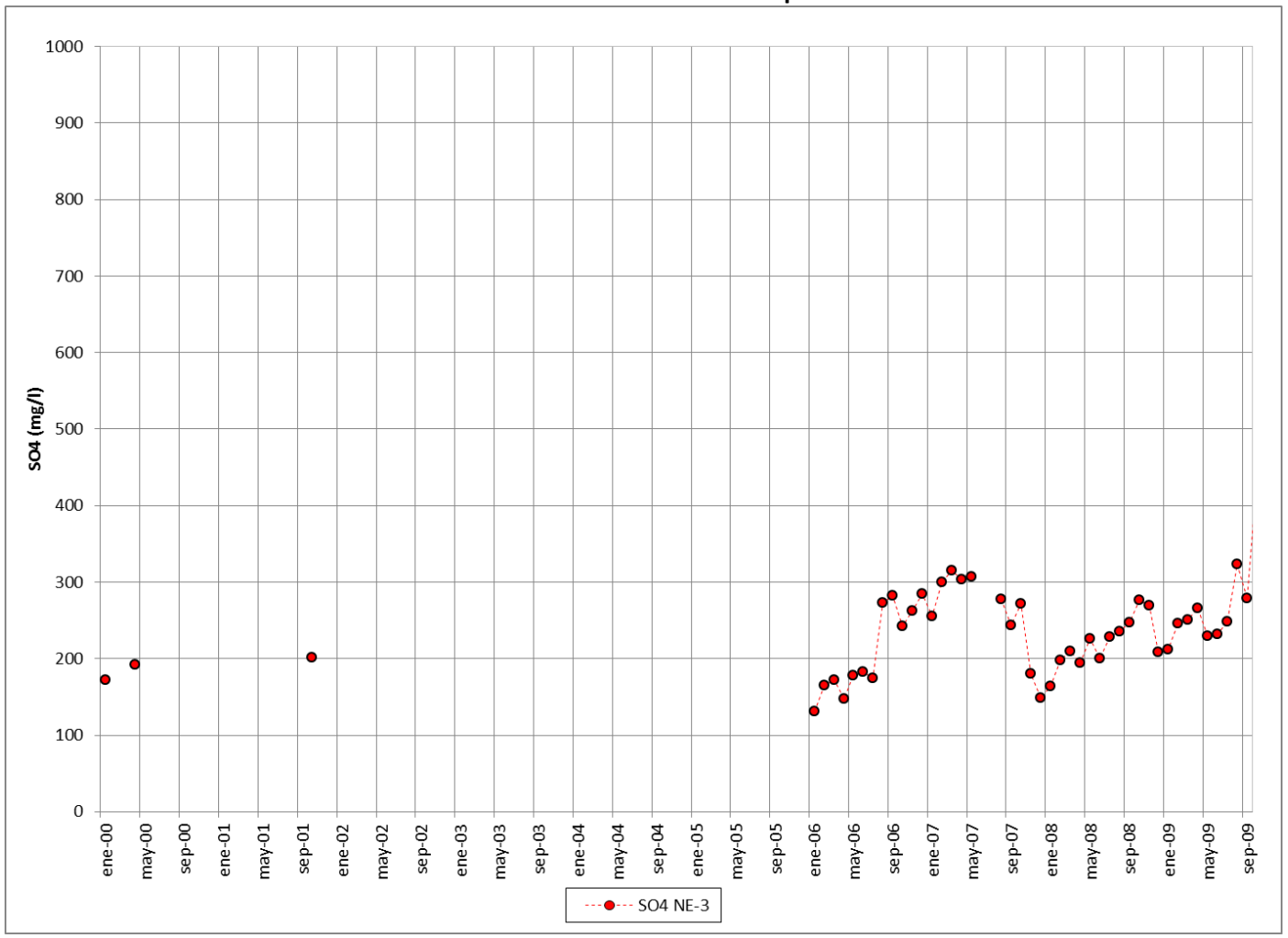
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.10
Concentración de Sulfato en el Tiempo en NE-1A



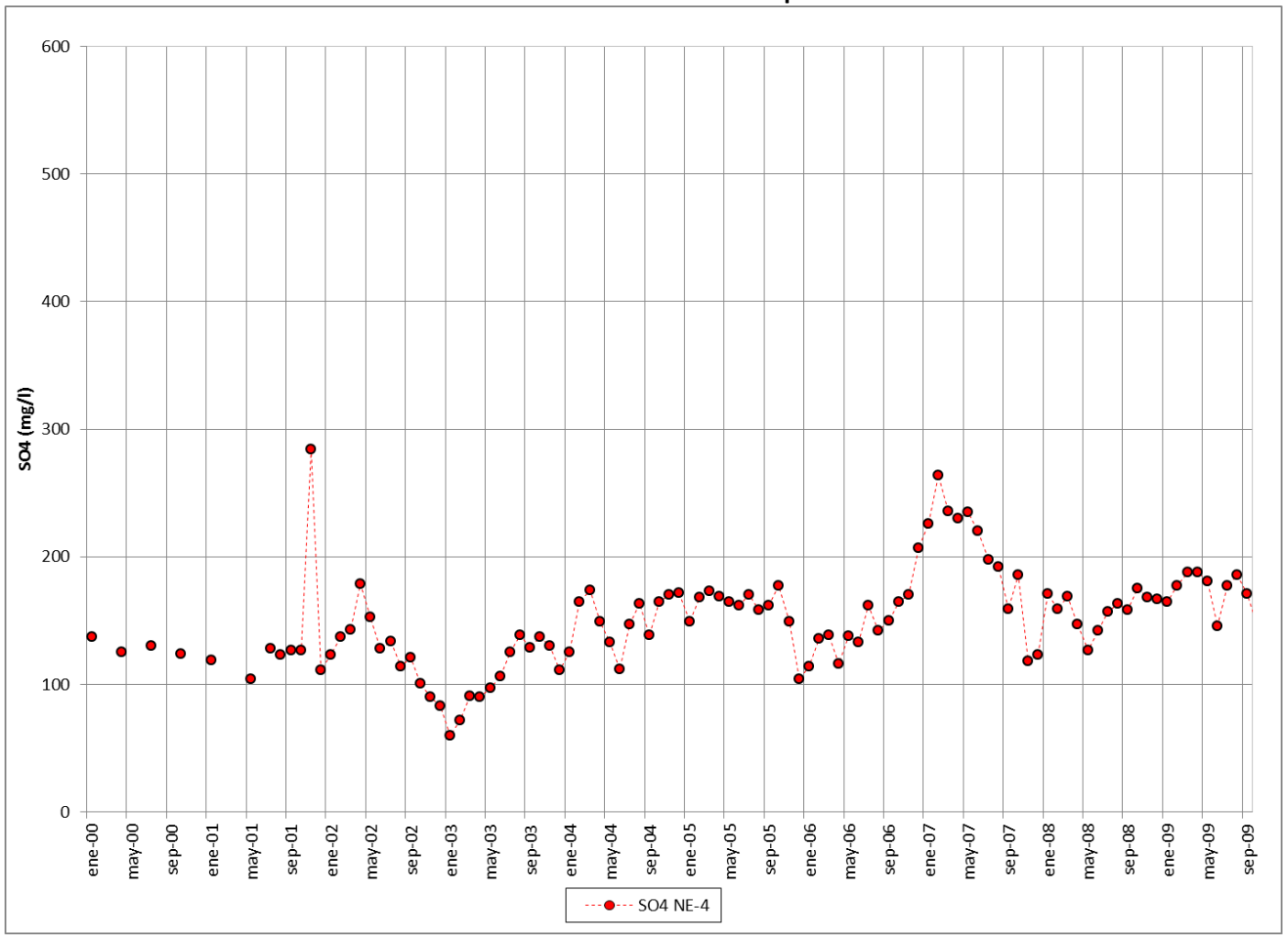
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.11
Concentración de Sulfato en el Tiempo en NE-3



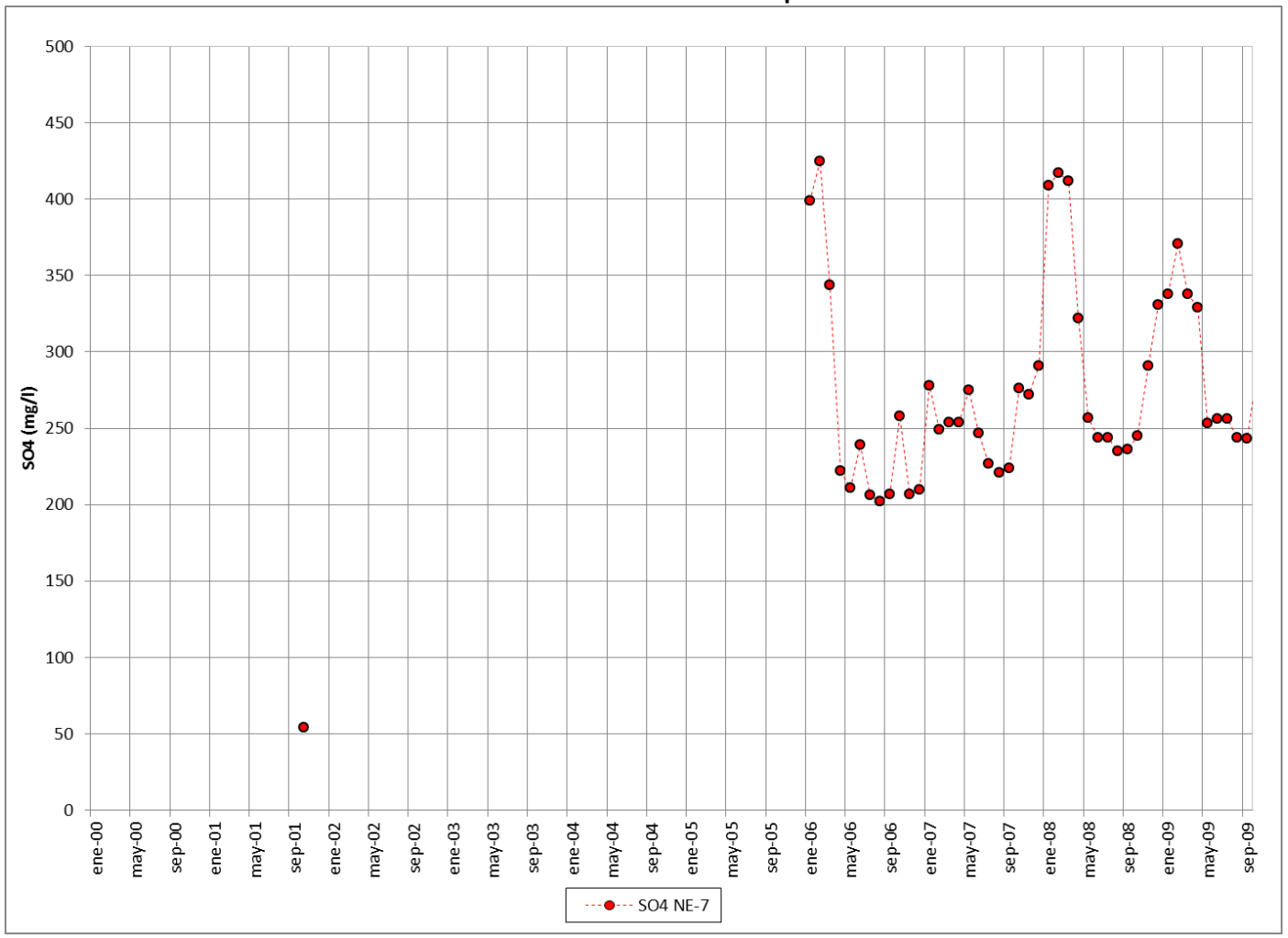
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.12
Concentración de Sulfato en el Tiempo en NE-4



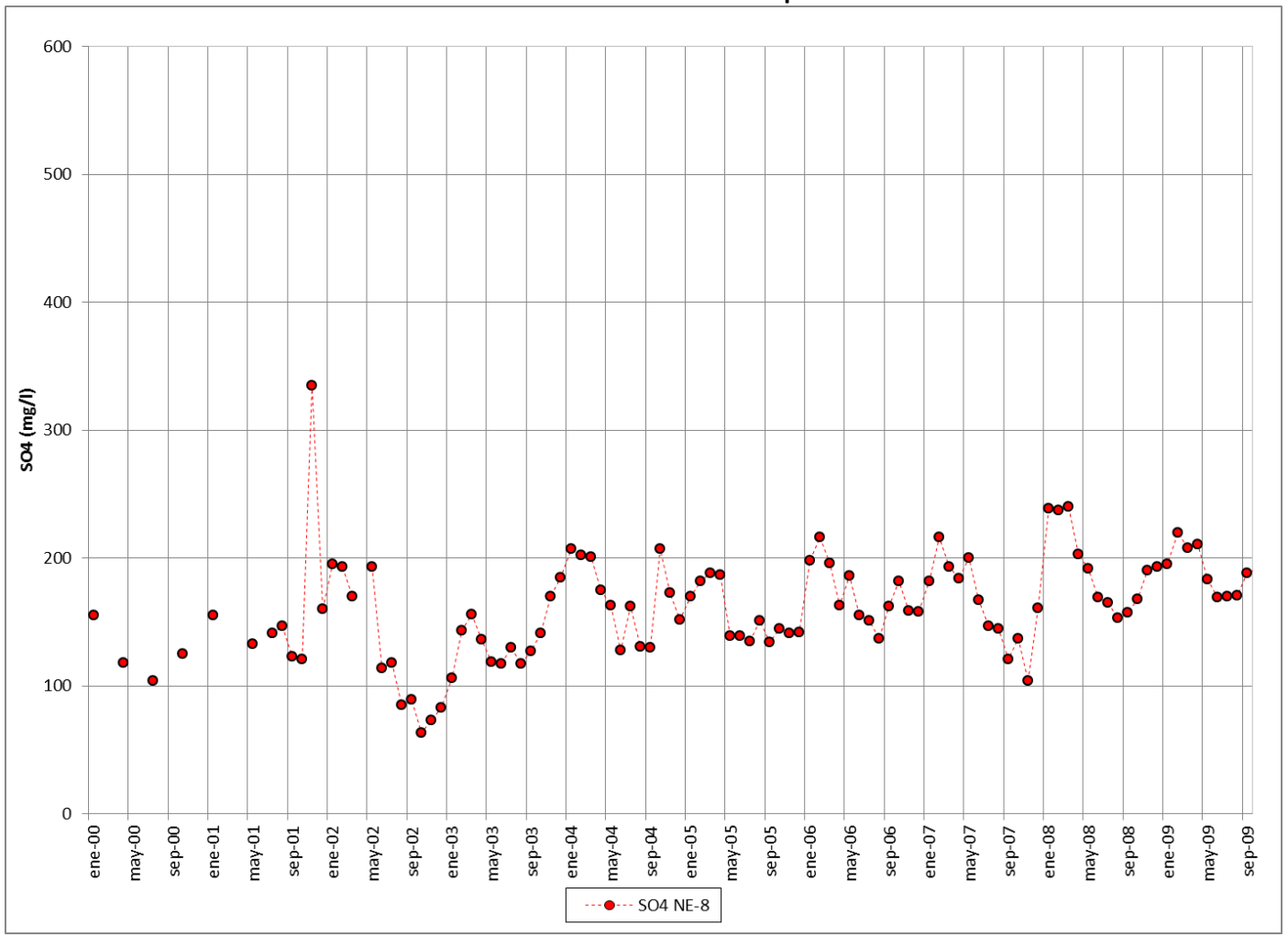
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.13
Concentración de Sulfato en el Tiempo en NE-7



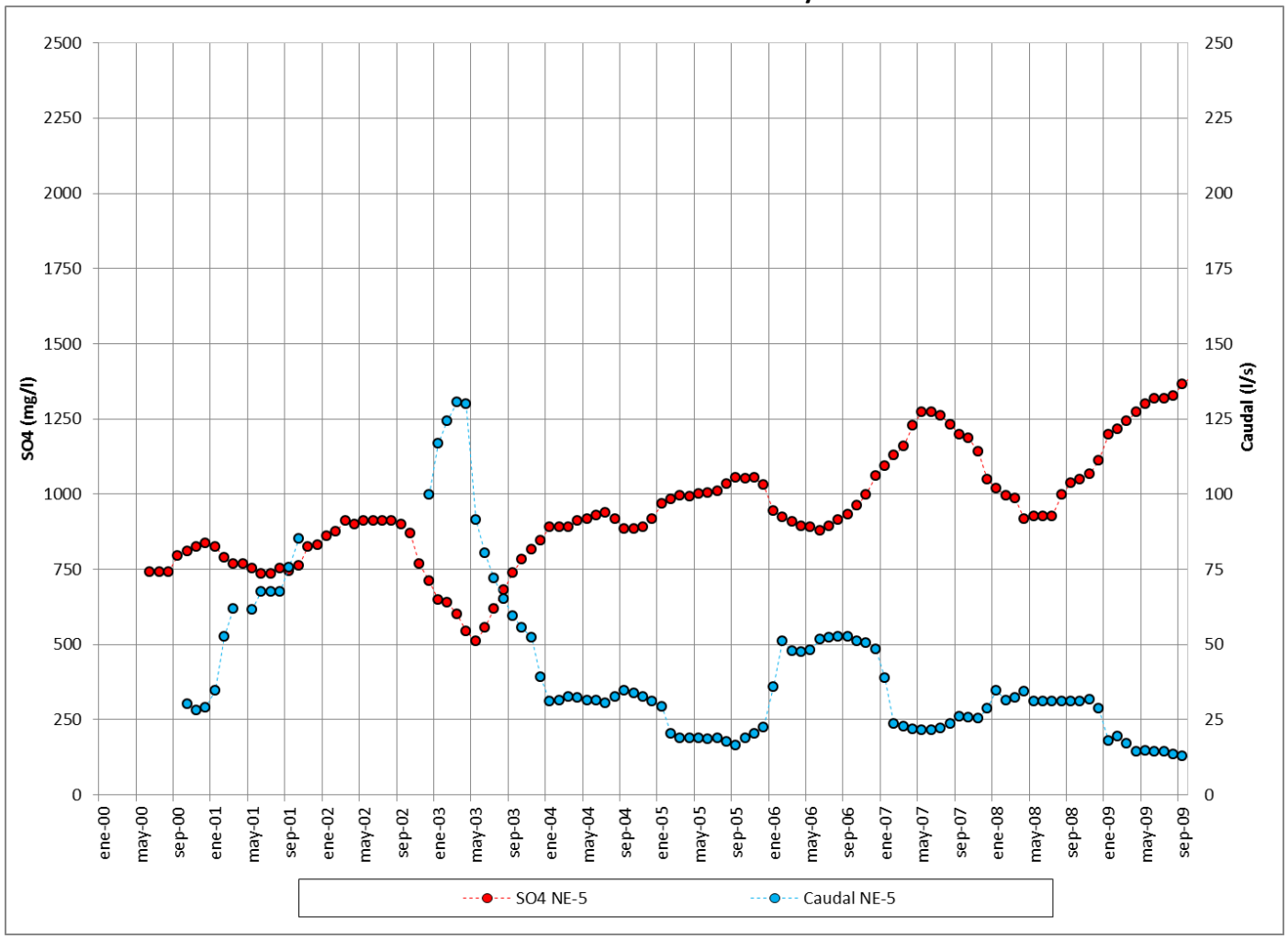
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.14
Concentración de Sulfato en el Tiempo en NE-8



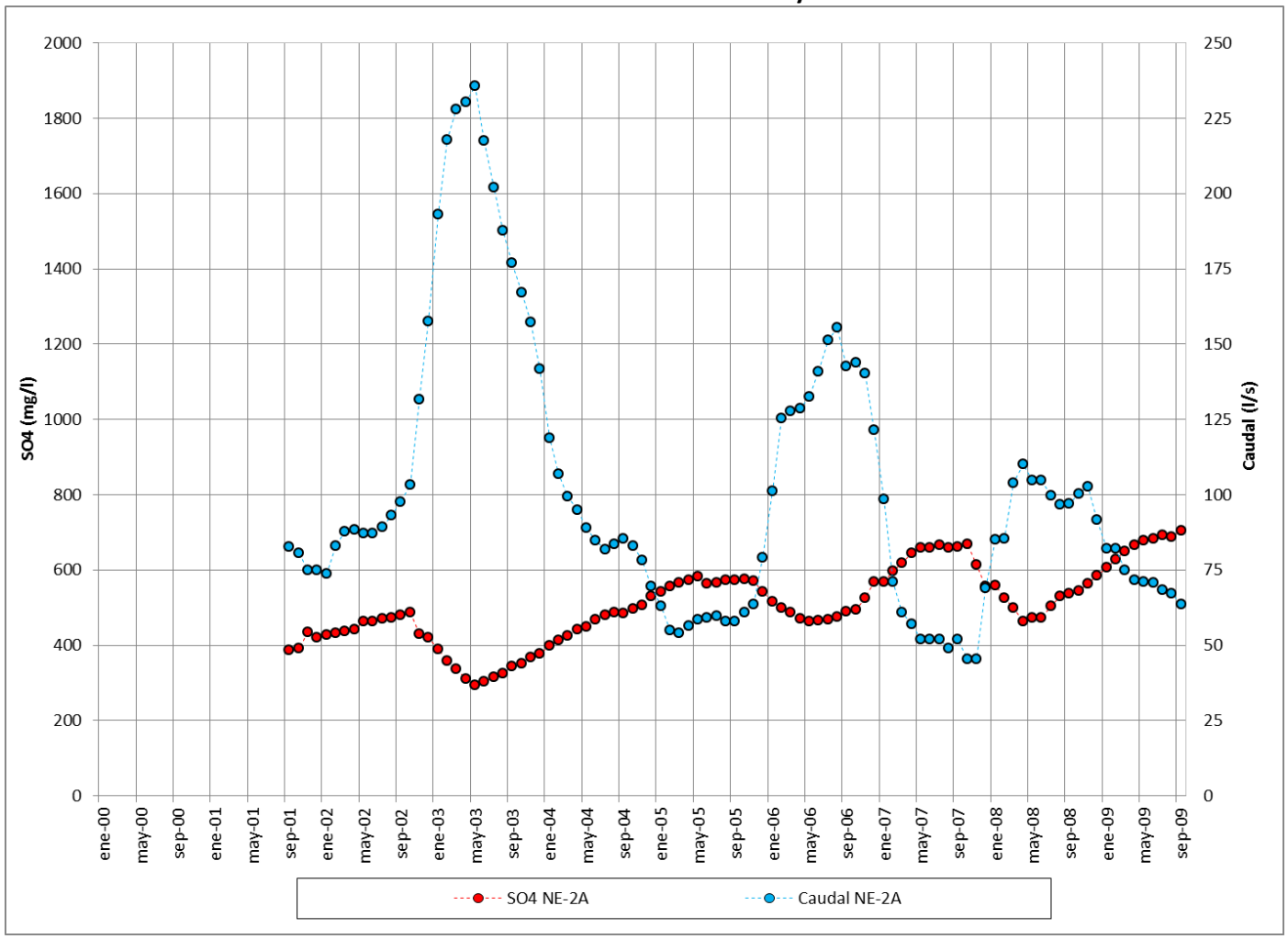
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.15
Medias Móviles de Concentración de Sulfato y Caudal en NE-5



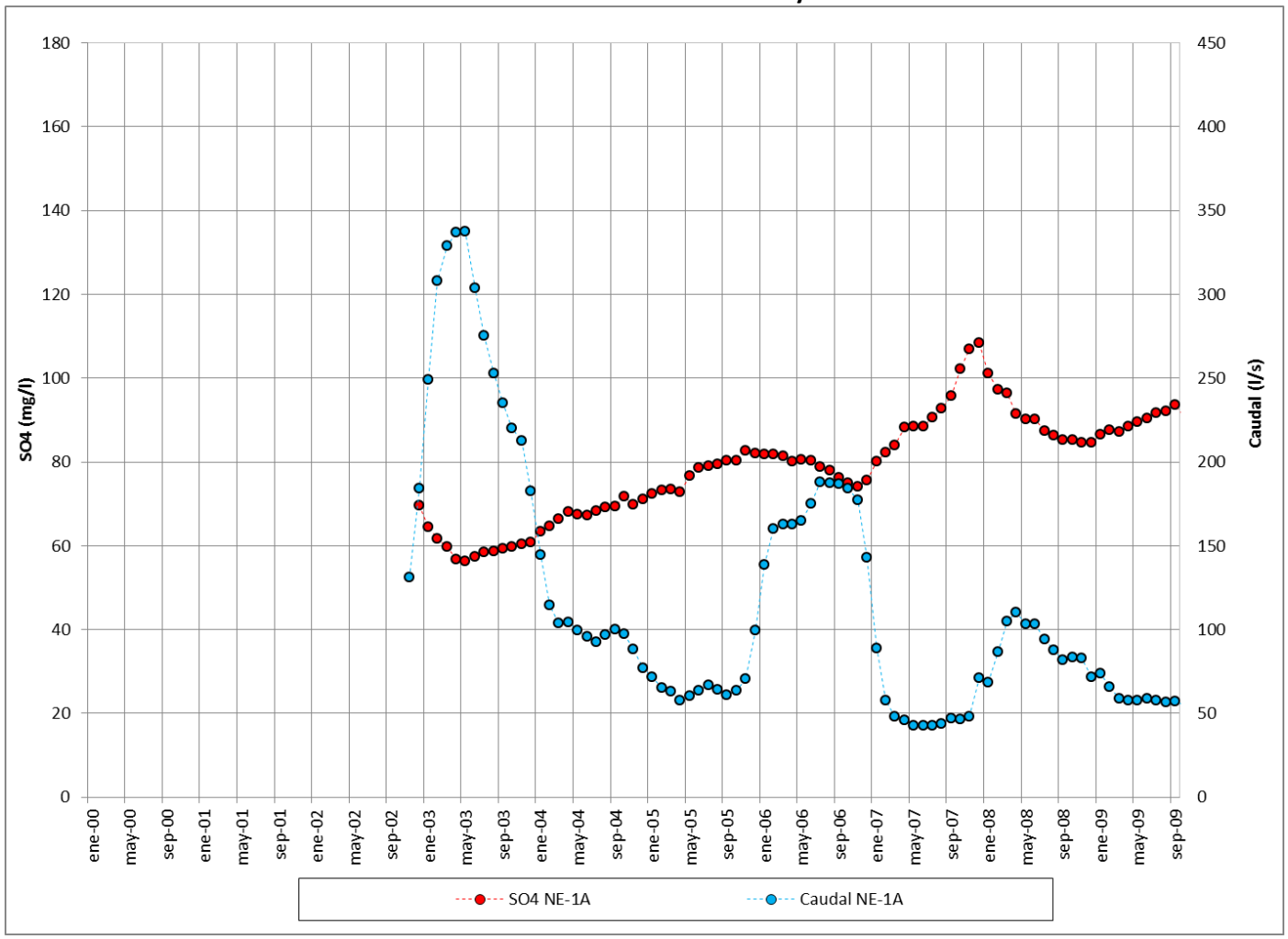
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.16
Medias Móviles de Concentración de Sulfato y Caudal en NE-2A



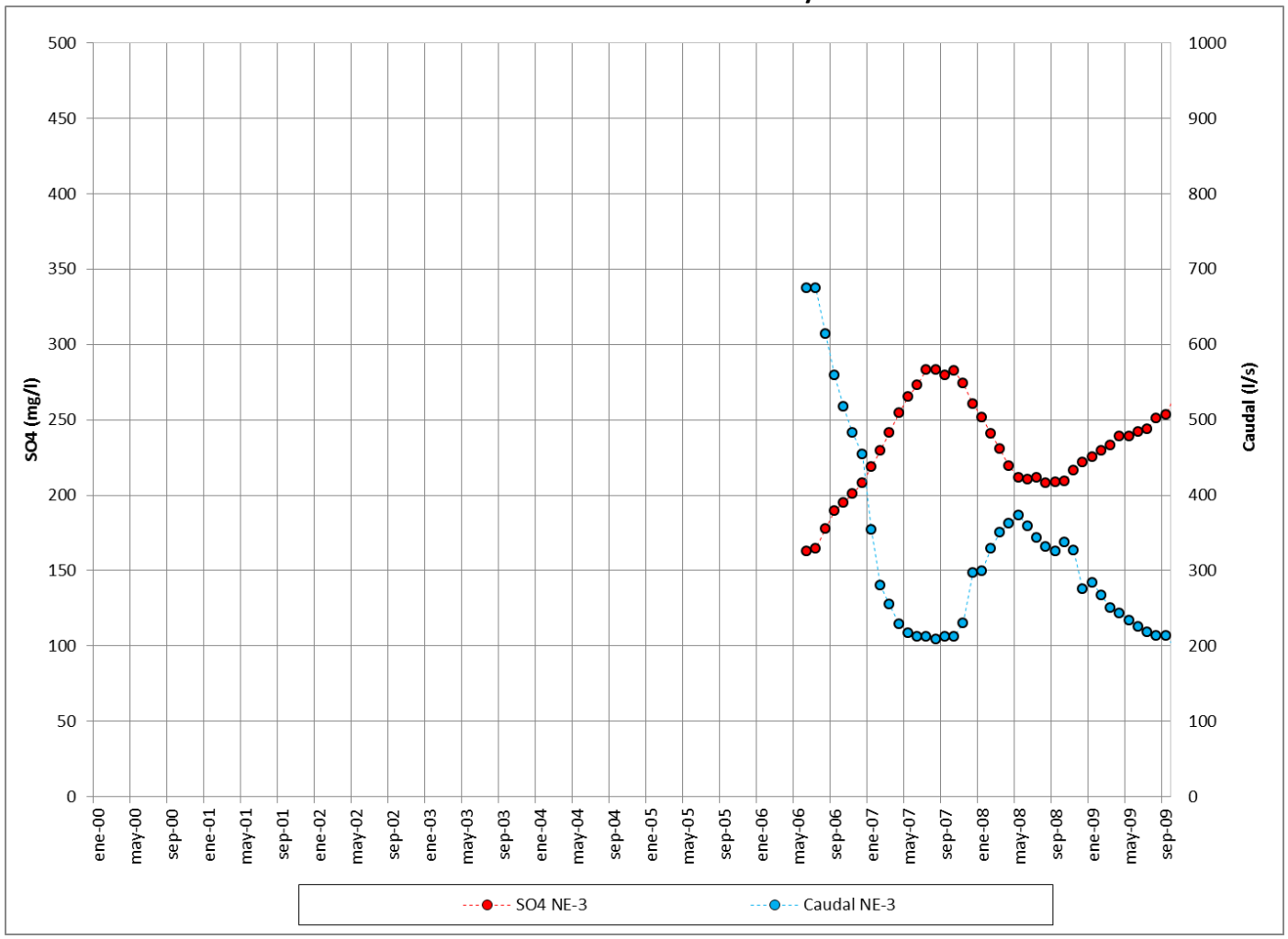
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.17
Medias Móviles de Concentración de Sulfato y Caudal en NE-1A



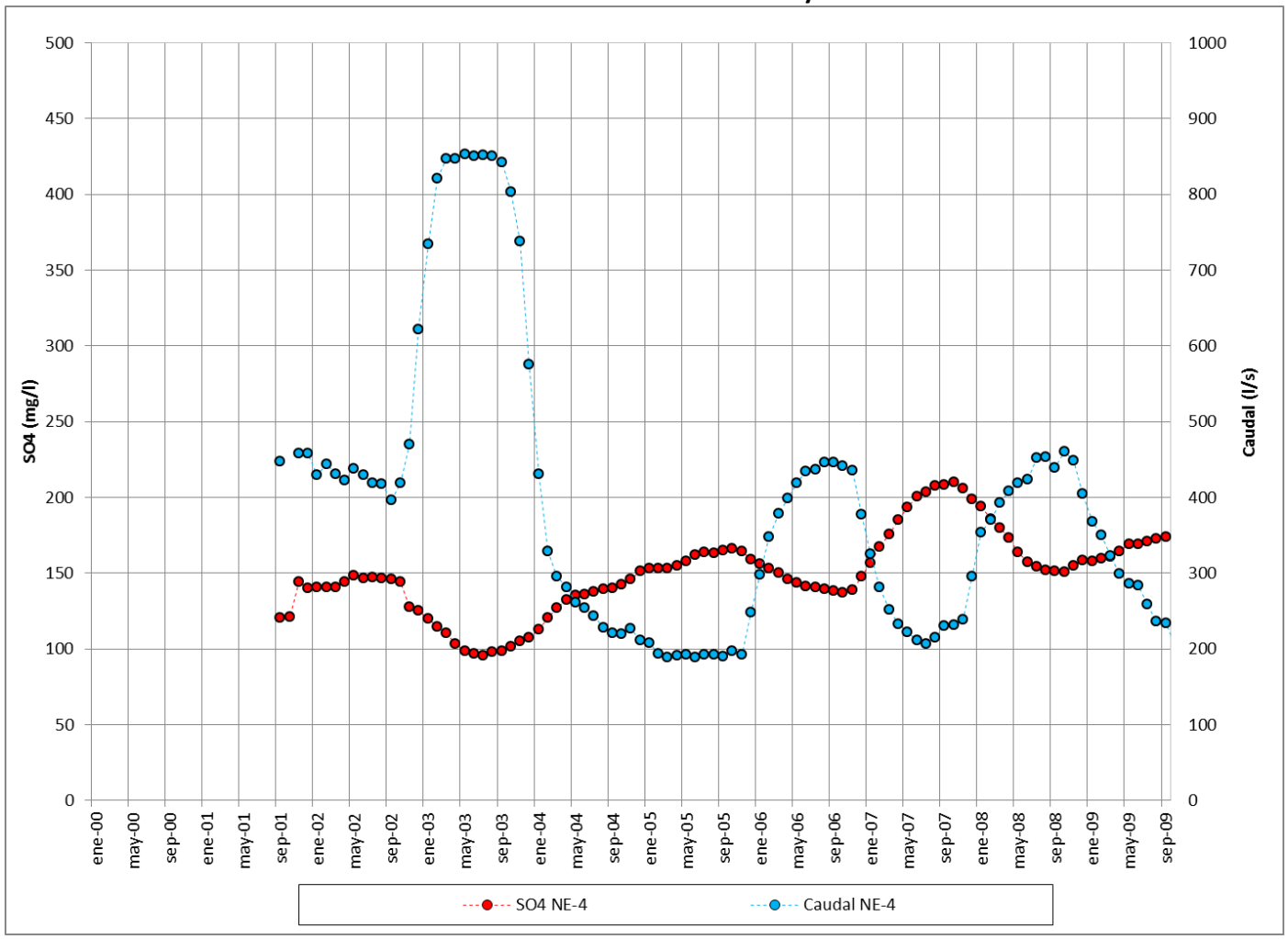
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.18
Medias Móviles de Concentración de Sulfato y Caudal en NE-3



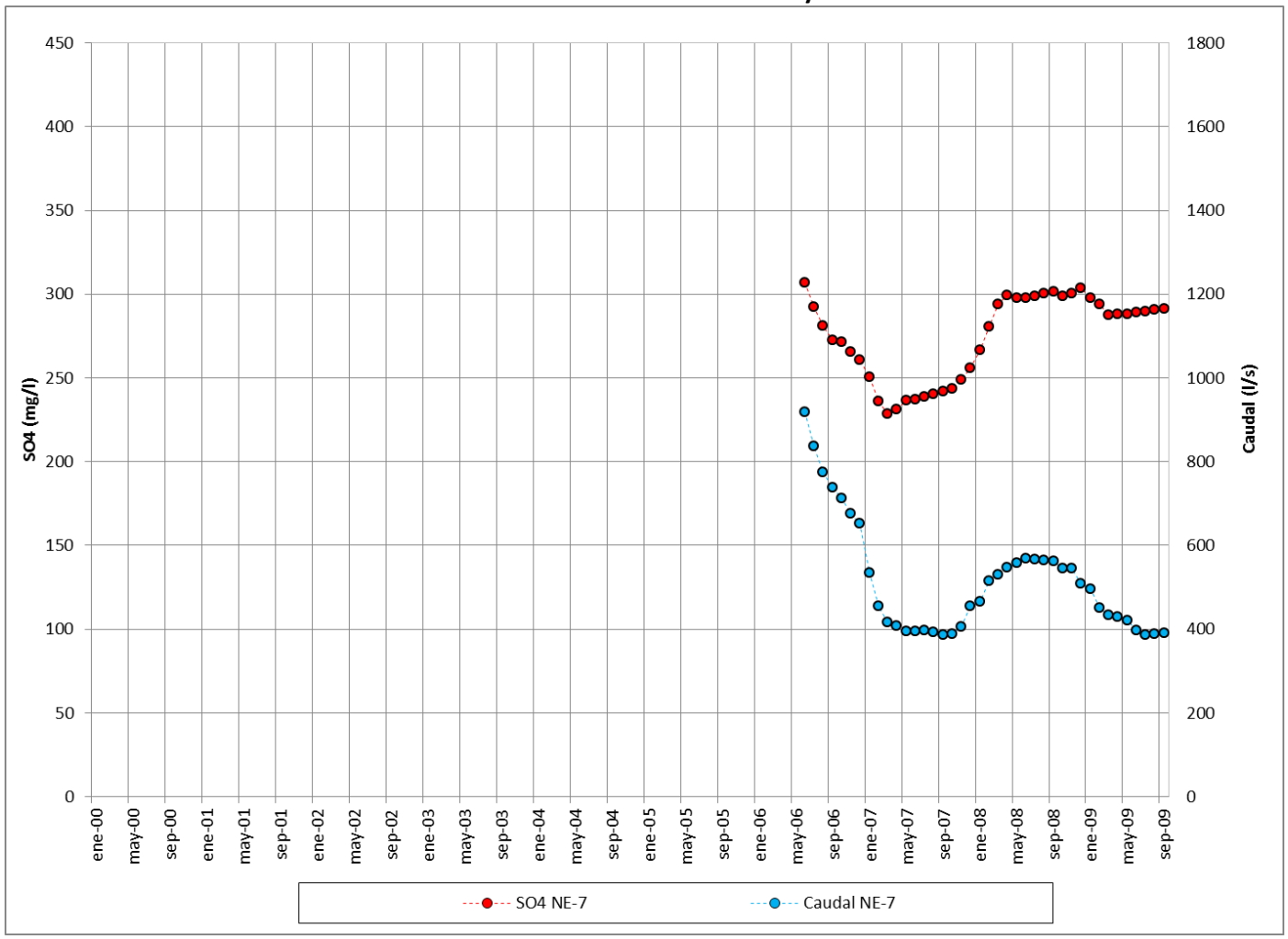
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.19
Medias Móviles de Concentración de Sulfato y Caudal en NE-4



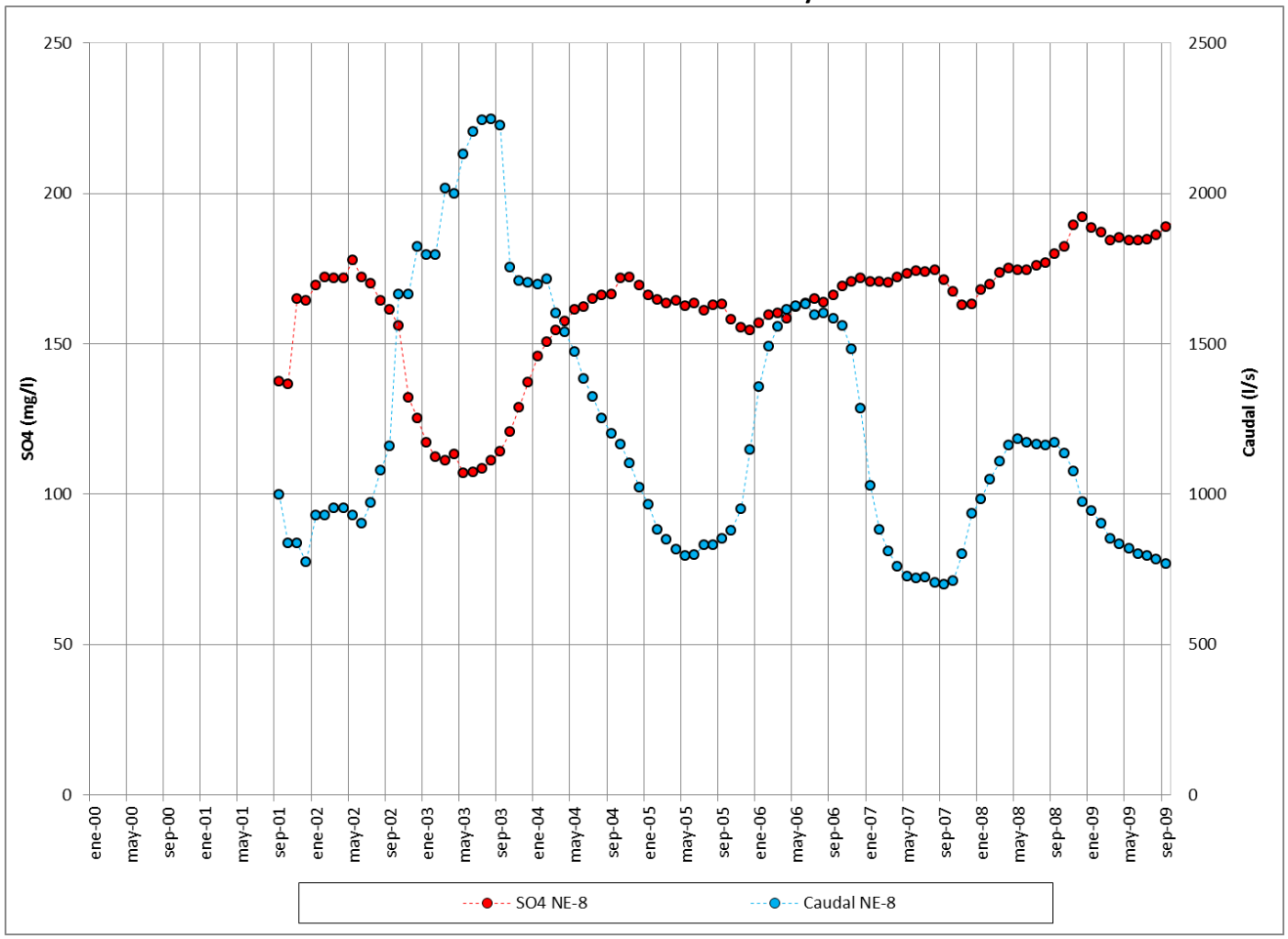
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.20
Medias Móviles de Concentración de Sulfato y Caudal en NE-7



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.21
Medias Móviles de Concentración de Sulfato y Caudal en NE-8



Fuente: Elaboración Propia.

4. ANÁLISIS DE OTROS PARÁMETROS

A continuación, se da cuenta de los resultados del análisis de medias móviles que se realizó para el resto de los parámetros representativos del DAR. Los cuales se muestran en las Figuras 4.1 a 4.7.

Dicho análisis indica que en los puntos de la parte alta (NE-5 y NE-2A) se ha producido un aumento en el tiempo de las concentraciones de estos parámetros, a excepción del pH. Al igual que respecto a las concentraciones de Sulfato, se observa una relación inversa entre el caudal y las concentraciones de los demás parámetros representativos de DAR, a excepción en de los parámetros pH, As y Fe. Asimismo se aprecia que las magnitudes de las concentraciones para el punto NE-5 son mayores que en NE-2A, con excepción del pH.

En la parte media baja, donde se ubican las estaciones NE-3, NE-4 y NE-8, las magnitudes de las concentraciones de estos parámetros son considerablemente menores que en la parte alta, con excepción del pH, que alcanza valores entre 5 y 7. La relación inversa también se presenta entre dichas concentraciones y el caudal, aunque con menor magnitud.

Específicamente respecto a algunos parámetros representativos de DAR, se debe indicar que la conductividad específica varía considerablemente según la zona en la cual se mida, ya que en la parte alta, en la estación NE-5 se alcanzan magnitudes entre 1.000 y 2.000 µS/cm, mientras que en la parte media-baja las magnitudes se encuentran aproximadamente en los 400 µS/cm. Los aportes laterales NE-1A y NE-7 presentan conductividades específicas entre 250 y 550 µS/cm respectivamente.

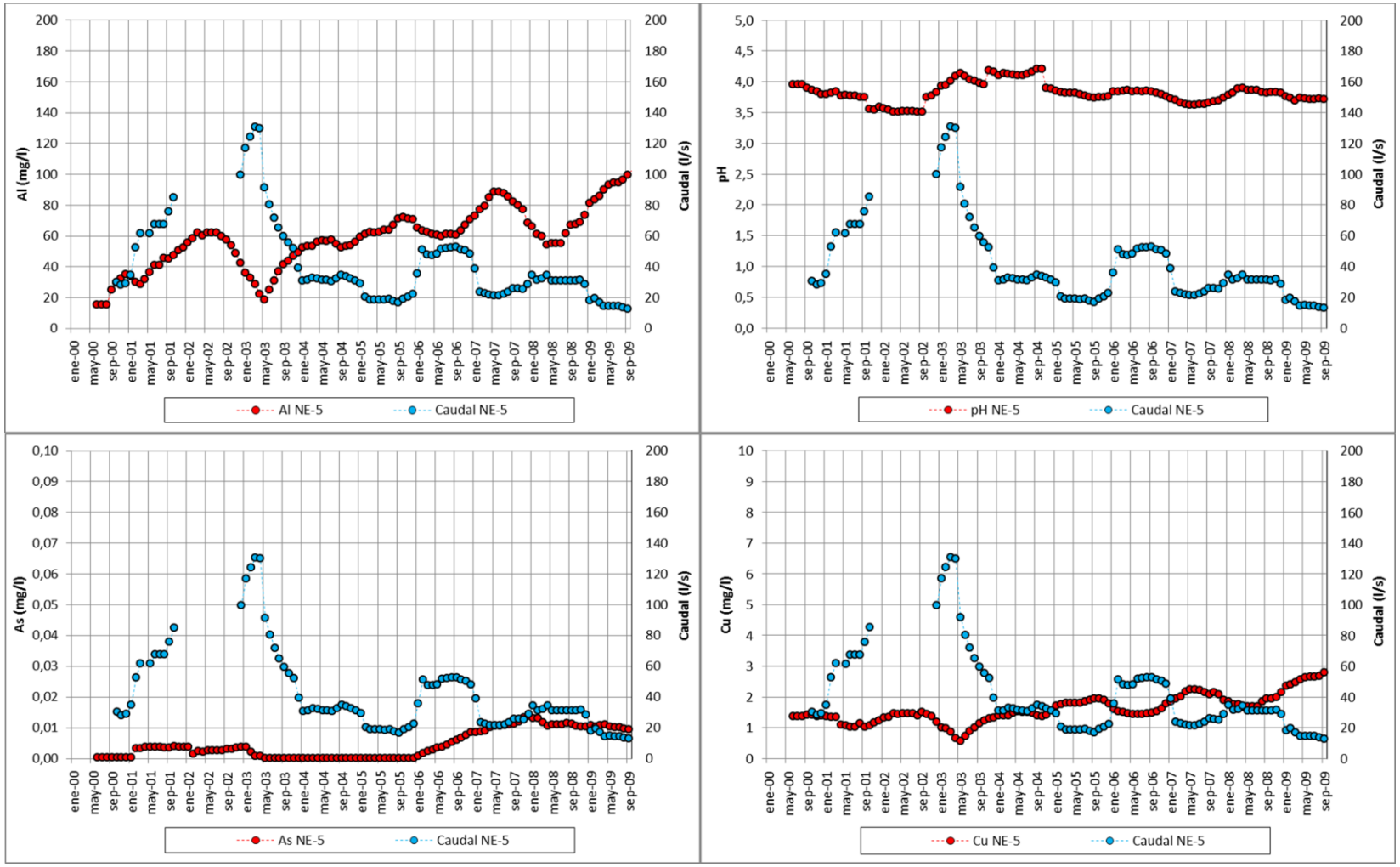
A su vez, el cobre, magnesio y zinc siguen el mismo comportamiento que la conductividad específica, con magnitudes de concentración mayores en la parte alta y considerablemente menores en la parte media-baja y en las estaciones que se encuentran en lo los aportes laterales. En relación al pH, se observan aguas más acidas en la parte alta (NE-5 y NE-2A) con valores entre 3,5 y 5, mientras que en el resto de las estaciones se registran valores entre 5 y 7, llegando hasta 8 en la estación NE-1A.

Finalmente al respecto, cabe hacer presente que en las estaciones NE-1A y NE-7, la relación inversa entre el caudal y las concentraciones no es observable para todos los parámetros, en particular para el caso de la estación NE-7, con excepción del pH, las concentraciones siguen el comportamiento del caudal, presentándose una relación directamente proporcional. Además, las magnitudes registradas son considerablemente menores que las observadas en los otros sectores de estudio. Todo esto se debe a la diferente condición hidrogeoquímica en la naciente de la quebrada Barriales a diferencia del río del Estrecho.

El cobre, magnesio y zinc siguen el mismo comportamiento que la conductividad específica, con magnitudes de concentración mayores en la parte alta y considerablemente menores en los aportes laterales.

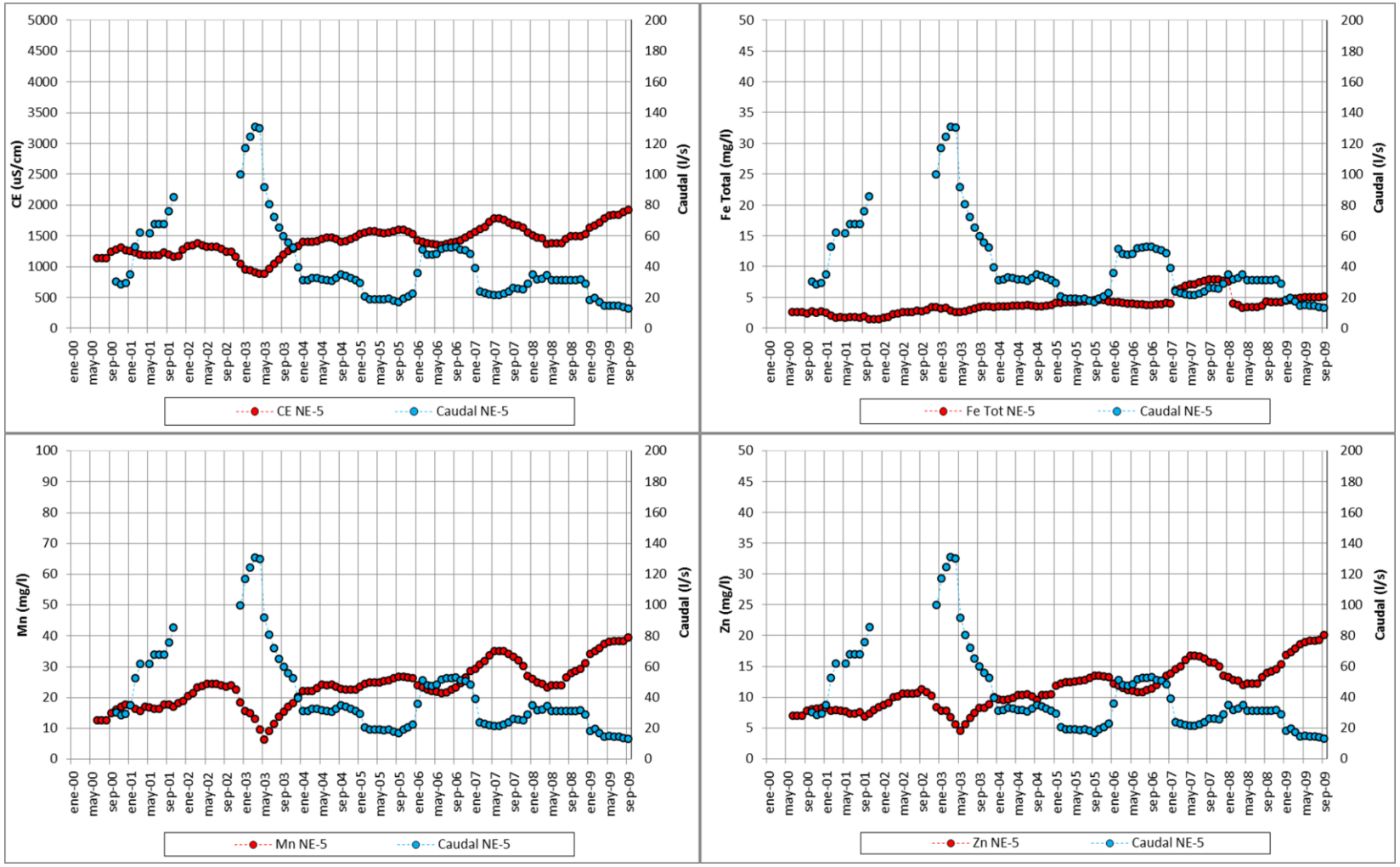
Con respecto al pH, se observan aguas más acidas en la parte alta (NE-5 y NE-2A) con valores entre 3,5 y 5, mientras que en el resto de las estaciones se registran valores entre 5 y 7, llegando hasta 8 en la estación NE-1A.

Figura 4.1
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-5



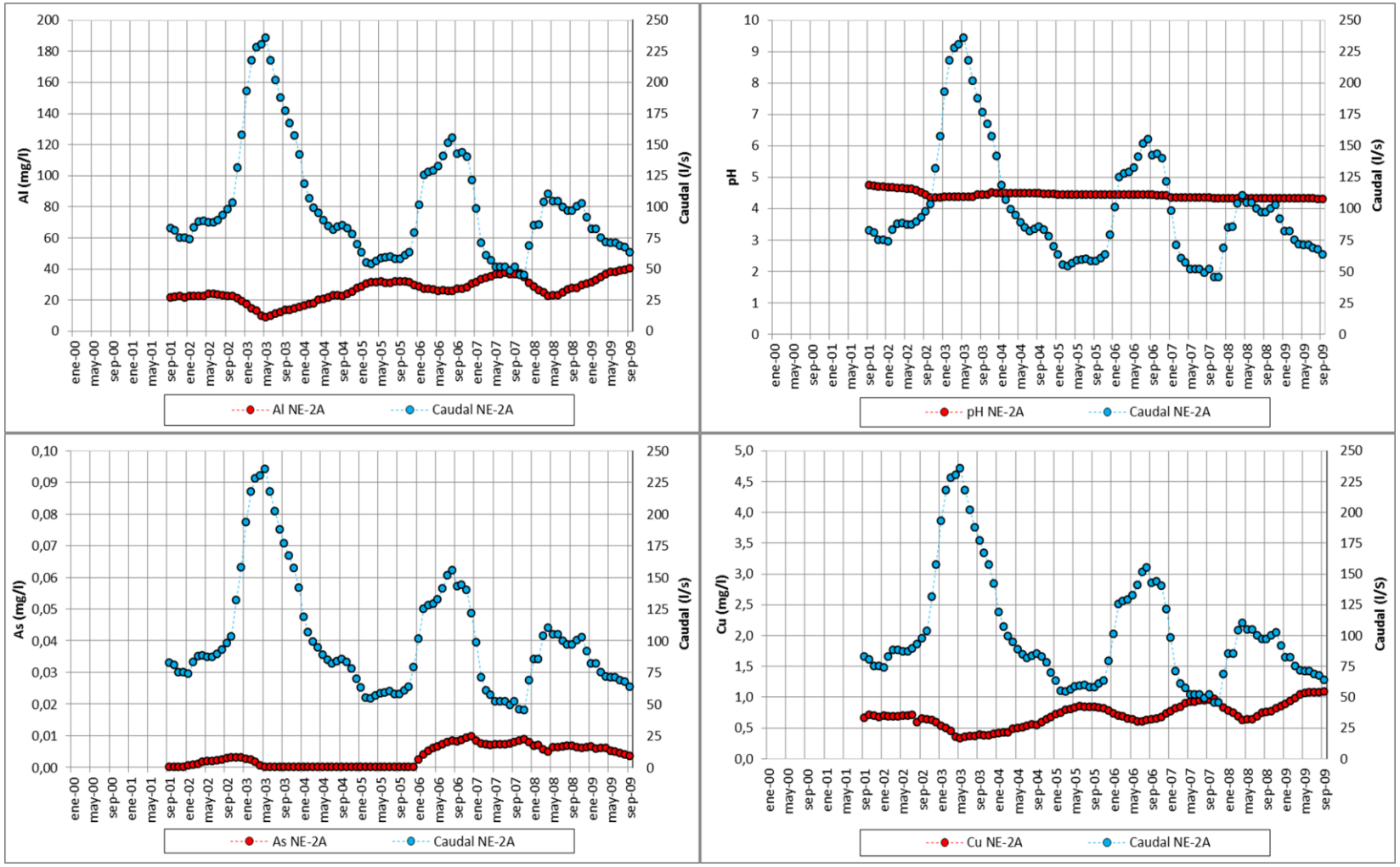
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.1 (continuación)
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-5



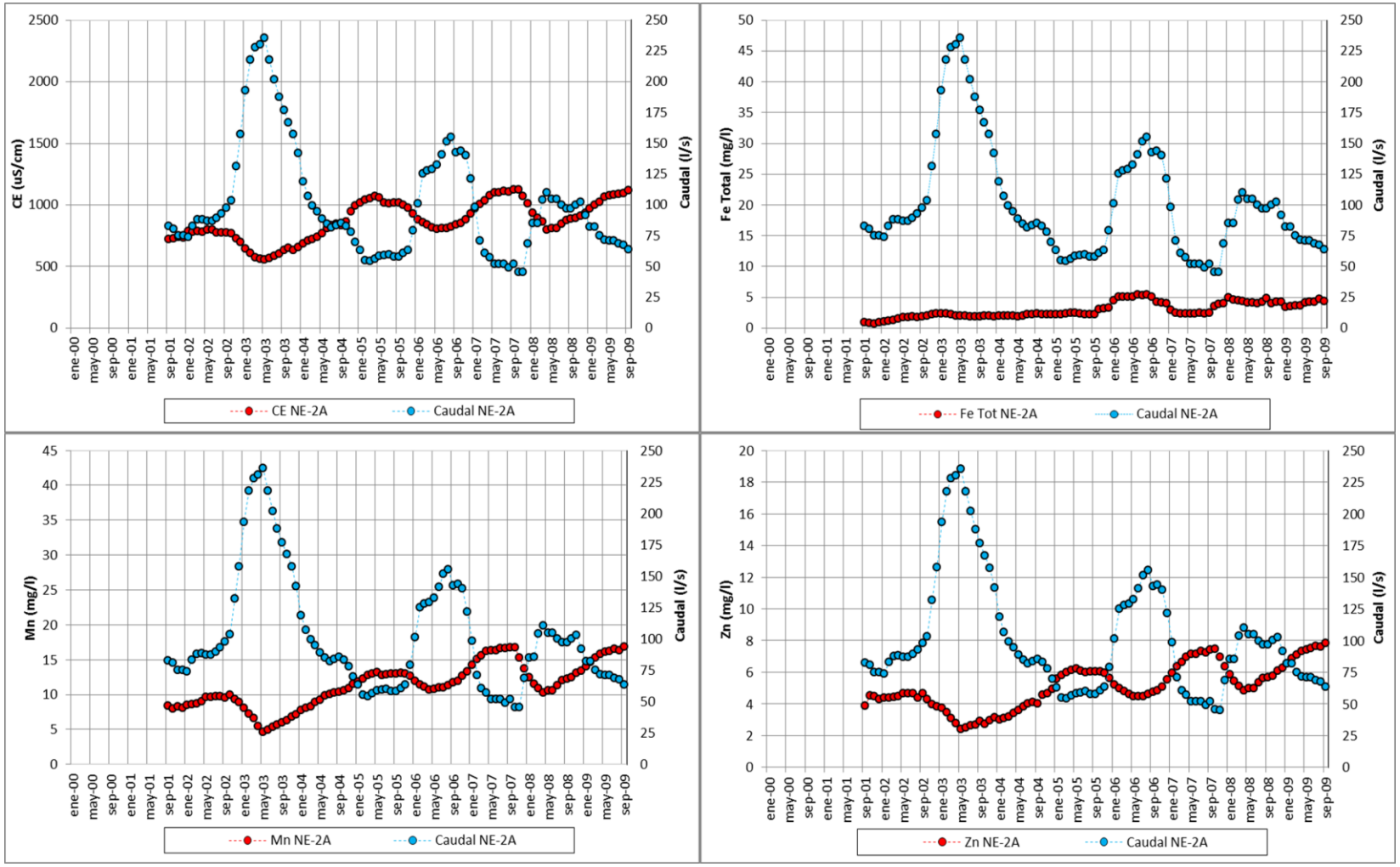
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.2
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-2A



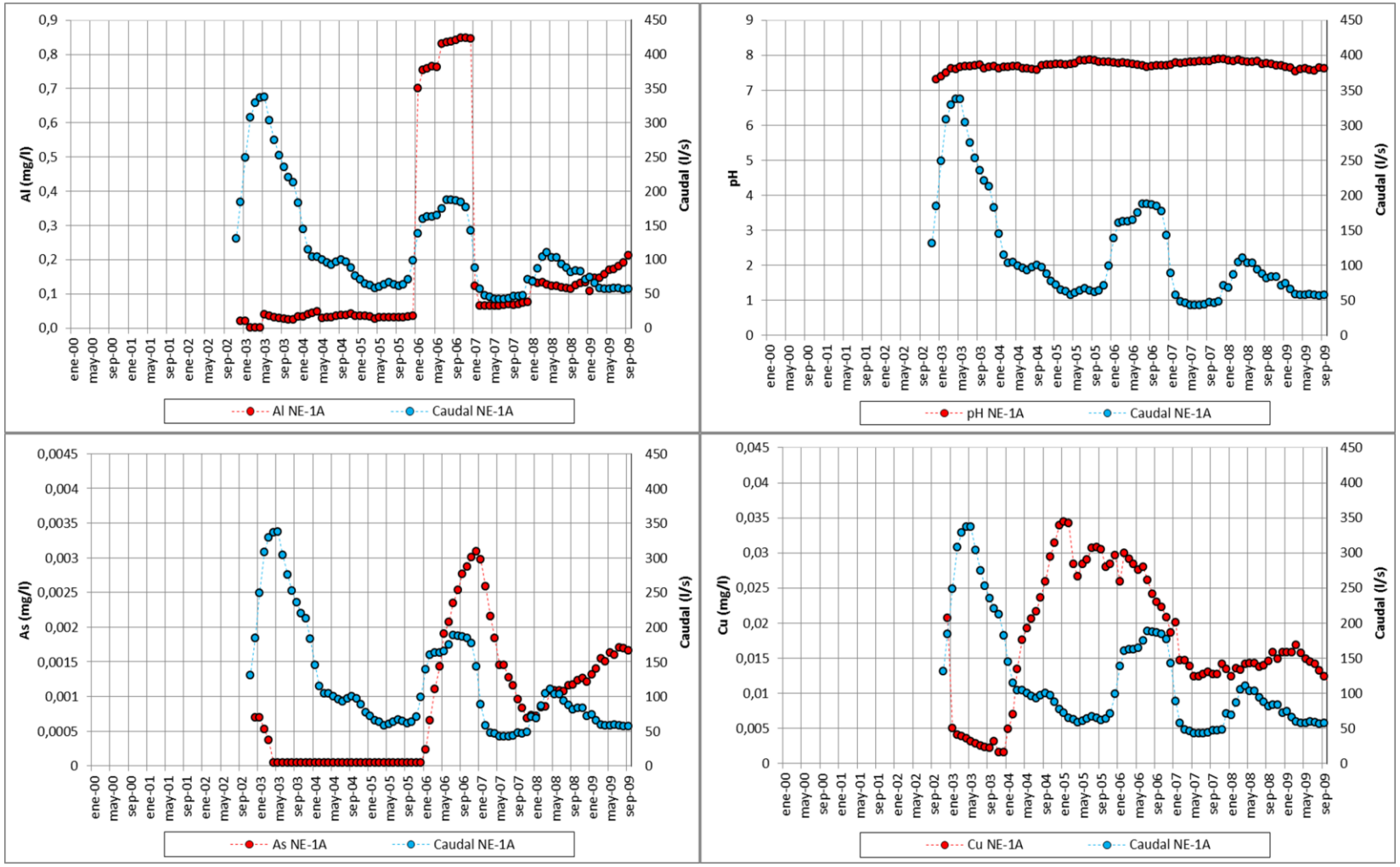
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.2 (continuación)
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-2A



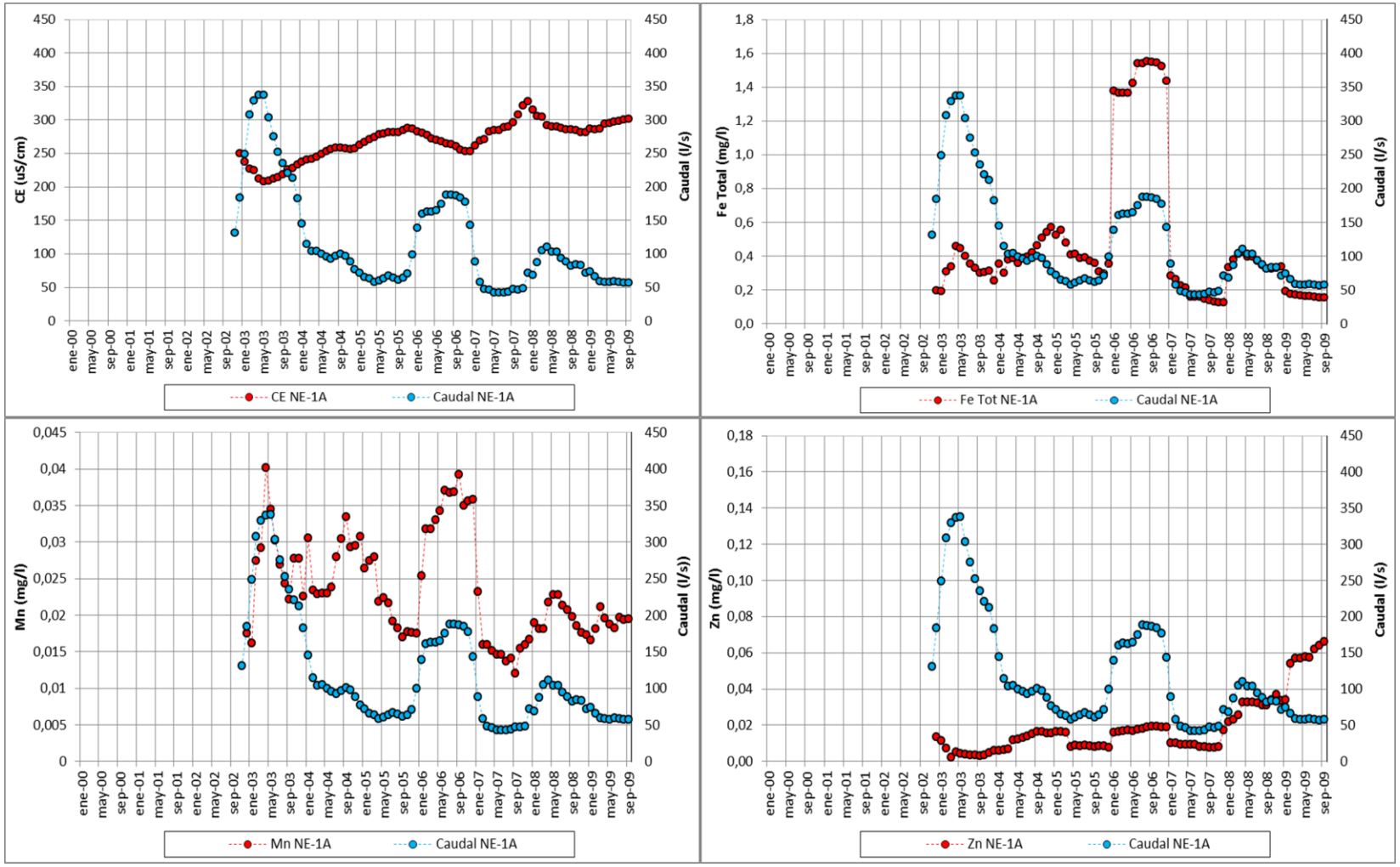
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.3
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-1A



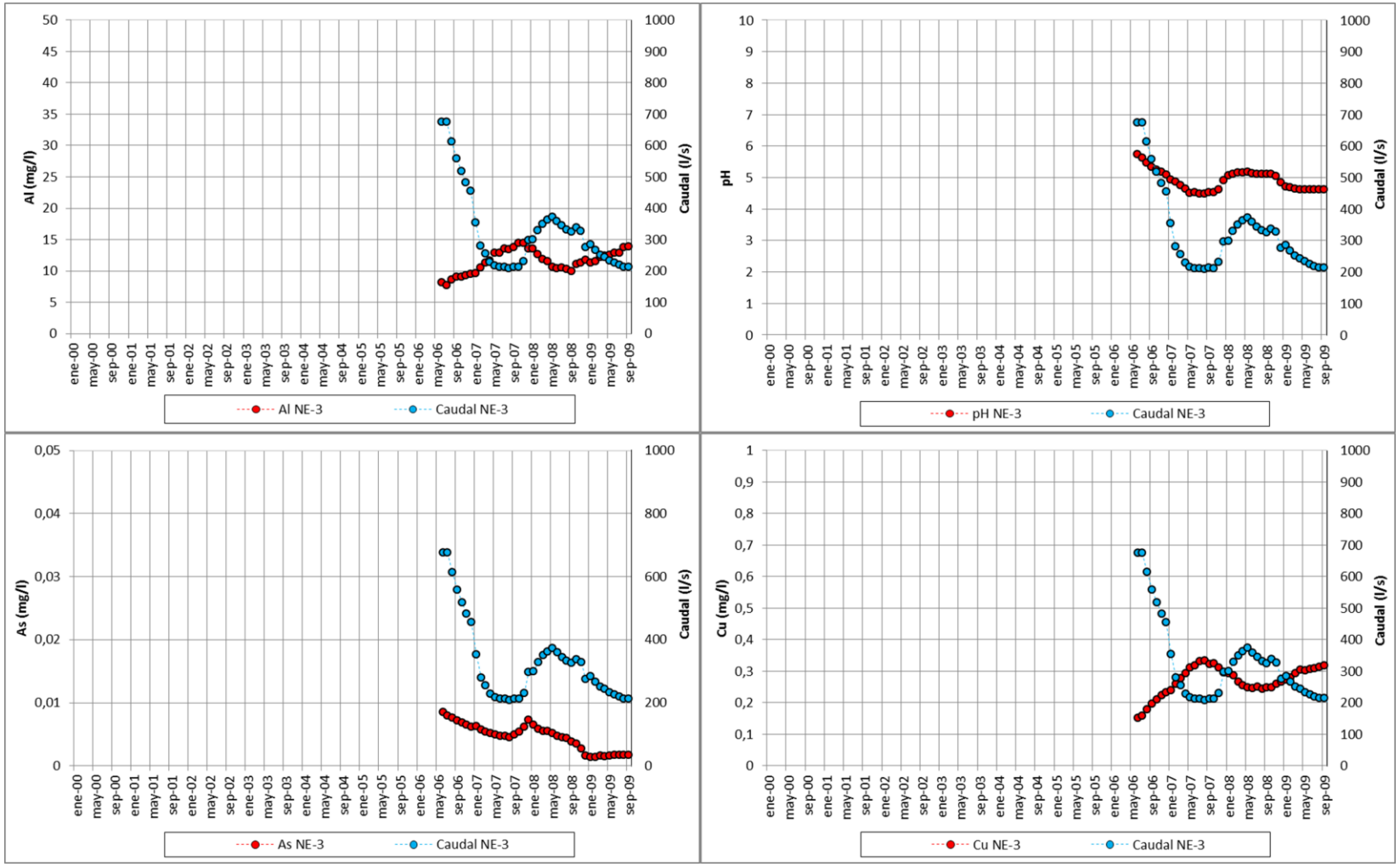
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.3 (continuación)
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-1A



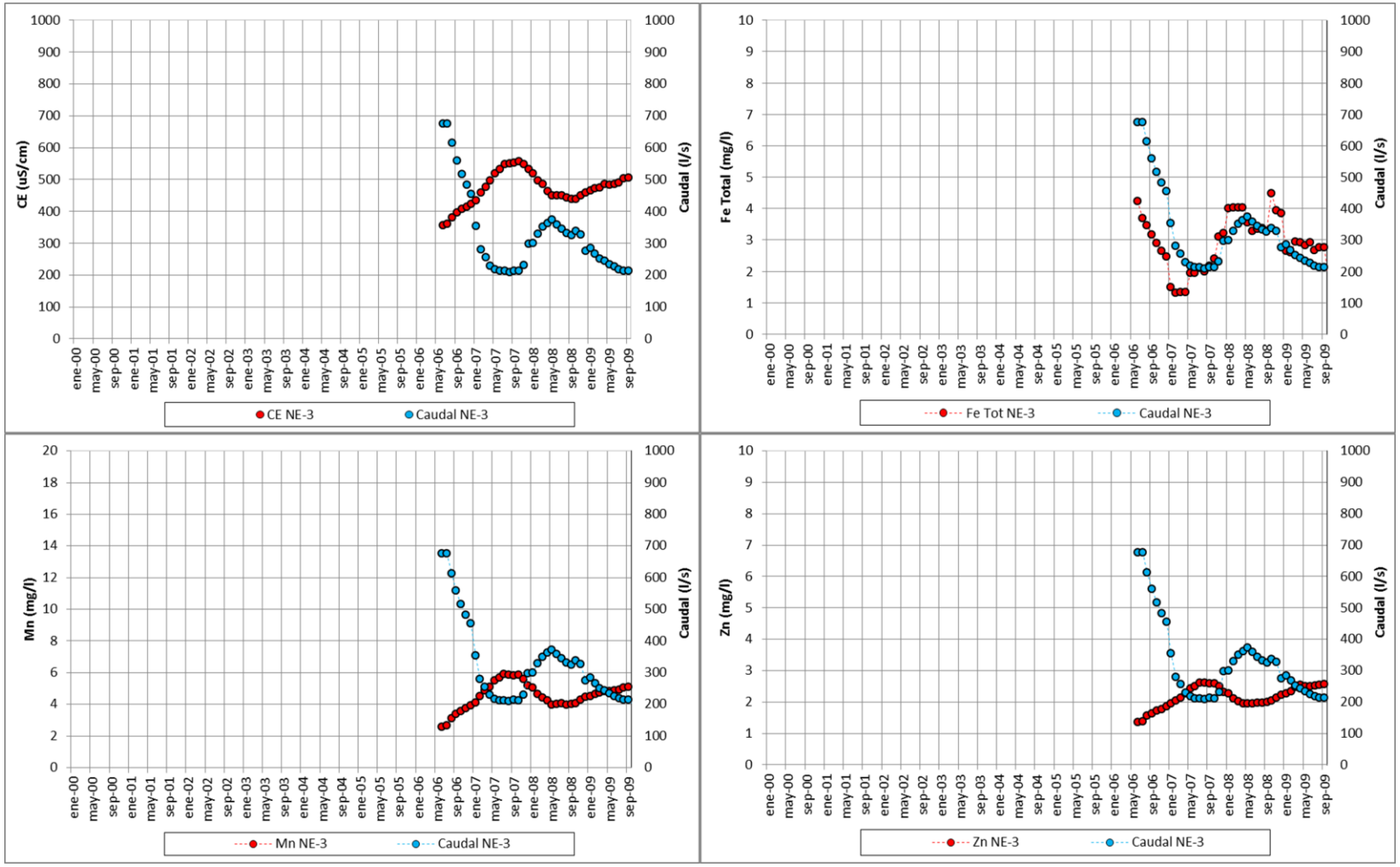
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.4
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-3



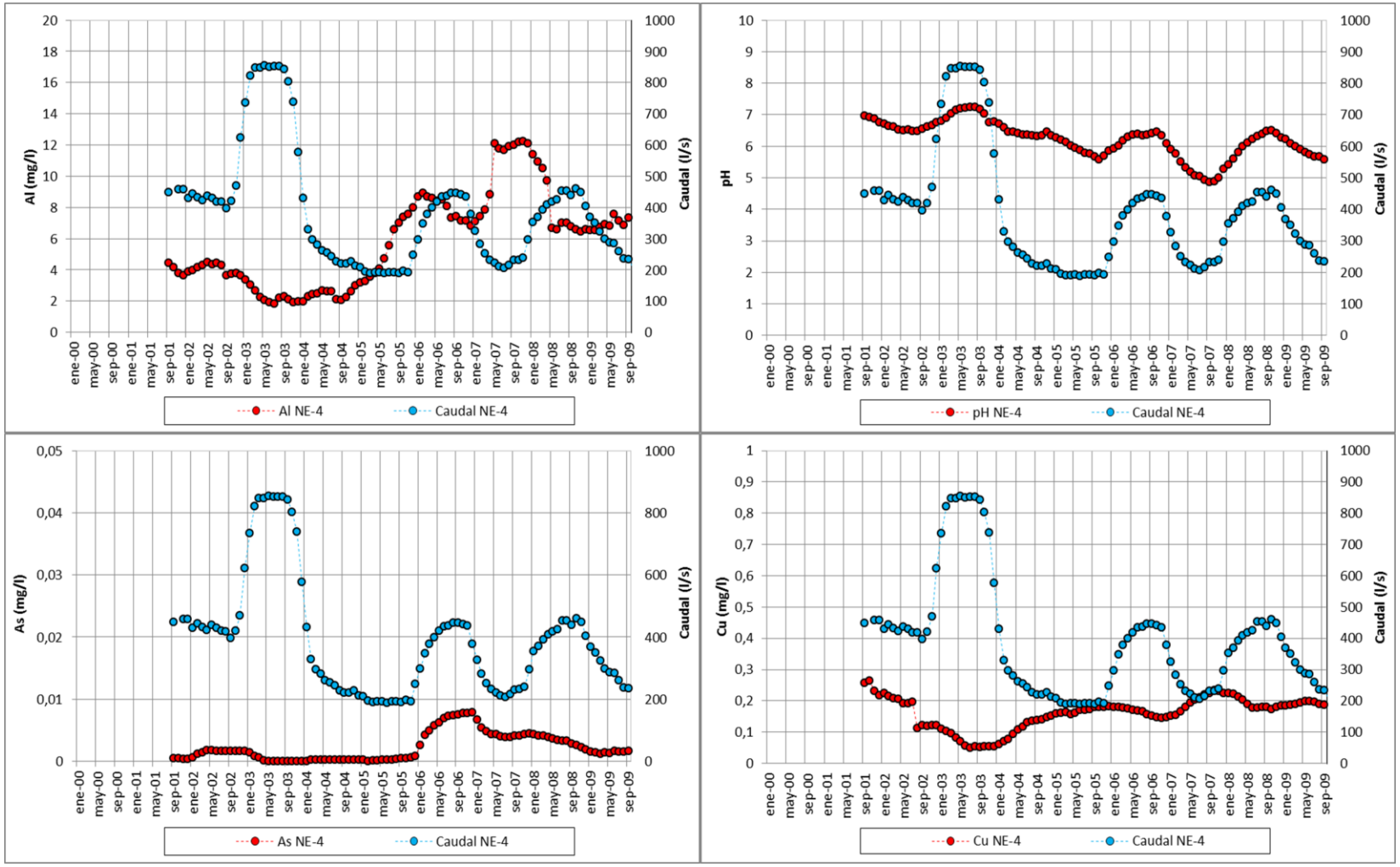
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.4 (continuación)
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-3



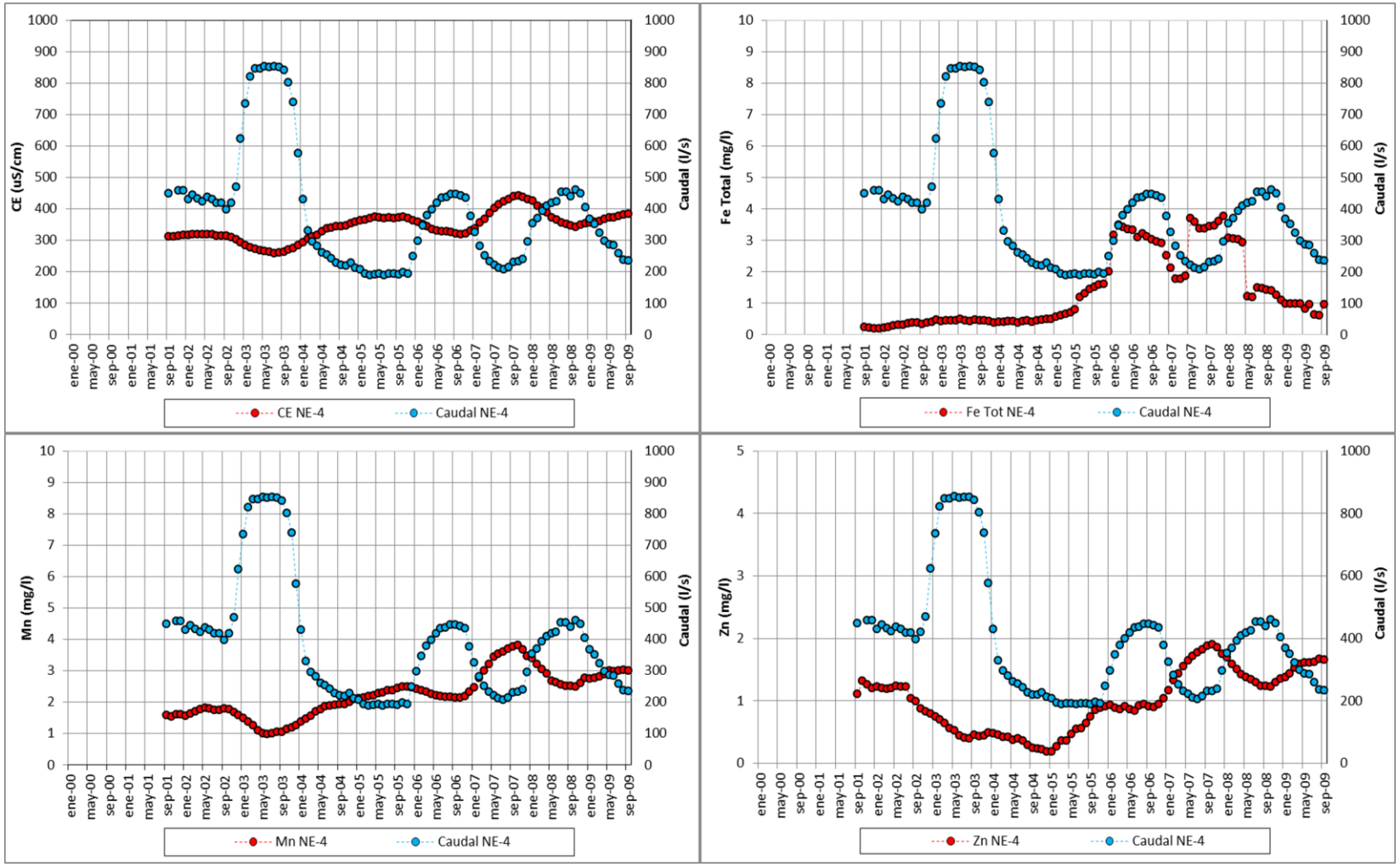
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.5
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-4



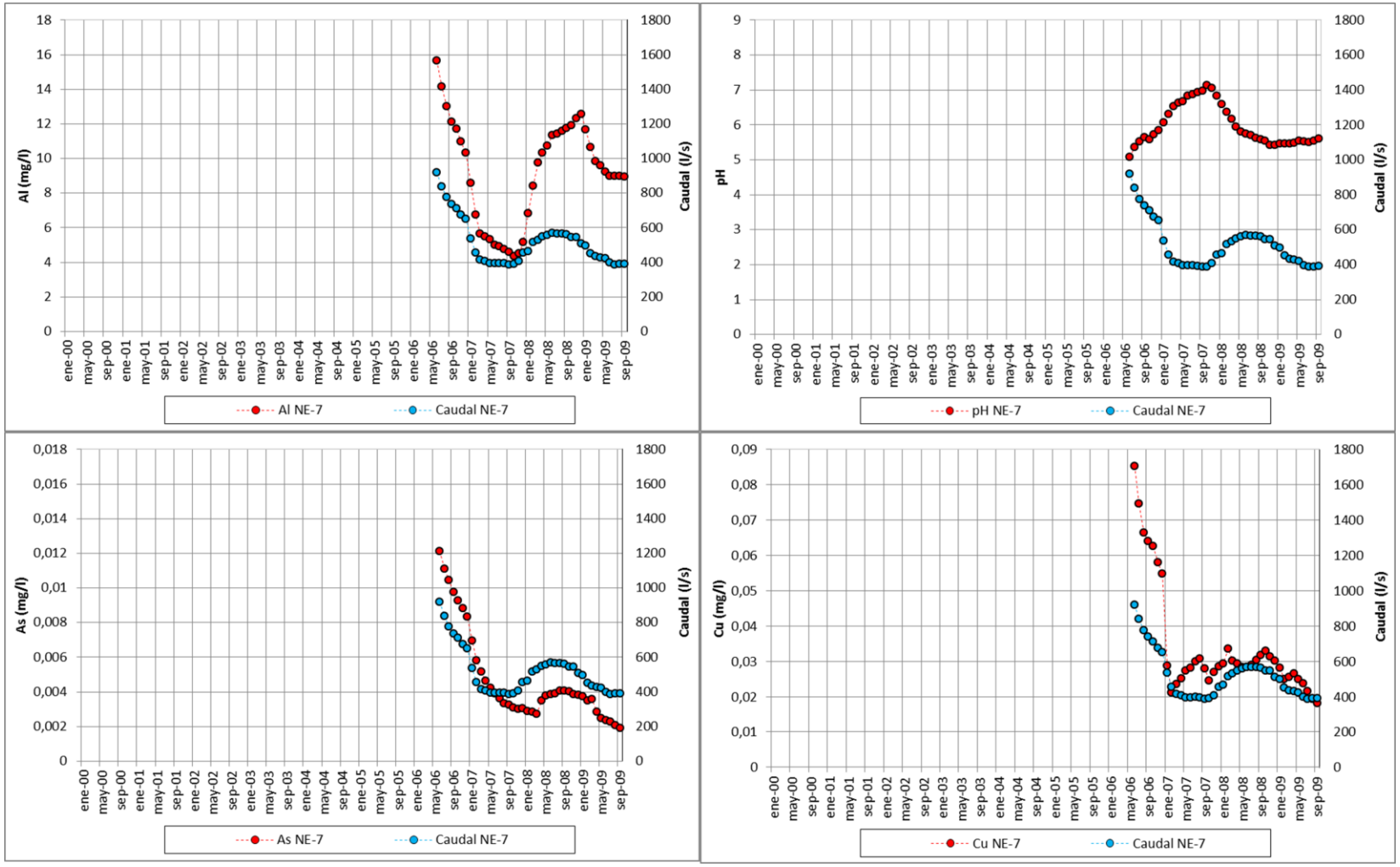
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.5 (continuación)
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-4



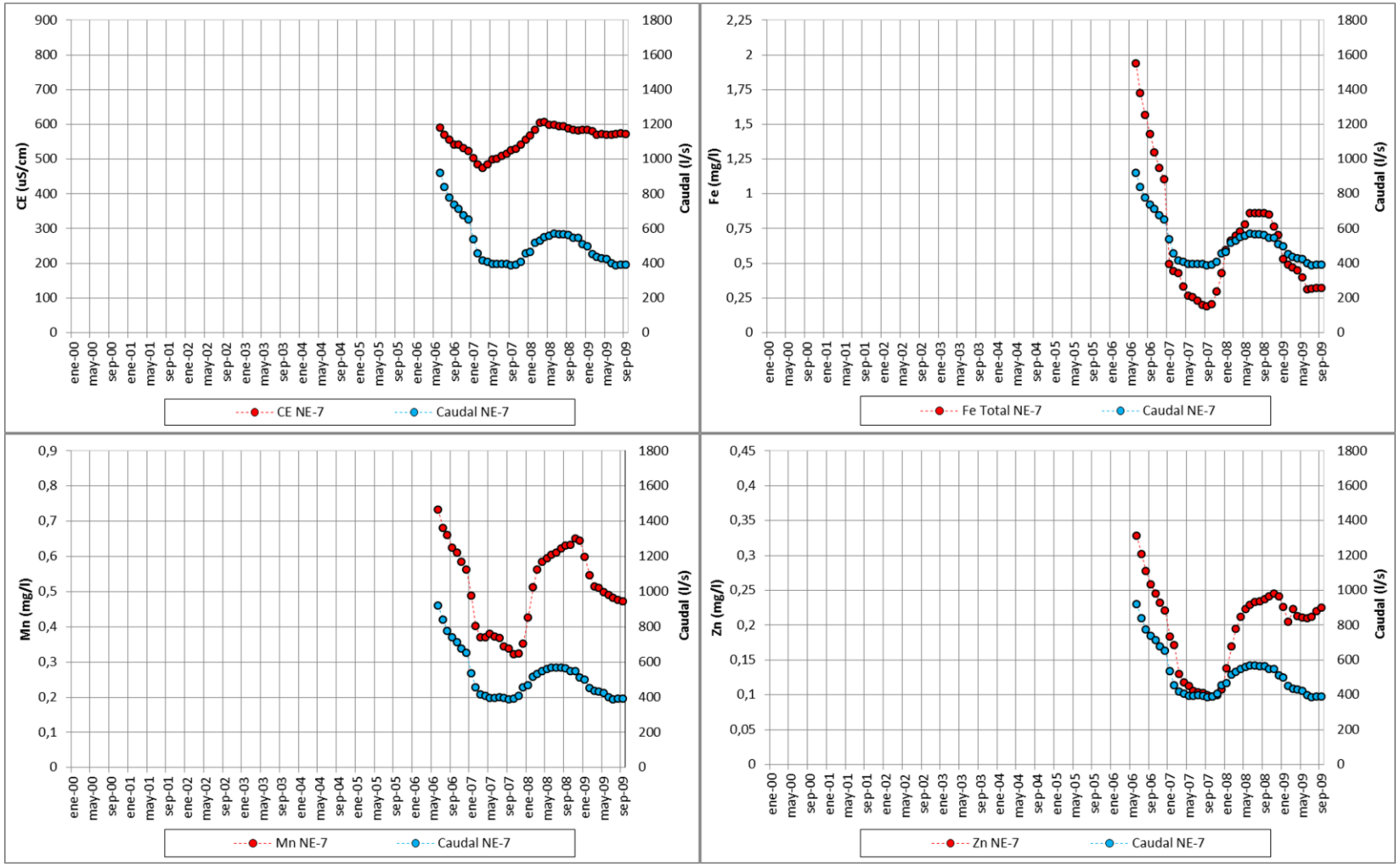
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.6
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-7



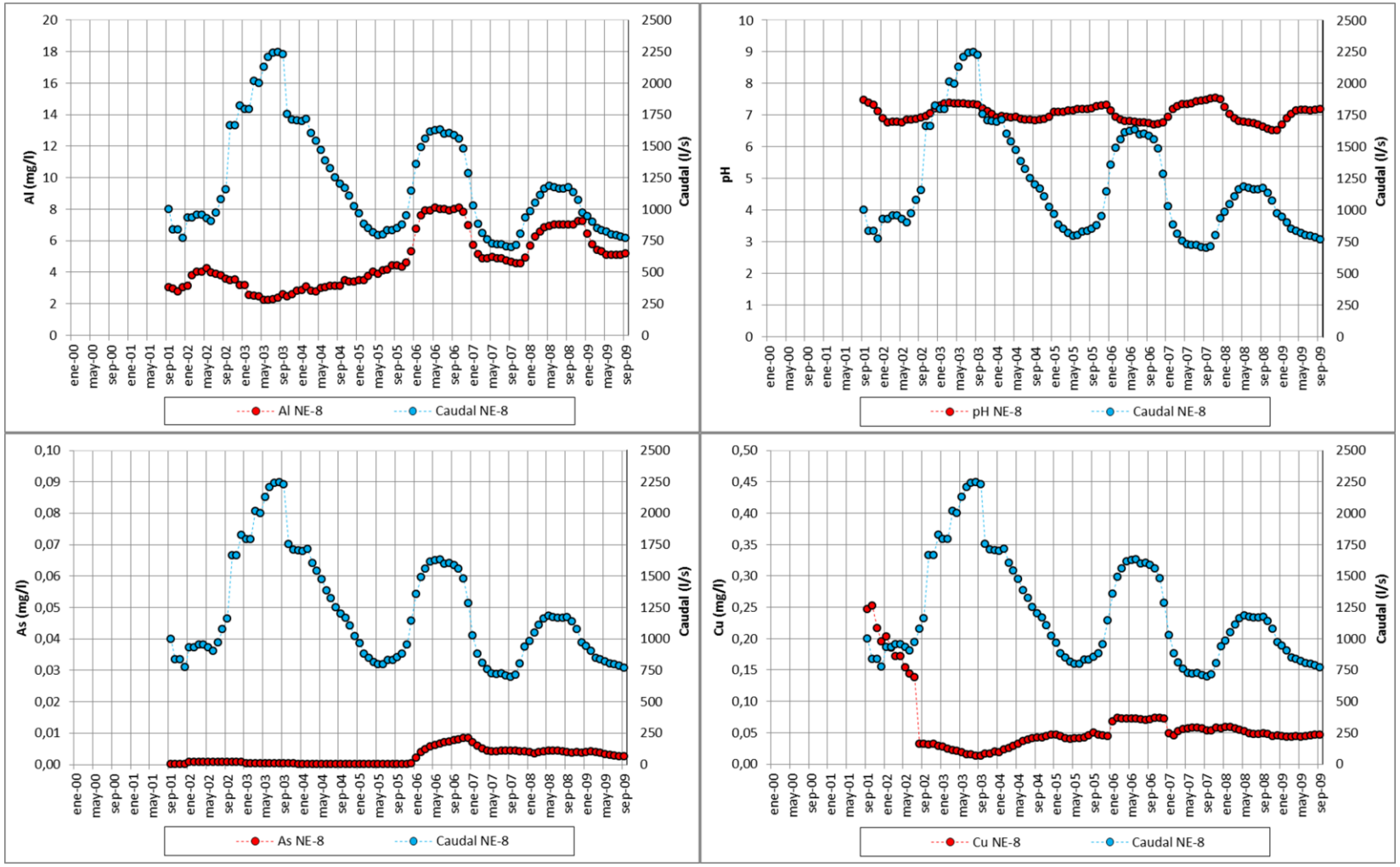
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.6 (continuación)
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-7



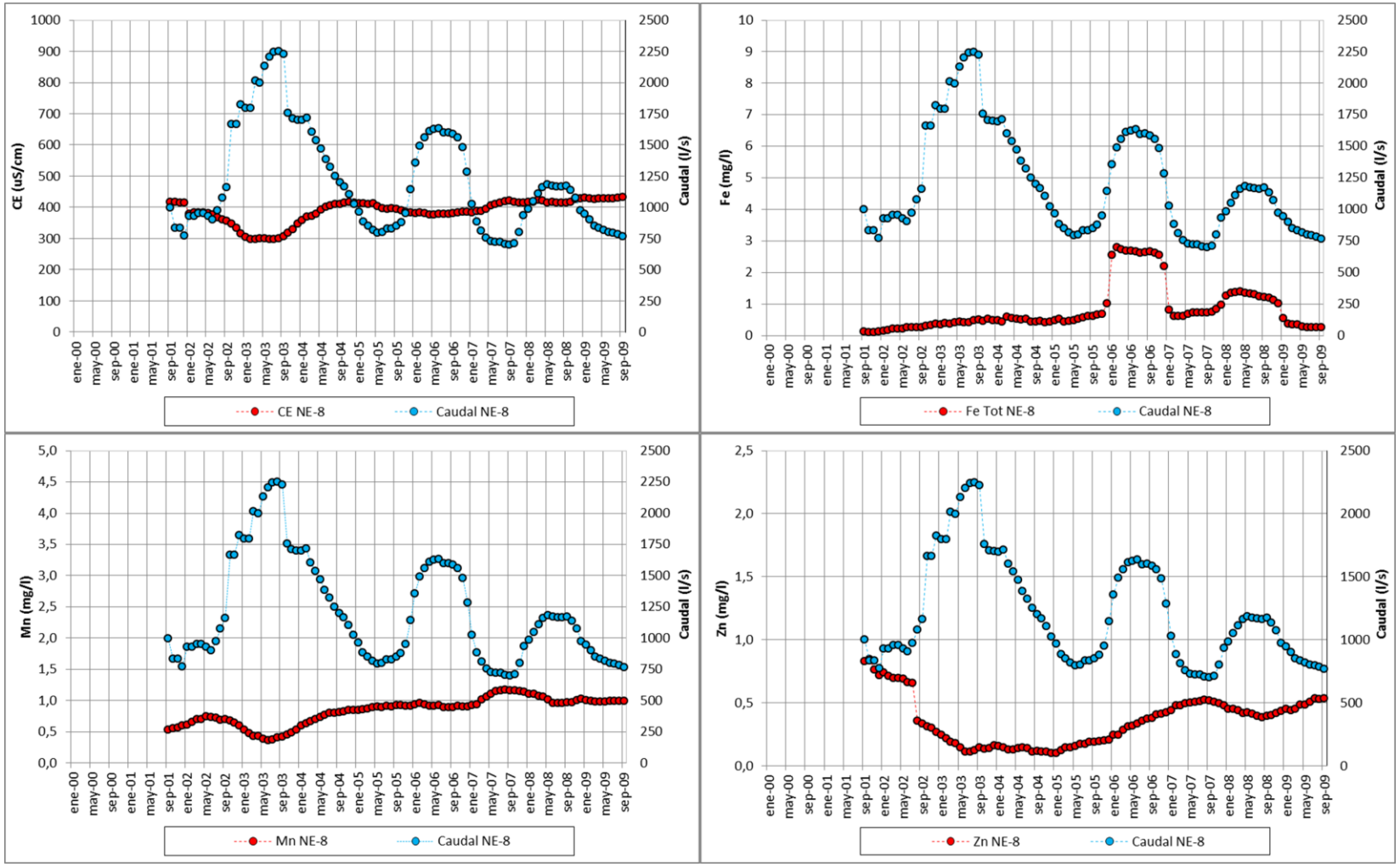
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.7
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-8



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.7 (continuación)
Medias Móviles del Resto de Parámetros en NE-8



Fuente: Elaboración Propia.

5. CONCLUSIONES

A partir de la información presentada en este documento se puede concluir lo siguiente:

- Del análisis en términos de promedios mensuales de concentración de sulfato y caudales en distintos sectores de la cuenca del río Del Estrecho/Chollay, se puede concluir que existe una tendencia que relaciona inversamente el caudal circulante con la concentración de sulfatos, comportamiento acentuado en la parte alta del sistema.

- Del análisis de la evolución temporal de la concentración de sulfato en distintos sectores de la cuenca del río Del Estrecho/Chollay se puede concluir que los cambios que se observan en las estaciones NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8, ubicadas en la cuenca del río Del Estrecho/Chollay son ocasionados por cambios naturales en el sistema (disminución de caudales disponibles por años con menores precipitaciones), lo que se ve ratificado con las tendencias a la disminución de caudal y aumento de concentración en las mediciones en los puntos NE-1A y NE-7, que corresponden a aportes laterales en régimen natural.

- Del análisis de las medias móviles de la concentración de sulfato y de los caudales en distintos sectores de la cuenca del río Del Estrecho/Chollay se puede concluir que:
  - En todos los puntos (a excepción de NE-7) se observa una relación inversamente proporcional entre la concentración de sulfato y caudal. Además en todas las estaciones se verifica una tendencia clara al aumento de la concentración y una disminución del caudal.
  - A partir del análisis de la estación NE-1A, que representa el aporte lateral al cauce del río Estrecho, es posible decir que el comportamiento natural del sistema muestra tendencias a la disminución de caudales en el tiempo y aumentos de la concentración de los distintos parámetros en análisis.

- Del análisis de las medias móviles de la concentración de los otros parámetros DAR se puede concluir que el comportamiento que presentan los puntos del río Del Estrecho (NE-5, NE-2A, NE-3, NE-4 y NE-8) es análogo al observado en el sulfato (a excepción del pH), con un aumento de la concentración en el tiempo y una relación inversa entre el caudal y concentración.

  Las magnitudes de concentración de la mayoría de los parámetros en estudio son considerablemente mayores en la parte alta del sistema.

  En el caso de las estaciones NE-1A y NE-7, que están ubicadas en la quebrada Barriales y el río Blanco, respectivamente, el comportamiento difiere según el parámetro medido, por lo que no es claro establecer una relación directa entre el caudal y la concentración del parámetro en cuestión, pero al igual que en el resto de las estaciones, las magnitudes de caudal disminuyen en el tiempo.

6. REFERENCIAS

- Barrick. Calidad y Cantidad Superficial Histórica Cuenca Río Estrecho-Conay. 2014.